

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Análisis de la estimación de caudales de diseño por métodos estadísticos y empíricos para el río Huallaga en el distrito de San Rafael-2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA: Falcón Lorenzo, Magdalena Rocio

ASESOR: Taboada Trujillo, William Paolo

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75445646

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40847625

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-4594-1491

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Malpartida Valderrama, Yenerit Pamela	Grado de magíster en medio ambiente y desarrollo sostenible mención en gestión ambiental	22516875	0000-0003-2705-4300
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 13:30 horas del día lunes 14 de abril de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA	SECRETARIA
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante RESOLUCIÓN No 0617-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "ANÁLISIS DE LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO POR MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y EMPÍRICOS PARA EL RÍO HUALLAGA EN EL DISTRITO DE SAN RAFAEL- 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Magdalena Rocio FALCON LORENZO, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado..... por Unanimidad... con el calificativo cuantitativo de 12..... y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 14:11... horas del día 14 del mes de abril del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA

DNI: 70502371

ORCID: 0000-0002-5650-3745

PRESIDENTE

MG. YENERIT PAMELA MALPARTIDA VALDERRAMA

DNI: 22516875

ORCID: 0000-0003-2705-4300

SECRETARIO (A)

MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO

DNI: 41891649

ORCID: 0000-0001-8392-1769

VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MAGDALENA ROCIO FALCÓN LORENZO, de la investigación titulada "Análisis de la estimación de caudales de diseño por métodos estadísticos y empíricos para el río Huallaga en el distrito de San Rafael-2024", con asesor(a) WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0201-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 25 de noviembre de 2024



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



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

32. FALCÓN LORENZO MAGDALENA ROCIO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	14%	4%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
2	distancia.udh.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
4	www.scribd.com	<1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad Andina del Cusco	<1%
	Trabajo del estudiante	



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



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

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional y su inquebrantable apoyo, pilares fundamentales en mi vida.

A mis amigos y colegas, por su amistad, consejos y el respaldo inestimable en cada etapa de este camino.

A todos aquellos que creyeron en mí y me inspiraron a alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, por su valiosa orientación y paciencia. A mis compañeros de estudio, por su camaradería y apoyo.

A todos los que contribuyeron a este proyecto, demostrando la importancia del trabajo en equipo.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3.OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	16
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	17
1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	19
1.6.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.7.VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	22
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	24
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	27
2.2.BASES TEÓRICAS	29
2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA	29
2.2.2. ESCURRIMIENTO.....	37

2.2.3. PRECIPITACIÓN.....	41
2.2.4. HIDROGRAMAS	44
2.2.5. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS HIDROLÓGICAS	49
2.2.6. CAUDALES MÁXIMOS	50
2.2.7. HEC-HMS.....	54
2.2.8. ARCGIS.....	56
2.3.DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	57
2.4.HIPÓTESIS	60
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	60
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	60
2.5.VARIABLES.....	60
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	60
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	60
2.6.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	61
CAPÍTULO III.....	63
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
3.1.1. ENFOQUE.....	63
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	63
3.1.3. DISEÑO.....	63
3.2.POBLACIÓN Y MUESTRA.....	64
3.2.1. POBLACIÓN.....	64
3.2.2. MUESTRA	64
3.3.TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS	64
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	66
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	67
CAPÍTULO IV.....	70
RESULTADOS.....	70
4.1.PROCESAMIENTO DE DATOS	70
4.1.1. CARACTERIZACIÓN DE CUENCA SAN RAFAEL	70
4.1.2. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	77
4.1.3. MÉTODOS EMPÍRICOS	92
4.1.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	96

4.1.5. ESTIMACIÓN DE TIRANTES DE INUNDACIÓN	98
4.1.6. COMPARACIÓN DE MÉTODOS EMPÍRICOS Y ESTADÍSTICOS	99
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	101
CAPÍTULO V.....	104
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	104
CONCLUSIONES	107
RECOMENDACIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de cuencas por su área	35
Tabla 2 Clasificación de forma de cuencas	35
Tabla 3 Clasificación de pendientes	37
Tabla 4 Obras vs. Periodo de retorno	49
Tabla 5 Valores de rugosidad de Manning	51
Tabla 6 Grupo hidrológico de suelo	53
Tabla 7 Cuadro de operacionalización de problemas	61
Tabla 8 Parámetros geométricos de la cuenca	66
Tabla 9 Ficha de parámetros altitudinales	66
Tabla 10 Ficha de precipitaciones	67
Tabla 11 Ficha de caudales	67
Tabla 12 Ficha de parámetros de cuenca	68
Tabla 13 Ficha de estaciones cercanas	68
Tabla 14 Ficha de estaciones pluviométricas	68
Tabla 15 Ficha de comprobación de datos	69
Tabla 16 Comparación de caudales	69
Tabla 17 Identificación de valores geométricos de la cuenca	71
Tabla 18 Identificación de valores altitudinales de la cuenca	72
Tabla 19 Parámetros de la red hídrica	74
Tabla 20 Áreas de cobertura vegetal de la cuenca	75
Tabla 21 Determinación del valor promedio del número de curva	76
Tabla 22 Coeficientes característicos de la cuenca	76
Tabla 23 Datos de las estaciones cercanas a la cuenca	77
Tabla 24 Registro pluviométrico – Estación San Rafael	78
Tabla 25 Registro pluviométrico completado – Estación San Rafael	81
Tabla 26 Registro interpolado para el centroide de la cuenca	85
Tabla 27 Análisis de distribuciones y prueba de ajuste	89
Tabla 28 Valores de precipitación proyectada	89
Tabla 29 Determinación de los valores IDF	90
Tabla 30 Determinación de coeficiente de escorrentía	92
Tabla 31 Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno	93
Tabla 32 Estimación de caudales por el método racional	93

Tabla 33 Estimación de coeficiente de escorrentía de Mac Math	94
Tabla 34 Determinación de caudales por Mac Math.....	94
Tabla 35 Determinación de caudales por Burkli – Zieger	94
Tabla 36 Determinación de caudales por el Número de Curva	95
Tabla 37 Determinación de caudales por el método de Gumbel	96
Tabla 38 Determinación de caudales por el Método de Nash	97
Tabla 39 Determinación de tirantes para diferentes metodologías para 100 años	99
Tabla 40 Valores de caudal por los métodos tomados en cuenta	99
Tabla 41 Métodos empíricos y métodos estadísticos	101
Tabla 42 Determinación de tirantes para diferentes metodologías para 100 años	103
Tabla 43 Determinación de caudales por el Número de Curva	104
Tabla 44 Valores de precipitación proyectada	105
Tabla 45 Determinación de caudales por Mac Math.....	106
Tabla 46 Registro pluviométrico sin procesar – Carhuacayan.....	118
Tabla 47 Registro pluviométrico completos – Carhuacayan	121
Tabla 48 Registro pluviométrico sin procesar – Huánuco.....	124
Tabla 49 Registro pluviométrico completos – Huánuco	127
Tabla 50 Registro pluviométrico sin procesar – Oyón.....	130
Tabla 51 Registro pluviométrico completos – Oyón.....	133
Tabla 52 Registro de caudales San Rafael.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cuenca delimitada	29
Figura 2 Composición de la cuenca	30
Figura 3 Sectorización de una cuenca	31
Figura 4 Curva hipsométrica	36
Figura 5 Hidrograma anual	40
Figura 6 Hidrograma de tormenta	40
Figura 7 Tipos de precipitación	43
Figura 8 Thiessen	44
Figura 9 Esquema del tiempo de concentración	45
Figura 10 Tiempo de retraso	45
Figura 11 Tipos de hidrogramas	46
Figura 12 Escurrimiento base y directo	47
Figura 13 Interfaz HEC-HMS	55
Figura 14 Interfaz ArcGIS	57
Figura 15 Base de información satelital	65
Figura 16 Base de datos pluviométricos	65
Figura 17 Base de datos hidrológicos	66
Figura 18 Límites de la cuenca San Rafael	70
Figura 19 Área bajo la curva de nivel	71
Figura 20 Clasificación de pendiente de la cuenca	72
Figura 21 Red hídrica de la cuenca	73
Figura 22 Identificación de la cobertura vegetal	74
Figura 23 Identificación del número de curva	75
Figura 24 Identificación de estaciones cercanas a la cuenca	77
Figura 25 Verificación del año hidrológico de las estaciones	84
Figura 26 Verificación del año hidrológico	88
Figura 27 Prueba de bondad de los datos de precipitación	88
Figura 28 Curvas IDF para la cuenca del río Huallaga en San Rafael	91
Figura 29 IDF para un periodo de retorno de 50 años	91
Figura 30 Hietograma de 50 años	92
Figura 31 Estimación de caudal para 50 años	95
Figura 32 Determinación de caudales por Gumbel en 50 años	96

Figura 33 Determinación de caudales por el método de Nash en 50 años...	97
Figura 34 Estimación de tirantes por el método racional	98
Figura 35 Gráfica de comparación de caudales.....	100
Figura 36 Gráfica de comparación de caudales.....	102
Figura 37 Ubicación de la zona de investigación	117
Figura 38 Ajuste de precipitación -Normal	139
Figura 39 Ajuste de precipitación -Log-Normal 2p	139
Figura 40 Ajuste de precipitación -Log-Normal 3p	140
Figura 41 Ajuste de precipitación -Gamma 2p	140
Figura 42 Ajuste de precipitación -Log Pearson	141
Figura 43 Ajuste de precipitación -Gumbel	141
Figura 44 Ajuste de precipitación -Log-Gumbel	142
Figura 45 Estimación de caudal para 10 años	142
Figura 46 Estimación de caudal para 25 años	143
Figura 47 Estimación de caudal para 100 años	143
Figura 48 Estimación de caudal para 500 años	143
Figura 49 Estimación de tirantes por el método Burkli - Zieger	144
Figura 50 Estimación de tirantes por el método Gumbel	145
Figura 51 Estimación de tirantes por el método Kolmogorov – Smirnov.....	146
Figura 52 Estimación de tirantes por el método Mac Math	147
Figura 53 Estimación de tirantes por el método Nash	148
Figura 54 Estimación de tirantes por el método Número de Curva.....	149

RESUMEN

Esta investigación se centró en la comparación de métodos estadísticos y empíricos para la estimación de caudales de diseño en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael. El objetivo general fue evaluar y comparar estos métodos, mientras que los objetivos específicos incluyeron la estimación de caudales por ambos tipos de métodos, la determinación de tirantes y la identificación de errores en las estimaciones. Se utilizaron registros históricos de caudales para aplicar métodos estadísticos y registros pluviométricos para las metodologías empíricas. Los métodos estadísticos, como el de Gumbel, mostraron ser óptimos para la estimación de caudales, con valores estimados de 69.20 m³/s, 77.07 m³/s, 83.01 m³/s, 88.95 m³/s y 102.74 m³/s para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, respectivamente. Otro método estadístico estimó caudales de 61.31 m³/s, 69.31 m³/s, 75.32 m³/s, 81.33 m³/s y 95.34 m³/s para los mismos periodos de retorno. Por otro lado, los métodos empíricos arrojaron los siguientes valores de caudales: Método Racional: 110.40 m³/s, 126.36 m³/s, 128.49 m³/s, 137.17 m³/s y 159.65 m³/s para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, respectivamente. Los tirantes determinados mediante un modelo bidimensional variaron según el método utilizado, con valores de 7.88 m para el método Racional, 9.67 m para el método Mac Math, 7.45 m para el método Burkli - Zieger, 7.09 m para el método del Número de Curva, y para los métodos estadísticos, 6.31 m para Gumbel, 6.06 m para Nash y 5.54 m para Kolmogorov – Smirnov. Finalmente, con todo el proceso de investigación se pudo concluir que los métodos estadísticos presentan un mejor ajuste en comparación con los métodos empíricos, de todos los métodos tomados en cuenta en la investigación se pudo determinar que el método del número de curva SCS presentó un mejor ajuste de entre todos los métodos.

Palabras clave: Estimación de caudales, métodos estadísticos, métodos empíricos, diseño hidráulico y método de Gumbel, método Racional, método Mac Math, método Burkli – Zieger y Número de Curva del SCS

ABSTRACT

This research focused on comparing statistical and empirical methods for estimating design flows in the Huallaga River, located in the district of San Rafael. The general objective was to evaluate and compare these methods, while the specific objectives included estimating flows by both types of methods, determining water depths, and identifying errors in the estimates. Historical flow records were used to apply statistical methods, and pluviometric records were used for empirical methodologies. Statistical methods, such as Gumbel's method, proved optimal for flow estimation, with estimated values of 69.20 m³/s, 77.07 m³/s, 83.01 m³/s, 88.95 m³/s, and 102.74 m³/s for return periods of 10, 25, 50, 100, and 500 years, respectively. Another statistical method estimated flows of 61.31 m³/s, 69.31 m³/s, 75.32 m³/s, 81.33 m³/s, and 95.34 m³/s for the same return periods. On the other hand, empirical methods yielded the following flow values: Rational Method: 110.40 m³/s, 126.36 m³/s, 128.49 m³/s, 137.17 m³/s, and 159.65 m³/s for return periods of 10, 25, 50, 100, and 500 years, respectively. The water depths determined by a two-dimensional model varied according to the method used, with values of 7.88 m for the Rational Method, 9.67 m for the Mac Math Method, 7.45 m for the Burkli - Zieger Method, 7.09 m for the Curve Number Method, and for the statistical methods, 6.31 m for Gumbel, 6.06 m for Nash, and 5.54 m for Kolmogorov – Smirnov. In conclusion, it was determined that statistical methods provide a better fit to reference values. Finally, through the entire research process, it was concluded that statistical methods provide a better fit compared to empirical methods. Among all the methods considered in the research, it was determined that the SCS curve number method achieved the best fit among them.

Keywords: Flow estimation, statistical methods, empirical methods, hydraulic design, Gumbel method, Rational Method, Mac Math Method, Burkli - Zieger Method, SCS Curve Number Method.

INTRODUCCIÓN

El río Huallaga, que atraviesa el distrito de San Rafael, constituye un recurso hidrológico vital para la región, influyendo significativamente en el desarrollo socioeconómico y ambiental. La estimación precisa de caudales de diseño es esencial para el diseño y la operación de infraestructuras hidráulicas, asegurando la protección contra inundaciones y el suministro sostenible de agua. En este contexto, este estudio se propone comparar métodos estadísticos y empíricos para la estimación de caudales en el río Huallaga. Los métodos estadísticos se basan en el análisis de series históricas de caudales, mientras que los métodos empíricos utilizan relaciones simplificadas entre variables hidrológicas y características físicas de la cuenca. El objetivo principal es evaluar la precisión y los posibles sesgos asociados a cada método, identificando además los factores que influyen en la variabilidad de los caudales estimados. Se busca así proporcionar recomendaciones fundamentadas que permitan optimizar los diseños hidráulicos y mejorar la gestión del recurso hídrico en el distrito de San Rafael.

Primer capítulo: En esta parte de la investigación se identificaron las problemáticas que aqueja a la zona de interés y a partir de ello se identificaron los objetivos, las justificaciones, limitaciones y viabilidad de la investigación.

Segundo capítulo: En esta parte de la investigación se elaboran y fundamentan los conceptos teóricos en las cuales se basaron los cálculos y desarrollos de la investigación, así también se tomó en cuenta las hipótesis y variables que fueron sometidas a un análisis.

Tercer capítulo: En esta parte de la investigación se establecieron las bases de la metodología que se aplicó en el desarrollo de la investigación, así como las técnicas e instrumentos aplicables a la investigación.

Cuarto capítulo: En esta parte de la investigación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de conceptos teóricos y procedimientos metodológicos para la obtención de valores numéricos relevantes para la investigación. Quinto capítulo: En esta parte de la investigación se realizó la discusión de los resultados obtenidos con la información obtenida de otras investigaciones similares, en la parte final de este apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial el agua es el elemento más indispensable para la subsistencia humana, generalmente el agua se identifica como el pilar para el desarrollo sostenible de las poblaciones, pero a la vez genera altos peligros y riesgos mundiales. Tal es así que por una mala caracterización de caudales se pueden generar sequías o crecidas en cauces de ríos que componen una cuenca determinada. Los problemas relacionados con la gestión y caracterización del agua pueden incrementar los problemas sociales y medioambientales en las zonas de deficiencia y mala gestión hídrica. (Cullman, 2019)

Para américa latina desde el punto de vista del riesgo una deficiente elaboración de las caracterizaciones hidrológicas y por ende una mala determinación de los valores de caudal se puede traducir en la inundaciones, deslizamientos o falta de prevención frente a tormentas. En las zonas de américa latina se vienen registrando este tipo de eventos en zonas cercanas a centros urbanos o rurales que vienen siendo afectas de manera económica y en la salud de la población este tipo de eventos a su vez genera un deficiente progreso y desarrollo en los países que vienen siendo afectados por los eventos relacionados a los recursos hídricos. (Gutiérrez, 2022)

Las estructuras hidráulicas ejecutadas en el Perú presentan grandes deficiencias en ejecución, alrededor del 50% de la población peruana habitan zonas de aridez en donde el agua escasea y por ende no hay una adecuada red de distribución de agua potable, adicionalmente a ello se encuentra las falencias de planificación frente a eventos de cambio climático, en específico el denominado Fenómeno del Niño (FEN), dicho fenómeno genera colapsos en las infraestructuras hidráulicas ejecutadas en los cauces más críticos del país, con ello se evidencia la necesidad de establecer una metodología adecuada de estimación de caudales críticos a fin de poder dimensionar estructuras adecuadas que resistan condiciones extremas frente a la afectación del incremento de lluvias causadas por el cambio climático en el país. (Rau, 2021)

Con ello en la región Huánuco unos de los principales cauces que recorre la ciudad es el río Huallaga, dicho cauce en determinadas épocas de lluvias intensas genera un incremento de caudales, el cual a su vez genera un incremento en el riesgo de la población que habitan la faja marginal de dicho río, es por ello que nace la necesidad de caracterizar una metodología adecuada para la estimación de caudales de diseño y con ello poder plantear medidas estructurales a fin de mitigar los efectos dañinos que generan los riesgos presentes, es por ello que para la presente investigación se planteó el objetivo de comparar las metodologías estadísticas y empíricas para la estimación de caudales para el Río Huallaga en el distrito de San Rafael.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre los métodos estadísticos y empíricos utilizados en la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga en el distrito de San Rafael?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuáles son los caudales de diseño por el método estadístico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael?

¿Cuáles son los caudales de diseño por el método empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael?

¿Cómo influyen los valores de caudal empírico y estadístico en los tirantes del río Huallaga?

¿Cuáles son los valores de error asociados a la estimación de caudales utilizando tanto el método estadístico como el empírico en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Comparar los métodos estadísticos y empíricos para la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar los caudales de diseño por el método estadístico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.

Estimar los caudales de diseño por el método empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.

Determinar los valores de tirantes por caudales empíricos y estadísticos para el río Huallaga.

Identificar los valores de error en la estimación de caudales por el método estadístico y empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La determinación precisa de los caudales de diseño fue crucial para el planteamiento, diseño y planificación de estructuras hidráulicas, a fin de que en dichas estructuras se aseguren tanto la estabilidad y funcionabilidad de lo planteado ante condiciones hidrológicas extremas.

Para el tramo del cauce del río Huallaga que corresponde al distrito de San Rafael esta estimación de caudales de diseño tomó una relevancia importante debido a las características hidrológicas que presenta dicha zona, característicamente la zona de investigación planteada se ve directamente afectada en la temporada de incremento de lluvias ya que en ciertas ocasiones la capacidad de transporte del cauce fue superado generando así desbordes de agua y afectando a la población cercana que habita la zona.

La estimación de caudales por los métodos estadísticos y empíricos presentó una variedad de enfoques en cuanto a la caracterización y determinación de caudales de diseño, la determinación de la metodología utilizada en una determinada caracterización hidrológica tuvo un impacto directo en el diseño y dimensionamiento de estructuras hidráulicas y medidas de planificación ejecutadas frente a los riesgos causados por un incremento desmedido de los caudales de diseño.

Es por ello por lo que la determinación de la mejor metodología de estimación fue necesaria para la estimación de caudales especialmente en el cauce del río Huallaga debido a las características climatológicas que presenta en su cauce.

La variación hidrología que presenta el río Huallaga requirió de un análisis profundo a fin de caracterizar los métodos aplicables de estimación de caudales de diseño, la justificación teórica se basó en la necesidad de determinar la metodología adecuada de estimación a fin de optimizar el diseño de estructuras hidráulicas teniendo en cuenta las particularidades que presenta el cauce en el distrito de San Rafael.

La metodología empírica es cuando los métodos empíricos se basaron en relaciones matemáticas derivadas de observaciones y mediciones históricas. Estas relaciones fueron específicas para ciertas condiciones geográficas y climáticas y se utilizaron para estimar caudales en situaciones similares.

La metodología estadística es cuando los métodos estadísticos utilizaron técnicas de análisis de datos para modelar y predecir los caudales, basándose en series temporales de datos históricos.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La realización de un análisis comparativo entre la estimación de caudales de diseño por la metodología estadística y la metodología empírica en el río Huallaga se justificó a partir de la optimización en la ejecución de medidas estructurales y no estructurales a fin de ajustar los valores de caudal de diseño y con ello mejorar las dimensiones de estructuras planteadas en la zona como pueden ser defensas ribereñas o puentes de intercomunicación entre ambos márgenes del río Huallaga.

Un método más preciso permitió una asignación más eficiente de recursos, minimizando costos innecesarios y maximizando la efectividad de las obras.

Con una óptima estimación de caudales de diseño se pudo mejorar la gestión de riesgo determinado en la zona de interés ya que se mejoró la capacidad de resistencia de las infraestructuras ejecutadas en la zona de investigación, generando a su vez una mejor resiliencia frente a una posible inundación en determinadas zonas del cauce del río Huallaga.

Una estimación adecuada de caudales reflejó una óptima adaptabilidad frente a un contexto cambiante en las precipitaciones, esto hace que si se estiman de manera adecuada los valores de diseño en

caudal las estructuras planteadas podrán resistir a los efectos cambiantes en el caudal como un posible incremento en su volumen y por ende un efecto mayor en la socavación de la posible medida estructural planteada para el cauce del río Huallaga en el distrito de San Rafael.

El diseño preciso de infraestructuras hidráulicas impactó directamente en la seguridad y calidad de vida de la comunidad en el distrito de San Rafael. Mejorar la precisión de las estimaciones de caudales contribuyó a la protección de la comunidad contra eventos hidrológicos extremos y promoverá el desarrollo sostenible.

En la metodología empírica se consideran los siguientes puntos:

- **Fórmulas Empíricas:** Estas fórmulas se desarrollan a partir de datos históricos y observaciones en campo. Un ejemplo clásico es la fórmula racional, que se usa para calcular caudales de diseño en pequeñas cuencas hidrográficas.
- **Método del Hidrograma Unitario:** Este método se basa en la suposición de que la respuesta de una cuenca hidrográfica a una precipitación es lineal y puede describirse mediante un hidrograma unitario. Un hidrograma unitario es el hidrograma de salida de una cuenca para una unidad de lluvia efectiva distribuida uniformemente sobre la cuenca durante un período específico.
- **Correlaciones Regionales:** Estos métodos utilizan relaciones empíricas derivadas de datos recolectados en varias cuencas dentro de una región específica. Las correlaciones regionales pueden relacionar el caudal con características geomorfológicas, como el área de la cuenca, la pendiente, y la cobertura vegetal.

En la metodología estadística se consideran los siguientes puntos:

- **Análisis de Frecuencia:** Este método se usa para estimar la probabilidad de ocurrencia de ciertos caudales. Se basa en el ajuste de distribuciones estadísticas (como la distribución Gumbel, Log-Pearson tipo III, etc.) a los datos históricos de caudales máximos. El resultado es una curva de frecuencia o

una relación de recurrencia que muestra la probabilidad de excedencia de distintos caudales.

- Regresión Lineal y No Lineal: Estos métodos establecen relaciones entre el caudal y variables explicativas, como la precipitación, temperatura, características de la cuenca, etc. La regresión lineal simple o múltiple puede modelar estas relaciones y predecir caudales.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La justificación metodológica se basó en la necesidad de la determinación de valores con un alto grado de confiabilidad a partir de la comparación y calibración de la metodología de estimación de caudales de diseño para el cauce del río Huallaga en el tramo que le corresponde al distrito de San Rafael.

La elaboración de la investigación se ejecutó a partir de los parámetros de metodología y ciencia que se aprueban en el campo de la hidrología, en la ejecución de la investigación se emplearon métodos estadísticos para verificar la confiabilidad de los resultados obtenidos dando así un alto grado de validez a la información que se pueda determinar de la ejecución de la investigación.

En la elaboración de la investigación se tuvieron en cuenta información específica para el cauce del río Huallaga teniendo en cuenta las estaciones pluviométricas e hidrológicas que se encuentren dentro del cauce de interés, la caracterización específica de la zona de interés tomó en cuenta registros históricos de pluviometría y meteorología de la cuenca.

La determinación de los valores de error en la estimación de caudales se abordó a partir de la comparación de los valores determinados estadísticamente versus los valores estimados de manera empírica, la valoración del error se dio a partir de las métricas estadísticas aplicables en la hidrología dando así un valor cuantificable de las discrepancias entre ambos métodos de estimación.

En la metodología empírica se consideran los siguientes puntos:

- Basados en la observación y experiencia.

- Relativamente simples y rápidos de aplicar.
- Pueden ser específicos para condiciones locales y no siempre generalizables.

En la metodología empírica se consideran los siguientes puntos:

- Basados en el análisis riguroso de datos históricos.
- Requieren datos extensivos y de alta calidad.
- Proporcionan una base probabilística y cuantifican la incertidumbre.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Al caracterizar las precipitaciones se presentó la condicional de la variación climática impredecible que normalmente depende del desarrollo ambiental en la región, la investigación pudo abordar dicha incertidumbre a partir de la estimación de proyecciones basadas en los registros históricos de precipitación y variaciones climáticas en la zona de interés.

Otro factor que pudo ser determinante en la elaboración de la investigación es la variación de las condiciones del río, dichas variaciones se tomaron en cuenta en el periodo de ejecución del proyecto, pero si las actividades dentro de los márgenes del cauce varía significativamente el entorno del cauce los resultados obtenidos presentarán una variación entre lo obtenido y lo real existente en la zona de interés.

La ocurrencia de eventos hidrológicos extremos que no estén incluidos en el período de estudio podría afectar la capacidad del estudio para proporcionar una estimación completa de caudales de diseño.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación demostró una sólida viabilidad económica, ya que se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los costos asociados con la recopilación de información y la ejecución del proyecto. Estos costos fueron evaluados cuidadosamente y se situaron dentro de las posibilidades económicas asumibles por el investigador. Además, la disponibilidad de datos necesarios para la investigación se ha confirmado a través de los registros del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología del Perú.

Este acceso a información histórica permitió la determinación de los valores de caudal utilizando ambas metodologías, con el objetivo de identificar

cuál de ellas es más apropiada para la ejecución en el cauce específico del río Huallaga, especialmente en el tramo correspondiente al distrito de San Rafael.

La utilización de estos datos confiables y fácilmente accesibles proporcionó una base sólida para la investigación, garantizando la precisión y la eficiencia en la evaluación de las metodologías estadísticas y empíricas en el contexto hidrológico específico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Para Briceño (2020), en la investigación que titula: Investigación de la regionalización de caudales máximos en las cuencas de la provincia Gualivá por medio del método estadístico índice de creciente, elaborado para la Universidad Católica de Colombia, en la cual se plantearon los siguientes objetivos:

Determinar los caudales máximos a partir de la aplicación de la regionalización y la aplicación del método estadístico de creciente, elaborar un análisis hidrográfico de las cuencas a partir de la sectorización de las estaciones que se encuentran en la provincia de Gualivá, identificar las características fisiográficas de la cuenca conformada, elaborar el análisis estadístico de caudales para diferentes periodos de retorno y aplicar el método del índice de creciente para la determinación estadística de caudales.

De la investigación se pudo concluir: Se analizaron un total de 8 estaciones dentro de ello se pudo observar que la mayoría cumple con la cantidad de datos mínimos para la estimación de caudales de diseño por el método estadístico del índice de creciente. Para el análisis de las 8 estaciones se agruparon en dos tipos de regiones debido a que en el análisis estadístico se presentaron altos valores de dispersión.

Para el análisis de distribución estadística aplicado a ambas regiones caracterizadas por sus respectivas estaciones se pudo determinar que la distribución de Gumbel presentó un ajuste favorable a las series de datos considerados, con ello se pudo determinar que el sesgo es mínimo a partir de la desviación estándar determinada.

Con la caracterización de las estaciones y la identificación de la serie de ajuste se pudo determinar las ecuaciones de caudal para cada una de las regiones homogeneizadas, siendo así que para la región 1 se determinó la siguiente ecuación $Q_{2.33}=0.2936A^{0.74}$ y para la región homogeneizada 2 se obtuvo $Q_{2.33}=4.1319A^{0.04}$, dichas ecuaciones

sirven de base para la estimación de caudales en puntos específicos de la cuenca que no posea estaciones de recolección de datos de pluviometría.

Según Quispe (2022), en la tesis que titula: Determinación del caudal máximo para el diseño de puente Bolivia UBIC. El Alto – La Paz, aplicando el método racional modificado, elaborado para la Universidad Mayor de San Andrés – Bolivia. En dicha investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Estimar los valores de caudal máximo diario a partir de la aplicación del método racional modificado a fin de identificar los niveles de aguas máximas anómalas para la cuenca del río Seco, identificar la divisoria de la cuenca del río Seco a fin de sectorizar la cuenca a partir del tipo de suelo que lo compone, a partir de los valores de precipitación determinar los valores de intensidad máxima en determinados periodos de retorno y determinar los valores de tirante hidráulico en los periodos de retorno analizados.

A partir de estos objetivos de la tesis se pudo concluir que: En el análisis de un periodo de retorno de 100 años el caudal generado en el puente Bolivia de alrededor a los 262.66 m³/s y con dicho valor se estimaron para este periodo de retorno los valores del nivel de aguas máximas extraordinarias para el diseño de obras hidráulicas pertinentes ejecutables en el cauce del río que atraviesa el puente Bolivia.

De la caracterización de la cuenca se pudo determinar que el valor de elongación que se estimó en 0.21, dicho valor caracterizó a la cuenca como una cuenca con baja susceptibilidad a las avenidas.

Se pudo caracterizar que el orden de los cauces tiene un valor de 2 dando así una caracterización de que las aguas se evacuaran más rápido por la presencia de una gran cantidad de vertientes.

De la cuenca se pudo caracterizar que el valor de la intensidad ronda en promedio a un valor de 40.26 mm/h caracterizando así que las precipitaciones que se generan en la cuenca son fuertes en intensidad.

Los valores del nivel de aguas máximas extraordinarias se estiman en 3787 msnm siendo de la caracterización del cauce el valor altitudinal de 3786 msnm sobrepasando así el límite altitudinal que en promedio

acopia el cauce del río dando así evidencias de que unos fenómenos de lluvias intensas pueden generar fenómenos de avenidas.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Huilca (2021), en la tesis que titula: Análisis comparativo en la generación de caudales máximos aplicando métodos estadísticos y empíricos con fines de seleccionar el modelo ideal en ríos de alta montaña caso río Huayjoñan, del C.P.M. de Tipón, Dist. Oropesa, Prov. Quispicanchi, Región Cusco, elaborada para la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Perú. En la tesis los objetivos de investigación fueron:

Elaborar un análisis comparativo en los caudales máximos determinados por métodos probabilísticos y determinísticos a fin de estimar estructuras hidráulicas en el cauce del río Huayjoñan, analizar la consistencia de la serie histórica de caudales máximos estimados en 24 horas, estimar los valores de caudal a partir de la metodología Mac Math en un PR de 50 años y estimar los valores de caudal por la metodología estadística de distribuciones teóricas para un PR de 50 años.

De la investigación se pudo concluir: Del análisis de la cuenca de interés se pudo determinar que el valor de altitud media de la cuenca comprende los 4004 msnm obteniendo así un valor de precipitación anual de 822 mm/año, con ello también se lograron establecer valores de temperatura media mensual que ronda los 6.88°C.

Para la estimación de precipitaciones máximas ocurridas en la zona de la cuenca se tomaron en cuenta valores de precipitación máxima de 24 horas de las estaciones Kayra y Caicay en un periodo aproximado de 30 años, dichos valores fueron validados en su serie de datos a partir de la aplicación de evaluación de Kolmogorov –Smirnov con ello los valores registrados de precipitación fueron ajustados y validados en su distribución.

La estimación de caudales se realizó a partir de la aplicación de la fórmula de Manning tomando como información base los rastros de tirante hidráulico evidenciados en los muros de encauzamiento de algunos tramos. Para la estimación de los mejores modelos de caudales

se aplicaron las pruebas de T-Student y la prueba de Duncan a partir de los cuales se pudo determinar que los valores de caudal se encuentran en un nivel de significancia alto.

Para Balladares (2022), en la tesis que titula: Estimación de caudales máximos para la subcuenca Angostura mediante la data grillada Pisco – Tumbes, elaborada para la Universidad Nacional de Tumbes – Perú. En dicha tesis se plantearon los siguientes objetivos:

Calcular los valores de caudal crítico en diferentes periodos de retorno en la subcuenca de Angostura con el análisis de los valores de precipitación de la base de datos grillados Pisco, Estimar los parámetros geomorfológicos de la subcuenca, elaborar una caracterización estadística de los valores de precipitación, obtener la curva IDF característica de la subcuenca y elaborar una comparación entre los valores estimados por el software HEC-HMS contra los valores obtenidos por el método racional y Creager.

De la tesis se pudo concluir lo siguiente: Los valores de caudal obtenidos en la investigación se estimaron a partir del promedio de los valores obtenidos por la metodología SCS HEC-HMS, método Creager y el método Racional Modificado, de ello se determinó que los valores de caudal son 205, 319, 417, 529, 568, 701, 854, 1029 y 1301 m³/seg para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente.

Las características fisiográficas de la subcuenca son, un área de 188 km² un perímetro 79 km, dichas dimensiones caracterizan a la subcuenca como oblonga rectangular alargada y un valor de índice de compacidad de 1.63.

La caracterización estadística de los valores de precipitación determinados de las 6 estaciones ficticias planteadas por la metodología Pisco, determinaron que, a partir de los análisis de consistencia, doble masa y parámetros de datos dudosos se encuentran con valores aceptables para su aplicación en la determinación de caudales de la subcuenca.

Para la caracterización de la subcuenca se pudo determinar que el tiempo de concentración es de aproximadamente 10 horas, dicho valor

define el tipo de comportamiento hidrológico frente a una tormenta, dicho valor determinar que para una duración de 5 horas se alcanzará el pico del hietograma característico para la subcuenca.

Para Mamani (2021), en la tesis que titula: Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno, elaborada para la Universidad Cesar Vallejo – Perú, se plantearon los siguientes objetivos:

Estimar los caudales críticos a partir de la estimación probabilística aplicada en la subcuenca de Ayaviri, Estimar los caudales de estimación por la metodología de Gumbel, estimar los valores de caudal por el método de la distribución normal y determinar los valores de caudal con la metodología de Pearson Tipo III.

De la investigación se pudo concluir: A partir del análisis de doble masa se pudo determinar que el valor de R^2 presentaron valores entre 0.99 a 1 caracterizando así a que las estaciones tomadas en cuenta para la investigación presentan un alto grado de confiabilidad para la determinación de caudales en la cuenca.

Los valores de precipitación en 24 horas para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años presentaron valores de 43.73, 46.56 y 48.36 mm respectivamente en la caracterización de las precipitaciones se tomó en cuenta un total de 61 años de registros históricos considerados en las estaciones seleccionadas para la caracterización.

Para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años los valores de caudal estimados por la metodología Mac-Math fueron de 270.31, 293.14 y 315.89 m³/s respectivamente, los valores de caudal fueron estimados a partir de los registros de precipitación recolectados cada 24 horas, los valores de precipitación recolectados adicionalmente fueron caracterizados por la distribución Gumbel en la cual se pudo determinar que la serie de datos posee una varianza aproximada de 0.059 con la cual se pudo determinar que no hay una variación estadística considerable.

Los valores de caudal estimados a partir de los hidrogramas unitarios estimados para la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) fueron de 346.90, 376.82 y 406.73 m³/s para los periodos

de retorno de 50, 100 y 200 años respectivamente, dichos valores fueron determinados a partir del hidrograma unitario que posee valores de 353.42, 431.45 y 512.89 m³/s, adicionalmente a ello a partir de la distribución Pearson Tipo III se pudo determinar que el valor de la varianza de la serie muestral es de 0.0646 dando una caracterización aceptable estadísticamente.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Según Sandoval (2022), en la tesis que titula: Determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo, Huánuco, elaborada para la Universidad de Huánuco – Perú, en la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Estimar los valores de caudal crítico utilizando el software ILWIS a fin de optimizar el dimensionamiento de estructuras hidráulicas planteadas en la zona de investigación, elaborar una clasificación de la información utilizable para la investigación aplicada en el software, determinar los tipos y aplicaciones que existen para estimar los caudales de diseño y estimar las variaciones entre los valores aplicados en el diseño de obras hidráulicas en la zona de investigación.

De la investigación se pudo concluir lo siguiente: El área de la cuenca de interés se pudo estimar en 1564.24 km² el valor estimado fue calibrado a partir del informe del ANA en el cual se estimó la superficie en 1565.5 km² con lo cual se pudo validar que la cuenca delimitada en el software LIWIS.

La estimación de caudales en el software ILWIS fueron de 114, 250, 346, 470, 563, 656, 748, 871 m³/s para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Los caudales estimados por la metodología racional modificado fueron 141, 268, 356, 478, 577, 684, 800, 971 m³/s para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Los valores estimados si bien no son próximos los valores fueron validados a partir de la validación estadística y la determinación de la varianza estadística en su

determinación dando valores mínimos de variación con lo cual se pudo validar la confiabilidad en los valores de caudal para el dimensionamiento de estructuras hidráulicas en la zona.

Según Teodoro (2022), en la tesis que se titula: Comparación de caudales medios mensuales aplicando el método Lutz Scholz y una estación hidrométrica, en la microcuenca del río Higuera, Huánuco 2017-2018, elaborada para la Universidad de Huánuco – Perú, en la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

La investigación abordó la comparación de los caudales medios mensuales obtenidos mediante el método de Lutz Scholz con los registrados en una estación hidrométrica en la microcuenca del río Higuera, durante un periodo de dos años, específicamente 2017 y 2018.

Este estudio fue de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo-comparativo y un diseño no experimental transversal. La población estuvo compuesta por cinco estaciones meteorológicas (CO Yanahuanca, CO Jacas Chico, CO Huánuco, CO Dos de Mayo y CO Carpish) y una estación hidrométrica en el río Higuera, que conformaron también la muestra, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico e intencional.

Los datos meteorológicos se recolectaron directamente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Dirección Zonal No. 10 – Huánuco, a través de fichas de datos correspondientes a los años hidrológicos 2017 y 2018, sin requerir validación adicional debido a su origen confiable.

Los resultados fueron analizados mediante los programas Excel y SPSS v22, aplicándose una prueba de ANOVA para determinar la aceptación o rechazo de las hipótesis. Los análisis demostraron que los caudales medios mensuales calculados con el método de Lutz Scholz coincidieron con los datos de la estación hidrométrica del río Higuera en el periodo 2017-2018, con un nivel de significancia de 0.91, superior al umbral de 0.05 establecido para la toma de decisiones.

Así, se concluyó con un 95% de confianza que el método de Lutz Scholz fue adecuado para estimar caudales medios mensuales en

microcuencas o cuencas donde no se disponga de estaciones hidrométricas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

Toda porción de terreno que compone a la tierra se encuentra dentro de una cuenca hidrográfica, a partir de ello se puede plantear que una cuenca hidrográfica es un área que presenta surcos originados a partir de los escurrimientos generados por los volúmenes de precipitación que confluyen finalmente en un cauce en común los cuales también se originan a partir de las características topográficas que presenta la cuenca de interés. (Gámez, 2009, pág. 22)

La delimitación de una cuenca superficial se realiza a partir de los puntos de mayor altitud en la cuenca, dichos puntos componen la frentera entre cuencas y subcuencas cercanas. La unión de dichos puntos se denomina generalmente como parteaguas, en la línea que compone el parte agua se encuentra el punto de confluencia de todos los cauces que componen la cuenca. (Gámez, 2009, pág. 24)

Figura 1

Cuenca delimitada



Nota. De la figura se puede evidenciar el parteaguas resaltado con un color naranja en su transcurso. (Gámez, 2009)

Según Villón (2002), en la caracterización de una cuenca se puede determinar que las partes que lo componen son:

- Parteaguas
- Vértices de cuenca
- Cuenca baja
- Red de drenaje de la cuenca

2.2.1.1. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS

- Cuenca Principal: Dicha cuenca se caracteriza por que el caudal que transcurre en el cauce desemboca directamente en el océano.
- Subcuenca: Se caracteriza porque las aguas que discurren por su recorrido desembocan en otra cuenca, estas se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de desembocadura en de primer, segundo, tercer, etc. orden de acuerdo con la cantidad de tributarios que presente la cuenca principal.
- Microcuenca: Se caracteriza por que el área que ocupa la cuenca es de tamaño reducido.

Figura 2

Composición de la cuenca



Nota. Separación y composición de una cuenca ideal. (Gutiérrez, 2022)

2.2.1.2. TIPO DE CUENCA

Cuenca hidrográfica: Cuenca definida a partir de la presencia de la divisoria de las aguas en la cuenca dada, el parteaguas en teoría se plantea como la línea imaginaria que se forma a partir de los puntos altitudinales altos que generalmente contienen los cauces con un punto común de salida de las aguas. (Gámez, 2009, pág. 15)

Cuenca hidrológica: Una cuenca hidrológica tiene una perspectiva más integral a diferencia de la cuenca hidrográfica, este tipo de cuenca toma en cuenta no solo a la cuenca hidrográfica superficial, sino que se incluye a la cuenca subterránea que conforma a la cuenca de interés. (Gámez, 2009)

2.2.1.3. FUNCIONAMIENTO HÍDRICO

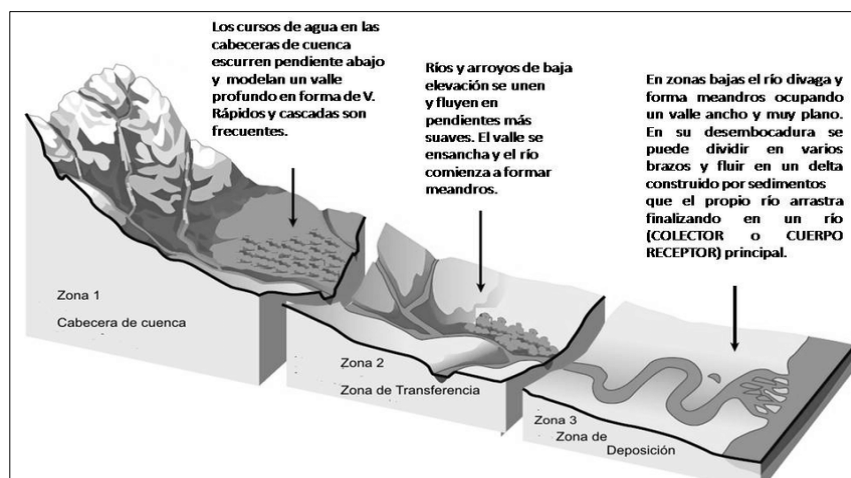
Zonas de cabecera: En dicha parte de la cuenca se pueden aplicar las captaciones iniciales de las aguas y suministrar el material hídrico en las partes bajas de la cuenca. (Gámez, 2009, pág. 45)

Zona de captación y transporte: En dicha zona se pueden concentrar grandes masas de agua, en esta zona generalmente se evidencia de forma significativa los efectos erosivos que se generan en los cauces de los ríos que componen la cuenca, cabe resaltar que si en las zonas de cabecera el manejo de las aguas es ineficiente en las zonas denominadas valles se generaran efectos de inundación y afectación en las fajas marginales que componen el cauce de los ríos. (Gámez, 2009, pág. 46)

Zonas de emisión de acuíferos: En dicha zona se concentran las acumulaciones de agua y por ende se desarrollan las actividades humanas más relevantes como actividades forestales, pesqueras y otras. (Gámez, 2009)

Figura 3

Sectorización de una cuenca



Nota. División idealizada de una cuenca, identificando las actividades y características. (Briceño, 2020)

2.2.1.4. FUNCIONES DE LA CUENCA

Para Gámez (2009), una cuenca puede cumplir las siguientes funciones:

Función hidrológica: La funcionabilidad hidrológica se fundamenta en la captación de agua que se puede dar en los diferentes afluentes que recorren los cauces que componen las cuencas analizadas, con ello también se gestionan actividades de acopio de agua a partir de estructuras hidráulicas de embalse y la descarga de aguas.

Función ecológica: Dentro de los cauces que componen la cuenca se puede identificar la diversidad ecológica presente en su recorrido generando así interacciones entre calidad física y química en las aguas que recorren la cuenca, con la presencia de la biodiversidad en los cauces se originan ecosistemas.

Función ambiental: Dentro de las funciones que se pueden identificar que una cuenca puede funcionar como sumideros de CO₂, generando así un ambiente adecuado para el acopio de germoplasma, regulación de recarga hídrica, conservación de la biodiversidad y la integración y la generación de la diversidad en la composición de los suelos.

Función socioeconómica: Zona de suministro de recursos naturales con la finalidad de mejorar el desarrollo de actividades de producción económica que sustenta a la población circundante y genera un área para el desarrollo cultural de la población que habita en las zonas productivas de la cuenca.

2.2.1.5. ESTUDIOS RELACIONADOS CON LAS CUENCAS

En la investigación de una cuenca hidrológica no solo es necesario elaborar una caracterización topográfica y geomorfológica de la cuenca, sino que es necesario profundizar en las características que presenta la cuenca a partir de las necesidades que existan de acuerdo con la finalidad de la investigación. (Gámez, 2009) Siendo así por la practicidad se deben analizar los siguientes estudios:

Régimen climático: Dicha caracterización se realiza a partir del análisis de la información climática de los sensores que se encuentran dentro de la cuenca que se está analizando, una de estas informaciones puede ser la lectura de lluvias de las estaciones pluviométricas que se encuentra en la cuenca y con ellas estimar los valores.

Cobertura vegetal y uso de suelo: La presencia de vegetación en la cuenca caracterizada por la densidad y el tipo de vegetación presente puede determinar las características de calidad de agua y la capacidad de infiltración con la que cuenta la cuenca de interés, dicha caracterización adecuada del uso de suelos.

Levantamiento de suelo: Las características de suelo que presenta una cuenca representa información relevante a partir de la perspectiva de la identificación de texturas y exposiciones en las que se encuentra en los cauces o cerca de ellos que compone la cuenca, un análisis de suelo requiere de información cartográfica que caracterice cada una de las áreas que componen la cuenca o subcuenca analizada.

Caracterización física e hidrológica: Establecido e identificado el parteaguas de la cuenca analizada nace la necesidad de analizar la fisiografía de la cuenca, las alturas que la componen, los valores de pendiente y los valores de caracterización de avenidas y con ello identificar las características de tiempo y duración que genera el escurrimiento de las avenidas analizadas.

2.2.1.6. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS

Una caracterización de una cuenca se origina a partir de la localización geográfica de la cuenca, determinando así los límites coordinados en el que se encuentra la cuenca, la caracterización geográfica debe contener información topográfica como los cerros o valles que faciliten la identificación de la zona en la cual se delimite la cuenca. (Gámez, 2009), con ello se pueden identificar los siguientes parámetros:

Características geológicas: Dicha caracterización forma parte de la identificación física que se pueda realizar en la cuenca, este

tipo de características identifican las características que componen el suelo por ende clasifican la capacidad de escurrimiento de con la que cuenta la cuenca. (Gámez, 2009)

Tipo de suelo: El suelo y la cobertura vegetal juegan un papel importante en la identificación de características físicas de la cuenca debido a la necesidad de establecer un parámetro para el mejoramiento del aprovechamiento de las aguas que recorren sobre la cuenca, siendo el agua un participante activo en la formación de cuerpos rocosos y minerales que se generen en la cuenca. (Gámez, 2009)

Cobertura vegetal: La cobertura vegetal que presenta una cuenca es un componente físico que caracteriza a la cuenca a partir de la influencia importante que genera en el ciclo hidrológico generado en la cuenca analizada. Generalmente una cuenca común se compone por una gran diversidad de coberturas vegetales, esto influye directamente en la intercepción del agua. (Gámez, 2009)

En el proceso denominado como ciclo hidrológico genera una alteración dentro de los comportamientos de una cuenca con ello se pudo determinar que el proceso hidrológico que se genera dentro de la cuenca ocasiona una variación geomorfológica. (Gámez, 2009)

A partir de ello se pudo identificar las siguientes características morfológicas que componen a una cuenca:

Tamaño de cuenca: Se define como la superficie que abarca la cuenca a partir de la delimitación de la divisoria de la cuenca, generalmente el tamaño de una cuenca se cuantifica en km² y si son cuencas con superficie pequeña se utiliza las hectáreas como unidades de medición. Generalmente la delimitación de una cuenca hidrológica se elabora a partir de información satelital recolectada y con un software de procesamiento GIS ya que esta combinación agiliza el proceso de delimitación manual que toma un periodo de tiempo considerable.

La extensión del área de una cuenca tiene un impacto considerable en la determinación del escurrimiento superficial debido a que un incremento en el área de la cuenca incrementa los valores de volumen escurrido, aumentado a su vez el escurrimiento máximo dentro de la cuenca. (Gámez, 2009)

Tabla 1

Clasificación de cuencas por su área

Clasificación	Área (km2)
Pequeña	Menor a 50
Mediana	Entre 50 a 150
Grande	Mayor a 150

Nota. Clasificación estimada a partir de los valores del área. (Aparicio, 1992)

Forma de la cuenca: La forma de la cuenca representa un importante parámetro dentro de la caracterización de los volúmenes de esorrentía que presenta una cuenca, debido a que una cuenca con una superficie pequeña y una forma redondeada presentará una mayor velocidad frente a un escurrimiento a comparación de una cuenca alargada que le tomará más tiempo en escurrir los caudales al punto de salida. (Gámez, 2009)

El coeficiente de compacidad que caracteriza a una cuenca se determina a partir de la siguiente expresión matemática:

$$K = 0.28P/A^{0.5}$$

Tabla 2

Clasificación de forma de cuencas

Índice de compacidad	Clasificación
Entre 1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
Entre 1.26 1.50	De oval redonda a oval oblonga
Entre 1.51 a 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Nota. Clasificación a partir del valor de compacidad de una cuenca. (Aparicio, 1992)

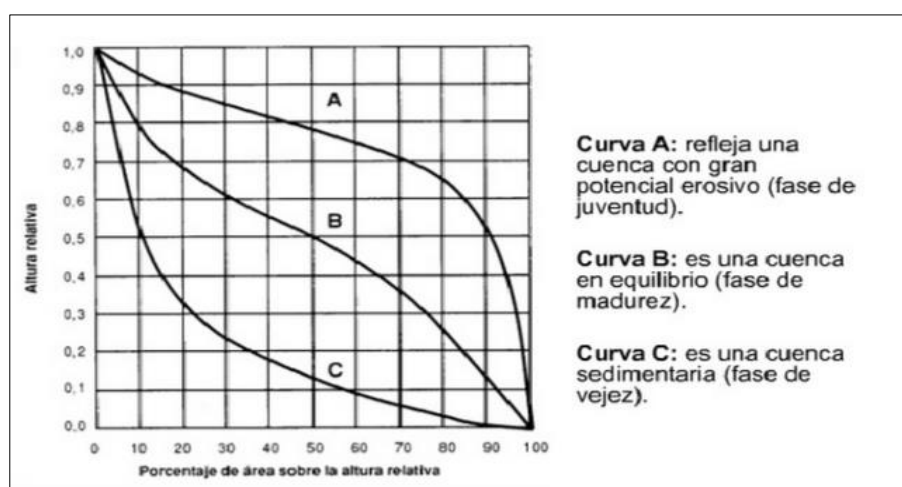
Elevación media de la cuenca: La característica de elevación de la cuenca genera cualidades de temperatura en la cuenca, dicha característica se convierte en relevante a partir de la perspectiva de la evaporación en la cuenca, es así como la elevación media de la

cuenca se caracteriza como un parámetro importante en la caracterización.

La elevación media de la cuenca viene acompañada con la caracterización de la curva hipsométrica, dicha curva caracteriza al relieve de la cuenca, adicionalmente a ello se puede determinar que zonas con pendientes fuertes caracteriza a la cuenca como cuencas con un alto riesgo a ocasionarse inundaciones. (Chow, 1995)

Figura 4

Curva hipsométrica



Nota. Se puede caracterizar a una cuenca como joven, madurez y vejez de acuerdo a la composición del terreno de la cuenca. (Villón, Hidrología, 2002; Aparicio, 1992)

Pendiente media de la cuenca: Esta característica de la cuenca puede evidenciar la velocidad de escurrimiento superficial en el momento dado de la caracterización de la cuenca. También con la caracterización de la pendiente media se puede estimar las capacidades erosivas de la cuenca a partir de los flujos que recorren la cuenca. (Gámez, 2009)

Tabla 3*Clasificación de pendientes*

Pendiente media %	Característica
De 0 a 2	Plano
De 2 a 5	Suave
De 5 a 10	Accidentado medio
De 10 a 15	Accidentado
De 15 a 25	Fuertemente accidentado
De 25 a 50	Escarpado
Mayor a 50	Muy escarpado

Nota. Características de cuenca a partir de la pendiente media. (Aparicio, 1992)

2.2.1.7. CARACTERÍSTICAS RELATIVAS POR LA RED DE DRENAJE

Una característica relevante en la caracterización de una cuenca son las redes de drenaje que conforman la superficie de la cuenca analizada, una cuenca con altas ramificaciones de drenaje comprende un alto grado de escurrimiento en la cuenca teniendo en cuenta las características de del suelo que caracterizan a la cuenca. (Gámez, 2009)

La caracterización de las redes de drenaje se puede elaborar a partir de los siguientes parámetros:

- Las clases de corrientes
- El orden de las corrientes
- La longitud de los tributarios
- La densidad de corriente
- La densidad de drenaje
- La pendiente del cauce principal

2.2.2. ESCURRIMIENTO

El efecto de escurrimiento se fundamenta desde la caracterización del agua que se origina con las precipitaciones que recircula por la cuenca de manera superficial o subterránea y que finalmente llega a un cauce que finalmente son drenados del cauce. La caracterización de la precipitación que llega al suelo puede ser interceptada o evaporada, el agua que circula de las precipitaciones recorre diversos procesos hasta

poder regresar a ser evaporad y reiniciar el denominado Ciclo Hidrológico. (Aparicio, 1992)

La identificación de los recorridos se puede caracterizar de la siguiente forma:

- Escurrimiento Superficial
- Escurrimiento Subsuperficial
- Escurrimiento Subterráneo

2.2.2.1. FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Cuando la precipitación generada en la cuenca analizada llega a alcanzar la superficie del suelo se puede infiltrar en el suelo hasta llegar al punto de saturar el suelo. Luego de ello se originan los embalses de agua en las zonas de depresión del terreno y paralelamente las láminas de agua comienzan a escurrirse en el terreno circundante. Con este concepto se puede definir a el flujo en la superficie del terreno como el agua que escurre y no llegan a las zonas de los cauces definidos, en otras palabras, al escurrimiento que no desaparece en dos eventos consecutivos de tormentas. (Aparicio, 1992, pág. 27)

Si el escurrimiento en el recorrido que hace hasta llegar a la corriente más próxima, el agua escurrida se sigue infiltrando y adicionalmente se evaporan volúmenes menores de escurrimiento, al llegar a un cauce con características bien se puede decir que es un escurrimiento en corrientes. (Aparicio, 1992, pág. 29)

Caracterizado e identificado el flujo de escurrimiento sobre el terreno se genera el escurrimiento superficial, parte de las precipitaciones que se infiltran en el terreno y presenta un escurrimiento cercano al suelo y de forma paralela en aproximación se denomina escurrimiento subsuperficial. Por otro lado, las precipitaciones infiltradas a nivel freático y que discurren en esa capa se denominan escurrimiento subterráneo. (Aparicio, 1992)

En la idealización de los 3 tipos de escurrimiento se puede decir que para un escurrimiento superficial este llega de manera más rápida hasta el punto de salida de la cuenca, debido a estas características este tipo de escurrimiento se relacionan de manera

directa con la generación de tormentas particulares y a partir de ello se puede decir que se originan a partir de las precipitaciones en exceso o precipitaciones efectivas generadas en la cuenca. En la caracterización del escurrimiento subterráneo se pudo determinar que es el tipo de escurrimiento que más tiempo tarda en salir en el punto de salida de la cuenca, con ello es difícil caracterizar a este tipo de escurrimiento con una determinada tormenta ocurrida dentro de la cuenca, en casos particulares que la cuenca presente una superficie pequeña y que su suelo sea permeable, una cuenca con dichas características si facilita la caracterización del escurrimiento subterráneo. (Cullman, 2019)

A causa de que este tipo de escurrimiento se genera por debajo del nivel freático esto caracteriza al escurrimiento como un escurrimiento base. (Aparicio, 1992)

Con dichos conceptos planteados se pudo determinar que los escurrimientos de naturaleza subsuperficial se encuentran en el medio de las características presentadas anteriormente ya que estas pueden ser demasiado rápidas como las superficiales o demasiado lentas como las subterráneas, esta característica la toman a partir de las condiciones de permeabilidad que presentan los estratos de la cuenca analizada a partir de esto se puede decir que la caracterización de este tipo de escurrimientos es demasiado complicado, generalmente de acuerdo a las velocidades que adopta el escurrimiento se puede agrupar con el escurrimiento superficial o subterráneo. (Aparicio, 1992)

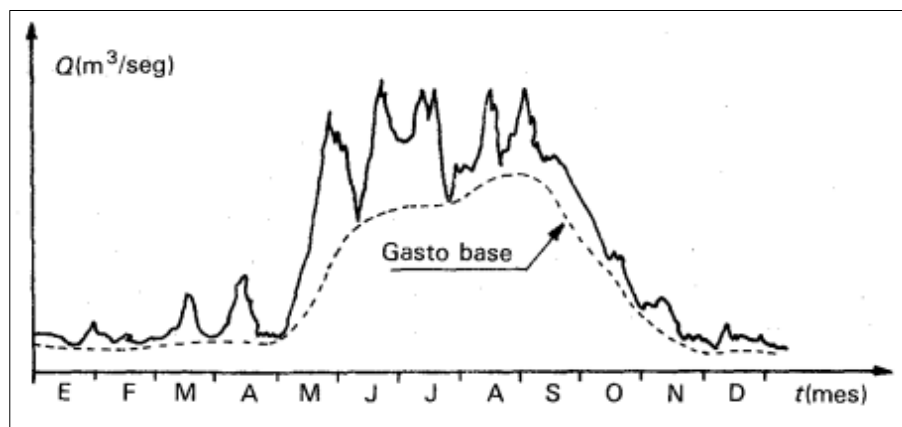
La caracterización del escurrimiento se puede dar de manera idealizada como se hizo en los anteriores párrafos pero estos tipos de escurrimiento en la realidad no se ajustan a lo planteado ya que un escurrimiento puede empezar como un flujo superficial y terminar infiltrándose en su recorrido o a la inversa en la caracterización del escurrimiento lo importante es la determinación de la rapidez con la cual la cuenca responde frente a una tormenta determinada, pues con ello se puede calcular las

magnitudes de las avenidas que afecta a la cuenca analizada.
(Aparicio, 1992)

2.2.2.2. ANÁLISIS DE HIDROGRAMA

Figura 5

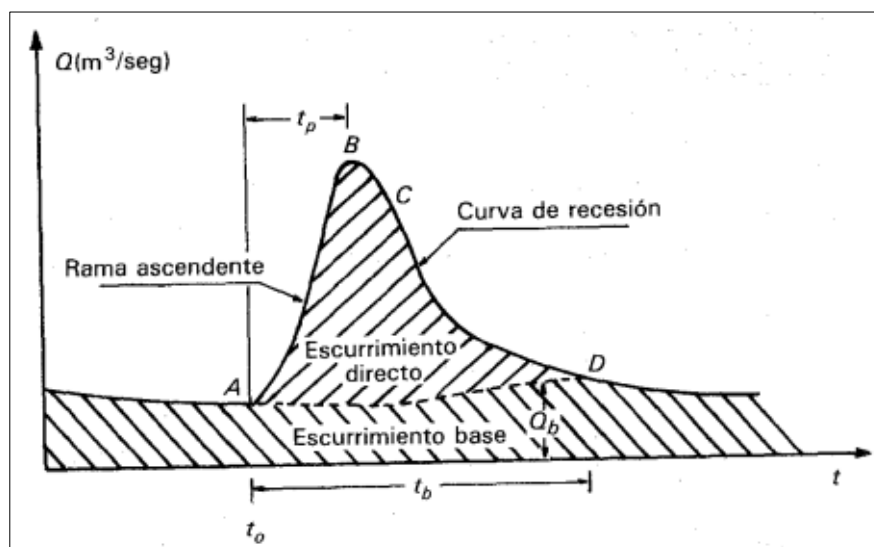
Hidrograma anual



Nota. Cuenca idealizada determinando caudales de gasto base. (Aparicio, 1992)

Figura 6

Hidrograma de tormenta



Nota. Valores de escurrimiento idealizado para una cuenca. (Aparicio, 1992)

Un hidrograma se define a partir de la necesidad del cálculo del gasto que se genera en un determinado cauce, si se requiere elaborar un análisis de gasto que se genera en una determinada sección transversal del cauce se puede generar una gráfica como la presentada en la Figura 5.

Por otro lado, si la caracterización del gasto se origina a partir de la ocurrencia de una sola tormenta la curva de escurrimiento se genera como se muestra en la Figura 6.

En general los hidrogramas varían de acuerdo con el tipo de cuenca y a la intensidad de la tormenta que se quiera representar. (Aparicio, 1992, pág. 30). En general de un hidrograma se puede identificar las siguientes partes:

- Punto de levantamiento: Punto en el cual los volúmenes de agua que se generan a partir de una tormenta empiezan a llegar a la zona de desembocadura de la cuenca. En la identificación del punto de levantamiento se tuvo en consideración los factores de superficie de la cuenca, sistema de drenaje y características de suelo, etc. (Aparicio, 1992)
- Pico: Valor de gasto máximo generado por la tormenta, generalmente es uno de los puntos más relevantes del hidrograma con fines de diseño. (Aparicio, 1992)
- Punto de inflexión: Punto característico de cuando el flujo termina de recorrer el terreno, y generalmente del punto en adelante el agua de la cuenca solo escurre por los canales. (Aparicio, 1992)
- Final de escurrimiento directo: Este punto evidencia el escurrimiento subterráneo, generalmente caracteriza como el punto de mayor curvatura, generalmente no se identifica de manera sencilla. (Aparicio, 1992)

2.2.3. PRECIPITACIÓN

Se define a las precipitaciones como la forma de la humedad que se origina en las nubes y cae hasta la superficie del suelo de acuerdo con esta definición se puede clasificar a las definiciones como:

- Lluvias
- Granizadas
- Garúas
- Nevadas

Caracterizando a las precipitaciones desde la perspectiva de la hidrología se define como la fuente primaria de agua en la superficie terrestre, también la hidrología realiza las mediciones y análisis de sus volúmenes. (Villón, 2002)

2.2.3.1. GÉNESIS DE PRECIPITACIÓN

Generalmente una nube se compone por pequeñas nubes estas se mantienen en estado estable por sus pequeñas dimensiones (Villón, 2002), generalmente las gotas presentan las siguientes características:

- Diámetro próximo de las gotas 0.02 mm.
- Distancias entre las gotas 1 mm.
- Masa de las gotas entre 0.5 a 1 gr/m³.

2.2.3.2. TIPOS DE PRECIPITACIÓN

- Llovizna: Gotas de pequeño diámetro entre 0.1 a 0.5 mm. generalmente presentan bajas velocidades de caída.
- Lluvia: Este tipo de precipitaciones presentan gotas de diámetro mayor a 0.5 mm.
- Escarcha: Capa de hielo generalmente transparente, con contenido de bolsas de aire.
- Nieve: Este tipo de precipitación se compone por cristales de hielo blanco transparente.
- Granizo: Precipitación de forma de bolsas y con una forma irregular de hielo, el diámetro de la precipitación varía entre 5 a 125 mm.

2.2.3.3. CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIONES

- Convectivas: En tiempo de altas temperaturas el agua se evapora formando masas de vapor de agua elevándose hasta llegar a una altura de enfriamiento. (Villón, 2002)
- Orográfica: Se genera a partir de que el vapor de agua es empujado a zonas montañosas en donde se elevan hasta condensarse. (Villón, 2002)

- **Ciclónica:** Se genera a partir a partir del encuentro de 2 masas de aire cada una con diferente temperatura, al encuentro de las dos masas se elevan hasta generar el enfriamiento y su condensación. (Villón, 2002)

Figura 7

Tipos de precipitación



Nota. Proceso para la generación de lluvias en diferentes entornos. (Balladares, 2022)

2.2.3.4. LECTURA DE PRECIPITACIONES

- **Pluviómetro:** Este instrumento permite hacer la lectura de la columna de agua en la probeta, con este instrumento generalmente se acostumbra a generar lecturas de 24 horas. (Villón, 2002)
- **Pluviógrafo:** Las lluvias se registran las alturas de la lluvia en función al tiempo, dicha información facilita la lectura de intensidades en determinados instantes de lectura. (Villón, 2002)

2.2.3.5. ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIONES

Debido a que las lecturas se dan en un punto en específico la lectura es variable, aunque la estación se encuentre en zonas cercanas. (Monsalve, 1999)

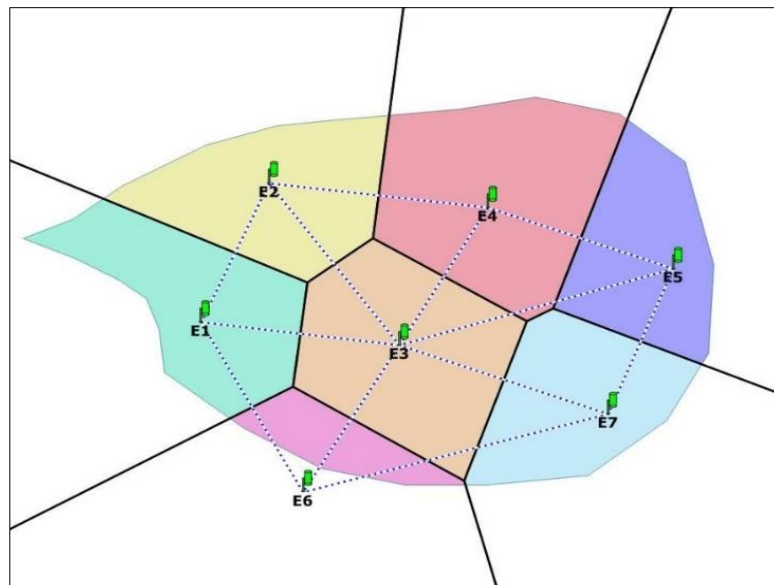
- **Promedio aritmético:** Se determina a partir del promedio aritmético, lo cual se estima a partir de la siguiente ecuación.

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

- **Polígonos de Thiessen:** Se determina a partir de la delimitación de cada una de las estaciones cercanas a la cuenca.
- **Isoyetas:** Se genera a partir de las estaciones cercanas con lo cual se elaboran información similar a las curvas de nivel, generando así precipitaciones en una zona específica de la cuenca. (Villón, 2002)

Figura 8

Thiessen



Nota. Estimación de polígonos de Thiessen de una cuenca idealizada. (Balladares, 2022)

2.2.4. HIDROGRAMAS

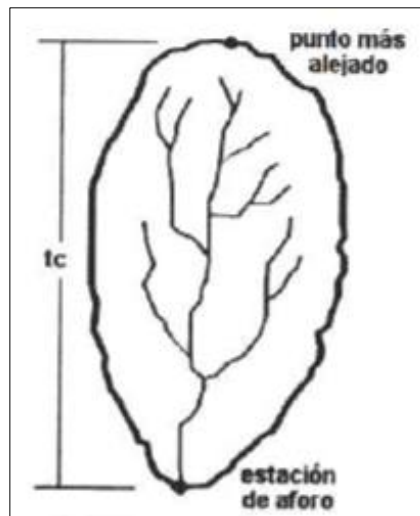
Inicialmente para la caracterización de los hidrogramas se requiere definir algunos conceptos:

2.2.4.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se denomina al tiempo de concentración como al tiempo que requiere para que una gota de agua que cae en la zona más alejada de la cuenca demora en llegar al punto de salida de la cuenca. (Villón, 2002)

Figura 9

Esquema del tiempo de concentración



Nota. Esquema idealizado del recorrido de la gota para el tiempo de concentración. (Villón, 2002)

2.2.4.2. TIEMPO PICO

Se define como el tiempo que pasa desde que inicia el escurrimiento hasta que llega al pico del hidrograma.

2.2.4.3. TIEMPO BASE

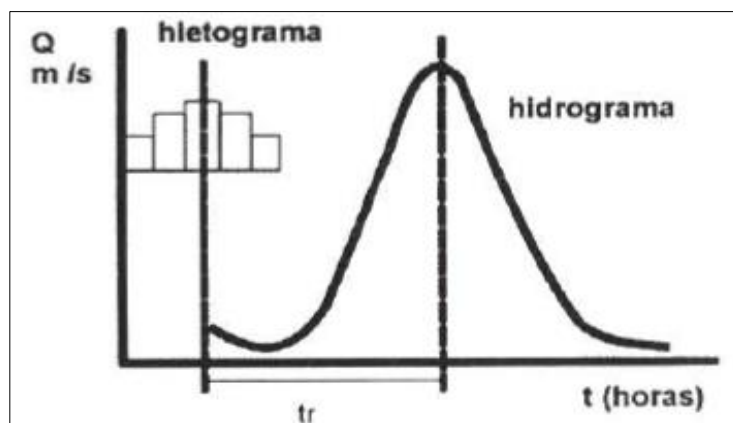
Tiempo que comprende desde el inicio y el final del escurrimiento directo.

2.2.4.4. TIEMPO DE RETRASO

Tiempo que comprende los instantes entre el centro de gravedad de la tormenta hasta el centro de gravedad del hidrograma.

Figura 10

Tiempo de retraso

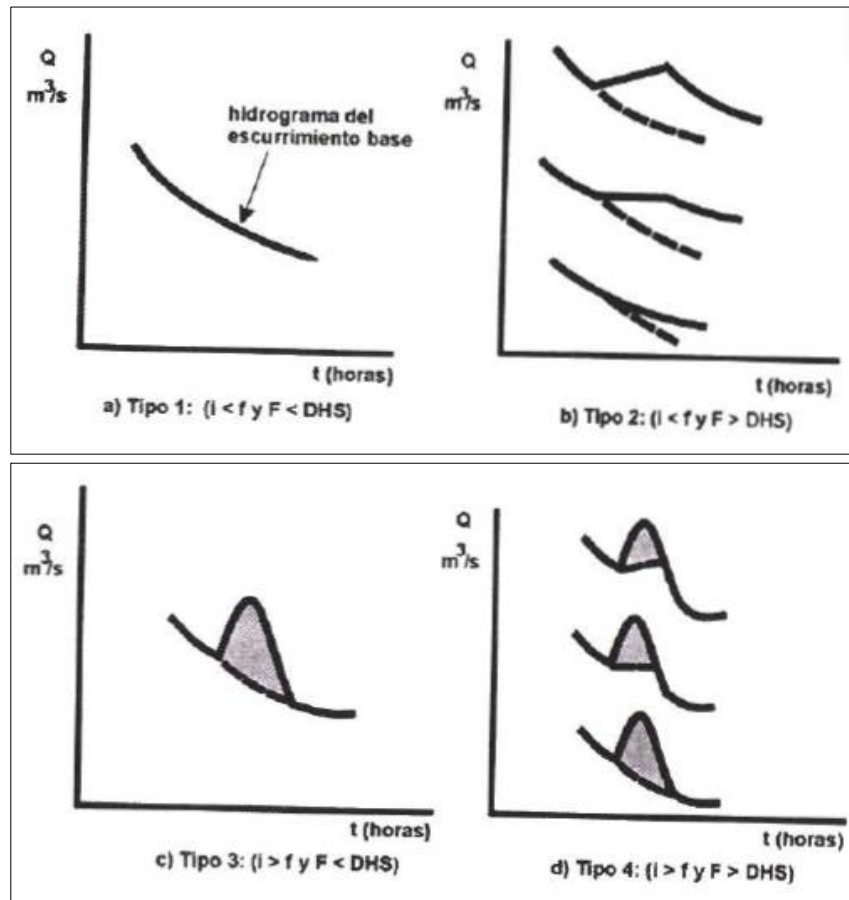


Nota. Idealización del tiempo de retraso de una cuenca idealizada. (Villón, 2002)

2.2.4.5. TIEMPO DE HIETOGRAMAS

Figura 11

Tipos de hidrogramas



Nota. Clasificación de los hidrogramas dependiendo de la tormenta y características. (Villón, 2002)

Tipo I: Los valores de intensidad de lluvia son menores que los valores de la capacidad de infiltración, los valores de la infiltración total son menores que los valores de la humedad de suelo. Por ello no genera un escurrimiento directo y no genera recarga subterránea.

Tipo II: Los valores de intensidad son menores que la capacidad de infiltración, pero este a su vez es mayor que el valor de deficiencia de humedad que presenta el suelo.

Tipo III: El valor de la intensidad es mayor que la capacidad de infiltración, los valores de infiltración son menores a la deficiencia de humedad del suelo.

Tipo IV: Los valores de intensidad para la cuenca son mayores a la capacidad de infiltración y los valores de la infiltración son mayores a la deficiencia de humedad que presenta el suelo.

2.2.4.6. ANÁLISIS DE HIDROGRAMA

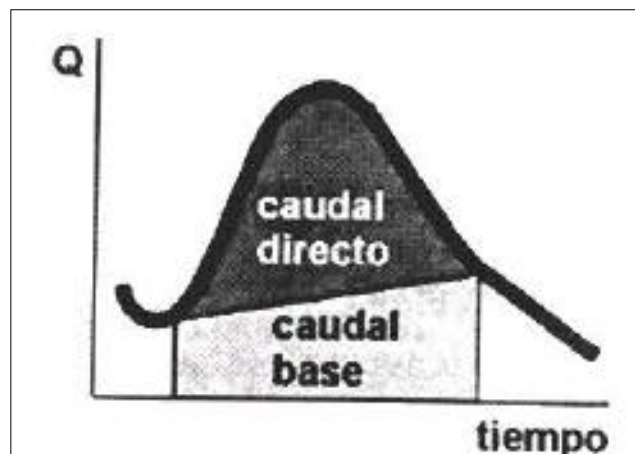
Para Villón (2002), el análisis del escurrimiento se basa en la siguiente expresión matemática:

$$Q = Qd + Qb$$

Cabe aclarar que no todos los cauces recepcionan aguas subterráneas y no todas las precipitaciones generan un escurrimiento directo. En la caracterización de un hidrograma se requiere tratar los valores de escurrimiento directo de manera separada con los valores de escurrimiento base especialmente en las problemáticas que involucran tiempos cortos de análisis.

Figura 12

Escurrimiento base y directo



Nota. Hidrograma idealizado en donde se evidencia el escurrimiento directo con los valores de caudal base. (Villón, 2002)

2.2.4.7. HIDROGRAMA UNITARIO

El hidrograma unitario es una representación gráfica y matemática de la respuesta de una cuenca hidrográfica ante una unidad de precipitación constante y distribuida en el tiempo. Esta herramienta hidrológica es esencial para comprender la relación entre la precipitación y la esorrentía en una cuenca, lo que facilita el análisis de eventos de lluvia y la predicción de caudales en diferentes escenarios. (Villón, 2002)

Respuesta Temporal: El hidrograma unitario captura la respuesta temporal de una cuenca hidrográfica, mostrando cómo la esorrentía responde a la precipitación a lo largo del tiempo. (Villón, 2002)

Patrones de Flujo: Permite identificar los patrones de flujo, indicando cuándo y en qué magnitud ocurre la esorrentía máxima en relación con el evento de precipitación. (Villón, 2002)

Unidad de Precipitación: Se construye considerando una unidad de precipitación uniforme aplicada de manera constante en toda la cuenca, lo que simplifica el análisis y la comparación entre diferentes eventos. (Villón, 2002)

Análisis de Diseño: Utilizado en ingeniería hidrológica para el diseño de estructuras como embalses, canales y sistemas de drenaje, ayudando a estimar la magnitud de caudales máximos. (Villón, 2002)

2.2.4.8. COMPONENTES DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Ramo Ascendente: Representa la fase inicial del hidrograma, mostrando la acumulación de esorrentía antes del pico de caudal. (Villón, 2002)

Pico del Hidrograma: Indica el punto máximo de la respuesta de la cuenca, correspondiente al periodo de tiempo en el que la esorrentía alcanza su valor máximo. (Villón, 2002)

Ramo Descendente: Representa la disminución gradual del caudal después del pico, reflejando la disipación de la esorrentía a medida que el evento de lluvia concluye. (Villón, 2002)

2.2.4.9. FACTORES QUE INFLUYEN

Características de la Cuenca: La forma, tamaño, pendiente y uso del suelo influyen en la respuesta de la cuenca al evento de precipitación. (Villón, 2002)

Tipo de Suelo: La capacidad de infiltración del suelo afecta la cantidad de agua que contribuye a la esorrentía. (Villón, 2002)

Patrones de Precipitación: La distribución temporal y espacial de la precipitación influye en la forma y magnitud del hidrograma. (Villón, 2002)

2.2.5. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS HIDROLÓGICAS

2.2.5.1. PERIODO DE RETORNO

Desde una perspectiva estadística, el periodo de retorno puede ser conceptualizado como la reciprocidad de las probabilidades de excedencia:

$$T = \frac{1}{1 - P(X \geq x)}$$

Tabla 4

Obras vs. Periodo de retorno

Tipo de estructura	Periodo de retorno
Puente sobre carretera importante	50 - 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarilla sobre camino secundario	5 - 10
Drenaje lateral de los pavimentos donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de duración	1 - 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 - 10
Drenaje agrícola	5 - 10
Muros de encauzamiento	2 - 50

Nota. Tiempos de concentración de acuerdo a estructura. (Villón, 2004)

2.2.5.2. FACTOR DE RIESGO

Esta noción se formula a partir del valor utilizado en el diseño de estructuras, teniendo en cuenta un margen de seguridad frente a eventos inesperados. Este valor puede calcularse de forma matemática de la siguiente manera:

$$P(X < x \text{ cada año en } N \text{ años}) = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N = F(x)^N$$

2.2.5.3. DISTRIBUCIÓN NORMAL

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{s}\right)^2\right]}$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{s}\right)^2\right]}$$

2.2.5.4. DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_y}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]}$$

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]}$$

$$F(y) = \int_{-\infty}^y f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} \int_{-\infty}^y e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]}$$

2.2.5.5. DISTRIBUCIÓN GAMA DE 3 PARÁMETROS

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{y-1} e^{-\frac{x-x_0}{\beta}}}{\beta \gamma \Gamma(y)}$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{y-1} e^{-\frac{x-x_0}{\beta}}}{\beta \gamma \Gamma(y)} dx$$

2.2.5.6. DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}$$

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}}$$

2.2.5.7. CHI CUADRADO

$$x_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{\theta_i - e_i}{e_i} \rightarrow \sum_{i=1}^k \theta_i = \sum_{i=1}^k e_i = N$$

2.2.5.8. PRUEBA DE AJUSTE SMIRNOV-KOLMOGOROV

$$D = \max |F(x) - P(x)|$$

2.2.6. CAUDALES MÁXIMOS

2.2.6.1. MÉTODO DIRECTO

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Tabla 5*Valores de rugosidad de Manning*

Superficie	Condición de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medias	Malas
Tubería de hierro forjado negro comercial	0.012	0.013	0.014	0.015
Tubería de fierro forjado galvanizado comercial	0.013	0.014	0.015	0.017
Tubería de latón o vidrio	0.009	0.010	0.011	0.013
Tubería de acero remachado en espiral	0.013	0.015	0.017	-
Tubería de barro vitrificado	0.010	0.013	0.015	0.017
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.012	0.014	0.017
Tabique vidriado	0.011	0.012	0.013	0.015
Tabique con mortero de cemento	0.012	0.013	0.015	0.017
Superficie de cemento pulido	0.010	0.011	0.012	0.013
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013	0.015
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015	0.016
Tuberías de duela	0.010	0.011	0.012	0.013
Acueductos de tablón	Perfectas	Buenas	Medias	Malas
Labrado	0.010	0.012	0.013	0.014
Sin labrar	0.011	0.013	0.014	0.015
Con astillas	0.012	0.015	0.016	-
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014	0.016	0.018
Superficie de mampostería en seco	0.025	0.030	0.033	0.035
Acueducto semicirculares metálicos lisos	0.011	0.012	0.013	0.015
Acueductos semicirculares metálicos corrugados	0.0225	0.025	0.0275	0.030
Canales y zanjas	Perfectas	Buenas	Medias	Malas
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	-
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025	0.0275	0.030
Degradados en tierra	0.025	0.0275	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra	0.025	0.0275	0.030	0.033

Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhierbados	0.025	0.030	0.035	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales	Perfectas	Buenas	Medias	Malas
Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
Igual al anterior con presencia de hierba y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045
Igual al anterior, con poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente	0.040	0.045	0.050	0.055
Igual que el tercero, algo de hierbas y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
Igual que el cuarto, con secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
Playas muy enyerbadas	0.075	0.100	0.125	0.150

Nota. Caracterización de número de curva por características de suelo. (Villón, 2004)

2.2.6.2. MÉTODO RACIONAL

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

2.2.6.3. MÉTODO MAC MATH

$$Q = 0.0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

2.2.6.4. MÉTODO DE BURKLI – ZIEGER

$$Q = 0.022CIA^4 \sqrt{\frac{S}{A}}$$

2.2.6.5. FÓRMULA DE KRESNIK

$$Q = \alpha \frac{32A}{(0.5 + \sqrt{A})}$$

2.2.6.6. MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Tabla 6

Grupo hidrológico de suelo

Grupos de suelos	Descripción
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Nota. Identificación generalizada de los grupos de suelo. (Villón, 2004)

De esto se puede llegar a determinar una interpretación matemática, que se presente de la siguiente forma:

$$Q = \frac{[N(P + 50.8) - 5080]^2}{N[N(P - 203.2) + 20320]}$$

2.2.6.7. MÉTODO DE GUMBEL

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

2.2.6.8. MÉTODO DE NASH

$$Q_{m\acute{a}x} = a + b \log \log \frac{T}{T - 1}$$

2.2.7. HEC-HMS

El HEC-HMS, acrónimo de Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System, es una herramienta avanzada y especializada desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este software se ha consolidado como una solución integral para el modelado hidrológico, proporcionando a los profesionales en ingeniería hidráulica y ciencias del agua una plataforma robusta para simular y analizar eventos hidrológicos.

2.2.7.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Modelado preciso: HEC-HMS permite la creación de modelos hidrológicos precisos que simulan el comportamiento de las cuencas hidrográficas bajo diversas condiciones meteorológicas y topográficas.

Interfaz intuitiva: Su interfaz gráfica intuitiva facilita la construcción y modificación de modelos, permitiendo a los usuarios trabajar eficientemente en la representación visual de la cuenca.

Variabilidad climática: El software incorpora herramientas para considerar la variabilidad climática, permitiendo la incorporación de datos meteorológicos y patrones de precipitación para evaluar el impacto en la hidrología.

Análisis hidrológico completo: HEC-HMS realiza análisis hidrológicos detallados, incluyendo la generación de hidrogramas, la estimación de caudales, y la simulación de eventos de lluvia, brindando una visión completa del comportamiento de la cuenca.

2.2.7.2. APLICACIONES

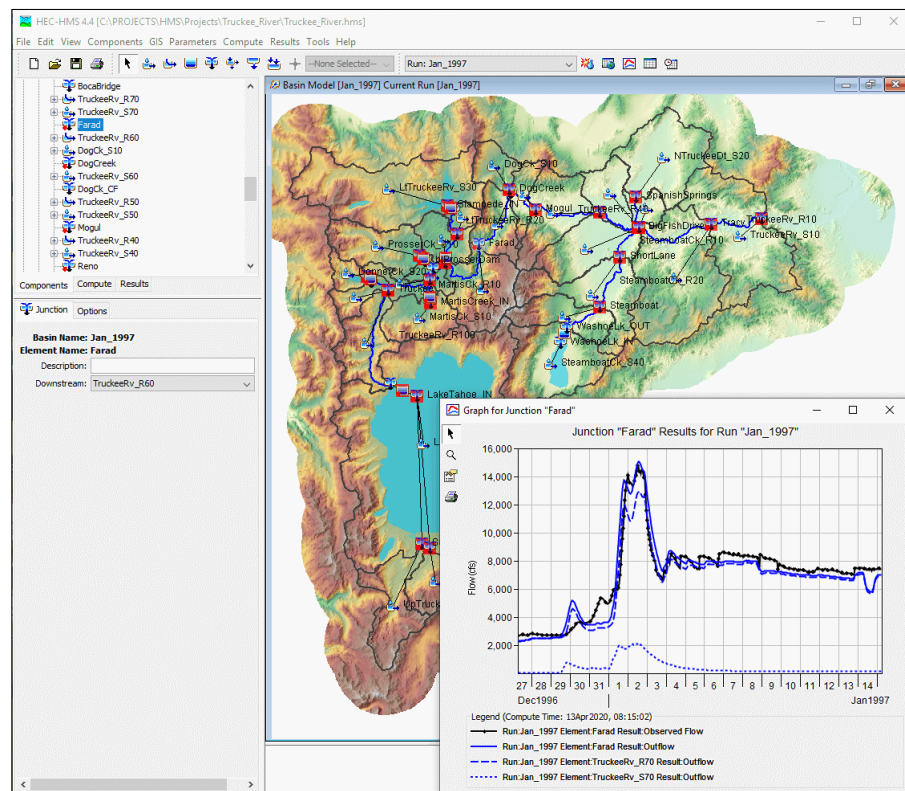
Diseño de Infraestructuras: Ampliamente utilizado en el diseño de infraestructuras hidráulicas como embalses, canales y sistemas de drenaje, optimizando la planificación y el dimensionamiento de estas estructuras.

Gestión de Recursos Hídricos: Facilita la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos al proporcionar información precisa sobre la disponibilidad y distribución del agua en la cuenca.

Evaluación de Riesgos: HEC-HMS es instrumental en la evaluación de riesgos asociados con eventos hidrológicos extremos, permitiendo una planificación eficaz para situaciones de inundaciones o sequías.

Figura 13

Interfaz HEC-HMS



Nota. Modelo hidrológico para la cuenca Farad. (Gutiérrez, 2022)

2.2.8. ARCGIS

ArcGIS, desarrollado por Esri, es un Sistema de Información Geográfica (SIG) líder en el mundo que proporciona herramientas avanzadas para la captura, gestión, análisis y presentación de datos espaciales. Este software se ha convertido en un estándar en la industria para el manejo de información geoespacial, permitiendo a los usuarios realizar análisis espaciales complejos y tomar decisiones informadas basadas en la ubicación.

2.2.8.1. CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Interfaz Intuitiva y Potente: La interfaz de usuario intuitiva de ArcGIS facilita la creación y edición de mapas, permitiendo a los usuarios realizar análisis espaciales con facilidad.

Análisis Espacial Avanzado: ArcGIS ofrece una amplia gama de herramientas para el análisis espacial, incluyendo consultas de atributos, superposición de capas, modelado de terreno y análisis de redes.

Visualización Impactante: Permite la creación de mapas visuales impactantes con capacidades de representación cartográfica avanzada, facilitando la comunicación efectiva de los resultados del análisis.

Integración de Datos Multitemporales: La capacidad de integrar datos de múltiples períodos temporales permite un análisis histórico y una comprensión más completa de los cambios en el espacio geográfico.

2.2.8.2. APLICACIONES

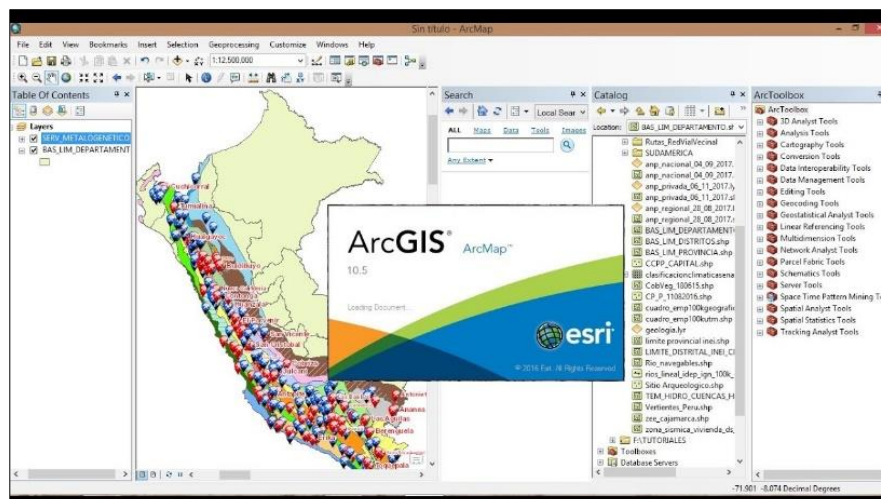
Planificación Urbana y Regional: Utilizado para planificación urbana y regional, ArcGIS facilita el análisis de patrones de desarrollo, gestión de recursos y toma de decisiones en el diseño de comunidades sostenibles.

Gestión de Recursos Naturales: Aplicado en la gestión de recursos naturales, ArcGIS permite el monitoreo de cambios en el medio ambiente, evaluación de la biodiversidad y planificación de conservación.

Seguimiento de Salud Pública: En el ámbito de la salud pública, ArcGIS es valioso para el seguimiento de enfermedades, análisis de patrones epidemiológicos y planificación de servicios de atención médica.

Figura 14

Interfaz ArcGIS



Nota. Interfaz del ArcGIS de delimitación territorial. (Estrada, 2022)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. HEC-HMS: HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelo de la cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. (Estrada, 2012)
2. ArcGIS: Software de análisis SIG, un SIG (GIS en inglés) es un sistema de información especializado en el manejo y análisis de información geográfica geoespacial. (Santiago, 2008)
3. Recolección de datos longitudinal: Es un estudio observacional que recoge datos cualitativos y cuantitativos y se encarga de emplear medidas continuas o repetidas para dar seguimiento a individuos particulares durante un período prolongado de tiempo, a menudo años o décadas. (Ortega, 2024)
4. Medición in Situ: Los ensayos in situ son aquellos análisis de parámetros que se realizan en el mismo lugar donde se capta la muestra, para obtener un resultado real y válido. Para ello se requiere del equipo y personal profesional. (Huilca, 2021)

5. Topografía: La topografía es la ciencia que determina las dimensiones y el contorno (características tridimensionales) de la superficie de la tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones. Define también las líneas y niveles que se necesitan para la construcción de edificios, caminos, presas y otras estructuras. Además de estas mediciones en campo, la topografía incluye el cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de los diagramas y planos necesarios. (Gutiérrez, 2022)
6. Socavación: La socavación puede definirse como la excavación y transporte de material del lecho y de las orillas de los arroyos como resultado de la acción erosiva del propio flujo de agua. Aunque la socavación parece un concepto simple, toma varias formas diferentes y puede ser desde un fenómeno natural a estar causado por cambios hechos por el hombre en un río. (Balladares, 2022)
7. Caudal de diseño: El caudal de diseño es la suma de los caudales máximo horario, caudal de infiltración y el caudal de conexiones erradas. El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño. (Gutiérrez, 2022)
8. Estructura hidráulica: Las infraestructuras hidráulicas son un conjunto de estructuras y sistemas que se utilizan para gestionar el agua, ya sea para almacenamiento, tratamiento, distribución o eliminación de aguas residuales. Estas infraestructuras están diseñadas para garantizar el acceso al agua potable y para controlar las inundaciones en zonas urbanas y rurales. También se utilizan para asegurar el suministro de agua para la agricultura, la generación de energía hidroeléctrica y para otros usos industriales. (Santiago, 2008)
9. Método de caudal estadístico: Deducen el caudal ecológico a partir de datos hidrológicos tratados mediante diversos mecanismos, caudales clasificados, porcentajes del caudal medio, análisis de series temporales, etc. (Gutiérrez, 2022)
10. Método de caudal empírico: Con los métodos empíricos la estima del caudal de mayor crecida prescinde de la adopción de una ley

de distribución de las probabilidades de máximas anuales de los caudales al colmo y los diferentes autores, de vez en vez, dando formulaciones que definen el sentido que puede ser un caudal no superable o que puede ser superada, pero solo raramente. (Cullman, 2019)

11. Cuenca hidrológica: Se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de esta que drena agua en un punto en común (Cullman, 2019)
12. Índice de forma: El Factor de Forma (F_f , adimensional), es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca, en tanto la forma de la cuenca hidrográfica afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. (Cullman, 2019)
13. Índice de compacidad: El Coeficiente de Compacidad (K_c , adimensional), o Índice de Gravelious, constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área - igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio (Mamani, 2021)
14. Índice de orden de Horton: Para definir el grado de ramificación de un curso de agua principal, (según Horton), se ha considerado el número de bifurcaciones que presentan sus tributarios, asignándole un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el curso principal hasta el encuentro con la divisoria de la cuenca. (Sandoval, 2022)
15. Índice de densidad de drenaje: Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (L_i) y el área total de la misma (A). Valores altos de densidad refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, es decir que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de los ríos. (Sandoval, 2022)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Se postula que los métodos estadísticos serán más precisos en la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael, en comparación con los métodos empíricos.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos estadísticos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos.

Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos empíricos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos.

Los valores de caudal obtenidos mediante métodos estadísticos generan tirantes más precisos y confiables en el río Huallaga, en comparación con los valores obtenidos mediante métodos empíricos, debido a que reflejan mejor las condiciones hidrológicas locales y los eventos extremos característicos del área de estudio.

Los valores de error asociados a la estimación de caudales en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael, son menores cuando se utiliza el método estadístico en comparación con el método empírico, debido a que el método estadístico se basa en el análisis de datos históricos que capturan mejor las variaciones hidrológicas locales.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Caudales de diseño.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Métodos estadísticos y empíricos.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Cuadro de operacionalización de problemas

Variables	Definiciones conceptuales	Definiciones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Instrumentos o técnicas
V. Independiente Métodos estadísticos y empíricos	Esta variable representa las diferentes estrategias y enfoques utilizados en la estimación de caudales de diseño, abarcando tanto métodos estadísticos basados en análisis matemáticos de datos históricos como métodos empíricos fundamentados en matemáticas y análisis observaciones y relaciones específicas del área de estudio. La elección entre métodos estadísticos y empíricos se convierte en el factor clave que será examinado para comprender cómo estas distintas aproximaciones afectan las estimaciones hidrológicas en el contexto específico del río	Se operacionaliza mediante la aplicación de dos métodos específicos para la estimación de caudales de diseño en el río Huallaga en el distrito de San Rafael. El método estadístico involucra el uso de modelos matemáticos y análisis estadístico de datos históricos de caudales, mientras que el método empírico se basa en fórmulas y relaciones específicas observadas localmente. La elección entre estos métodos se registra y codifica como variables binarias (0 para empírico, 1 para estadístico) en cada	Método Estadístico	Método de Regresión Lineal	m3/s	Ficha de M. Estadísticos.
				Análisis de Series Temporales.	m3/s	
				Método de Hidrograma Sintético.	m3/s	
			Método Empírico	Método Racional.	m3/s	Ficha de M. Empíricos.
				Método de Gumbel.	m3/s	
				Método de Clark.	m3/s	
				Método de Soil Conservation Service (SCS)	m3/s	
				Método de Kirpich.	m3/s.	

Variables	Definiciones conceptuales	Definiciones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Unidad	Instrumentos o técnicas
	Huallaga, ofreciendo así una estimación de caudal de visión detallada de su impacto en diseño. la planificación hidráulica.					
V. Dependiente	Esta variable representa los caudales estimados que se utilizan en el diseño de infraestructuras hidráulicas. La variabilidad en los métodos de estimación impacta directamente en la magnitud y la precisión de estos caudales de diseño, lo que constituye el foco central de la investigación. La comprensión detallada de cómo los métodos aplicados afectan esta variable dependiente es esencial para mejorar la planificación y el diseño hidráulico.	Operacionalmente, la variable dependiente se mide mediante la cuantificación de los caudales estimados para el diseño de infraestructuras hidráulicas en el río Huallaga en San Rafael. Estos caudales se calculan utilizando los métodos estadísticos y empíricos seleccionados, proporcionando valores específicos en metros cúbicos por segundo (m³/s) que representan las estimaciones para eventos de diseño en el curso de agua.	Magnitud de Caudales.	Caudal Máximo. Caudales para Diferentes Periodos de Retorno. Variabilidad de Caudales. Coeficiente de Variación. Error Absoluto. Error Relativo. Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE) Índice de Nash-Sutcliffe (NSE) Coeficiente de Correlación.	m3/s m3/s Adim. Adim. Adim. Adim. Adim.	Ficha de Caudales. Ficha de caracterización estadística. Ficha de caracterización estadística.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

Un enfoque de investigación cuantitativa es un método sistemático que utiliza mediciones numéricas y análisis estadísticos para recopilar, analizar e interpretar datos. Este tipo de investigación se centra en la objetividad, la medición precisa de variables y la aplicación de métodos estadísticos para establecer patrones, relaciones y generalizaciones en una población o muestra. (Hernández, 2014)

Ya que al elaborar la comparación de metodologías empíricas y estadísticas se requiere de la cuantificación de error y de los caudales analizados la investigación presentó un enfoque cuantitativo.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Un alcance correlacional en una investigación se refiere a la naturaleza y objetivo del estudio que se centra en la medición de las relaciones entre dos o más variables. En un diseño correlacional, el investigador busca entender si existe una relación estadística entre las variables sin manipularlas ni establecer una relación causal directa. En otras palabras, se busca determinar si existe una asociación entre las variables y en qué medida. (Hernández, 2014)

De las variables Métodos empíricos y estadísticos y Caudales de diseño se pudo identificar que el alcance de la investigación es correlacional esto debido a que si el método de estimación cambia el valor del caudal también cambiará.

3.1.3. DISEÑO

Un diseño de investigación no experimental se caracteriza por la ausencia de manipulación deliberada de variables independientes por parte del investigador. A diferencia de los diseños experimentales, donde se realizan intervenciones controladas para establecer relaciones causales, los diseños no experimentales se centran en la observación y

medición de variables tal como se presentan naturalmente. (Hernández, 2014)

En la investigación no se manipularon los valores de precipitación recolectada ya que si se alterarían los valores de precipitación las proyecciones de los caudales variarían de forma significativa incrementando el error en la estimación de caudales de diseño, es por ello que la investigación tiene un diseño no experimental.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que comparten características específicas y que son objeto de estudio en una investigación. Estos elementos conforman el grupo que el investigador pretende analizar y generalizar sus hallazgos. La población de investigación puede variar en tamaño y alcance, y su definición es esencial para la validez externa de los resultados de la investigación. (Hernández, 2014)

En la presente investigación se definió como población al cauce del Río Huallaga en el distrito de San Rafael.

3.2.2. MUESTRA

Subconjunto específico y representativo de la población de investigación que es seleccionado para participar en un estudio. En lugar de analizar a todos los elementos o individuos en una población, los investigadores utilizan una muestra para hacer inferencias sobre la totalidad de la población. (Hernández, 2014)

En la presente investigación se consideró como muestra a un tramo de 0.80 km aguas arriba a partir de la iglesia del distrito de San Rafael.

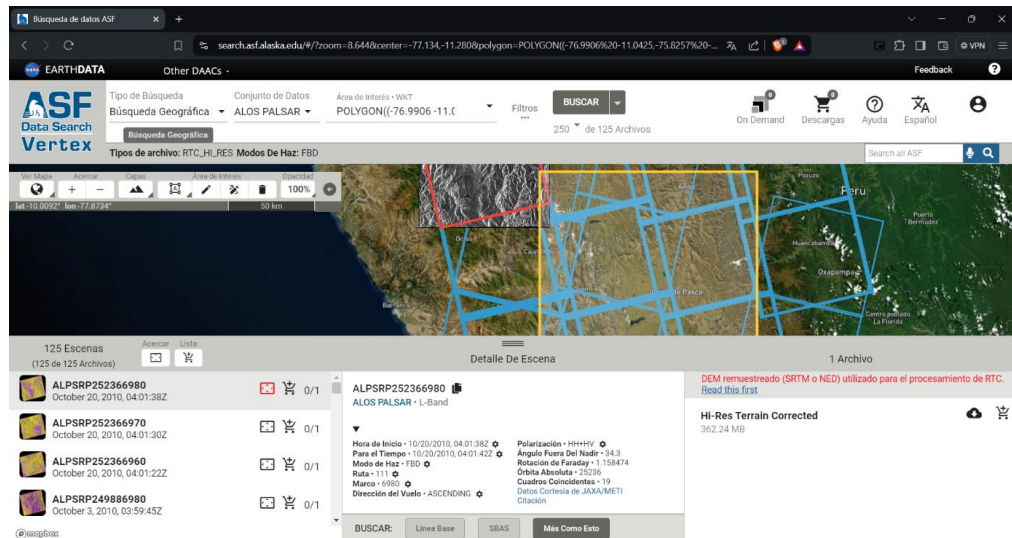
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La información de modelos de elevación digital fue obtenida del satélite ALOS PALSAR, la información obtenida fue procesada en el software ArcMap con la finalidad de obtener una delimitación precisa de la cuenca en el punto de aforo de interés.

Figura 15

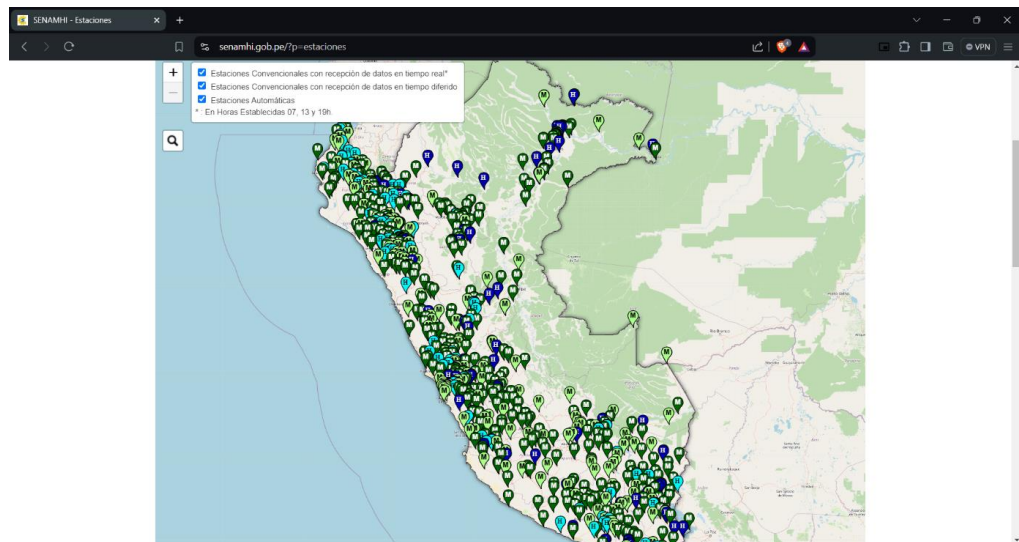
Base de información satelital



La información pluviométrica para la cuenca del río Huallaga fue recolectado del registro histórico del SENAMHI, en ella se identificaron también las estaciones más cercanas a la cuenca de investigación.

Figura 16

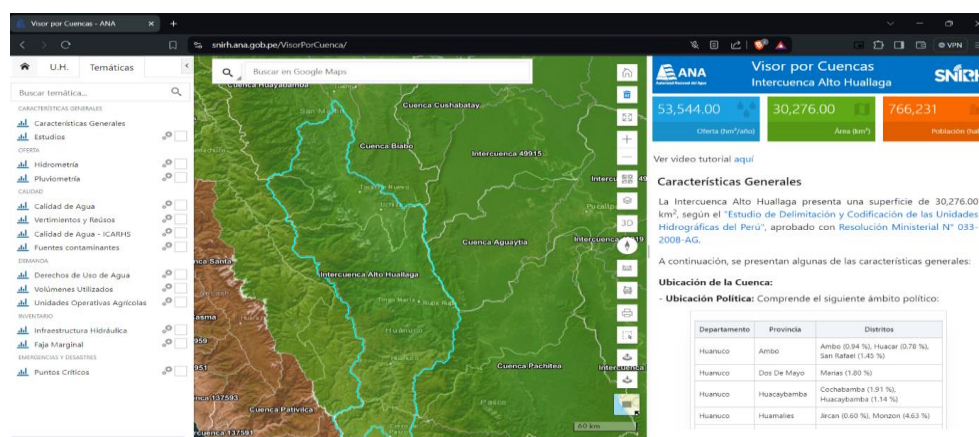
Base de datos pluviométricos



La información de caudales fue recolectada del visor nacional del ANA en la cual se encuentran los registros de caudal para algunas estaciones hidrológicas.

Figura 17

Base de datos hidrológicos



3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Tabla 8

Parámetros geométricos de la cuenca

Parámetros de superficie de la cuenca				
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo	
Área	Km ²			
Perímetro	Km			
Ancho	Km			
Largo	Km			
Centroide este	M			
Centroide norte	M			
Centroide cota	Msnm			

La ficha presentada se completó a partir del modelo GIS obtenido de la cuenca, juntamente con la información satelital característica de la cuenca de interés.

Tabla 9

Ficha de parámetros altitudinales

Parámetros de superficie de la cuenca				
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo	
Cota máxima	Msnm			
Cota mínima	Msnm			
Altura media	Msnm			
Altura frecuente	Msnm			
Altura de frecuencia promedio	Msnm			
Pendiente	%			

La ficha presentada se completó a partir de la información altitudinal caracterizada a partir del modelo de elevación digital de la cuenca.

Tabla 10

Ficha de precipitaciones

Estimación de precipitaciones por la distribución	
Periodo de retorno	Precipitación
2	
5	
10	
25	
50	
100	
105	
500	
1000	
10000	

La ficha de precipitaciones fue completada a partir de la mejor serie de distribución y con ello se estimaron las precipitaciones en diferentes periodos de retorno para el análisis de las intensidades.

Tabla 11

Ficha de caudales

Caudal crítico por el método	
Años	Caudal
10	
25	
50	
100	
500	

La ficha de caudales se completó para cada uno de los métodos tomados en cuenta para la investigación con ello se dio inicio al análisis comparativo completo de cada una de las metodologías tomadas en cuenta en la investigación.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Modelo de ficha de relleno de parámetros geomorfológicos de la cuenca, dicha ficha se rellenó a partir de las relaciones paramétricas que

se estimaron entre los parámetros geométricos y morfológicos de la cuenca.

Tabla 12

Ficha de parámetros de cuenca

Parámetros finales de la cuenca			
Ítem	Unidad	Valor	Tipo
Factor de forma	Adim		
Índice de compacidad	Adim		
Lado mayor RE	Km		
Lado menor RE	Km		
Densidad de drenaje	U/km ²		
Índice de pendiente	Adim		

La ficha anterior se completó a partir de la información obtenida de la base de datos del SENAMHI, en ella se identificaron las estaciones más cercanas, así como el periodo temporal de los registros de lluvia y caudal.

Tabla 13

Ficha de estaciones cercanas

Estaciones meteorológicas				
Nombre	Entidad	Periodo		Cantidad de años
		Inf	Sup	
Carhuacayan	Senamhi			
Huánuco	Senamhi			
Oyón	Senamhi			
San Rafael	Senamhi			
Periodo tomado en cuenta				

La ficha se rellenó a partir de las precipitaciones máximas de cada una de las estaciones tomadas en cuenta, de ella se identificaron los valores máximos y promedio con la finalidad de verificar el comportamiento en concordancia con las otras estaciones tomadas en cuenta para la investigación.

Tabla 14

Ficha de estaciones pluviométricas

Registro pluviométrico de la estación Carhuacayan														
Registro obtenido del servicio nacional de meteorología e hidrología														
Periodo anual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio	Máximo
														Valor logarítmico

2013
Promedio
Máximo
Valor
logarítmico

Esta ficha se completó a partir del análisis de distribución de las precipitaciones y de los valores de delta teórico que representa a cada una de ellas, con ello se pudo determinar cuál es la mejor proyección de precipitaciones para un análisis posterior.

Tabla 15

Ficha de comprobación de datos

Prueba de distribución de precipitaciones		
Tipo de distribución	Valor teórico	Valor tabular
Normal		
Log-normal 2 parámetros		
Log-normal 3 parámetros		
Gamma 2 parámetros		
Gamma 3 parámetros		
Logaritmo de Pearson tipo 3		
Logaritmo de Gumbel		
Distribución seleccionada		

La ficha de comparación de caudales sirvió para la identificación de la metodología de mejor ajuste para la cuenca del río Huallaga en el sector de San Rafael.

Tabla 16

Comparación de caudales

Comparación de valores de caudal							
Periodo de retorno	Método empírico			Número de curva	Método estadístico		Método Kolmogorov Smirnov
	Método racional	Método Mac Math	Método Burkli - Zieger		Método de Gumbel	Método de Nash	
PR 10							
PR 25							
PR 50							
PR 100							
PR 500							

CAPÍTULO IV

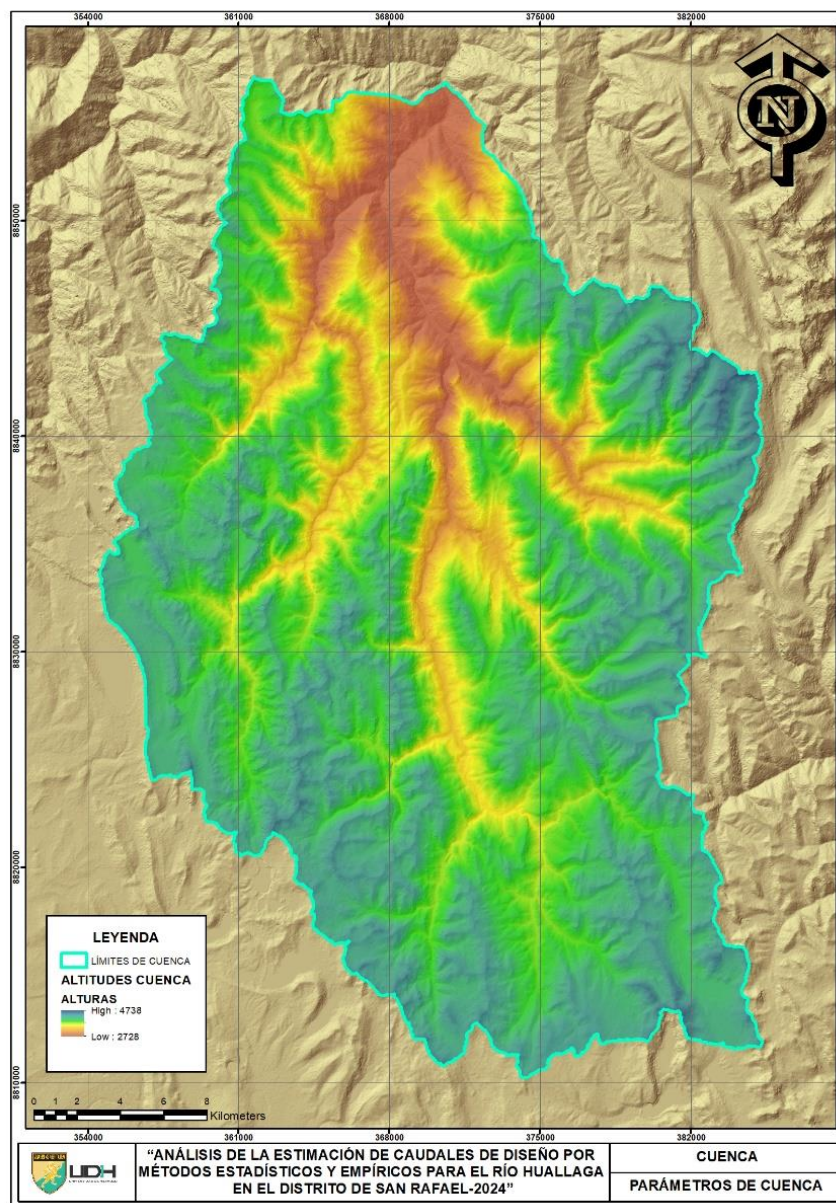
RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. CARACTERIZACIÓN DE CUENCA SAN RAFAEL

Figura 18

Límites de la cuenca San Rafael



Nota. La delimitación de la cuenca se realizó a partir de la obtención de la imagen de elevación digital (DEM), con dicha imagen satelital se pudo identificar los límites de la cuenca y de la misma forma al basarse en una imagen que contiene cotas se pudo identificar que para la cuenca los límites altitudinales son de 2728 a 4738 msnm.

Tabla 17

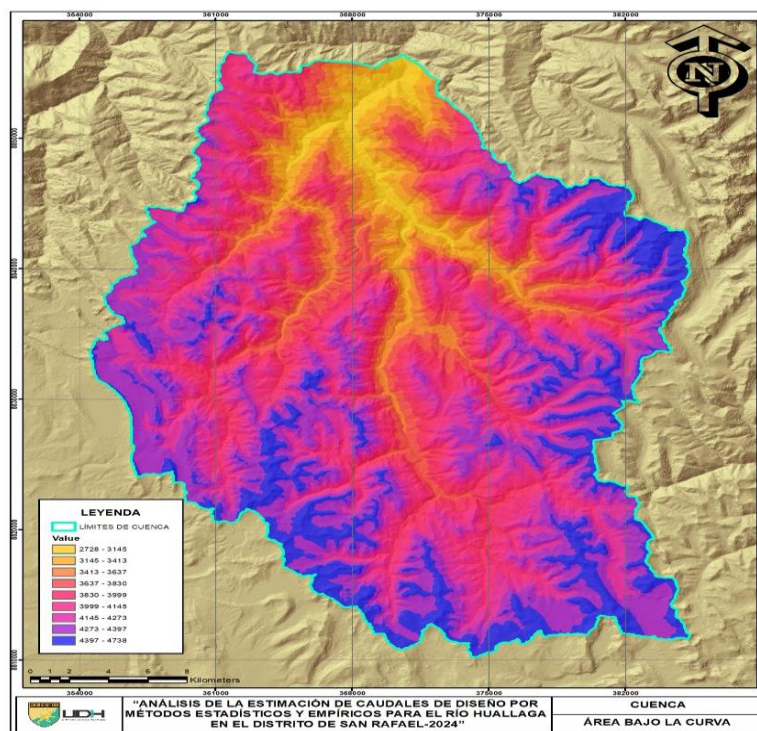
Identificación de valores geométricos de la cuenca

Parámetros de superficie de la cuenca			
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo
Área	Km2	956.72	Intermedia grande
Perímetro	Km	220.15	-
Ancho	Km	30.71	-
Largo	Km	46.47	-
Centroide este	M	370,149.04	-
Centroide norte	M	8,833,370.03	-
Centroide cota	Msnm	3,990.44	-

Nota. Con la delimitación de la cuenca se logró estimar los valores de superficie que corresponde a la cuenca, siendo que el área total de la cuenca hasta el punto de aforo es de 956.72 km², la cuenca presenta un perímetro de divisoria de 220.15 km, el ancho promedio de la cuenca es de 30.71 km, el largo en dirección del cauce principal es de 46.47 km, de la misma manera se identificaron los valores coordenados del centroide de la cuenca de interés.

Figura 19

Área bajo la curva de nivel



Nota. Con la delimitación de la cuenca del río San Rafael se pudo obtener una reclasificación altitudinal a fin de obtener un valor promedio de altura de la cuenca, para la presente investigación se elaboró una clasificación altitudinal con un total de 09 rangos los cuales se evidencian a partir de los códigos de colores de la figura obtenida.

Tabla 18

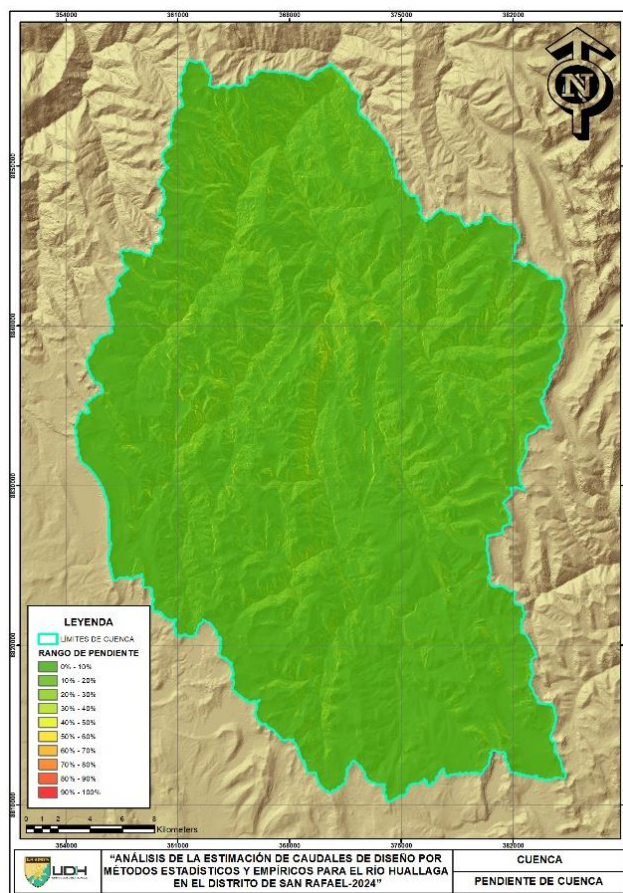
Identificación de valores altitudinales de la cuenca

Parámetros de superficie de la cuenca			
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo
Cota máxima	Msnm	4,738.00	-
Cota mínima	Msnm	2,728.00	-
Altura media	Msnm	3,990.44	-
Altura frecuente	Msnm	4,335.00	-
Altura de frecuencia promedio	Msnm	4,082.27	-
Pendiente	%	7.63	Levemente inclinada

Nota. Con la clasificación de las cotas que comprende la cuenca se pudo identificar que la altura media de la cuenca es de 3,990.44 msnm, la altura más recurrente en la cuenca es de 4,335.00 msnm, la altitud promedio de la cuenca es de 4,082.27 msnm y la pendiente promedio que se forma en la cuenca es de 7.63% el cual se clasifica como levemente inclinada.

Figura 20

Clasificación de pendiente de la cuenca

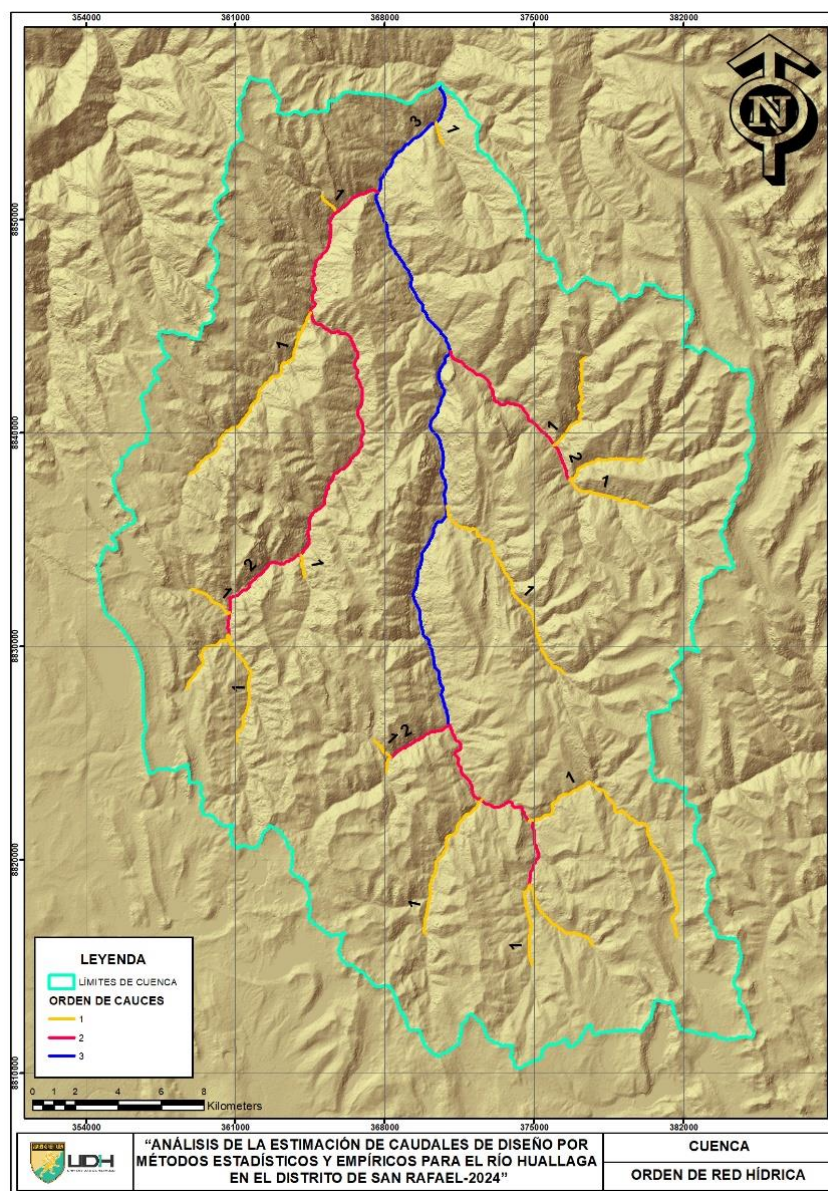


Nota. Con la obtención de la imagen de elevación digital delimitada para la cuenca del río Huallaga en el sector de San Rafael, se pudo obtener a partir de diferencias

altitudinales los valores de las pendientes, dichas pendientes fueron clasificadas en 10 rangos con un ancho de clase equivalente del 10%. De la figura a partir de los códigos de colores se pudo identificar que la pendiente de la cuenca más predominante se encuentra en el rango del 0% al 10%.

Figura 21

Red hídrica de la cuenca



Nota. Para la identificación de las redes hídricas que comprenden a la cuenca del río Huallaga en la zona de San Rafael se identificaron preliminarmente las direcciones de flujo que caracterizan a la imagen de elevación digital, con dicha identificación se pudo determinar que para la cuenca de interés las redes hídricas confirman una red de orden 3.

Tabla 19

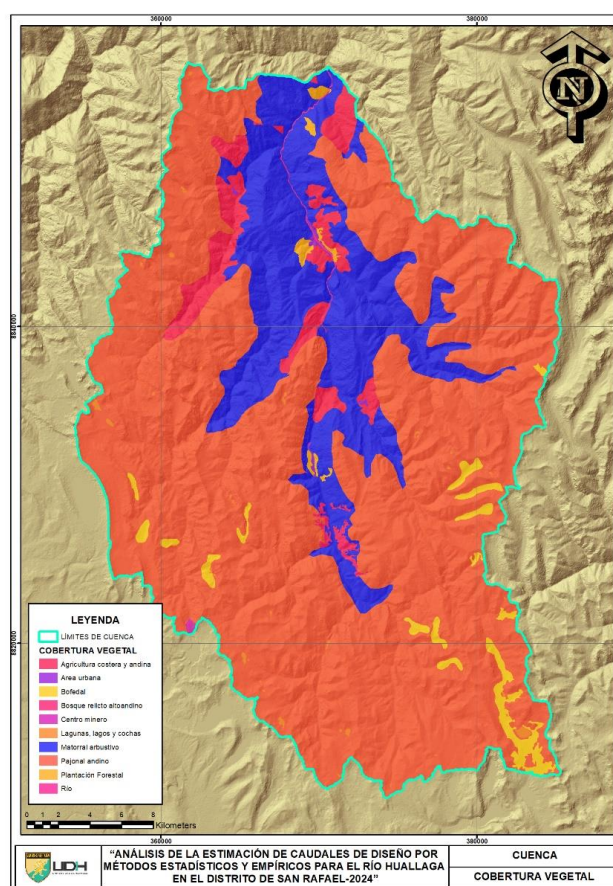
Parámetros de la red hídrica

Parámetros de los cauces integrantes			
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo
Dimensión de río principal	Km	35.47	-
Orden de la red hídrica	Adim	3.00	-
Longitud total de los ríos	Km	170.53	-
Pendiente promedio de los cauces	%	10.59	Pendiente muy alta

Nota. Con la identificación de la red hídrica se pudo calcular que la longitud del río principal es de 35.47 km, el orden de la red hídrica es de tercer grado, en total todos los cauces que componen la cuenca es de 170.53 km e interpolando la capa de las redes hídricas con los valores de pendiente de la cuenca se estimó que la red hídrica presenta un pendiente promedio de 10.59% esto la clasifica en una red hídrica con una pendiente muy alta.

Figura 22

Identificación de la cobertura vegetal

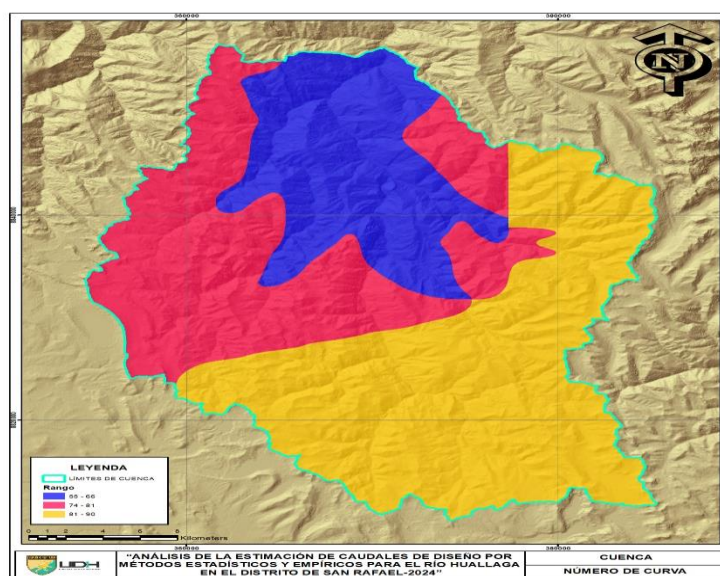


Nota. La identificación de las coberturas vegetales de la cuenca del río Huallaga en la localidad de San Rafael se realizó a partir de la clasificación elaborada por el Ministerio del Ambiente en su base de datos geográficos, con lo cual se pudo identificar un total de 10 tipos de coberturas.

Tabla 20*Áreas de cobertura vegetal de la cuenca*

Clasificación de cobertura vegetal		
Tipo	Área (km ²)	% de área
Agricultura costera y andina	40.25	4.20%
Área urbana	1.26	0.13%
Bofedal	19.09	1.99%
Bosque relicto altoandino	3.25	0.34%
Centro minero	0.46	0.05%
Lagunas, lagos y cochas	2.27	0.24%
Matorral arbustivo	177.52	18.53%
Pajonal andino	708.82	73.98%
Plantación forestal	3.92	0.41%
Río	1.28	0.13%

Nota. De la identificación de las 10 clasificaciones de coberturas de suelo se estimaron las áreas de cada una con la finalidad de determinar los coeficientes de escorrentía que presente la cuenca del río Huallaga, los porcentajes de presencia fueron de 4.20%, 0.13%, 1.99%, 0.34%, 0.05%, 0.24%, 18.53%, 73.98%, 0.41% y 0.13% para las coberturas de Agricultura Andina, Zona Urbana, Bofedal, Bosque relicto altoandino, Zonas mineras, Lagunas, Matorrales, Pajonales andinos, Plantaciones forestales y ríos respectivamente.

Figura 23*Identificación del número de curva*

Nota. Al igual que la identificación de la cobertura de suelo de la cuenca del río Huallaga, el ministerio elaboró un informe cartográfico en la cual categoriza a partir de rangos los números de curva para el territorio peruano, con lo cual para la cuenca se identificaron 03 rangos los cuales son los siguientes: 55-66, 74-81 y 81-90.

Tabla 21*Determinación del valor promedio del número de curva*

Estimación del número de curva promedio				
Rango		Promedio	Área (km ²)	P*a
Inf.	Sup.			
55	66	60.50	211.48	12,794.60
74	81	77.50	315.01	24,413.44
81	90	85.50	431.61	36,903.00
Promedio de NC				77.35

Nota. De la información cartográfica de la cuenca se lograron determinar las áreas que comprende cada uno de los rangos y a partir de un promedio ponderado a partir de dichas áreas se estimó que el número de curva promedio para la cuenca del río Huallaga en el sector de San Rafael es de 77.35.

Tabla 22*Coefficientes característicos de la cuenca*

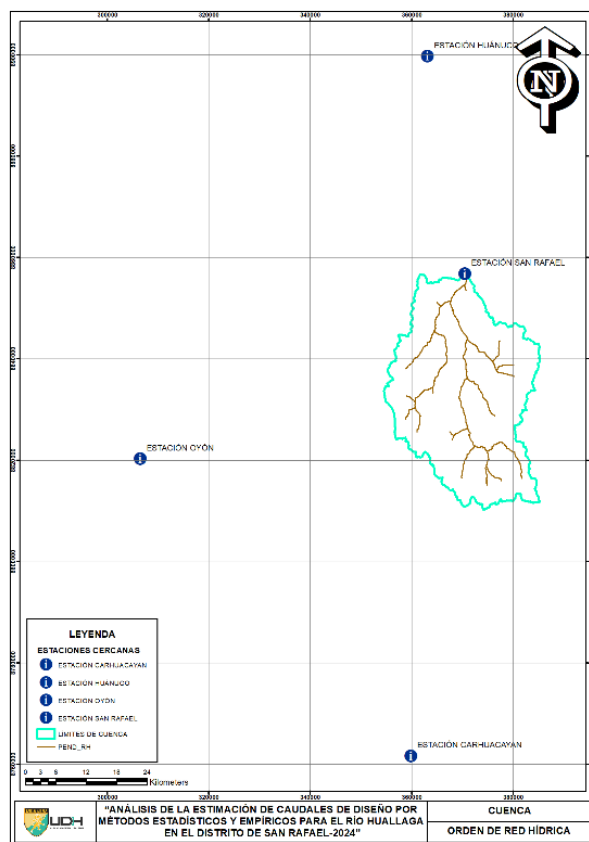
Parámetros finales de la cuenca			
Ítem	Unidad	Valor	Tipo
Factor de forma	Adim	0.66	Compacta
Índice de compacidad	Adim	1.99	Alargada
Lado mayor re	Km	100.56	-
Lado menor re	Km	9.51	-
Densidad de drenaje	U/km ²	0.18	Baja
Índice de pendiente	Adim	0.29	Pendiente moderada

Nota. Con el cálculo de los valores geométricos y geomorfológicos característicos de la cuenca del río Hualla se estimaron los valores de los parámetros característicos para la cuenca, el factor de forma de la cuenca es de 0.66 evidenciando que la cuenca tiene una forma compacta, el valor del índice de compacidad es de 1.99 lo que lo caracteriza como alargada, los lados del rectángulo equivalente para la cuenca son de 100.56 km y 9.51 km, el valor de la densidad de drenaje es de 0.18 clasificada como baja y el valor del índice de pendiente es de 0.29 caracterizando a la cuenca con pendiente moderada.

4.1.2. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Figura 24

Identificación de estaciones cercanas a la cuenca



Nota. Para la cuenca del río Huallaga en la zona de San Rafael se pudo determinar un total de 04 estaciones cercanas, las cuales son: Carhuacayan, Huánuco, Oyón y San Rafael.

Tabla 23

Datos de las estaciones cercanas a la cuenca

Estaciones meteorológicas				
Nombre	Entidad	Periodo		Cantidad de años
		Inf.	Sup.	
Carhuacayan	Senamhi	1968	2014	47
Huánuco	Senamhi	1947	2014	68
Oyón	Senamhi	1963	2013	51
San Rafael	Senamhi	1965	2014	50
Periodo tomado en cuenta		1968	2013	46

Nota. Las estaciones identificadas cuentan con información pluviométrica con la cual se estimaron los valores de caudal por los métodos empíricos y estadísticos de la cuenca, en total se identificó que todas las estaciones presentan valores entre los años de 1968 a 2013 un total de 46 años para el análisis hidrológico.

Tabla 24*Registro pluviométrico – Estación San Rafael*

Registro pluviométrico de la estación San Rafael															
Registro obtenido del servicio nacional de meteorología e hidrología															
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio	Máximo	Valor
anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			logarítmico
1968	9.80	13.70	7.50	0.01	3.40	2.10	5.20	12.50	4.70	2.00	15.00	8.20	7.01	15.00	1.18
1969	22.00	15.10	8.90	7.10	15.50	4.00	0.01	0.00	6.00	4.20	8.50	10.20	8.46	22.00	1.34
1970	14.40	4.10	10.90	8.00	4.10	7.40	3.30	1.60	4.40	9.00	9.10	13.20	7.46	14.40	1.16
1971	26.50	16.00	15.60	4.70	2.20	4.00	12.00	1.00	1.40	15.60	7.70	22.70	10.78	26.50	1.42
1972	14.00	14.80	22.30	8.90	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	15.00	18.70	56.00	12.48	56.00	1.75
1973	34.50	20.20	10.90	2.50	2.00	12.90	4.00	10.00	6.40	23.50	15.50	26.20	14.05	34.50	1.54
1974	29.50	0.00	24.20	10.20	0.00	19.20	12.60	6.50	6.20	2.00	5.40	5.40	10.10	29.50	1.47
1975	7.00	9.00	35.00	8.00	10.40	5.40	0.01	3.00	8.00	12.00	23.00	3.50	10.36	35.00	1.54
1976	8.60	10.80	22.50	15.30	2.00	3.60	0.00	0.00	8.90	25.30	19.00	13.50	10.79	25.30	1.40
1977	36.00	12.00	22.50	15.50	3.50	0.00	0.00	10.00	6.40	14.50	20.00	22.00	13.53	36.00	1.56
1978	12.00	10.50	11.50	15.50	8.80	3.00	0.01	0.01	12.00	25.30	22.00	17.20	11.49	25.30	1.40
1979	14.50	40.00	20.40	19.30	4.50	0.00	14.90	0.01	22.00	8.00	11.00	19.20	14.48	40.00	1.60
1980	8.80	12.00	24.00	19.60	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	8.40	13.50	7.19	24.00	1.38
1981	8.00	4.50	10.50	6.50	0.00	0.00	0.00	4.00	0.01	16.00	14.00	22.00	7.13	22.00	1.34
1982	14.50	40.00	20.40	19.30	4.50	0.00	14.90	0.01	22.00	8.00	11.00	19.20	14.48	40.00	1.60
1983	20.00	26.00	28.70	20.40	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.43	28.70	1.46
1984	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	

1985	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	
1986	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	
1987	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	14.46	29.40	1.47
1988	42.70	24.50	16.00	14.50	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.28	42.70	1.63
1989	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	
1990	16.60	13.00	18.00	22.20	0.00	0.00	4.10	0.00	1.50	10.70	6.80	5.00	8.16	22.20	1.35
1991	14.00	12.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	14.00	1.15
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	8.00	7.00	1.78	8.00	0.90
1993	8.00	10.00	12.20	7.00	2.00	1.00	3.50	4.20	0.00	0.00	0.00	40.00	7.33	40.00	1.60
1994	23.20	38.50	20.10	12.80	5.40	0.80	0.00	2.10	11.00	15.80	9.40	31.20	14.19	38.50	1.59
1995	25.50	30.00	36.80	16.00	18.50	13.00	1.50	3.50	18.00	22.00	26.30	31.70	20.23	36.80	1.57
1996	18.00	17.40	22.80	22.20	8.00	6.00	0.90	3.70	21.10	3.50	19.50	16.00	13.26	22.80	1.36
1997	13.00	18.60	10.20	12.20	4.50	0.00	0.00	7.00	8.70	22.40	14.30	56.70	13.97	56.70	1.75
1998	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	14.46	29.40	1.47
1999	17.30	21.00	21.60	9.00	7.90	9.70	2.40	12.80	14.30	6.60	19.20	14.70	13.04	21.60	1.33
2000	15.90	19.80	20.70	12.80	2.90	14.50	3.50	12.30	12.20	9.40	5.90	25.10	12.92	25.10	1.40
2001	24.40	18.80	17.60	16.00	5.10	5.60	5.30	7.90	9.20	16.20	41.80	26.10	16.17	41.80	1.62
2002	10.20	16.00	20.20	9.60	11.40	2.70	17.60	0.70	7.00	29.90	12.00	25.00	13.53	29.90	1.48
2003	7.50	8.60	15.20	52.90	1.90	7.20	0.00	22.80	9.40	6.70	27.30	18.60	14.84	52.90	1.72
2004	29.60	16.30	20.20	10.80	15.00	8.00	3.00	4.30	27.40	22.80	24.10	0.00	15.13	29.60	1.47
2005	9.90	32.00	25.90	0.00	1.30	0.00	1.90	9.30	10.60	13.00	16.10	10.10	10.84	32.00	1.51
2006	13.90	13.70	12.70	9.00	0.60	5.30	5.60	5.80	16.30	16.50	28.80	15.70	11.99	28.80	1.46
2007	22.50	11.10	25.80	6.80	6.80	0.70	31.90	3.50	12.00	17.10	12.00	22.60	14.40	31.90	1.50

2008	17.00	28.20	8.60	6.10	6.30	6.10	1.20	1.80	42.10	15.30	24.50	17.60	14.57	42.10	1.62
2009	16.10	17.60	25.50	14.70	14.70	3.60	7.10	4.90	9.30	12.70	16.30	22.90	13.78	25.50	1.41
2010	25.10	19.80	20.90	20.80	17.50	4.40	7.70	5.40	3.90	11.80	9.00	23.00	14.11	25.10	1.40
2011	16.40	18.20	10.40	21.80	14.40	0.80	1.40	4.50	10.30	20.10	12.20	16.10	12.22	21.80	1.34
2012	13.20	19.50	15.30	24.30	5.00	6.10	1.70	6.40	1.90	14.80	21.30	33.50	13.58	33.50	1.53
2013	15.60	24.80	15.90	12.20	4.70	9.90	0.00	0.00	9.10	24.60	27.00	41.10	15.41	41.10	1.61
Promedio	7.72	7.68	7.97	2.81	-3.75	-4.63	-5.05	-4.74	-0.51	3.02	4.97	9.16			
Máximo	42.70	40.00	36.80	52.90	18.50	19.20	31.90	22.80	42.10	29.90	41.80	56.70			
Valor logarítmico	1.63	1.60	1.57	1.72	1.27	1.28	1.50	1.36	1.62	1.48	1.62	1.75			

Nota. Los registros históricos de la estación San Rafael no estaban completos por lo cual se planteó el reemplazo de los valores faltantes por los valores de promedios mensuales ya que estos se rigen a partir del año hidrológico, para el presente registro se determinó un total de 48 valores no registrados por la estación con lo cual se estableció el relleno de los datos faltantes.

Tabla 25*Registro pluviométrico completado – Estación San Rafael*

Registro pluviométrico de la estación San Rafael															
Registro obtenido del servicio nacional de meteorología e hidrología															
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Promedio	Máximo	Valor
anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			logarítmico
1968	9.80	13.70	7.50	0.01	3.40	2.10	5.20	12.50	4.70	2.00	15.00	8.20	7.01	15.00	1.18
1969	22.00	15.10	8.90	7.10	15.50	4.00	0.01	0.00	6.00	4.20	8.50	10.20	8.46	22.00	1.34
1970	14.40	4.10	10.90	8.00	4.10	7.40	3.30	1.60	4.40	9.00	9.10	13.20	7.46	14.40	1.16
1971	26.50	16.00	15.60	4.70	2.20	4.00	12.00	1.00	1.40	15.60	7.70	22.70	10.78	26.50	1.42
1972	14.00	14.80	22.30	8.90	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	15.00	18.70	56.00	12.48	56.00	1.75
1973	34.50	20.20	10.90	2.50	2.00	12.90	4.00	10.00	6.40	23.50	15.50	26.20	14.05	34.50	1.54
1974	29.50	0.00	24.20	10.20	0.00	19.20	12.60	6.50	6.20	2.00	5.40	5.40	10.10	29.50	1.47
1975	7.00	9.00	35.00	8.00	10.40	5.40	0.01	3.00	8.00	12.00	23.00	3.50	10.36	35.00	1.54
1976	8.60	10.80	22.50	15.30	2.00	3.60	0.00	0.00	8.90	25.30	19.00	13.50	10.79	25.30	1.40
1977	36.00	12.00	22.50	15.50	3.50	0.00	0.00	10.00	6.40	14.50	20.00	22.00	13.53	36.00	1.56
1978	12.00	10.50	11.50	15.50	8.80	3.00	0.01	0.01	12.00	25.30	22.00	17.20	11.49	25.30	1.40
1979	14.50	40.00	20.40	19.30	4.50	0.00	14.90	0.01	22.00	8.00	11.00	19.20	14.48	40.00	1.60
1980	8.80	12.00	24.00	19.60	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	8.40	13.50	7.19	24.00	1.38
1981	8.00	4.50	10.50	6.50	0.00	0.00	0.00	4.00	0.01	16.00	14.00	22.00	7.13	22.00	1.34
1982	14.50	40.00	20.40	19.30	4.50	0.00	14.90	0.01	22.00	8.00	11.00	19.20	14.48	40.00	1.60
1983	20.00	26.00	28.70	20.40	2.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.43	28.70	1.46
1984	7.00	4.10	7.50	0.01	1.60	1.00	0.01	1.00	6.00	2.00	5.90	5.00	3.43	7.50	0.88

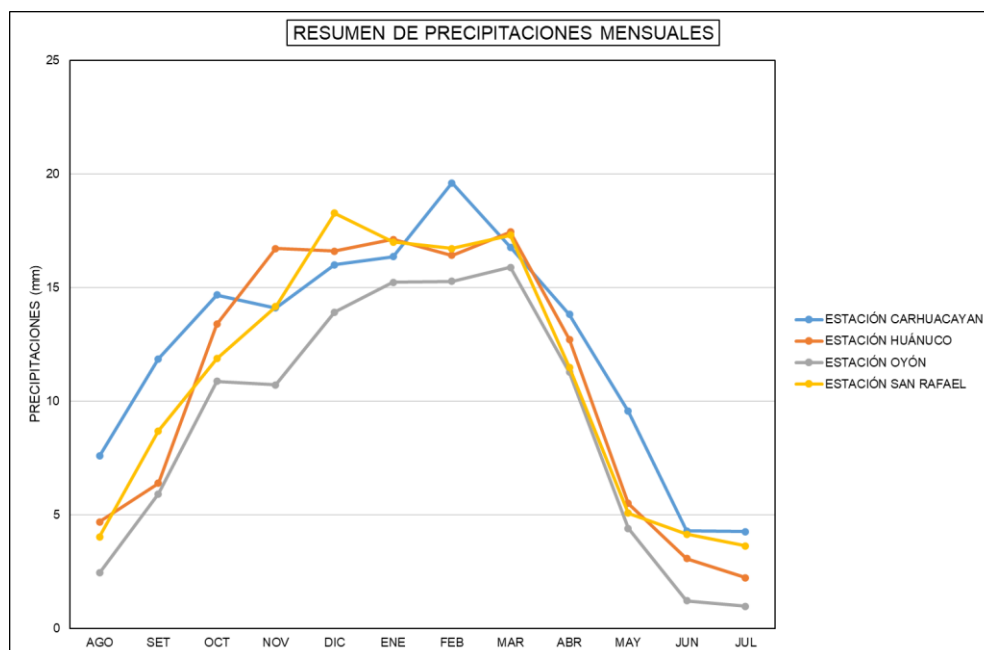
1985	7.00	4.10	7.50	0.01	1.60	1.00	0.01	1.00	6.00	2.00	5.90	5.00	3.43	7.50	0.88
1986	7.00	4.10	7.50	0.01	1.60	1.00	0.01	1.00	6.00	2.00	5.90	5.00	3.43	7.50	0.88
1987	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	14.46	29.40	1.47
1988	42.70	24.50	16.00	14.50	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.28	42.70	1.63
1989	7.00	4.10	7.50	0.01	1.60	1.00	0.01	1.00	6.00	2.00	5.90	5.00	3.43	7.50	0.88
1990	16.60	13.00	18.00	22.20	0.00	0.00	4.10	0.00	1.50	10.70	6.80	5.00	8.16	22.20	1.35
1991	14.00	12.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	14.00	1.15
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	8.00	7.00	1.78	8.00	0.90
1993	8.00	10.00	12.20	7.00	2.00	1.00	3.50	4.20	0.00	0.00	0.00	40.00	7.33	40.00	1.60
1994	23.20	38.50	20.10	12.80	5.40	0.80	0.00	2.10	11.00	15.80	9.40	31.20	14.19	38.50	1.59
1995	25.50	30.00	36.80	16.00	18.50	13.00	1.50	3.50	18.00	22.00	26.30	31.70	20.23	36.80	1.57
1996	18.00	17.40	22.80	22.20	8.00	6.00	0.90	3.70	21.10	3.50	19.50	16.00	13.26	22.80	1.36
1997	13.00	18.60	10.20	12.20	4.50	0.00	0.00	7.00	8.70	22.40	14.30	56.70	13.97	56.70	1.75
1998	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	14.46	29.40	1.47
1999	17.30	21.00	21.60	9.00	7.90	9.70	2.40	12.80	14.30	6.60	19.20	14.70	13.04	21.60	1.33
2000	15.90	19.80	20.70	12.80	2.90	14.50	3.50	12.30	12.20	9.40	5.90	25.10	12.92	25.10	1.40
2001	24.40	18.80	17.60	16.00	5.10	5.60	5.30	7.90	9.20	16.20	41.80	26.10	16.17	41.80	1.62
2002	10.20	16.00	20.20	9.60	11.40	2.70	17.60	0.70	7.00	29.90	12.00	25.00	13.53	29.90	1.48
2003	7.50	8.60	15.20	52.90	1.90	7.20	0.00	22.80	9.40	6.70	27.30	18.60	14.84	52.90	1.72
2004	29.60	16.30	20.20	10.80	15.00	8.00	3.00	4.30	27.40	22.80	24.10	0.00	15.13	29.60	1.47
2005	9.90	32.00	25.90	0.00	1.30	0.00	1.90	9.30	10.60	13.00	16.10	10.10	10.84	32.00	1.51
2006	13.90	13.70	12.70	9.00	0.60	5.30	5.60	5.80	16.30	16.50	28.80	15.70	11.99	28.80	1.46
2007	22.50	11.10	25.80	6.80	6.80	0.70	31.90	3.50	12.00	17.10	12.00	22.60	14.40	31.90	1.50

2008	17.00	28.20	8.60	6.10	6.30	6.10	1.20	1.80	42.10	15.30	24.50	17.60	14.57	42.10	1.62
2009	16.10	17.60	25.50	14.70	14.70	3.60	7.10	4.90	9.30	12.70	16.30	22.90	13.78	25.50	1.41
2010	25.10	19.80	20.90	20.80	17.50	4.40	7.70	5.40	3.90	11.80	9.00	23.00	14.11	25.10	1.40
2011	16.40	18.20	10.40	21.80	14.40	0.80	1.40	4.50	10.30	20.10	12.20	16.10	12.22	21.80	1.34
2012	13.20	19.50	15.30	24.30	5.00	6.10	1.70	6.40	1.90	14.80	21.30	33.50	13.58	33.50	1.53
2013	15.60	24.80	15.90	12.20	4.70	9.90	0.00	0.00	9.10	24.60	27.00	41.10	15.41	41.10	1.61
Promedio	17.01	16.73	17.31	11.50	5.08	4.14	3.64	4.04	8.70	11.88	14.17	18.28			
Máximo	42.70	40.00	36.80	52.90	18.50	19.20	31.90	22.80	42.10	29.90	41.80	56.70			
Valor logarítmico	1.63	1.60	1.57	1.72	1.27	1.28	1.50	1.36	1.62	1.48	1.62	1.75			

Nota. El registro completo a partir de los promedios mensuales se sometió a un análisis de promedios finales con la finalidad de identificar valores anómalos en sus registros, el procedimiento de relleno de datos faltantes fue el mismo para las 3 estaciones restantes con la finalidad de encontrar una armonía con el año hidrológico para la cuenca del río Huallaga.

Figura 25

Verificación del año hidrológico de las estaciones



Nota. Se pudo identificar que las 04 estaciones tomadas en cuenta presentan una correlación entre ellas, validando así la información recolectada de las estaciones, a partir de ello se estimó los valores de precipitación para el centroide de la cuenca obteniendo un modelo más preciso para la estimación de caudales.

Tabla 26*Registro interpolado para el centroide de la cuenca*

Registro pluviométrico de la estación centroide															
Periodo anual	Registro obtenido de interpolaciones												Promedio	Máximo	Valor logarítmico
	1 Ene	2 Feb	3 Mar	4 Abr	5 May	6 Jun	7 Jul	8 Ago	9 Set	10 Oct	11 Nov	12 Dic			
1968	9.34	10.01	10.11	2.48	0.97	1.26	1.22	4.83	9.04	8.10	5.98	15.77	6.59	15.77	1.20
1969	14.72	15.70	17.28	13.29	6.98	3.87	2.00	6.29	6.86	10.73	19.70	20.07	11.46	20.07	1.30
1970	20.67	17.91	17.20	15.37	9.87	6.84	5.89	5.02	13.25	14.51	14.05	20.29	13.41	20.67	1.32
1971	11.44	14.59	14.05	10.17	5.26	2.09	2.44	13.97	5.72	15.55	11.05	13.71	10.00	15.55	1.19
1972	10.84	15.11	22.74	16.51	2.17	0.56	3.01	6.23	10.46	14.32	14.91	11.11	10.66	22.74	1.36
1973	16.24	24.07	19.63	13.68	10.97	4.60	7.88	13.86	10.60	16.54	16.80	16.93	14.32	24.07	1.38
1974	17.20	18.77	15.96	14.16	1.99	3.52	3.01	8.30	4.48	9.70	8.17	12.75	9.83	18.77	1.27
1975	16.08	15.49	21.55	11.53	12.21	4.47	4.90	6.17	10.26	18.09	11.85	9.58	11.85	21.55	1.33
1976	17.20	18.25	13.11	13.36	6.11	3.54	1.54	5.39	6.14	7.04	15.12	11.43	9.85	18.25	1.26
1977	14.19	19.50	10.46	18.54	13.41	1.57	1.56	3.53	17.16	6.96	21.01	21.24	12.43	21.24	1.33
1978	14.26	13.99	12.70	12.77	8.50	3.09	4.23	7.43	7.01	16.89	13.89	12.68	10.62	16.89	1.23
1979	16.94	15.92	27.06	17.56	3.11	0.00	1.10	2.60	11.31	21.67	14.17	11.87	11.94	27.06	1.43
1980	18.63	19.15	19.90	9.84	8.04	3.34	1.73	2.67	4.39	20.91	18.05	17.78	12.04	20.91	1.32
1981	25.18	14.39	14.44	8.77	1.69	0.14	2.85	2.17	3.13	15.54	18.91	19.28	10.54	25.18	1.40
1982	17.42	16.37	26.67	14.86	5.15	1.56	3.87	3.42	4.05	9.42	9.88	20.48	11.10	26.67	1.43
1983	16.93	13.83	15.75	13.07	4.69	2.31	2.01	3.83	6.47	12.86	13.78	15.46	10.08	16.93	1.23
1984	14.55	16.11	16.69	12.52	6.29	2.75	2.37	4.72	7.82	12.86	13.78	15.46	10.49	16.69	1.22

1985	14.55	16.11	16.69	12.52	6.29	2.75	2.37	4.72	7.82	8.57	12.73	16.83	10.16	16.83	1.23
1986	12.25	17.31	15.75	11.73	10.59	4.89	4.04	9.13	7.50	6.92	8.11	17.75	10.50	17.75	1.25
1987	10.02	15.16	15.26	9.57	3.81	3.32	5.12	3.00	5.12	6.13	11.93	10.54	8.25	15.26	1.18
1988	16.00	13.56	9.95	11.91	5.71	0.67	1.45	0.52	5.31	6.91	7.59	9.34	7.41	16.00	1.20
1989	18.59	13.85	14.47	8.76	7.12	2.79	0.47	1.21	4.58	11.20	7.09	12.91	8.59	18.59	1.27
1990	7.66	7.71	11.75	9.12	7.00	3.06	1.24	2.28	5.70	17.85	12.58	13.30	8.27	17.85	1.25
1991	6.35	10.73	19.93	6.25	1.66	3.68	2.15	0.00	4.64	7.14	11.14	11.55	7.10	19.93	1.30
1992	7.48	16.67	14.41	10.34	1.18	3.03	0.35	8.77	3.09	20.89	13.31	8.55	9.01	20.89	1.32
1993	15.26	15.92	14.19	15.06	4.41	2.09	1.52	3.03	8.29	8.61	15.24	14.69	9.86	15.92	1.20
1994	14.35	9.43	14.47	17.02	9.14	1.23	4.60	3.82	12.31	13.89	13.25	12.44	10.50	17.02	1.23
1995	13.16	12.48	16.32	13.02	2.91	2.09	0.85	2.64	4.02	9.29	13.22	18.08	9.01	18.08	1.26
1996	12.27	10.09	17.01	14.99	6.25	0.30	0.15	2.90	2.94	10.06	10.77	11.34	8.26	17.01	1.23
1997	14.04	14.76	10.48	8.75	2.06	1.94	1.40	1.42	9.13	6.46	11.03	10.84	7.69	14.76	1.17
1998	14.01	14.94	20.28	6.97	6.76	1.97	0.00	0.52	6.57	13.75	15.68	8.45	9.16	20.28	1.31
1999	15.51	24.95	15.66	9.53	7.85	3.67	4.06	0.73	20.58	13.46	11.52	12.95	11.71	24.95	1.40
2000	17.07	19.82	14.74	10.62	6.49	2.96	2.37	6.64	6.91	13.44	21.74	19.37	11.85	21.74	1.34
2001	14.65	10.87	17.10	21.57	5.82	3.21	1.83	3.42	12.89	13.13	26.66	15.27	12.20	26.66	1.43
2002	17.15	19.58	18.24	21.33	8.26	5.43	2.82	1.92	6.03	18.94	13.68	12.71	12.17	21.33	1.33
2003	13.92	15.90	17.33	18.66	3.05	3.42	0.03	4.02	10.44	13.47	12.05	17.04	10.78	18.66	1.27
2004	10.16	18.59	12.70	11.51	13.66	4.79	2.24	12.09	10.66	14.68	13.43	15.52	11.67	18.59	1.27
2005	11.07	17.60	19.01	4.19	3.92	0.18	0.28	6.19	3.87	10.52	13.46	15.20	8.79	19.01	1.28
2006	21.46	16.75	15.56	11.92	3.68	8.31	1.72	5.04	6.82	15.31	17.71	23.98	12.35	23.98	1.38
2007	13.91	19.27	18.78	14.74	17.18	0.41	1.14	1.44	5.30	20.31	12.41	22.02	12.24	22.02	1.34

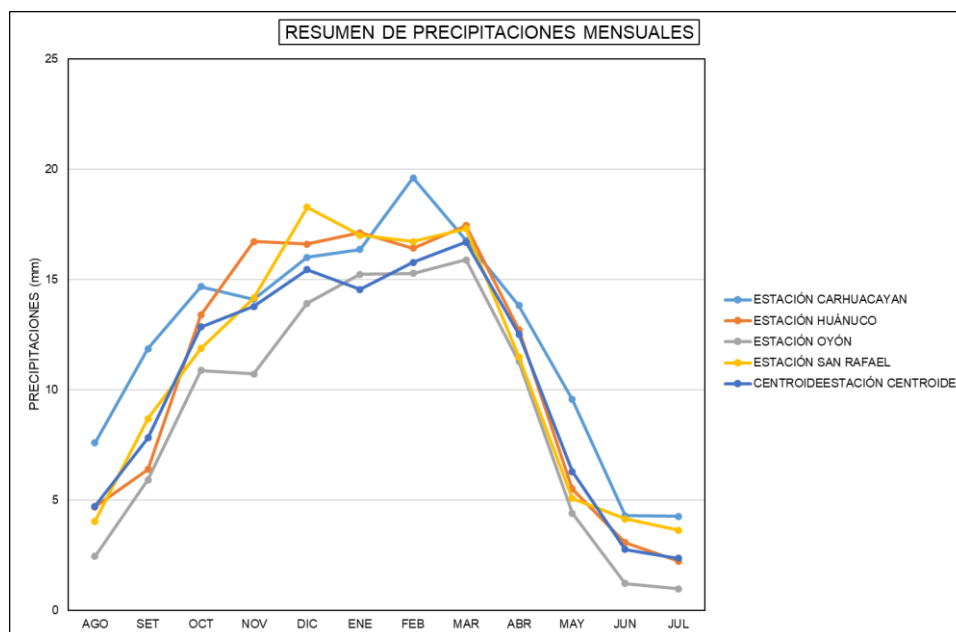
2008	12.45	14.75	18.08	14.61	1.34	2.05	0.33	1.93	8.48	16.71	14.34	21.14	10.52	21.14	1.33
2009	14.54	12.95	25.17	13.68	8.62	3.46	2.63	4.25	4.25	12.67	12.94	11.00	10.51	25.17	1.40
2010	15.23	16.65	16.53	8.47	3.16	1.93	2.24	3.94	6.45	12.10	15.45	24.62	10.57	24.62	1.39
2011	13.12	19.18	22.37	12.41	13.34	0.84	2.41	4.37	10.71	12.15	18.97	24.94	12.90	24.94	1.40
2012	18.14	17.76	13.13	16.47	4.99	1.67	3.23	6.70	12.86	13.29	16.96	19.80	12.08	19.80	1.30
2013	13.08	13.39	17.12	11.71	5.61	4.98	4.23	10.13	8.23	11.79	7.91	12.99	10.10	17.12	1.23
Promedio	14.55	15.78	16.69	12.52	6.29	2.75	2.37	4.72	7.82	12.86	13.78	15.46			
Máximo	25.18	24.95	27.06	21.57	17.18	8.31	7.88	13.97	20.58	21.67	26.66	24.94			
Valor	1.40	1.40	1.43	1.33	1.24	0.92	0.90	1.15	1.31	1.34	1.43	1.40			

logarítmico

Nota. Al igual que las estaciones precedentes se elaboró a partir de los promedios mensuales un análisis de verificación de consistencia para la estación simulada planteada.

Figura 26

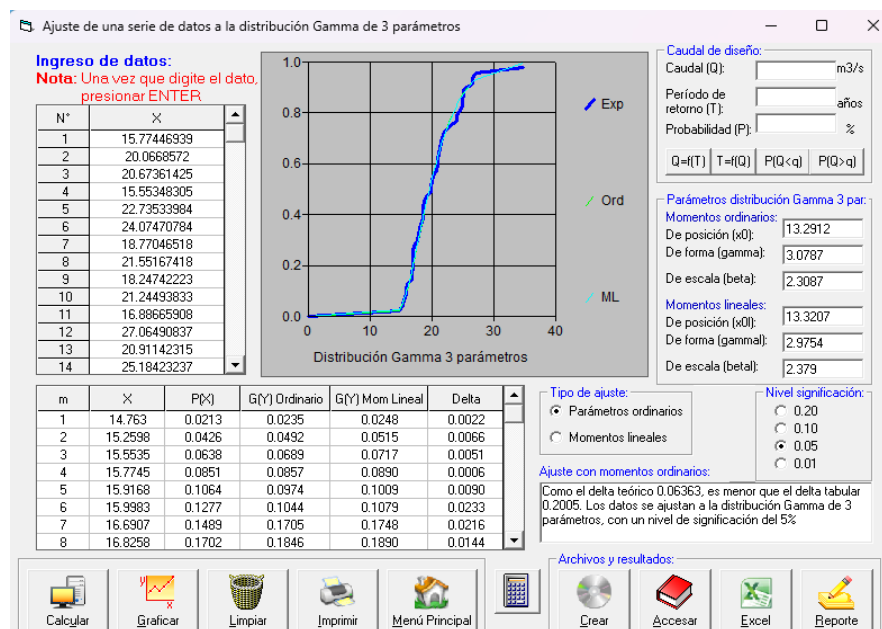
Verificación del año hidrológico



Nota. Verificando que la estación simulada presenta un comportamiento adecuado para el modelo hidrológico se procedió a la verificación de los valores a partir de la aplicación de la prueba de bondad.

Figura 27

Prueba de bondad de los datos de precipitación



Nota. Para la determinación de los valores de precipitación en diferentes periodos de retorno se aplicó la prueba de bondad y ajuste a los valores de precipitación máxima, de ello se pudo determinar que para una distribución Gamma de 03 parámetros el valor del delta de ajuste es de 0.0636.

Tabla 27*Análisis de distribuciones y prueba de ajuste*

Prueba de distribución de precipitaciones		
Tipo de distribución	Valor teórico	Valor tabular
Normal	0.1030	0.2005
Log-normal 2 parámetros	0.0836	0.2005
Log-normal 3 parámetros	0.0723	0.2005
Gamma 2 parámetros	0.0926	0.2005
Gamma 3 parámetros	0.0636	0.2005
Logaritmo de Pearson tipo 3	0.0715	0.2005
Gumbel	0.0720	0.2005
Logaritmo de Gumbel	0.0852	0.2005
Distribución seleccionada	0.0636	Gamma 3 parámetros

Nota. Para la estimación de las precipitaciones proyectadas para diferentes periodos de retorno se aplicó un modelo de distribución y ajuste de ello se determinaron los valores de variación o estimado como delta teórico, con lo cual el menor valor de variación es el que mejor se ajusta a los valores de precipitación máxima en 24 horas. Del análisis se pudo identificar que el menor valor del delta teórico es de 0.0636 el cual corresponde a la distribución Gamma 3 parámetros.

Tabla 28*Valores de precipitación proyectada*

Estimación de precipitaciones por la distribución gamma 3 parámetros	
Periodo de retorno	Precipitación
2	19.65
5	23.40
10	25.83
25	28.80
50	30.93
100	32.99
105	33.13
500	37.56
1000	39.43
10000	44.77

Nota. Con la determinación del ajuste de distribución Gamma 3 parámetros se determinaron los valores de precipitación máxima en diferentes periodos de retorno a fin de estimar las curvas de intensidad, duración y frecuencia, tal es así que para un periodo de retorno de 50 años la precipitación máxima es de 30.93 mm.

Tabla 29

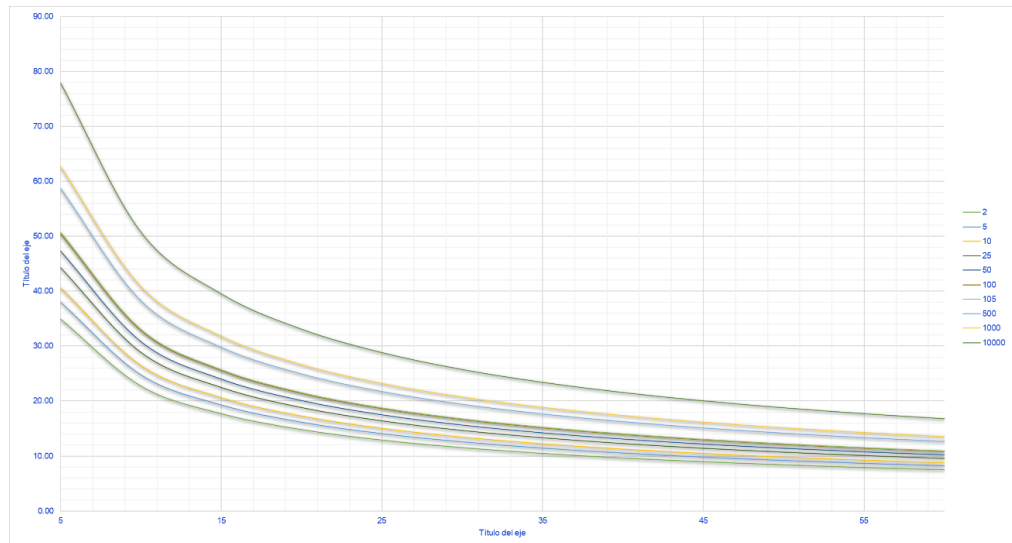
Determinación de los valores IDF

Intensidad - duración - frecuencia													
Periodo		Duración (min)											
T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
2	34.9	22.7	17.7	14.8	12.9	11.5	10.4						
	3	5	0	2	1	3	8	9.65	8.97	8.41	7.92	7.51	
5	38.0	24.8	19.3	16.1	14.0	12.5	11.4	10.5					
	8	0	0	5	7	7	3	2	9.78	9.16	8.64	8.19	
10	40.6	26.4	20.6	17.2	15.0	13.4	12.2	11.2	10.4				
	5	8	0	5	2	2	0	3	4	9.78	9.22	8.74	
25	44.3	28.8	22.4	18.8	16.3	14.6	13.3	12.2	11.3	10.6	10.0		
	2	7	6	0	8	3	0	5	9	7	6	9.53	
50	47.3	30.8	23.9	20.0	17.4	15.6	14.2	13.0	12.1	11.3	10.7	10.1	
	2	2	8	7	8	2	0	7	5	9	4	7	
100	50.5	32.9	25.6	21.4	18.6	16.6	15.1	13.9	12.9	12.1	11.4	10.8	
	1	0	0	3	6	7	6	6	8	6	6	6	
105	50.7	33.0	25.7	21.5	18.7	16.7	15.2	14.0	13.0	12.2	11.5	10.9	
	4	5	2	3	5	5	3	2	3	1	1	1	
500	58.7	38.2	29.8	24.9	21.7	19.4	17.6	16.2	15.1	14.1	13.3	12.6	
	9	9	0	4	2	1	4	4	0	5	4	4	
1000	62.7	40.8	31.8	26.6	23.1	20.7	18.8	17.3	16.1	15.1	14.2	13.4	
	6	8	1	2	9	2	3	4	2	0	4	9	
10000	77.9	50.7	39.5	33.0	28.8	25.7	23.4	21.5	20.0	18.7	17.6	16.7	
	8	9	2	8	1	4	0	5	3	7	9	7	

Nota. Con la determinación del ajuste de distribución Gamma 3 parámetros se determinaron los valores de precipitación máxima en diferentes periodos de retorno a fin de estimar las curvas de intensidad, duración y frecuencia, tal es así que para un periodo de retorno de 50 años la precipitación máxima es de 30.93 mm.

Figura 28

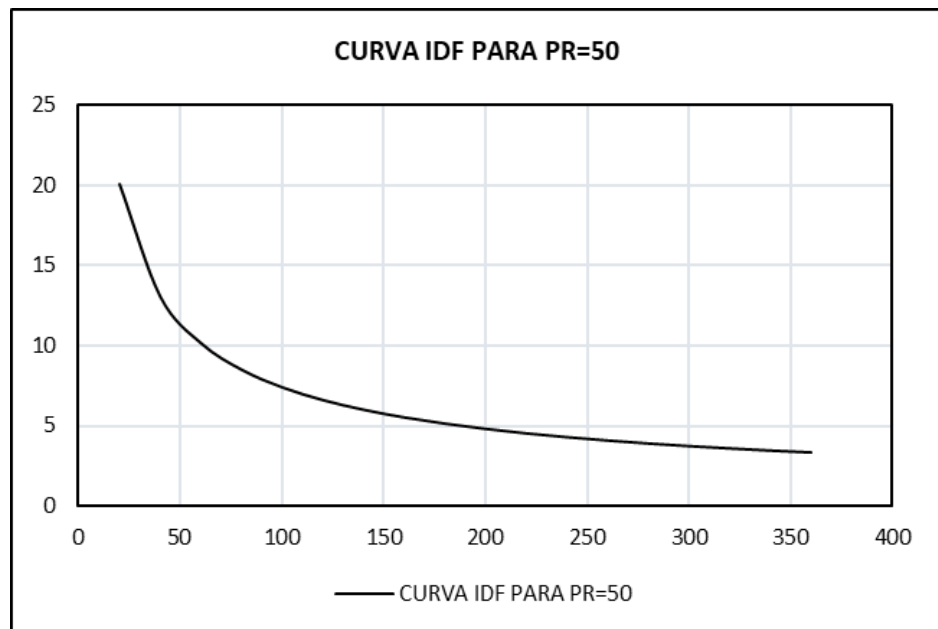
Curvas IDF para la cuenca del río Huallaga en San Rafael



Nota. Los valores determinados en la tabla anterior fueron interpolados con curvas parabólicas a fin de estimar el valor de la intensidad en cualquier punto de la curva de intensidad, dicho valor de intensidad fue aplicado en la determinación de los hietogramas de diseño para la cuenca del río Huallaga en el sector de San Rafael.

Figura 29

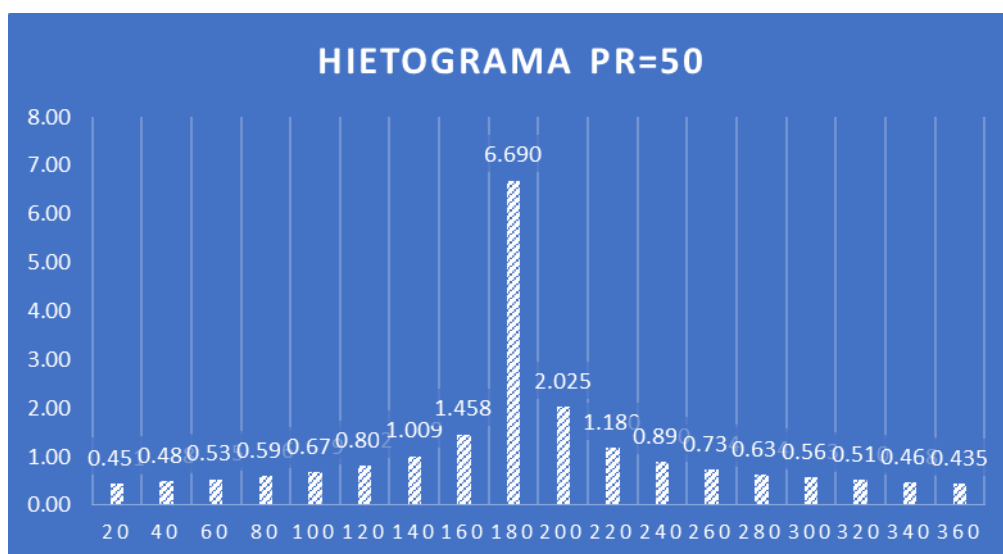
IDF para un periodo de retorno de 50 años



Nota. Para la cuenca del río Huallaga en el Sector de San Rafael se identificó que el tiempo de concentración fue de 6 horas o su equivalente de 360 minutos, con ello a partir de las curvas de intensidad duración y frecuencia se aisló la curva que corresponde a la tormenta de diseño.

Figura 30

Hietograma de 50 años



Nota. Para el hietograma de diseño se pudo estimar que la máxima intensidad en 50 años será de 6.690 mm/h, para un instante de 180 min el cual es el punto medio de la tormenta de diseño que dura un total de 360 min (6 horas)

El procedimiento de la estimación de intensidades se realizó para cada uno de los periodos de retorno tomados en cuenta, los valores fueron anexados en la parte final de la presente investigación.

4.1.3. MÉTODOS EMPÍRICOS

4.1.3.1. MÉTODO RACIONAL

Tabla 30

Determinación de coeficiente de escorrentía

				Coeficiente de escorrentía	
Tipo	Área (km2)	% de área	Pendiente %	Coeficiente de escorrentía	C*A
Agricultura costera y andina	40.25	4.22%	6.00%	0.25	10.06
Área urbana	1.26	0.13%	12.00%	0.3	0.38
Bofedal	19.09	2.00%	3.00%	0.1	1.91
Bosque relictos	3.25	0.34%	7.00%	0.15	0.49
altoandino					

Centro minero	0.46	0.05%	3.00%	0.3	0.14
Matorral arbustivo	177.52	18.60%	4.00%	0.1	17.75
Pajonal andino	708.82	74.26%	7.00%	0.15	106.32
Plantación forestal	3.92	0.41%	2.00%	0.1	0.39
Coeficiente de escorrentía					0.14

Nota. Con la identificación de los valores de cobertura vegetal identificada de la información del MINAM y con la estimación de las pendientes de la cuenca se pudo estimar el valor del coeficiente de escorrentía, para la cuenca se pudo estimar a partir de un promedio ponderado un valor de coeficiente de escorrentía de 0.14.

Tabla 31

Valores de intensidad para diferentes periodos de retorno

Intensidades	
Años	Intensidad
10	2.8852
25	3.1456
50	3.3581
100	3.5849
500	4.1724

Nota. Para la estimación de caudales a partir de la metodología del método racional se requieren los valores de intensidad para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 32

Estimación de caudales por el método racional

Caudal crítico por el método racional	
Años	Caudal
10	110.40 m3/s
25	120.36 m3/s
50	128.49 m3/s
100	137.17 m3/s
500	159.65 m3/s

Nota. Por la metodología empírica racional se estimó que los valores de caudal son 110.40 m3/s, 126.36 m3/s, 128.49 m3/s, 137.17 m3/s y 159.65 m3/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.3.2. MÉTODO MAC MATH

Tabla 33

Estimación de coeficiente de escorrentía de Mac Math

Factor de escorrentía de Mac Math					
Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura %	C1	Textura	C2	Pendiente %	C3
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 - 0.2	0.04
80 - 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 - 0.5	0.06
50 - 80	0.16	Media	0.16	0.5 - 2.0	0.06
20 - 50	0.22	Fina	0.22	2.0 - 5.0	0.10
0 - 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 - 10.0	0.15
Coeficiente de escorrentía de mac math					0.30

Nota. Para la determinación de los valores de caudales para diferentes periodos de retorno por la metodología de Mac Math se pudo determinar a partir de una suma aritmética que el valor del coeficiente de 0.30.

Tabla 34

Determinación de caudales por Mac Math

Caudal crítico por el método Mac Math	
Años	Caudal
10	180.91 m3/s
25	197.24 m3/s
50	210.56 m3/s
100	224.79 m3/s
500	261.63 m3/s

Nota. Por la metodología empírica de Mac Math se estimó que los valores de caudal son 180.91 m3/s, 197.24 m3/s, 210.56 m3/s, 224.79 m3/s y 261.63 m3/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.3.3. MÉTODO MAC MATH

Tabla 35

Determinación de caudales por Burkli – Ziegler

Caudal crítico por el método Burkli – Ziegler	
Años	Caudal
10	102.05 m3/s
25	111.26 m3/s
50	118.78 m3/s

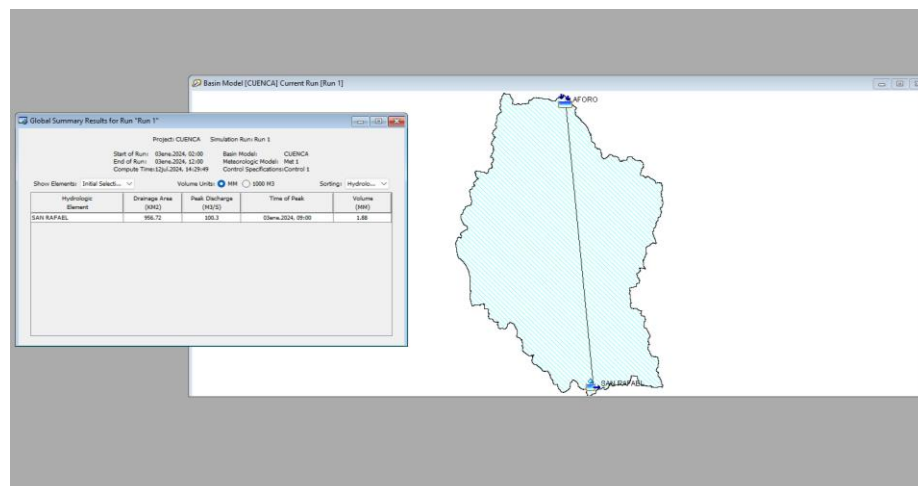
100	126.80 m3/s
500	147.58 m3/s

Nota. Por la metodología empírica de Burkli - Zieger se estimó que los valores de caudal son 102.05 m3/s, 111.26 m3/s, 118.78 m3/s, 126.80 m3/s y 147.58 m3/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.3.4. MÉTODO MAC MATH

Figura 31

Estimación de caudal para 50 años



Nota. Para un periodo de retorno de 50 años se calculó un caudal de 100.30 m3/s, el procedimiento de estimación por el número de curva se realizó con el software Hec-HMS.

Tabla 36

Determinación de caudales por el Número de Curva

Caudal crítico por el método Burkli – Zieger	
Años	Caudal
10	79.20 m3/s
25	89.60 m3/s
50	100.30 m3/s
100	113.50 m3/s
500	156.30 m3/s

Nota. Por la metodología empírica de Burkli - Zieger se estimó que los valores de caudal son 102.05 m3/s, 111.26 m3/s, 118.78 m3/s, 126.80 m3/s y 147.58 m3/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.4. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

4.1.4.1. MÉTODO GUMBEL

Figura 32

Determinación de caudales por Gumbel en 50 años

Calculo de caudal de diseño utilizando la distribución Gumbel

Ingreso de datos:
Año de inicio:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
41	28.91399734
42	30.57630626
43	29.12727066
44	45.2525108
45	36.50333337
46	41.61637421
47	42.69739231
48	57.59810144
49	31.435498
50	35.21281406
51	57.2967936
52	57.70537437
53	58.60613186
54	41.12613614

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
45	44.3829	9.8533	0.5466	1.1494	73.2342	9.7731	63.46 - 83.01	83.0073

Archivos y resultados:
Calcular, Limpiar, Imprimir, Menú Principal, Crear, Accesar, Excel, Reporte

Nota. Para las metodologías estadísticas aplicadas se hizo uso de los registros de caudales máximos, a partir de ello por la metodología de Gumbel para un periodo de retorno de 50 años el caudal estimado es de 83.01 m³/s.

Tabla 37

Determinación de caudales por el método de Gumbel

Caudal crítico por el método Gumbel	
Años	Caudal
10	69.20 m ³ /s
25	77.07 m ³ /s
50	83.01 m ³ /s
100	88.95 m ³ /s
500	102.74 m ³ /s

Nota. Por la metodología estadística del método de Gumbel se estimó que los valores de caudal son 69.20 m³/s, 77.07 m³/s, 83.01 m³/s, 88.95 m³/s y 102.74 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.4.2. MÉTODO NASH

Figura 33

Determinación de caudales por el método de Nash en 50 años

Calculo del caudal de diseño utilizando el método estadístico propuesto por Nash

Ingreso de datos:

Año de inicio: 41

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
41	28.91399734
42	30.57630626
43	29.12727066
44	45.2525108
45	36.50333337
46	41.61637421
47	42.69739231
48	57.59810144
49	31.435498
50	35.21281406
51	57.2867936
52	57.70537437
53	58.60613186
54	41.12613614

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): 50 años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
45	44.3829	-0.5995	33.3089	-18.4728	71.3039	4.0199	67.28 - 75.32	75.3238

Sumatorias:

m	Q	T	X	Q^2	X^2
1	58.65	46.0	-2.0202	-118.48	3439.74
2	58.61	23.0	-1.7143	-100.47	2938.9
3	58.59	15.3333	-1.5333	-89.84	2351
4	58.55	11.5	-1.4033	-82.17	1969.3
5	57.71	9.2	-1.3013	-75.09	1693.3
6	57.6	7.6667	-1.2168	-70.09	1480.7
7	57.29	6.5714	-1.1445	-65.57	1309.9
8	57.25	5.75	-1.0811	-61.9	1168.7
9	56.63	5.1111	-1.0243	-58.0	1049.2
10	56.1	4.6	-0.9728	-54.57	946.4
11	56.0	4.1818	-0.9256	-51.83	856.7
12	54.66	3.8333	-0.8818	-48.2	777.6
13	52.36	3.5385	-0.8409	-44.03	707.1
14	52.35	3.2857	-0.8024	-42.01	643.9
15	48.51	3.0667	-0.766	-37.16	586.8
16	47.93	2.875	-0.7313	-35.05	534.9
17	47.37	2.7059	-0.6982	-33.07	487.5
18	46.57	2.5556	-0.6664	-31.03	444
19	45.57	2.4211	-0.6356	-28.97	404
20	45.31	2.3	-0.6059	-27.46	367.1

Archivos y resultados:

Calcular Limpiar Imprimir Menú Principal Crear Accesar Excel Reporte

Nota. Al igual que con el método de Gumbel la metodología de Nash se basa en la estimación de caudales a partir de registros históricos, con ello se determinó que para un periodo de retorno de 50 años el valor de caudal es de 75.3238 m³/s.

Tabla 38

Determinación de caudales por el Método de Nash

Caudal crítico por el método Nash	
Años	Caudal
10	61.31 m ³ /s
25	69.31 m ³ /s
50	75.32 m ³ /s
100	81.33 m ³ /s
500	95.34 m ³ /s

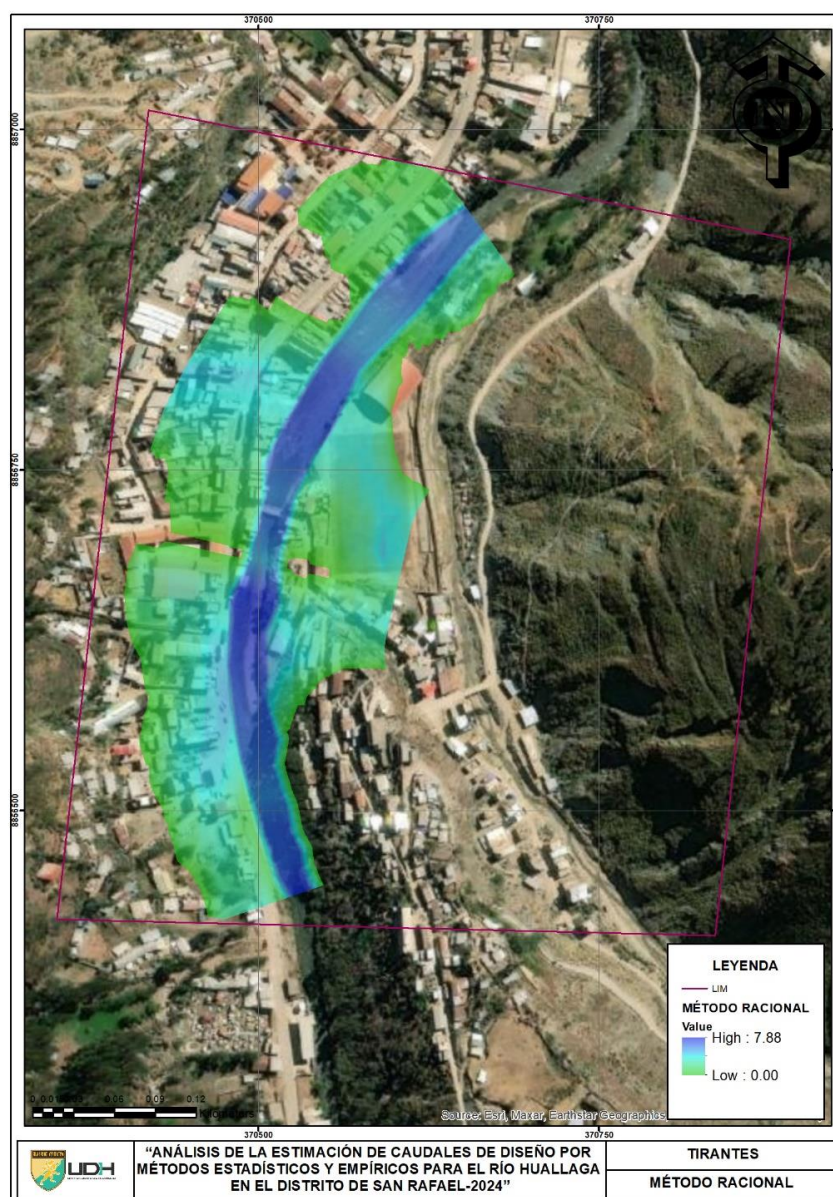
Nota. Por la metodología estadística del método de Gumbel se estimó que los valores de caudal son 61.31 m³/s, 69.31 m³/s, 75.32 m³/s, 81.33 m³/s y 95.34 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.5. ESTIMACIÓN DE TIRANTES DE INUNDACIÓN

Con la estimación de los caudales se procedió con la determinación de la simulación para la determinación de tirantes de inundación, el procedimiento se llevó a cabo en el software Hec-RAS, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 34

Estimación de tirantes por el método racional



Nota. Con la identificación del modelo del terreno del área de interés, se determinaron a partir de los caudales para un periodo de retorno de 100 años, para el método racional con un valor de caudal de 137.17 m³/s, se determinó que el valor del tirante es de 7.86 m de altura.

Tabla 39*Determinación de tirantes para diferentes metodologías para 100 años*

Determinación de tirantes		
Metodología	Unidad	Tirante
Método Racional	M	7.88
Método Mac Math	M	9.67
Método Burkli - Zieger	M	7.45
Número de Curva	M	7.09
Método de Gumbel	M	6.31
Método de Nash	M	6.06
Método Kolmogorov Smirnov	M	5.54

Nota. Los tirantes determinados por el modelo bidimensional fueron de 7.88 m, 9.67 m, 7.45 m, 7.09 m, 6.31 m, 6.06 m y 5.54 m para las metodologías empíricas Racional, Mac Math, Burkli – Zieger, Número de Curva y para las metodologías estadísticas Gumbel, Nash y para la metodología Kolmogorov – Smirnov.

4.1.6. COMPARACIÓN DE MÉTODOS EMPÍRICOS Y ESTADÍSTICOS

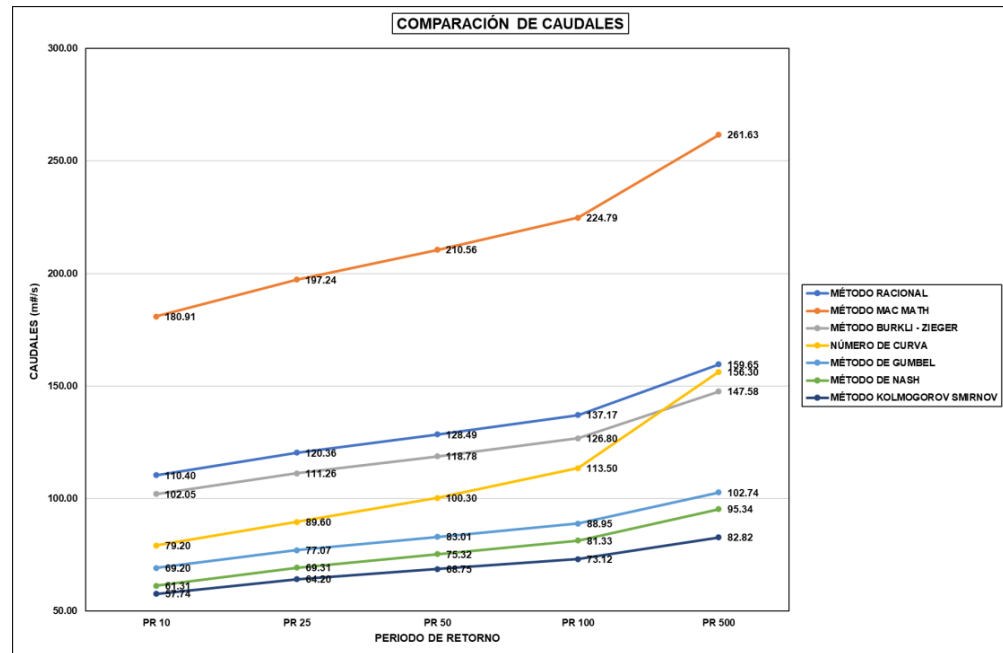
Tabla 40*Valores de caudal por los métodos tomados en cuenta*

Comparación de valores de caudal							
Periodo de retorno	Método empírico				Método estadístico		Método Kolmogorov Smirnov
	Método racional	Método Mac Math	Método Burkli - Zieger	Número de curva	Método De Gudbel	Método de Nash	
Pr 10	110.40	180.91	102.05	79.20	69.20	61.31	57.74
Pr 25	120.36	197.24	111.26	89.60	77.07	69.31	64.20
Pr 50	128.49	210.56	118.78	100.30	83.01	75.32	68.75
Pr 100	137.17	224.79	126.80	113.50	88.95	81.33	73.12
Pr 500	159.65	261.63	147.58	156.30	102.74	95.34	82.82

Nota. Cada uno de los métodos que fueron tomados en cuenta fueron comparados con los valores obtenidos por la metodología de Kolgomorov Smirnov, con dicha metodología los valores de caudal obtenidos fueron de 57.74 m³/s, 64.20 m³/s, 68.75 m³/s, 73.12 m³/s y 82.82 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Figura 35

Gráfica de comparación de caudales



Nota. Con los valores de caudal obtenidos, se pudo identificar que los métodos estadísticos presentan un ajuste óptimo en comparación con los métodos empíricos, sin embargo esto es dependiendo de la clase de información con la que se cuente en la investigación ya que los métodos empíricos se basan en la utilización de información pluviométrica mientras que los modelos estadísticos se basan en la utilización de información neta de caudales, siendo la mejor metodología empírica la del método del número de curva quien es la que mejor se ajusta a los valores de comparación.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hg: Se postula que los métodos estadísticos serán más precisos en la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael, en comparación con los métodos empíricos.

He: Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos estadísticos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos.

He: Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos empíricos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos.

He: Los valores de caudal obtenidos mediante métodos estadísticos generan tirantes más precisos y confiables en el río Huallaga, en comparación con los valores obtenidos mediante métodos empíricos, debido a que reflejan mejor las condiciones hidrológicas locales y los eventos extremos característicos del área de estudio.

He: Los valores de error asociados a la estimación de caudales en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael, son menores cuando se utiliza el método estadístico en comparación con el método empírico, debido a que el método estadístico se basa en el análisis de datos históricos que capturan mejor las variaciones hidrológicas locales.

Tabla 41

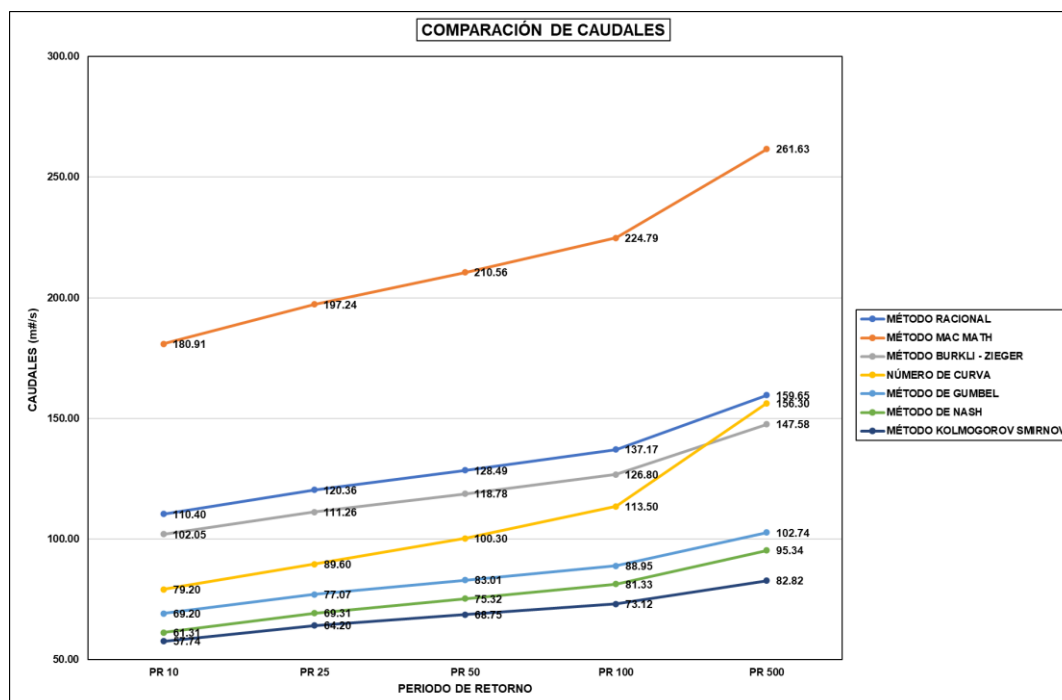
Métodos empíricos y métodos estadísticos

Periodo de retorno	Método empírico				Método estadístico	
	Método racional	Método Mac Math	Método Burkli - Zieger	Número de curva	Método De Gumbel	Método de Nash
Pr 10	110.40	180.91	102.05	79.20	69.20	61.31
Pr 25	120.36	197.24	111.26	89.60	77.07	69.31
Pr 50	128.49	210.56	118.78	100.30	83.01	75.32
Pr 100	137.17	224.79	126.80	113.50	88.95	81.33
Pr 500	159.65	261.63	147.58	156.30	102.74	95.34

En la estimación de los caudales por ambas categorías de estimación de caudales se pudo identificar una alta variación de valores en comparación con los valores determinados por la metodología Kolmogorov – Smirnov, sin embargo, las metodologías estadísticas se asemejan de manera considerable a los valores de comparación como se muestra en la siguiente figura.

Figura 36

Gráfica de comparación de caudales



De la gráfica se pudo verificar el comportamiento de los valores de caudal estimados por diferentes método, los menores valores son los que se estimaron a partir de la metodología de referencia posterior a ello se identificó que la metodología de Nash es el que mejor ajuste presenta, luego de ello la metodología de Gumbel, ambas metodologías son de tipo estadísticas basados en la determinación de valores a partir de registros de caudales es por ello que presentan un mejor ajuste, sin embargo en la comparación de los métodos empíricos que se basan en la estimación de caudales a partir de registros pluviométricos el que presenta un mejor ajuste es la metodología del Número de Curva. A partir de los resultados se pudo demostrar que los métodos estadísticos presentan un mejor ajuste a los resultados de estimación de caudales de diseño para el río Huallaga en el sector de San Rafael.

Con la estimación de los caudales de diseño para el cauce del río Huallaga se pudo determinar que la aplicación de los métodos estadísticos es adaptable a la zona que se requiera, sin embargo la aplicación de los métodos empíricos presenta una mejor adaptabilidad ya que en algunos casos que fueron identificados solo se requirió de información geométrica de la cuenca, de ello se pudo descartar la primera hipótesis específica y dar validez a la segunda hipótesis específica planteada en la investigación.

Tabla 42

Determinación de tirantes para diferentes metodologías para 100 años

Determinación de tirantes		
Metodología	Unidad	Tirante
Método racional	M	7.88
Método Mac Math	M	9.67
Método Burkli - Zieger	M	7.45
Número de Curva	M	7.09
Método de Gumbel	M	6.31
Método de Nash	M	6.06
Método Kolmogorov Smirnov	M	5.54

Los tirantes determinados por el modelo bidimensional fueron de 7.88 m, 9.67 m, 7.45 m, 7.09 m, 6.31 m, 6.06 m y 5.54 m para las metodologías empíricas Racional, Mac Math, Burkli – Zieger, Número de Curva y para las metodologías estadísticas Gumbel, Nash y para la metodología Kolmogorov – Smirnov. Al igual que la estimación de los caudales la aplicación de los métodos estadísticos en la estimación de los tirantes hidráulicos en el cauce se pudo determinar que los tirantes estimados por la metodología estadística presentan un mejor ajuste en comparación con los valores determinados por los métodos empíricos validando así la tercera hipótesis específica de la investigación.

Como se muestra en la Figura 36 se evidencia el mejor ajuste cuando se aplican metodologías estadísticas para la estimación de caudales en comparación con los valores de estimación empíricos, con ello se da validez a la cuarta hipótesis específica planteada en la investigación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para Balladares (2022), de la tesis se pudo concluir lo siguiente: Los valores de caudal obtenidos en la investigación se estimaron a partir del promedio de los valores obtenidos por la metodología SCS HEC-HMS, método Creager y el método Racional Modificado, de ello se determinó que los valores de caudal son 205, 319, 417, 529, 568, 701, 854, 1029 y 1301 m³/seg para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años respectivamente. Las características fisiográficas de la subcuenca son, un área de 188 km² un perímetro 79 km, dichas dimensiones caracterizan a la subcuenca como oblonga rectangular alargada y un valor de índice de compacidad de 1.63. Para la caracterización de la subcuenca se pudo determinar que el tiempo de concentración es de aproximadamente 10 horas, dicho valor define el tipo de comportamiento hidrológico frente a una tormenta, dicho valor determinar que para una duración de 5 horas se alcanzará el pico del hietograma característico para la subcuenca.

Tabla 43

Determinación de caudales por el Número de Curva

Caudal crítico por el método SCS	
Años	Caudal
10	79.20 m ³ /s
25	89.60 m ³ /s
50	100.30 m ³ /s
100	113.50 m ³ /s
500	156.30 m ³ /s

Por la metodología empírica del número de curva se estimó que los valores de caudal son 70.20 m³/s, 89.60 m³/s, 100.30 m³/s, 113.50 m³/s y 158.30 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente, los valores obtenidos por el modelo SCS del número de curva para la presente investigación son menores a los estimados en la investigación de referencia debido a que las características fisiográficas de la cuenca son muy distintas, así como también los valores de precipitación son más altos que los registrados para la cuenca del río Huallaga.

Para Mamani (2021), los valores de precipitación en 24 horas para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años presentaron valores de 43.73, 46.56 y 48.36 mm respectivamente en la caracterización de las precipitaciones se tomó en cuenta un total de 61 años de registros históricos considerados en las estaciones seleccionadas para la caracterización. Para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años los valores de caudal estimados por la metodología Mac-Math fueron de 270.31, 293.14 y 315.89 m³/s respectivamente, los valores de caudal fueron estimados a partir de los registros de precipitación recolectados cada 24 horas, los valores de precipitación recolectados adicionalmente fueron caracterizados por la distribución Gumbel en la cual se pudo determinar que la serie de datos posee una varianza aproximada de 0.059 con la cual se pudo determinar que no hay una variación estadística considerable..

Tabla 44

Valores de precipitación proyectada

Estimación de precipitaciones por la distribución Gamma 3 parámetros	
Periodo de retorno	Precipitación
2	19.65
5	23.40
10	25.83
25	28.80
50	30.93
100	32.99
105	33.13
500	37.56
1000	39.43
10000	44.77

Los valores de precipitación determinados para un periodo de retorno de 50 años en la presente investigación fueron de 30.93 mm menor al estimado en la investigación de referencia siendo valores similares, en la presente investigación se pudo determinar también los valores de caudal por el método de Mac Math, con lo cual se obtuvo lo siguiente:

Tabla 45*Determinación de caudales por Mac Math*

Caudal crítico por el método Mac Math	
Años	Caudal
10	180.91 m ³ /s
25	197.24 m ³ /s
50	210.56 m ³ /s
100	224.79 m ³ /s
500	261.63 m ³ /s

Por la metodología empírica de Mac Math se estimó que los valores de caudal son 180.91 m³/s, 197.24 m³/s, 210.56 m³/s, 224.79 m³/s y 261.63 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente. Si bien el valor determinado para un periodo de retorno de 50 años no es muy similar al determinado en la tesis de referencia esta variación se debe a que los valores fisiográficos de la cuenca son muy distintos a las características de la cuenca de referencia.

CONCLUSIONES

De la estimación de los caudales por las metodologías empíricas y estadísticas se pudo determinar que los métodos estadísticos para la estimación de caudales se basa íntegramente en los registros históricos de caudales, mientras que las metodologías empíricas se basan en la estimación de los caudales a partir de registros pluviométricos registrados de la cuenca, de ello se pudo identificar que los métodos estadísticos son óptimos para la estimación de caudales de diseño, sin embargo si no se cuenta con un registro de caudales la metodología del SCS es la que mejor se ajusta para la cuenca del río Huallaga.

Los valores de caudal por los métodos estadísticos por el método de Gumbel se estimó que los valores de caudal son 69.20 m³/s, 77.07 m³/s, 83.01 m³/s, 88.95 m³/s y 102.74 m³/s y por el método de Gumbel se estimó que los valores de caudal son 61.31 m³/s, 69.31 m³/s, 75.32 m³/s, 81.33 m³/s y 95.34 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Los valores de caudal por los métodos empíricos por el método racional se estimó que los valores de caudal son 110.40 m³/s, 126.36 m³/s, 128.49 m³/s, 137.17 m³/s y 159.65 m³/s, por el método Mac Math se estimó que los valores de caudal son 180.91 m³/s, 197.24 m³/s, 210.56 m³/s, 224.79 m³/s y 261.63 m³/s, por el método Burkli - Zieger se estimó que los valores de caudal son 102.05 m³/s, 111.26 m³/s, 118.78 m³/s, 126.80 m³/s y 147.58 m³/s y por el método del número de curva se estimó que los valores de caudal son 70.20 m³/s, 89.60 m³/s, 100.30 m³/s, 113.50 m³/s y 158.30 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Los tirantes determinados por el modelo bidimensional fueron de 7.88 m, 9.67 m, 7.45 m, 7.09 m, 6.31 m, 6.06 m y 5.54 m para las metodologías empíricas Racional, Mac Math, Burkli – Zieger, Número de Curva y para las metodologías estadísticas Gumbel, Nash y para la metodología Kolmogorov – Smirnov.

En la estimación se pudo determinar que los métodos estadísticos presentan un mejor ajuste a los valores de referencia mientras que de los

métodos empíricos el método que presentó un mejor ajuste fue el del método del Número de Curva del SCS.

RECOMENDACIONES

Para la estimación de caudales de diseño en el río Huallaga, se debe priorizar el uso de métodos estadísticos cuando se dispone de registros históricos de caudales. En caso de no contar con dichos registros, se recomienda utilizar la metodología del Número de Curva del SCS, ya que ha demostrado ser la más adecuada para la cuenca.

Continuar recolectando y manteniendo registros históricos de caudales para mejorar la precisión de las estimaciones mediante métodos estadísticos, como el método de Gumbel. Además, realizar revisiones periódicas y actualizaciones de estos datos para garantizar la fiabilidad de los análisis.

En áreas donde no se dispone de registros históricos de caudales, se debe aplicar el método del Número de Curva del SCS como primera opción. Sin embargo, es importante complementar este enfoque con la recopilación de datos pluviométricos detallados y actualizados de la cuenca para mejorar la exactitud de las estimaciones empíricas.

Utilizar modelos bidimensionales avanzados para la determinación de tirantes en proyectos hidráulicos futuros, asegurando una mejor comprensión de los niveles de agua y la dinámica del flujo en el río Huallaga. Esto permitirá diseñar estructuras hidráulicas más seguras y eficientes.

Realizar estudios comparativos adicionales para validar y mejorar los métodos estadísticos y empíricos en diferentes condiciones hidrológicas y geográficas. Esto ayudará a identificar las mejores prácticas y ajustar los métodos de estimación de caudales de acuerdo con las características específicas de cada cuenca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. (1ra Ed.) LIMUSA.
- Balladares, J. (2022). *Estimación de caudales máximos para la subcuenca de Angostura mediante la data grillada Pisco - Tumbes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio UNTUMBES.
- Briceño, K. (2020). *Investigación de la regionalización de caudales en máximos en las cuencas de la provincia Gualivá por medio del método estadístico índice de creciente*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCATOLICA.
- Chow, V. (1995). *Hidráulica de canales abiertos*. (1ra Ed.). Mc Graw Hill.
- Chow, V., Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidráulica Aplicada*. (1ra Ed.). Mc Graw Hill.
- Cullman, J. (2019). *Problemas mundiales relacionados con el agua y respuestas hidrológicas*. Organización Meteorológica Mundial.
- Escuder, I., Matheu, E. y Castillo, J. (2018). Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales. *Universidad Politécnica de Valencia*, 11(5), 1-41.
- Estrada, V. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(1), 71-80
- Gámez, W. (2009). *Texto básico de Hidrología*. Universidad Nacional Agraria. Dirección de investigación extensión y posgrado.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada*. Editorial Universitaria Abya-Yala, 8(3), 1- 14.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ta Ed.). McGraw-Hill Education.
- Huerta, C. y Pillaca, G. (2020). *Evaluación hidrológica e hidráulica del río Sechín en el Puente Sechín hasta un periodo de retorno de 100 años en el distrito de Casma, Provincia de Casma, Departamento de Ancash*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio UNS.
- Huilca, L. (2021). *Análisis comparativo en la generación de caudales máximos aplicando métodos estadísticos y empíricos con fines de seleccionar el*

- modelo ideal en ríos de alta montaña caso río Huayjoñan, del C.P.M. de Tipon, Dist. Oropesa, Prov. Quispicanchi, Región Cusco-2019.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional UNSAAC.
- Mamani, J. (2021). *Determinación de caudales máximos de diseño mediante métodos convencionales probabilísticos en la subcuenca Ayaviri, Puno-2020.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en La Ingeniería.* (2da Ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco, 2022). *Conceptos para gestión de inundaciones en la región LAC.* Modelación e hidrología de extremos. (1).
- Ortega, C. (2024). *¿Qué es una investigación longitudinal?* QuestionPro:
- Quispe, J. (2022). *Determinación del caudal máximo para el diseño de puente Bolivia ubic. El Alto - La Paz, aplicando el método racional modificado.* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio UMSA.
- Rau, P. (2021). Aporte en ingeniería hidrológica de zonas áridas. Casos aplicados a la vertiente del Pacífico peruano. *Universidad de Ingeniería y Tecnología*, 10(07), 11-38.
- Sánchez, F. (2020). *Hidrología superficial y subterránea.* (2 da Ed.). USAL.
- Sandoval, K. (2022). *Determinación del caudal máximo con aplicación del software ILWIS para mejorar el dimensionamiento de nuevas obras hidráulicas en la subcuenca Blanco en la provincia de Ambo, Huánuco 2020.* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.
- Santiago, I. (2008). *Fundamentos de ArcGIS.* (1ra Ed.). OGP
- Saulo, C. (2020). *Términos hidrológicos.* Organización Meteorológica Mundial.
- Segerer, C., y Villodas, R. (2006). *Hidrología I.* Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ingeniería.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (SENAMHI, 2019). *Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico-hidráulico en Tumbes.* Ministerio del Ambiente.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (SENAMHI, 2022). *Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú*. Ministerio del Ambiente.
- Teodoro, D. (2022). *Comparación de caudales medios mensuales aplicando el método Lutz Scholz y una estación hidrométrica, en la microcuenca del río Higuera, Huánuco 2017-2018*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.
- Universidad Politécnica Salesiana. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Repositorio universitario.
- Vélez, M. (2000). *Hidrología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia, 14(5), 1-377.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. (2daEd.). Serie en Ingeniería agrícola. MaxSoft
- Villón, M. (2004). *Hidráulica de Canales*. (2daEd.). Villón.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Falcón Lorenzo, M. (2025). *Análisis de la estimación de caudales de diseño por métodos estadísticos y empíricos para el río Huallaga en el distrito de San Rafael-2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Análisis de la estimación de caudales de diseño por métodos estadísticos y empíricos para el río Huallaga en el distrito de San Rafael-2024			
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Técnicas e instrumentos
Problema General ¿Cuáles son las diferencias y similitudes entre los métodos estadísticos y empíricos utilizados en la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga en el distrito de San Rafael?	Objetivo General Comparar los métodos estadísticos y empíricos para la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.	Hipótesis General Se postula que los métodos estadísticos serán más precisos en la estimación de caudales de diseño para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael, en comparación con los métodos empíricos.	Técnica: • Mediciones in situ • Revisión de registros históricos • Estudios de casos de eventos extremos • Modelo hidrológico • Análisis de imágenes satelitales.
Problemas Específicos ¿Cuáles son los caudales de diseño por el método estadístico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael? ¿Cuáles son los caudales de diseño por el método empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael?	Objetivos Específicos Estimar los caudales de diseño por el método estadístico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael. Estimar los caudales de diseño por el método empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.	Hipótesis Específica Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos estadísticos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos. Los caudales de diseño para el río Huallaga, determinados mediante métodos empíricos, son significativamente más adaptables a las condiciones hidrológicas locales del distrito de San Rafael, en comparación con caudales estimados por métodos empíricos.	
¿Cuáles son los caudales de diseño por el método estadístico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael?	Determinar los valores de tirantes por caudales empíricos y estadísticos para el río Huallaga.		
¿Cuáles son los caudales de diseño por el método empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael?	Identificar los valores de error en la estimación de caudales por el método		Instrumentos:

empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael? ¿Cómo influyen los valores de caudal empírico y estadístico en los tirantes del río Huallaga? ¿Cuáles son los valores de error asociados a la estimación de caudales utilizando tanto el método estadístico como el empírico en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael?	estadístico y empírico para el río Huallaga, en el distrito de San Rafael.	Los valores de caudal obtenidos mediante métodos estadísticos generan tirantes más precisos y confiables en el río Huallaga, en comparación con los valores obtenidos mediante métodos empíricos, debido a que reflejan mejor las condiciones hidrológicas locales y los eventos extremos característicos del área de estudio. Los valores de error asociados a la estimación de caudales en el río Huallaga, ubicado en el distrito de San Rafael, son menores cuando se utiliza el método estadístico en comparación con el método empírico, debido a que el método estadístico se basa en el análisis de datos históricos que capturan mejor las variaciones hidrológicas locales.	• Estaciones Meteorológicas Automáticas • Dispositivos GPS • Software de Modelado Hidrológico
---	--	--	---

Diseño de la investigación	Población y muestra	Variables
Tipo de Investigación: Cuantitativo Alcance de Investigación: Correlacional. Diseño: No Experimental.	Población: En la presente investigación se definió como población al cauce del Río Huallaga en el distrito de San Rafael. Muestra: En la presente investigación se consideró como muestra a un tramo de 0.80 km aguas arriba a partir de la iglesia del distrito de San Rafael.	Variable Dependiente Caudales de diseño Variable Independiente Métodos estadísticos y empíricos

ANEXO 2

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

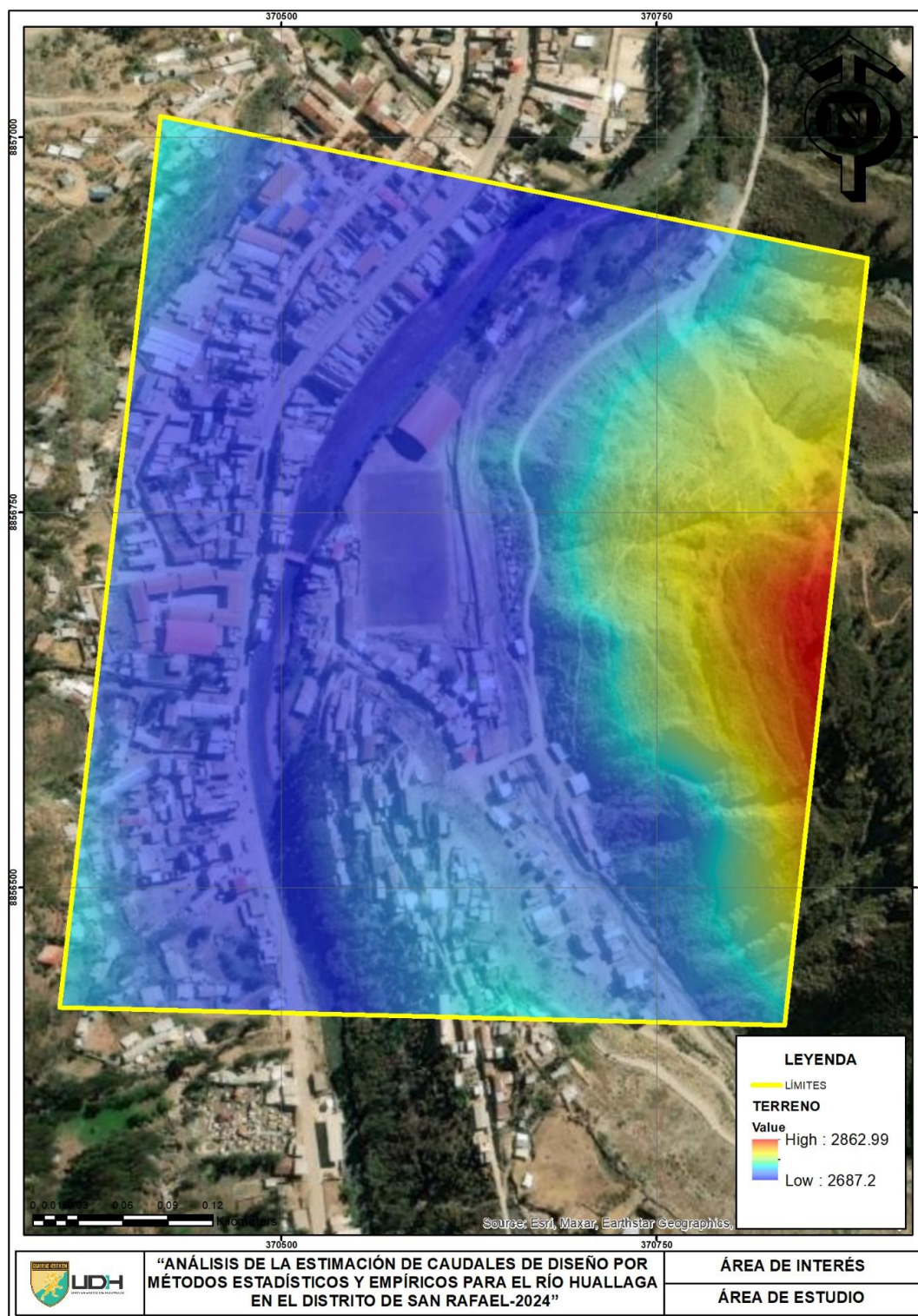
Ficha de parámetros geométricos de la cuenca			
Parámetros de superficie de la cuenca			
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo
Área	Km2		
Perímetro	Km		
Ancho	Km		
Largo	Km		
Centroide este	M		
Centroide norte	M		
Centroide cota	Msnm		
Ficha de parámetros altitudinales			
Parámetro	Unidad	Valor	Tipo
Cota máxima	Msnm		
Cota mínima	Msnm		
Altura media	Msnm		
Altura frecuente	Msnm		
Altura de frecuencia promedio	Msnm		
Pendiente	%		
Ficha de precipitaciones			
Periodo de retorno		Precipitación	
2			
5			
10			
25			
50			
100			
105			
500			
1000			
10000			
Ficha de caudales			
Caudal crítico por el método			
Años		Caudal	
10			
25			
50			
100			
500			

ANEXO 3

UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

Figura 37

Ubicación de la zona de investigación



ANEXO 4

PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 46

Registro pluviométrico sin procesar – Carhuacayan

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN CARHUACAYAN															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO ANUAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC			
1968	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.80	1.90	22.80	1.36
1969	18.10	22.80	14.60	19.70	16.00	6.40	2.80	5.10	9.30	21.50	17.70	18.10	14.34	22.80	1.36
1970	43.90	30.70	21.50	24.90	12.20	11.10	6.90	13.00	13.20	20.50	17.50	23.60	19.92	43.90	1.64
1971	8.50	25.50	15.20	9.80	6.40	2.70	3.50	26.50	14.20	27.50	10.80	17.90	14.04	27.50	1.44
1972	14.90	19.90	27.80	22.30	3.40	1.90	10.30	2.90	15.90	28.10	14.40	13.70	14.63	28.10	1.45
1973	19.40	26.60	18.30	13.80	4.80	6.10	17.10	9.90	19.60	21.10	22.80	18.60	16.51	26.60	1.42
1974	18.40	29.90	14.50	12.40	3.20	6.20	7.90	10.90	10.50	17.30	13.40	16.90	13.46	29.90	1.48
1975	13.40	18.50	24.80	12.90	16.40	10.60	13.60	10.00	-99.90	14.40	14.90	11.20	5.07	24.80	1.39
1976	25.40	18.60	19.50	17.70	16.30	8.90	3.40	12.50	-99.90	4.80	18.10	7.30	4.38	25.40	1.40
1977	17.40	29.70	7.20	-99.90	5.60	3.80	2.90	5.10	26.10	6.10	22.50	23.80	4.19	29.70	1.47
1978	16.70	17.00	12.20	22.10	13.50	9.40	9.80	20.20	16.10	38.80	21.50	16.20	17.79	38.80	1.59
1979	18.50	20.20	21.80	13.80	6.80	0.00	0.00	8.90	29.80	26.50	29.30	30.20	17.15	30.20	1.48

1980	19.60	21.10	25.40	3.50	22.60	0.00	2.30	3.60	4.00	30.70	25.40	16.90	14.59	30.70	1.49
1981	34.70	17.90	8.50	10.30	0.00	0.00	8.10	0.00	6.60	15.00	14.20	8.90	10.35	34.70	1.54
1982	15.30	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-90.30	15.30	1.18
1983	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#iNUM!
1984	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#iNUM!
1985	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	0.00	10.50	20.70	-72.33	20.70	1.32
1986	15.80	19.50	12.30	17.40	19.00	0.00	7.00	12.80	11.70	6.70	9.50	15.50	12.27	19.50	1.29
1987	15.10	17.50	13.00	6.50	7.50	5.70	6.00	3.70	3.50	7.30	7.00	5.50	8.19	17.50	1.24
1988	18.10	10.00	7.50	7.00	3.90	2.30	0.00	0.00	0.00	9.60	5.40	0.00	5.32	18.10	1.26
1989	18.00	16.10	14.10	4.90	4.50	1.20	1.60	0.00	1.50	4.20	4.70	6.50	6.44	18.00	1.26
1990	4.70	5.40	3.50	2.00	5.00	3.70	2.70	2.50	15.00	5.00	8.50	6.00	5.33	15.00	1.18
1991	8.00	5.10	23.30	4.00	2.20	6.70	1.70	0.00	13.30	11.00	14.60	9.00	8.24	23.30	1.37
1992	2.50	14.40	19.00	13.50	1.80	3.40	1.20	0.00	0.00	18.10	9.20	9.00	7.68	19.00	1.28
1993	16.00	19.70	15.00	18.60	6.80	1.60	1.20	6.00	14.60	10.20	18.40	17.00	12.09	19.70	1.29
1994	15.60	5.60	16.80	15.00	4.50	2.10	13.40	12.60	3.00	16.30	18.10	9.30	11.03	18.10	1.26
1995	12.60	10.20	10.60	14.70	3.60	0.00	0.00	3.10	5.50	11.00	14.30	19.90	8.79	19.90	1.30
1996	8.30	7.50	10.00	16.60	5.50	1.00	0.40	3.30	3.20	4.80	8.60	10.00	6.60	16.60	1.22
1997	13.80	18.40	10.50	8.60	2.10	4.40	4.80	0.00	16.30	4.10	11.60	10.00	8.72	18.40	1.26
1998	7.30	15.00	15.20	10.00	17.50	1.50	0.00	0.00	13.00	7.00	4.30	8.00	8.23	17.50	1.24
1999	20.00	24.40	20.00	13.60	6.80	3.00	6.50	1.80	17.80	17.60	8.90	9.00	12.45	24.40	1.39
2000	30.20	26.50	19.30	10.10	8.00	1.50	3.80	5.60	4.00	17.50	27.10	19.40	14.42	30.20	1.48

2001	15.70	14.80	21.80	20.00	6.10	2.70	2.50	5.80	30.50	11.90	11.50	17.30	13.38	30.50	1.48
2002	15.90	26.50	24.10	30.50	10.50	14.90	3.50	2.80	11.50	-99.90	20.60	20.00	6.74	30.50	1.48
2003	14.00	13.80	27.00	37.90	6.90	11.60	0.00	4.00	22.50	11.70	9.50	25.30	15.35	37.90	1.58
2004	13.50	33.50	18.50	13.00	33.00	10.30	5.20	36.00	12.10	28.80	12.00	19.80	19.64	36.00	1.56
2005	12.00	28.00	15.20	9.30	10.00	0.60	0.00	9.00	8.50	13.10	24.40	13.00	11.93	28.00	1.45
2006	23.00	18.40	16.30	17.00	10.00	16.50	4.00	10.80	12.00	21.80	10.00	44.00	16.98	44.00	1.64
2007	20.10	36.20	23.30	21.60	25.00	0.00	0.00	1.50	7.10	22.30	15.00	24.50	16.38	36.20	1.56
2008	14.40	10.00	18.80	9.60	1.40	1.80	1.00	5.80	8.80	27.00	6.00	10.50	9.59	27.00	1.43
2009	13.20	18.50	35.70	12.70	12.70	1.20	2.40	7.20	7.00	10.50	19.00	11.00	12.59	35.70	1.55
2010	24.50	18.20	14.00	10.80	8.00	3.70	3.20	7.60	6.90	12.60	17.10	24.00	12.55	24.50	1.39
2011	8.60	38.20	12.50	12.80	31.00	0.00	6.00	13.20	19.00	7.80	13.80	21.00	15.33	38.20	1.58
2012	21.00	23.30	14.60	16.00	9.00	1.60	5.50	20.00	23.20	15.30	10.30	-99.90	4.99	23.30	1.37
2013	17.70	26.10	21.50	10.00	12.00	10.00	6.80	15.00	18.00	11.00	14.00	21.00	15.26	26.10	1.42
PROMEDIO	8.78	9.12	6.63	1.47	0.04	-4.77	-4.80	-1.76	-2.71	4.72	6.67	5.93			
MÁXIMO	43.90	38.20	35.70	37.90	33.00	16.50	17.10	36.00	30.50	38.80	29.30	44.00			
VALOR LOGARÍTMICO	1.64	1.58	1.55	1.58	1.52	1.22	1.23	1.56	1.48	1.59	1.47	1.64			

Tabla 47

Registro pluviométrico completos – Carhuacayan

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN CARHUACAYAN															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO ANUAL	1 ENE	2 FEB	3 MAR	4 ABR	5 MAY	6 JUN	7 JUL	8 AGO	9 SET	10 OCT	11 NOV	12 DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
1968	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.80	1.90	22.80	1.36
1969	18.10	22.80	14.60	19.70	16.00	6.40	2.80	5.10	9.30	21.50	17.70	18.10	14.34	22.80	1.36
1970	43.90	30.70	21.50	24.90	12.20	11.10	6.90	13.00	13.20	20.50	17.50	23.60	19.92	43.90	1.64
1971	8.50	25.50	15.20	9.80	6.40	2.70	3.50	26.50	14.20	27.50	10.80	17.90	14.04	27.50	1.44
1972	14.90	19.90	27.80	22.30	3.40	1.90	10.30	2.90	15.90	28.10	14.40	13.70	14.63	28.10	1.45
1973	19.40	26.60	18.30	13.80	4.80	6.10	17.10	9.90	19.60	21.10	22.80	18.60	16.51	26.60	1.42
1974	18.40	29.90	14.50	12.40	3.20	6.20	7.90	10.90	10.50	17.30	13.40	16.90	13.46	29.90	1.48
1975	13.40	18.50	24.80	12.90	16.40	10.60	13.60	10.00	11.87	14.40	14.90	11.20	14.38	24.80	1.39
1976	25.40	18.60	19.50	17.70	16.30	8.90	3.40	12.50	11.87	4.80	18.10	7.30	13.70	25.40	1.40
1977	17.40	29.70	7.20	13.83	5.60	3.80	2.90	5.10	26.10	6.10	22.50	23.80	13.67	29.70	1.47
1978	16.70	17.00	12.20	22.10	13.50	9.40	9.80	20.20	16.10	38.80	21.50	16.20	17.79	38.80	1.59
1979	18.50	20.20	21.80	13.80	6.80	0.00	0.00	8.90	29.80	26.50	29.30	30.20	17.15	30.20	1.48
1980	19.60	21.10	25.40	3.50	22.60	0.00	2.30	3.60	4.00	30.70	25.40	16.90	14.59	30.70	1.49
1981	34.70	17.90	8.50	10.30	0.00	0.00	8.10	0.00	6.60	15.00	14.20	8.90	10.35	34.70	1.54
1982	15.30	20.74	16.78	13.83	9.56	4.29	4.26	7.59	11.87	14.68	14.10	16.01	12.42	20.74	1.32

1983	16.37	20.74	16.78	13.83	9.56	4.29	4.26	7.59	11.87	14.68	14.10	16.01	12.51	20.74	1.32
1984	16.37	20.74	16.78	13.83	9.56	4.29	4.26	7.59	11.87	14.68	14.10	16.01	12.51	20.74	1.32
1985	16.37	20.74	16.78	13.83	9.56	4.29	4.26	7.59	11.87	0.00	10.50	20.70	11.37	20.74	1.32
1986	15.80	19.50	12.30	17.40	19.00	0.00	7.00	12.80	11.70	6.70	9.50	15.50	12.27	19.50	1.29
1987	15.10	17.50	13.00	6.50	7.50	5.70	6.00	3.70	3.50	7.30	7.00	5.50	8.19	17.50	1.24
1988	18.10	10.00	7.50	7.00	3.90	2.30	0.00	0.00	0.00	9.60	5.40	0.00	5.32	18.10	1.26
1989	18.00	16.10	14.10	4.90	4.50	1.20	1.60	0.00	1.50	4.20	4.70	6.50	6.44	18.00	1.26
1990	4.70	5.40	3.50	2.00	5.00	3.70	2.70	2.50	15.00	5.00	8.50	6.00	5.33	15.00	1.18
1991	8.00	5.10	23.30	4.00	2.20	6.70	1.70	0.00	13.30	11.00	14.60	9.00	8.24	23.30	1.37
1992	2.50	14.40	19.00	13.50	1.80	3.40	1.20	0.00	0.00	18.10	9.20	9.00	7.68	19.00	1.28
1993	16.00	19.70	15.00	18.60	6.80	1.60	1.20	6.00	14.60	10.20	18.40	17.00	12.09	19.70	1.29
1994	15.60	5.60	16.80	15.00	4.50	2.10	13.40	12.60	3.00	16.30	18.10	9.30	11.03	18.10	1.26
1995	12.60	10.20	10.60	14.70	3.60	0.00	0.00	3.10	5.50	11.00	14.30	19.90	8.79	19.90	1.30
1996	8.30	7.50	10.00	16.60	5.50	1.00	0.40	3.30	3.20	4.80	8.60	10.00	6.60	16.60	1.22
1997	13.80	18.40	10.50	8.60	2.10	4.40	4.80	0.00	16.30	4.10	11.60	10.00	8.72	18.40	1.26
1998	7.30	15.00	15.20	10.00	17.50	1.50	0.00	0.00	13.00	7.00	4.30	8.00	8.23	17.50	1.24
1999	20.00	24.40	20.00	13.60	6.80	3.00	6.50	1.80	17.80	17.60	8.90	9.00	12.45	24.40	1.39
2000	30.20	26.50	19.30	10.10	8.00	1.50	3.80	5.60	4.00	17.50	27.10	19.40	14.42	30.20	1.48
2001	15.70	14.80	21.80	20.00	6.10	2.70	2.50	5.80	30.50	11.90	11.50	17.30	13.38	30.50	1.48
2002	15.90	26.50	24.10	30.50	10.50	14.90	3.50	2.80	11.50	14.68	20.60	20.00	16.29	30.50	1.48
2003	14.00	13.80	27.00	37.90	6.90	11.60	0.00	4.00	22.50	11.70	9.50	25.30	15.35	37.90	1.58

2004	13.50	33.50	18.50	13.00	33.00	10.30	5.20	36.00	12.10	28.80	12.00	19.80	19.64	36.00	1.56
2005	12.00	28.00	15.20	9.30	10.00	0.60	0.00	9.00	8.50	13.10	24.40	13.00	11.93	28.00	1.45
2006	23.00	18.40	16.30	17.00	10.00	16.50	4.00	10.80	12.00	21.80	10.00	44.00	16.98	44.00	1.64
2007	20.10	36.20	23.30	21.60	25.00	0.00	0.00	1.50	7.10	22.30	15.00	24.50	16.38	36.20	1.56
2008	14.40	10.00	18.80	9.60	1.40	1.80	1.00	5.80	8.80	27.00	6.00	10.50	9.59	27.00	1.43
2009	13.20	18.50	35.70	12.70	12.70	1.20	2.40	7.20	7.00	10.50	19.00	11.00	12.59	35.70	1.55
2010	24.50	18.20	14.00	10.80	8.00	3.70	3.20	7.60	6.90	12.60	17.10	24.00	12.55	24.50	1.39
2011	8.60	38.20	12.50	12.80	31.00	0.00	6.00	13.20	19.00	7.80	13.80	21.00	15.33	38.20	1.58
2012	21.00	23.30	14.60	16.00	9.00	1.60	5.50	20.00	23.20	15.30	10.30	16.01	14.65	23.30	1.37
2013	17.70	26.10	21.50	10.00	12.00	10.00	6.80	15.00	18.00	11.00	14.00	21.00	15.26	26.10	1.42
PROMEDIO	16.37	19.61	16.78	13.83	9.56	4.29	4.26	7.59	11.87	14.68	14.10	16.01			
MÁXIMO	43.90	38.20	35.70	37.90	33.00	16.50	17.10	36.00	30.50	38.80	29.30	44.00			
VALOR LOGARÍTMICO	1.64	1.58	1.55	1.58	1.52	1.22	1.23	1.56	1.48	1.59	1.47	1.64			

Tabla 48

Registro pluviométrico sin procesar – Huánuco

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN HUÁNUCO															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR
ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC			LOGARÍTMICO
1968	16.00	17.00	11.60	5.30	0.80	2.70	1.00	4.30	20.40	13.80	4.80	15.60	9.44	20.40	1.31
1969	16.20	9.70	25.00	8.40	2.70	3.70	0.90	3.80	7.80	4.50	27.40	17.80	10.66	27.40	1.44
1970	8.60	8.90	12.00	11.70	4.70	9.40	8.60	0.20	10.60	8.40	11.70	20.00	9.57	20.00	1.30
1971	14.60	6.30	14.60	9.20	5.20	2.30	3.80	10.20	2.90	9.20	15.10	10.40	8.65	15.10	1.18
1972	8.20	9.70	14.60	12.80	3.30	0.01	0.01	3.30	9.50	10.60	16.50	8.50	8.09	16.50	1.22
1973	15.20	17.60	25.20	12.40	5.20	6.80	2.80	26.10	0.90	24.20	21.00	20.80	14.85	26.10	1.42
1974	10.60	8.60	19.90	25.60	2.00	3.50	1.20	5.90	1.80	5.70	3.40	7.50	7.98	25.60	1.41
1975	9.90	10.10	13.60	4.10	15.20	4.00	2.70	3.10	5.80	29.20	10.80	14.30	10.23	29.20	1.47
1976	12.80	16.00	3.10	2.60	1.50	0.00	0.00	0.00	2.70	-99.90	-99.90	4.10	-13.08	16.00	1.20
1977	10.30	13.50	13.70	31.40	15.70	0.50	0.70	5.50	14.20	11.00	28.50	26.50	14.29	31.40	1.50
1978	9.10	8.70	16.80	7.80	10.90	1.00	0.70	1.50	0.80	3.20	6.50	15.80	6.90	16.80	1.23
1979	-99.90	-99.90	40.00	26.80	0.00	0.00	3.20	0.00	3.50	30.70	10.40	5.40	-6.65	40.00	1.60
1980	24.80	22.40	20.40	22.30	0.00	8.40	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-41.76	24.80	1.39
1981	-99.90	7.20	9.30	16.70	4.90	0.40	1.40	2.40	3.50	13.30	36.80	35.30	2.61	36.80	1.57
1982	26.70	14.00	42.90	14.10	2.20	0.90	3.10	3.50	1.70	6.80	8.60	21.60	12.18	42.90	1.63
1983	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#¡NUM!
1984	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#¡NUM!

1985	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90
1986	6.10	17.60	18.50	7.40	10.00	12.90	2.10	9.10	5.20	4.50	8.10	15.60	9.76	18.50	1.27
1987	4.90	12.20	18.60	13.50	2.90	4.80	4.20	2.40	4.50	5.70	15.80	12.00	8.46	18.60	1.27
1988	13.80	20.10	8.70	18.60	4.20	0.00	4.20	1.50	7.40	3.60	10.70	11.60	8.70	20.10	1.30
1989	15.70	8.00	11.90	6.50	6.30	3.40	0.00	1.40	5.70	20.60	11.10	27.40	9.83	27.40	1.44
1990	11.50	6.10	15.10	20.10	13.00	4.70	1.30	4.50	2.80	21.30	18.00	12.00	10.87	21.30	1.33
1991	4.70	15.00	28.80	8.30	2.00	5.00	4.80	0.00	2.20	11.40	15.00	20.40	9.80	28.80	1.46
1992	8.50	29.60	15.60	5.40	0.00	3.60	0.00	25.00	2.00	38.40	24.90	9.80	13.57	38.40	1.58
1993	12.50	18.00	13.70	13.50	6.20	4.70	3.40	3.70	6.00	7.60	16.40	12.30	9.83	18.00	1.26
1994	-99.90	8.70	10.90	24.00	15.00	0.00	0.00	0.00	20.50	19.00	7.20	20.60	2.17	24.00	1.38
1995	8.00	18.90	17.50	8.90	1.80	0.70	1.20	0.40	3.00	8.90	13.90	12.30	7.96	18.90	1.28
1996	13.50	9.10	15.90	17.10	10.40	0.01	0.10	3.50	1.40	9.30	15.10	8.10	8.63	17.10	1.23
1997	10.50	6.60	11.40	10.60	4.20	1.90	0.00	4.10	5.30	8.30	11.20	7.80	6.83	11.40	1.06
1998	17.90	16.50	27.50	1.00	2.70	1.80	0.00	1.50	3.20	13.40	26.00	7.20	9.89	27.50	1.44
1999	13.10	28.00	15.20	5.40	9.20	8.10	4.70	0.60	33.00	5.60	10.70	13.70	12.28	33.00	1.52
2000	10.80	14.20	14.60	7.70	5.30	7.30	2.40	12.10	4.00	2.80	20.30	19.30	10.07	20.30	1.31
2001	11.30	8.90	10.60	25.70	7.40	0.80	3.20	5.00	2.00	10.00	48.70	10.80	12.03	48.70	1.69
2002	13.00	19.40	14.90	27.20	9.70	2.10	5.20	1.30	2.80	22.90	7.80	5.20	10.96	27.20	1.43
2003	12.30	6.40	9.40	14.90	3.00	0.10	0.10	6.90	4.40	12.50	23.00	18.10	9.26	23.00	1.36
2004	7.60	8.10	11.90	10.50	11.70	1.40	2.10	4.60	11.30	6.40	13.00	17.60	8.85	17.60	1.25
2005	5.90	16.60	25.50	2.40	0.60	0.01	0.80	7.50	3.50	11.00	8.70	20.10	8.55	25.50	1.41
2006	28.00	11.30	18.90	8.30	1.90	3.60	1.60	2.00	7.20	18.90	21.70	18.20	11.80	28.00	1.45
2007	8.70	2.40	12.30	7.50	5.30	1.20	3.30	2.90	2.30	25.80	13.70	27.30	9.39	27.30	1.44

2008	7.90	12.50	16.60	15.80	2.70	1.80	0.10	0.70	14.20	11.70	33.10	30.60	12.31	33.10	1.52
2009	19.60	10.00	19.40	10.60	7.30	9.00	4.00	3.40	2.30	16.80	8.50	9.10	10.00	19.60	1.29
2010	4.90	17.40	22.60	6.80	2.40	1.20	3.80	5.00	9.60	12.00	21.80	19.90	10.62	22.60	1.35
2011	13.60	11.60	35.40	8.00	9.50	1.80	0.90	1.50	11.40	20.40	19.30	36.20	14.13	36.20	1.56
2012	16.30	12.30	11.60	16.30	5.70	1.90	4.70	2.50	2.60	16.20	29.60	30.70	12.53	30.70	1.49
2013	7.90	13.80	14.70	13.60	1.90	4.70	5.50	14.10	2.40	13.40	11.10	19.90	10.25	19.90	1.30
PROMEDIO	-2.35	3.25	9.80	5.37	-1.37	-3.64	-6.65	-4.40	-2.85	1.08	4.05	6.47			
MÁXIMO	28.00	29.60	42.90	31.40	15.70	12.90	8.60	26.10	33.00	38.40	48.70	36.20			
VALOR LOGARÍTMICO	1.45	1.47	1.63	1.50	1.20	1.11	0.93	1.42	1.52	1.58	1.69	1.56			

Tabla 49

Registro pluviométrico completos – Huánuco

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN HUÁNUCO															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO ANUAL	1 ENE	2 FEB	3 MAR	4 ABR	5 MAY	6 JUN	7 JUL	8 AGO	9 SET	10 OCT	11 NOV	12 DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
1968	16.00	17.00	11.60	5.30	0.80	2.70	1.00	4.30	20.40	13.80	4.80	15.60	9.44	20.40	1.31
1969	16.20	9.70	25.00	8.40	2.70	3.70	0.90	3.80	7.80	4.50	27.40	17.80	10.66	27.40	1.44
1970	8.60	8.90	12.00	11.70	4.70	9.40	8.60	0.20	10.60	8.40	11.70	20.00	9.57	20.00	1.30
1971	14.60	6.30	14.60	9.20	5.20	2.30	3.80	10.20	2.90	9.20	15.10	10.40	8.65	15.10	1.18
1972	8.20	9.70	14.60	12.80	3.30	0.01	0.01	3.30	9.50	10.60	16.50	8.50	8.09	16.50	1.22
1973	15.20	17.60	25.20	12.40	5.20	6.80	2.80	26.10	0.90	24.20	21.00	20.80	14.85	26.10	1.42
1974	10.60	8.60	19.90	25.60	2.00	3.50	1.20	5.90	1.80	5.70	3.40	7.50	7.98	25.60	1.41
1975	9.90	10.10	13.60	4.10	15.20	4.00	2.70	3.10	5.80	29.20	10.80	14.30	10.23	29.20	1.47
1976	12.80	16.00	3.10	2.60	1.50	0.00	0.00	0.00	2.70	13.39	16.73	4.10	6.08	16.73	1.22
1977	10.30	13.50	13.70	31.40	15.70	0.50	0.70	5.50	14.20	11.00	28.50	26.50	14.29	31.40	1.50
1978	9.10	8.70	16.80	7.80	10.90	1.00	0.70	1.50	0.80	3.20	6.50	15.80	6.90	16.80	1.23
1979	12.29	13.07	40.00	26.80	0.00	0.00	3.20	0.00	3.50	30.70	10.40	5.40	12.11	40.00	1.60
1980	24.80	22.40	20.40	22.30	0.00	8.40	2.23	4.69	6.39	13.39	16.73	16.60	13.19	24.80	1.39
1981	12.29	7.20	9.30	16.70	4.90	0.40	1.40	2.40	3.50	13.30	36.80	35.30	11.96	36.80	1.57
1982	26.70	14.00	42.90	14.10	2.20	0.90	3.10	3.50	1.70	6.80	8.60	21.60	12.18	42.90	1.63

1983	12.29	13.07	17.45	12.72	5.50	3.07	2.23	4.69	6.39	13.39	16.73	16.60	10.34	17.45	1.24
1984	12.29	13.07	17.45	12.72	5.50	3.07	2.23	4.69	6.39	13.39	16.73	16.60	10.34	17.45	1.24
1985	12.29	13.07	17.45	12.72	5.50	3.07	2.23	4.69	6.39	13.39	16.73	16.60	10.34	17.45	1.24
1986	6.10	17.60	18.50	7.40	10.00	12.90	2.10	9.10	5.20	4.50	8.10	15.60	9.76	18.50	1.27
1987	4.90	12.20	18.60	13.50	2.90	4.80	4.20	2.40	4.50	5.70	15.80	12.00	8.46	18.60	1.27
1988	13.80	20.10	8.70	18.60	4.20	0.00	4.20	1.50	7.40	3.60	10.70	11.60	8.70	20.10	1.30
1989	15.70	8.00	11.90	6.50	6.30	3.40	0.00	1.40	5.70	20.60	11.10	27.40	9.83	27.40	1.44
1990	11.50	6.10	15.10	20.10	13.00	4.70	1.30	4.50	2.80	21.30	18.00	12.00	10.87	21.30	1.33
1991	4.70	15.00	28.80	8.30	2.00	5.00	4.80	0.00	2.20	11.40	15.00	20.40	9.80	28.80	1.46
1992	8.50	29.60	15.60	5.40	0.00	3.60	0.00	25.00	2.00	38.40	24.90	9.80	13.57	38.40	1.58
1993	12.50	18.00	13.70	13.50	6.20	4.70	3.40	3.70	6.00	7.60	16.40	12.30	9.83	18.00	1.26
1994	12.29	8.70	10.90	24.00	15.00	0.00	0.00	0.00	20.50	19.00	7.20	20.60	11.52	24.00	1.38
1995	8.00	18.90	17.50	8.90	1.80	0.70	1.20	0.40	3.00	8.90	13.90	12.30	7.96	18.90	1.28
1996	13.50	9.10	15.90	17.10	10.40	0.01	0.10	3.50	1.40	9.30	15.10	8.10	8.63	17.10	1.23
1997	10.50	6.60	11.40	10.60	4.20	1.90	0.00	4.10	5.30	8.30	11.20	7.80	6.83	11.40	1.06
1998	17.90	16.50	27.50	1.00	2.70	1.80	0.00	1.50	3.20	13.40	26.00	7.20	9.89	27.50	1.44
1999	13.10	28.00	15.20	5.40	9.20	8.10	4.70	0.60	33.00	5.60	10.70	13.70	12.28	33.00	1.52
2000	10.80	14.20	14.60	7.70	5.30	7.30	2.40	12.10	4.00	2.80	20.30	19.30	10.07	20.30	1.31
2001	11.30	8.90	10.60	25.70	7.40	0.80	3.20	5.00	2.00	10.00	48.70	10.80	12.03	48.70	1.69
2002	13.00	19.40	14.90	27.20	9.70	2.10	5.20	1.30	2.80	22.90	7.80	5.20	10.96	27.20	1.43
2003	12.30	6.40	9.40	14.90	3.00	0.10	0.10	6.90	4.40	12.50	23.00	18.10	9.26	23.00	1.36

2004	7.60	8.10	11.90	10.50	11.70	1.40	2.10	4.60	11.30	6.40	13.00	17.60	8.85	17.60	1.25
2005	5.90	16.60	25.50	2.40	0.60	0.01	0.80	7.50	3.50	11.00	8.70	20.10	8.55	25.50	1.41
2006	28.00	11.30	18.90	8.30	1.90	3.60	1.60	2.00	7.20	18.90	21.70	18.20	11.80	28.00	1.45
2007	8.70	2.40	12.30	7.50	5.30	1.20	3.30	2.90	2.30	25.80	13.70	27.30	9.39	27.30	1.44
2008	7.90	12.50	16.60	15.80	2.70	1.80	0.10	0.70	14.20	11.70	33.10	30.60	12.31	33.10	1.52
2009	19.60	10.00	19.40	10.60	7.30	9.00	4.00	3.40	2.30	16.80	8.50	9.10	10.00	19.60	1.29
2010	4.90	17.40	22.60	6.80	2.40	1.20	3.80	5.00	9.60	12.00	21.80	19.90	10.62	22.60	1.35
2011	13.60	11.60	35.40	8.00	9.50	1.80	0.90	1.50	11.40	20.40	19.30	36.20	14.13	36.20	1.56
2012	16.30	12.30	11.60	16.30	5.70	1.90	4.70	2.50	2.60	16.20	29.60	30.70	12.53	30.70	1.49
2013	7.90	13.80	14.70	13.60	1.90	4.70	5.50	14.10	2.40	13.40	11.10	19.90	10.25	19.90	1.30
PROMEDIO	17.13	16.42	17.45	12.72	5.50	3.07	2.23	4.69	6.39	13.39	16.73	16.60			
MÁXIMO	28.00	29.60	42.90	31.40	15.70	12.90	8.60	26.10	33.00	38.40	48.70	36.20			
VALOR LOGARÍTMICO	1.45	1.47	1.63	1.50	1.20	1.11	0.93	1.42	1.52	1.58	1.69	1.56			

Tabla 50

Registro pluviométrico sin procesar – Oyón

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN OYÓN															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO ANUAL	1 ENE	2 FEB	3 MAR	4 ABR	5 MAY	6 JUN	7 JUL	8 AGO	9 SET	10 OCT	11 NOV	12 DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
1968	10.50	11.40	16.80	1.80	1.90	0.90	2.40	9.20	5.50	9.20	11.90	10.30	7.65	16.80	1.23
1969	10.60	15.70	12.10	12.80	3.80	2.00	2.40	9.60	4.00	8.00	14.00	23.80	9.90	23.80	1.38
1970	13.50	16.20	18.70	11.20	12.90	1.00	2.50	3.20	15.80	15.50	13.50	17.90	11.83	18.70	1.27
1971	10.80	13.70	12.60	11.40	4.40	1.40	0.30	7.50	1.60	12.00	7.40	13.50	8.05	13.70	1.14
1972	10.10	16.40	26.40	15.40	0.10	0.00	0.00	11.70	7.00	6.80	13.80	11.50	9.93	26.40	1.42
1973	14.70	28.20	15.40	14.80	21.40	1.30	5.30	5.40	12.60	5.60	8.00	11.90	12.05	28.20	1.45
1974	22.50	19.50	13.40	4.70	1.00	1.40	0.80	8.50	2.20	7.40	8.50	14.40	8.69	22.50	1.35
1975	24.10	18.20	26.50	17.50	6.00	0.00	0.00	6.00	13.20	10.50	10.40	3.80	11.35	26.50	1.42
1976	14.80	20.10	17.50	20.10	2.30	2.60	1.50	4.80	4.80	2.80	11.20	21.70	10.35	21.70	1.34
1977	15.30	17.00	10.00	10.10	17.50	0.80	1.30	0.40	12.80	3.80	12.70	14.20	9.66	17.50	1.24
1978	17.20	16.60	9.20	10.00	2.20	0.00	3.10	2.80	5.60	12.30	14.80	6.90	8.39	17.20	1.24
1979	20.10	15.20	19.00	11.80	3.10	0.00	0.00	0.00	3.90	9.20	5.60	3.30	7.60	20.10	1.30
1980	12.00	14.50	15.00	3.10	4.00	1.20	0.80	0.00	2.80	20.20	13.40	19.60	8.88	20.20	1.31
1981	29.80	18.40	24.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	18.10	5.70	12.40	9.35	29.80	1.47
1982	10.30	15.10	19.20	16.40	-99.90	0.00	4.30	0.00	0.00	7.70	7.70	23.00	0.32	23.00	1.36

1983	21.80	9.00	13.30	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	-99.90	-99.90	-99.90	-20.05	21.80	1.34
1984	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#NUM!
1985	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	#NUM!
1986	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	3.50	6.20	6.30	9.40	7.00	21.60	-45.45	21.60	1.33
1987	10.80	16.10	13.90	8.30	1.70	0.00	5.30	3.00	7.00	5.60	12.20	13.20	8.09	16.10	1.21
1988	16.40	10.20	13.10	9.50	8.60	0.00	0.00	0.00	7.60	7.90	6.40	14.70	7.87	16.40	1.21
1989	21.80	17.60	17.20	14.00	10.00	3.50	0.00	2.00	6.00	7.90	5.20	4.30	9.13	21.80	1.34
1990	6.40	11.10	15.20	4.40	2.90	1.00	0.00	0.00	1.00	24.90	10.70	20.40	8.17	24.90	1.40
1991	6.60	11.20	8.80	6.10	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	5.20	3.63	11.20	1.05
1992	10.50	6.20	9.60	12.50	1.80	2.20	0.00	0.40	6.60	6.50	5.60	7.00	5.74	12.50	1.10
1993	17.30	10.90	14.00	13.70	0.80	0.00	0.00	0.00	5.40	8.30	11.60	15.10	8.09	17.30	1.24
1994	15.30	13.20	16.00	12.00	7.30	1.70	1.90	0.40	12.00	7.10	15.10	7.20	9.10	16.00	1.20
1995	18.50	8.20	19.80	15.60	3.40	5.10	1.20	4.40	3.80	8.30	11.70	22.10	10.18	22.10	1.34
1996	14.30	13.10	23.70	11.70	2.90	0.00	0.00	2.00	4.20	15.00	8.40	15.50	9.23	23.70	1.37
1997	17.60	19.60	9.60	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	6.60	10.40	14.40	7.69	19.60	1.29
1998	15.70	13.40	17.50	10.20	2.00	2.50	0.00	0.00	4.60	19.50	15.00	10.00	9.20	19.50	1.29
1999	14.20	22.50	12.60	10.20	7.40	0.00	1.50	0.00	11.00	17.60	14.40	15.40	10.57	22.50	1.35
2000	12.50	19.80	11.20	13.80	6.40	0.00	1.20	2.30	12.00	20.30	18.80	19.40	11.48	20.30	1.31
2001	17.00	9.60	19.50	18.90	4.10	5.90	0.00	0.00	9.10	17.10	17.90	17.90	11.42	19.50	1.29
2002	22.10	14.20	16.70	8.40	5.10	1.00	0.00	1.80	4.70	18.60	13.70	14.00	10.03	22.10	1.34
2003	15.40	26.60	17.10	6.80	0.00	0.00	0.00	1.30	6.50	15.80	3.70	9.40	8.55	26.60	1.42

2004	9.90	16.60	8.80	-99.90	0.00	3.60	0.00	0.00	8.90	11.20	15.00	10.10	-1.32	16.60	1.22
2005	-99.90	10.20	15.90	1.80	2.20	0.00	0.00	2.70	0.50	8.00	9.20	12.30	-3.09	15.90	1.20
2006	14.00	20.60	11.80	-99.90	0.30	6.20	0.00	3.30	2.30	6.70	20.10	13.40	-0.10	20.60	1.31
2007	13.90	21.70	21.30	16.10	22.20	0.00	0.00	0.00	6.70	13.50	9.10	15.00	11.63	22.20	1.35
2008	15.20	20.70	18.90	17.50	0.00	2.50	0.00	0.00	2.80	13.20	3.20	20.70	9.56	20.70	1.32
2009	10.80	11.30	22.20	17.40	6.60	0.00	1.50	2.70	3.90	10.50	12.30	12.80	9.33	22.20	1.35
2010	17.60	14.70	12.80	8.20	0.00	1.20	0.00	0.00	3.10	11.80	8.10	29.60	8.93	29.60	1.47
2011	16.30	11.10	17.90	16.30	2.80	0.60	-99.90	0.00	3.40	7.80	22.80	17.40	1.38	22.80	1.36
2012	17.60	18.50	13.40	17.00	1.10	1.50	0.00	0.00	14.30	8.90	10.30	12.50	9.59	18.50	1.27
2013	14.30	2.80	-99.90	-99.90	4.00	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	0.00	0.00	-56.52	14.30	1.16
PROMEDIO	5.23	7.77	5.83	-3.22	-4.66	-7.58	-7.80	-4.23	-0.98	1.25	3.51	6.50			
MÁXIMO	29.80	28.20	26.50	20.10	22.20	6.20	5.30	11.70	15.80	24.90	22.80	29.60			
VALOR LOGARÍTMICO	1.47	1.45	1.42	1.30	1.35	0.79	0.72	1.07	1.20	1.40	1.36	1.47			

Tabla 51*Registro pluviométrico completos – Oyón*

REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LA ESTACIÓN OYÓN															
REGISTRO OBTENIDO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
PERIODO ANUAL	1 ENE	2 FEB	3 MAR	4 ABR	5 MAY	6 JUN	7 JUL	8 AGO	9 SET	10 OCT	11 NOV	12 DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
1968	10.50	11.40	16.80	1.80	1.90	0.90	2.40	9.20	5.50	9.20	11.90	10.30	7.65	16.80	1.23
1969	10.60	15.70	12.10	12.80	3.80	2.00	2.40	9.60	4.00	8.00	14.00	23.80	9.90	23.80	1.38
1970	13.50	16.20	18.70	11.20	12.90	1.00	2.50	3.20	15.80	15.50	13.50	17.90	11.83	18.70	1.27
1971	10.80	13.70	12.60	11.40	4.40	1.40	0.30	7.50	1.60	12.00	7.40	13.50	8.05	13.70	1.14
1972	10.10	16.40	26.40	15.40	0.10	0.00	0.00	11.70	7.00	6.80	13.80	11.50	9.93	26.40	1.42
1973	14.70	28.20	15.40	14.80	21.40	1.30	5.30	5.40	12.60	5.60	8.00	11.90	12.05	28.20	1.45
1974	22.50	19.50	13.40	4.70	1.00	1.40	0.80	8.50	2.20	7.40	8.50	14.40	8.69	22.50	1.35
1975	24.10	18.20	26.50	17.50	6.00	0.00	0.00	6.00	13.20	10.50	10.40	3.80	11.35	26.50	1.42
1976	14.80	20.10	17.50	20.10	2.30	2.60	1.50	4.80	4.80	2.80	11.20	21.70	10.35	21.70	1.34
1977	15.30	17.00	10.00	10.10	17.50	0.80	1.30	0.40	12.80	3.80	12.70	14.20	9.66	17.50	1.24
1978	17.20	16.60	9.20	10.00	2.20	0.00	3.10	2.80	5.60	12.30	14.80	6.90	8.39	17.20	1.24
1979	20.10	15.20	19.00	11.80	3.10	0.00	0.00	0.00	3.90	9.20	5.60	3.30	7.60	20.10	1.30
1980	12.00	14.50	15.00	3.10	4.00	1.20	0.80	0.00	2.80	20.20	13.40	19.60	8.88	20.20	1.31
1981	29.80	18.40	24.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	18.10	5.70	12.40	9.35	29.80	1.47
1982	10.30	15.10	19.20	16.40	4.41	0.00	4.30	0.00	0.00	7.70	7.70	23.00	9.01	23.00	1.36

1983	21.80	9.00	13.30	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	10.88	10.73	13.93	7.89	21.80	1.34
1984	15.24	15.28	15.90	11.29	4.41	1.22	0.97	2.45	5.92	10.88	10.73	13.93	9.02	15.90	1.20
1985	15.24	15.28	15.90	11.29	4.41	1.22	0.97	2.45	5.92	10.88	10.73	13.93	9.02	15.90	1.20
1986	15.24	15.28	15.90	11.29	4.41	1.22	3.50	6.20	6.30	9.40	7.00	21.60	9.78	21.60	1.33
1987	10.80	16.10	13.90	8.30	1.70	0.00	5.30	3.00	7.00	5.60	12.20	13.20	8.09	16.10	1.21
1988	16.40	10.20	13.10	9.50	8.60	0.00	0.00	0.00	7.60	7.90	6.40	14.70	7.87	16.40	1.21
1989	21.80	17.60	17.20	14.00	10.00	3.50	0.00	2.00	6.00	7.90	5.20	4.30	9.13	21.80	1.34
1990	6.40	11.10	15.20	4.40	2.90	1.00	0.00	0.00	1.00	24.90	10.70	20.40	8.17	24.90	1.40
1991	6.60	11.20	8.80	6.10	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	5.20	3.63	11.20	1.05
1992	10.50	6.20	9.60	12.50	1.80	2.20	0.00	0.40	6.60	6.50	5.60	7.00	5.74	12.50	1.10
1993	17.30	10.90	14.00	13.70	0.80	0.00	0.00	0.00	5.40	8.30	11.60	15.10	8.09	17.30	1.24
1994	15.30	13.20	16.00	12.00	7.30	1.70	1.90	0.40	12.00	7.10	15.10	7.20	9.10	16.00	1.20
1995	18.50	8.20	19.80	15.60	3.40	5.10	1.20	4.40	3.80	8.30	11.70	22.10	10.18	22.10	1.34
1996	14.30	13.10	23.70	11.70	2.90	0.00	0.00	2.00	4.20	15.00	8.40	15.50	9.23	23.70	1.37
1997	17.60	19.60	9.60	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	6.60	10.40	14.40	7.69	19.60	1.29
1998	15.70	13.40	17.50	10.20	2.00	2.50	0.00	0.00	4.60	19.50	15.00	10.00	9.20	19.50	1.29
1999	14.20	22.50	12.60	10.20	7.40	0.00	1.50	0.00	11.00	17.60	14.40	15.40	10.57	22.50	1.35
2000	12.50	19.80	11.20	13.80	6.40	0.00	1.20	2.30	12.00	20.30	18.80	19.40	11.48	20.30	1.31
2001	17.00	9.60	19.50	18.90	4.10	5.90	0.00	0.00	9.10	17.10	17.90	17.90	11.42	19.50	1.29
2002	22.10	14.20	16.70	8.40	5.10	1.00	0.00	1.80	4.70	18.60	13.70	14.00	10.03	22.10	1.34
2003	15.40	26.60	17.10	6.80	0.00	0.00	0.00	1.30	6.50	15.80	3.70	9.40	8.55	26.60	1.42

2004	9.90	16.60	8.80	11.29	0.00	3.60	0.00	0.00	8.90	11.20	15.00	10.10	7.95	16.60	1.22
2005	15.24	10.20	15.90	1.80	2.20	0.00	0.00	2.70	0.50	8.00	9.20	12.30	6.50	15.90	1.20
2006	14.00	20.60	11.80	11.29	0.30	6.20	0.00	3.30	2.30	6.70	20.10	13.40	9.17	20.60	1.31
2007	13.90	21.70	21.30	16.10	22.20	0.00	0.00	0.00	6.70	13.50	9.10	15.00	11.63	22.20	1.35
2008	15.20	20.70	18.90	17.50	0.00	2.50	0.00	0.00	2.80	13.20	3.20	20.70	9.56	20.70	1.32
2009	10.80	11.30	22.20	17.40	6.60	0.00	1.50	2.70	3.90	10.50	12.30	12.80	9.33	22.20	1.35
2010	17.60	14.70	12.80	8.20	0.00	1.20	0.00	0.00	3.10	11.80	8.10	29.60	8.93	29.60	1.47
2011	16.30	11.10	17.90	16.30	2.80	0.60	0.97	0.00	3.40	7.80	22.80	17.40	9.78	22.80	1.36
2012	17.60	18.50	13.40	17.00	1.10	1.50	0.00	0.00	14.30	8.90	10.30	12.50	9.59	18.50	1.27
2013	14.30	2.80	15.90	11.29	4.00	1.22	0.97	2.45	5.92	10.88	0.00	0.00	5.81	15.90	1.20
PROMEDIO	15.24	15.28	15.90	11.29	4.41	1.22	0.97	2.45	5.92	10.88	10.73	13.93			
MÁXIMO	29.80	28.20	26.50	20.10	22.20	6.20	5.30	11.70	15.80	24.90	22.80	29.60			
VALOR LOGARÍTMICO	1.47	1.45	1.42	1.30	1.35	0.79	0.72	1.07	1.20	1.40	1.36	1.47			

Tabla 52*Registro de caudales San Rafael*

REGISTRO DE CAUDALES DE LA ESTACIÓN SAN RAFAEL															
REGISTRO AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA															
PERIODO ANUAL	1 ENE	2 FEB	3 MAR	4 ABR	5 MAY	6 JUN	7 JUL	8 AGO	9 SET	10 OCT	11 NOV	12 DIC	PROMEDIO	MÁXIMO	VALOR LOGARÍTMICO
1968	14.74	20.43	49.88	16.59	23.66	4.26	4.16	4.19	2.68	3.20	5.12	6.87	12.98	49.88	1.70
1969	18.57	42.56	21.79	28.80	14.29	4.38	3.58	2.68	2.76	7.06	6.01	4.55	13.09	42.56	1.63
1970	19.27	39.23	34.47	11.75	19.98	4.49	6.33	4.40	3.59	4.53	5.48	4.79	13.19	39.23	1.59
1971	19.61	39.49	39.99	21.31	14.12	7.91	3.55	6.16	5.19	5.22	6.29	7.08	14.66	39.99	1.60
1972	9.85	35.88	47.92	29.35	23.68	3.61	6.16	3.33	4.54	3.22	4.66	2.61	14.57	47.92	1.68
1973	13.04	16.46	23.40	27.62	13.53	6.72	2.93	3.81	4.12	5.88	3.47	4.81	10.48	27.62	1.44
1974	16.61	26.19	50.53	11.53	14.18	4.89	6.03	4.68	3.22	2.80	6.24	4.55	12.62	50.53	1.70
1975	18.72	35.50	55.40	11.22	10.83	3.50	4.72	4.79	5.00	4.85	2.68	3.22	13.37	55.40	1.74
1976	15.80	41.96	29.35	18.62	19.00	4.75	3.59	6.26	5.33	7.15	3.78	6.27	13.49	41.96	1.62
1977	14.20	44.18	20.42	30.20	10.89	4.65	2.45	3.20	4.03	3.06	6.19	6.00	12.45	44.18	1.65
1978	10.65	22.13	32.06	28.57	14.42	3.95	6.44	4.58	3.29	6.11	5.72	5.87	11.98	32.06	1.51
1979	14.51	27.50	54.89	18.71	16.24	7.05	5.36	2.78	3.35	7.09	4.62	6.82	14.07	54.89	1.74
1980	6.94	37.57	19.61	22.09	11.19	5.00	2.70	4.92	3.70	4.21	3.07	5.59	10.55	37.57	1.57
1981	18.71	39.32	35.19	22.02	8.53	4.53	6.07	4.39	6.89	4.48	5.42	3.58	13.26	39.32	1.59
1982	9.75	28.01	48.38	28.31	19.33	4.31	4.59	6.27	4.68	7.29	3.04	2.78	13.90	48.38	1.68

1983	11.77	40.97	47.11	30.46	17.40	7.68	5.86	2.31	5.66	5.27	5.65	4.82	15.41	47.11	1.67
1984	14.51	41.21	28.41	15.15	15.85	4.53	5.01	2.20	5.25	5.75	6.14	7.11	12.59	41.21	1.62
1985	9.14	19.79	33.08	28.45	17.36	7.42	7.24	3.40	4.83	3.37	2.37	3.21	11.64	33.08	1.52
1986	17.82	16.45	37.16	12.08	20.01	5.45	2.86	4.72	5.46	6.69	2.56	5.47	11.39	37.16	1.57
1987	14.27	39.23	24.97	15.98	21.64	3.66	2.96	2.20	5.00	7.50	6.32	4.51	12.35	39.23	1.59
1988	18.37	30.25	43.84	18.52	12.13	7.08	2.86	5.52	3.85	3.92	5.70	4.48	13.04	43.84	1.64
1989	19.07	21.76	33.99	20.14	19.10	4.22	6.56	4.01	4.48	5.82	3.69	5.07	12.33	33.99	1.53
1990	16.56	45.44	52.05	22.35	16.61	6.81	2.90	3.77	6.69	4.38	6.17	6.80	15.88	52.05	1.72
1991	16.53	29.53	51.57	13.89	22.44	5.43	6.07	4.75	2.43	6.58	6.62	7.20	14.42	51.57	1.71
1992	16.66	44.04	32.37	29.78	13.99	5.79	5.60	4.39	2.79	2.80	4.51	4.32	13.92	44.04	1.64
1993	8.23	18.31	37.65	12.96	12.71	7.53	3.29	3.16	2.80	6.90	6.41	6.24	10.52	37.65	1.58
1994	14.81	34.34	20.62	21.10	9.35	5.76	5.33	4.36	3.63	6.86	3.73	6.32	11.35	34.34	1.54
1995	17.92	29.07	37.62	12.90	13.73	4.24	4.92	4.80	5.60	5.68	4.72	4.40	12.13	37.62	1.58
1996	17.29	39.40	20.81	22.12	15.69	4.62	2.87	4.25	2.72	3.02	6.48	3.06	11.86	39.40	1.60
1997	12.69	38.59	25.95	28.29	23.94	6.43	4.42	2.63	6.88	5.48	4.02	6.10	13.78	38.59	1.59
1998	16.10	18.67	44.58	19.55	16.07	2.83	6.65	4.02	6.62	6.07	3.27	6.50	12.58	44.58	1.65
1999	20.44	38.14	50.36	25.75	16.13	6.53	5.22	2.44	6.31	4.65	3.77	5.79	15.46	50.36	1.70
2000	14.10	34.45	47.68	16.21	16.26	3.01	4.11	3.90	4.28	6.59	4.44	5.55	13.38	47.68	1.68
2001	9.39	36.29	51.50	11.57	20.19	3.18	2.59	2.96	5.99	5.02	5.95	3.58	13.19	51.50	1.71
2002	11.96	16.04	31.01	27.63	13.34	6.29	4.46	4.85	6.35	3.15	5.39	4.75	11.27	31.01	1.49
2003	15.54	41.03	40.59	18.13	18.94	2.72	5.50	5.78	3.70	2.61	4.55	5.57	13.72	41.03	1.61

2004	14.81	38.18	29.46	32.08	9.46	4.75	6.03	2.83	3.41	4.78	3.95	7.75	13.13	38.18	1.58
2005	11.54	39.80	25.86	20.29	21.15	7.08	6.88	2.28	6.51	4.46	2.44	3.81	12.68	39.80	1.60
2006	10.00	30.22	50.42	12.08	21.41	3.89	3.81	4.26	2.36	6.22	4.73	5.09	12.87	50.42	1.70
2007	10.54	21.87	54.86	19.30	12.91	5.56	6.45	3.95	2.85	6.23	3.33	6.03	12.82	54.86	1.74
2008	15.83	37.51	53.08	14.36	14.98	5.16	3.34	5.12	3.79	3.98	6.22	7.65	14.25	53.08	1.72
2009	12.67	18.42	32.06	14.96	23.06	8.02	6.12	5.87	4.07	7.03	6.84	4.21	11.95	32.06	1.51
2010	13.34	35.42	31.45	15.78	23.22	3.05	6.18	6.13	4.31	4.74	4.43	6.17	12.85	35.42	1.55
2011	12.60	20.24	21.22	13.90	23.21	5.39	3.89	5.87	3.60	2.68	4.98	3.32	10.08	23.21	1.37
2012	9.97	39.48	54.79	17.16	8.45	3.50	5.66	5.42	4.96	7.30	6.54	5.60	14.07	54.79	1.74
2013	16.18	17.72	24.73	13.12	8.92	5.98	6.60	5.90	5.41	7.23	4.43	3.50	9.98	24.73	1.39
PROMEDIO	14.38	31.92	37.70	20.06	16.38	5.17	4.80	4.23	4.46	5.19	4.83	5.20			
MÁXIMO	20.44	45.44	55.40	32.08	23.94	8.02	7.24	6.27	6.89	7.50	6.84	7.75			
VALOR LOGARÍTMICO	1.31	1.66	1.74	1.51	1.38	0.90	0.86	0.80	0.84	0.87	0.84	0.89			

Figura 38

Ajuste de precipitación -Normal

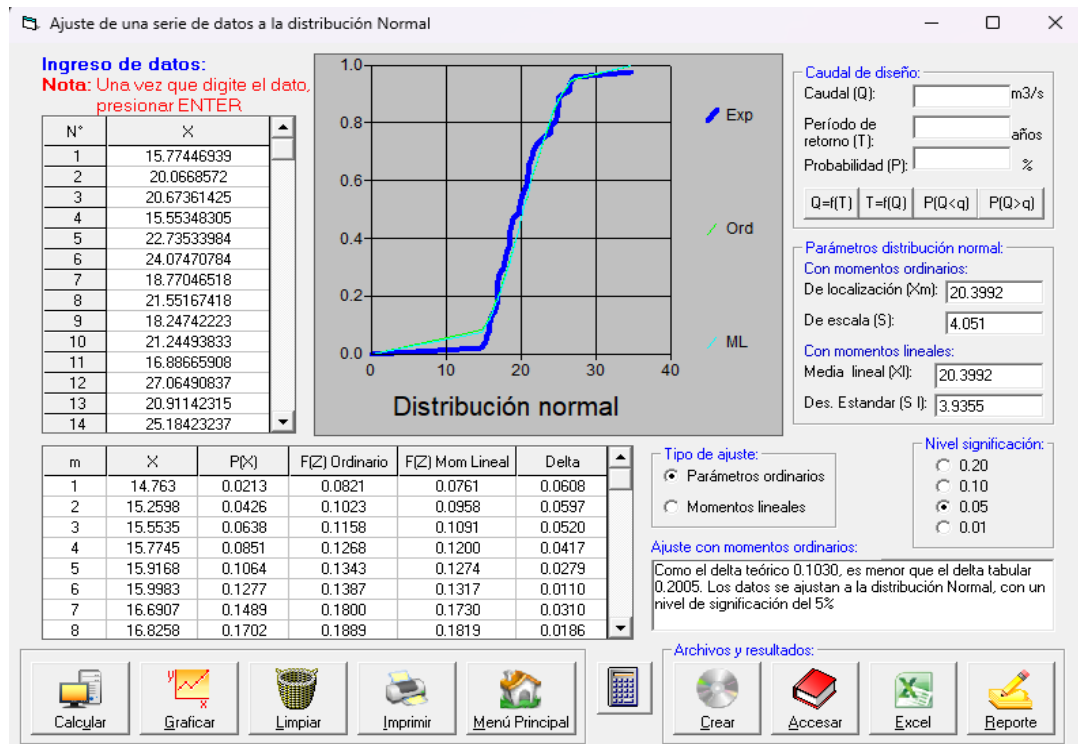


Figura 39

Ajuste de precipitación -Log-Normal 2p

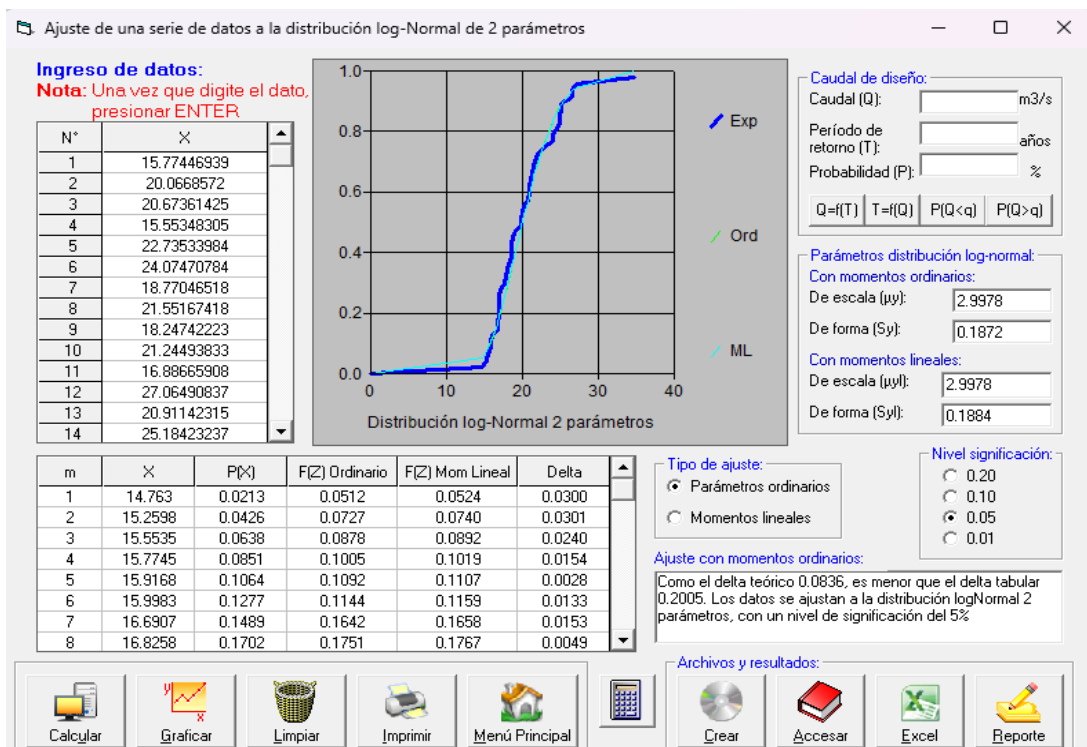


Figura 40

Ajuste de precipitación -Log-Normal 3p

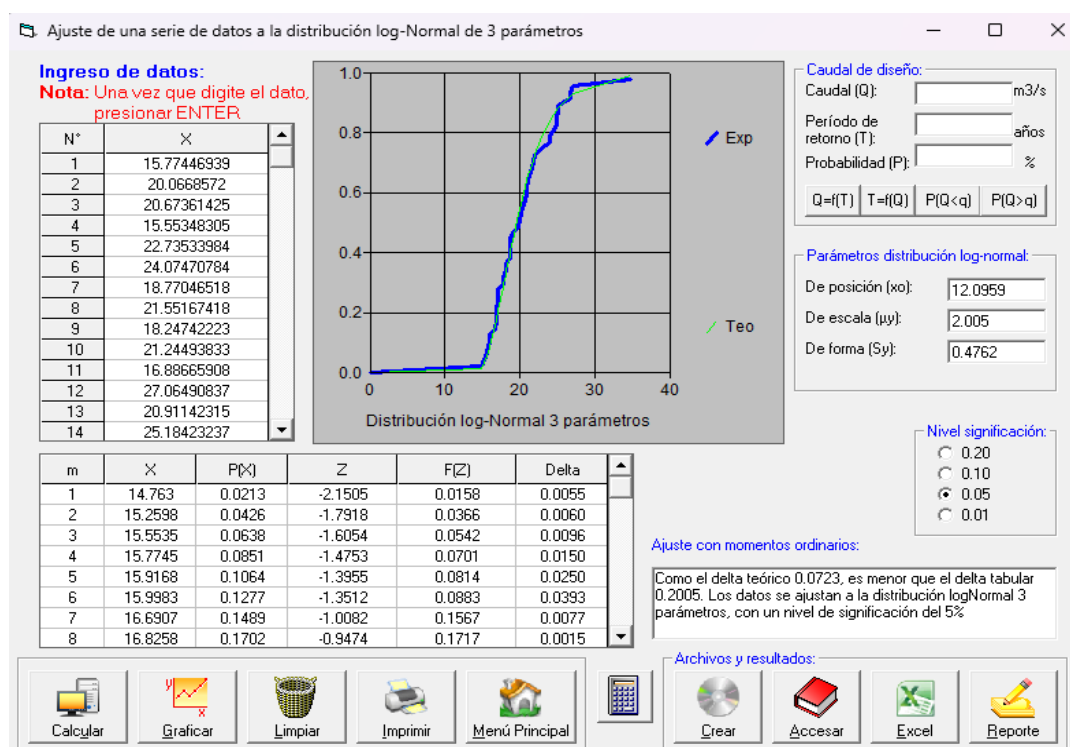


Figura 41

Ajuste de precipitación -Gamma 2p

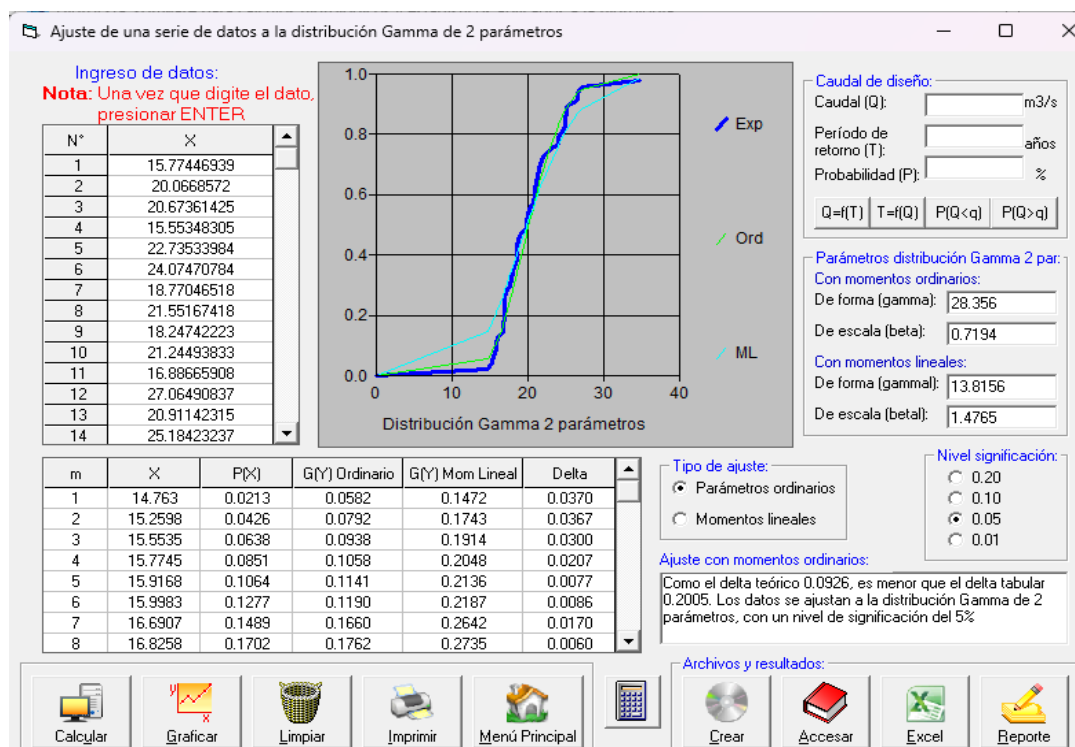


Figura 42

Ajuste de precipitación -Log Pearson

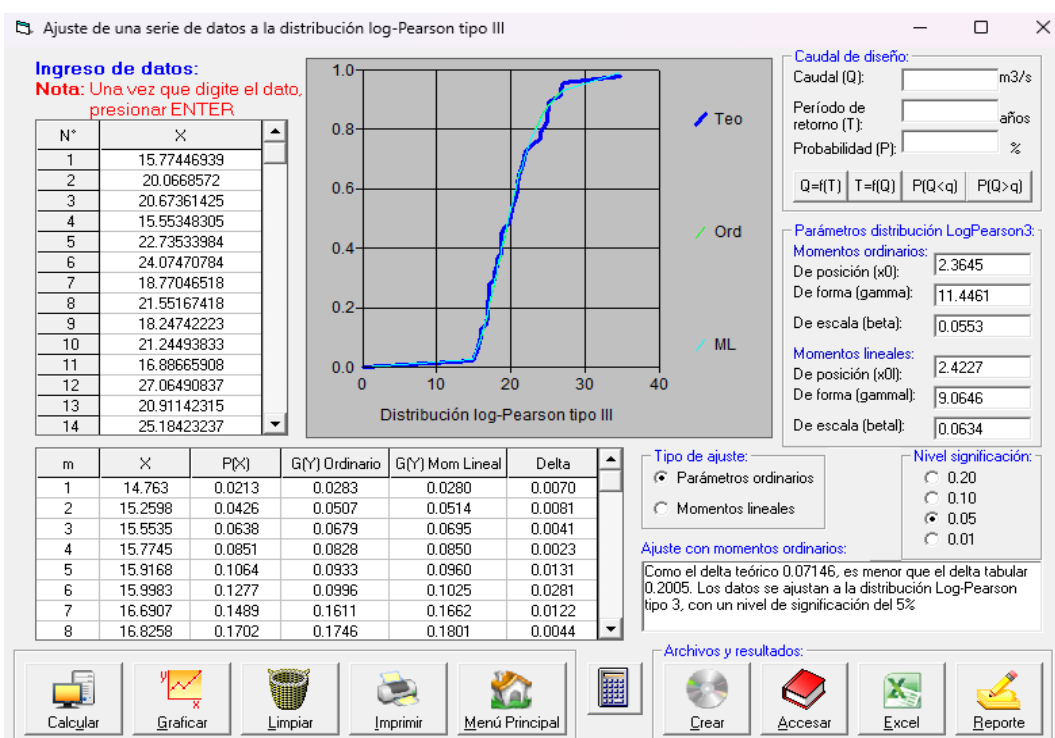


Figura 43

Ajuste de precipitación -Gumbel

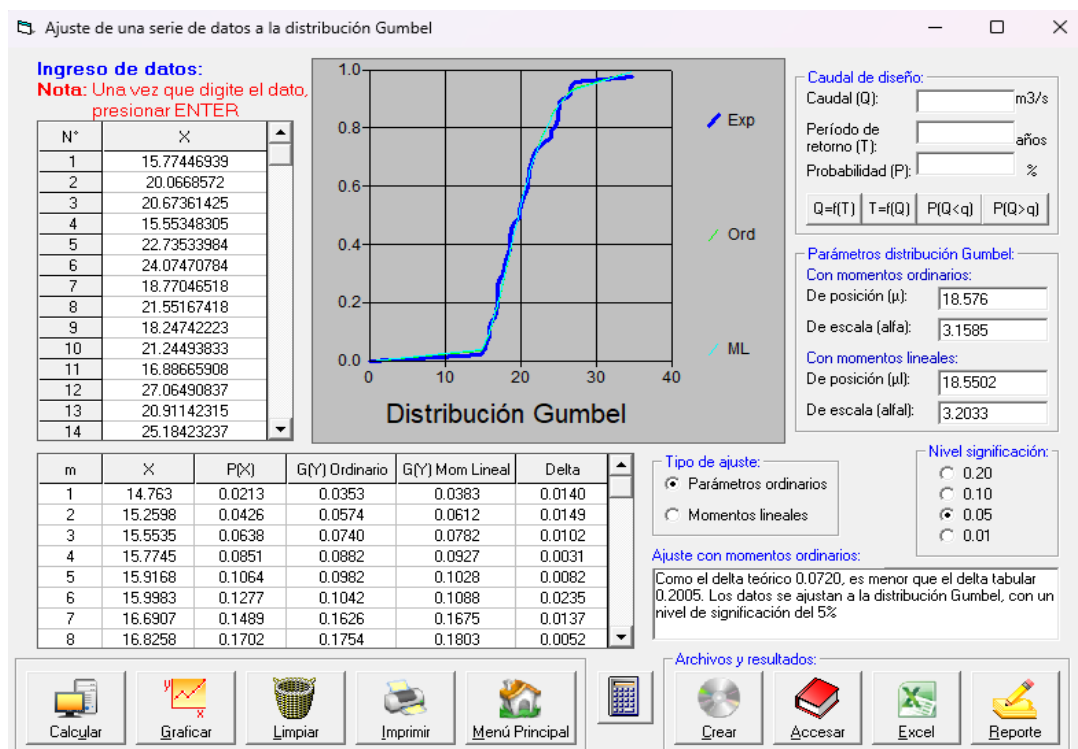


Figura 44

Ajuste de precipitación -Log-Gumbel

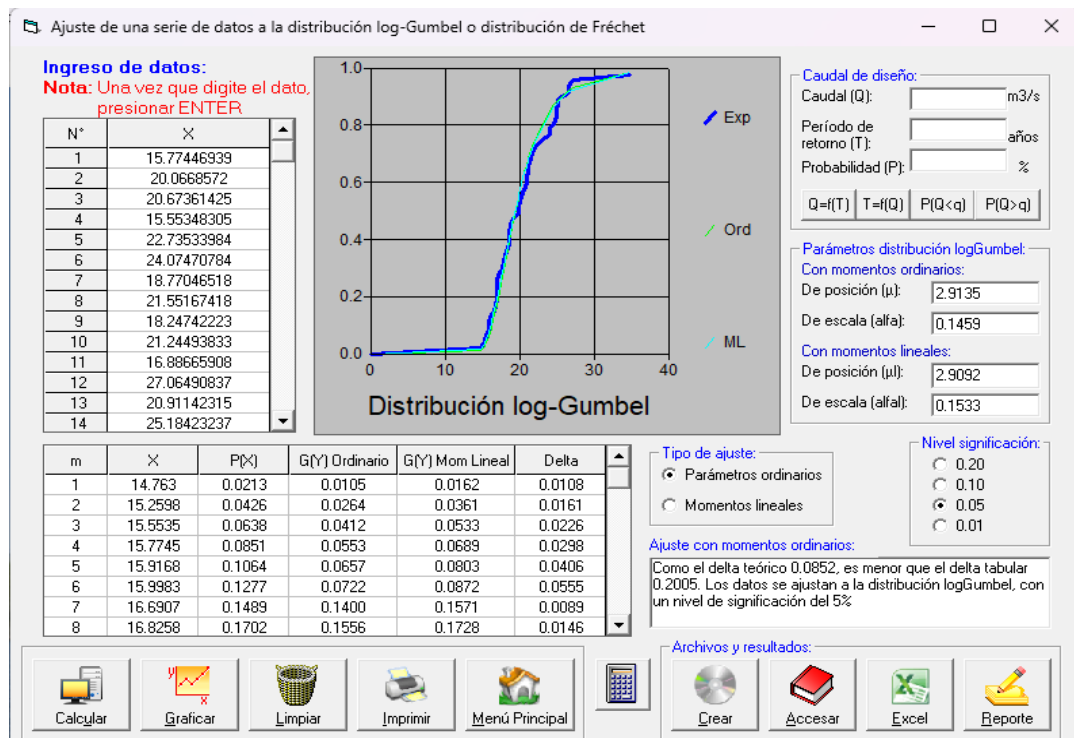


Figura 45

Estimación de caudal para 10 años

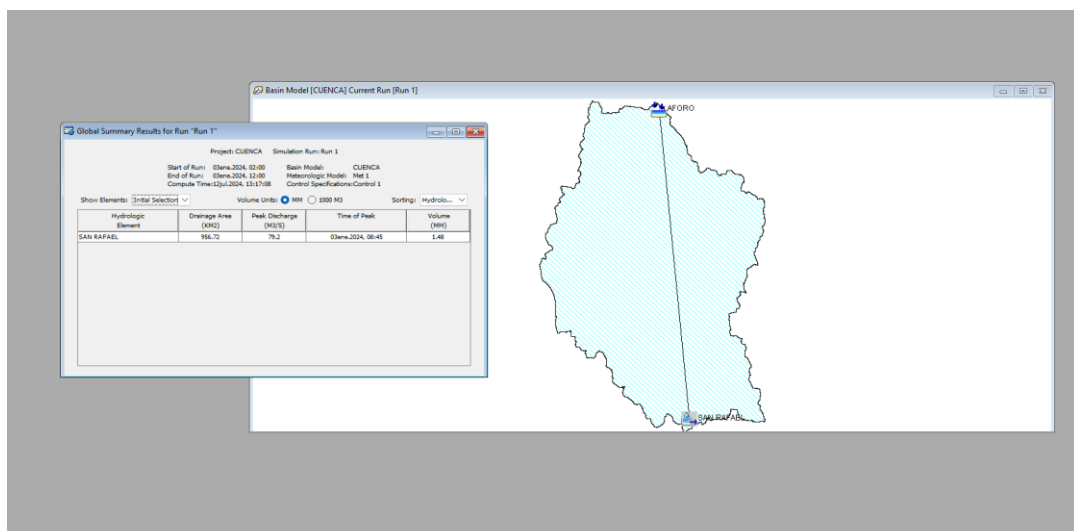


Figura 46

Estimación de caudal para 25 años

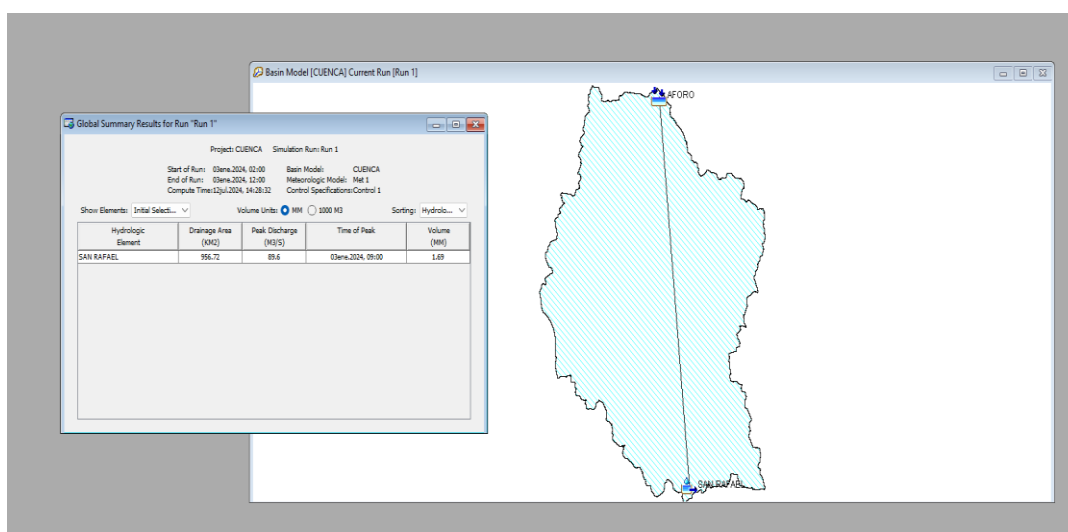


Figura 47

Estimación de caudal para 100 años

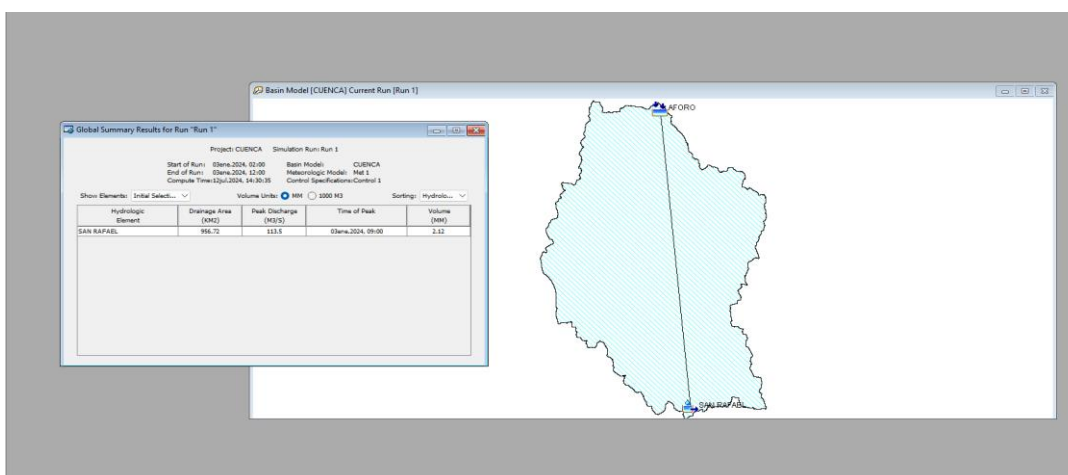


Figura 48

Estimación de caudal para 500 años

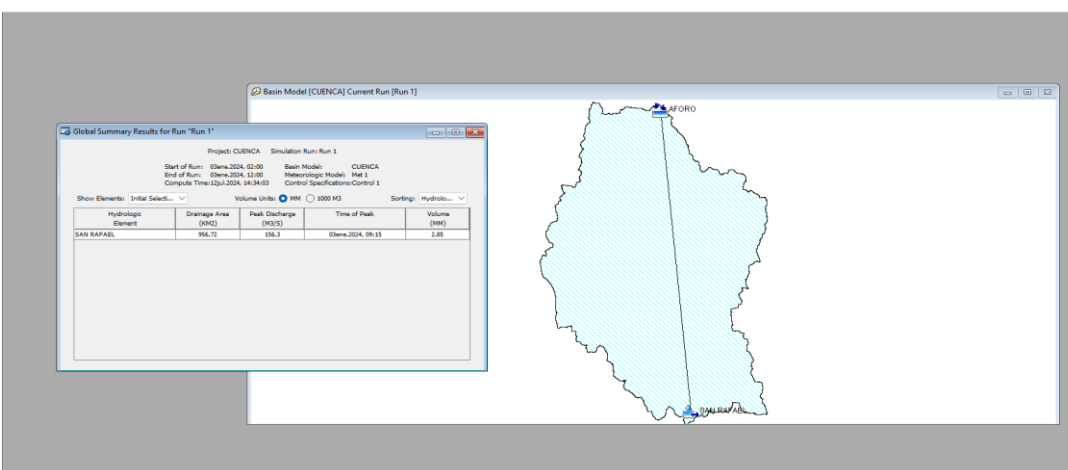


Figura 49

Estimación de tirantes por el método Burkli - Zieger

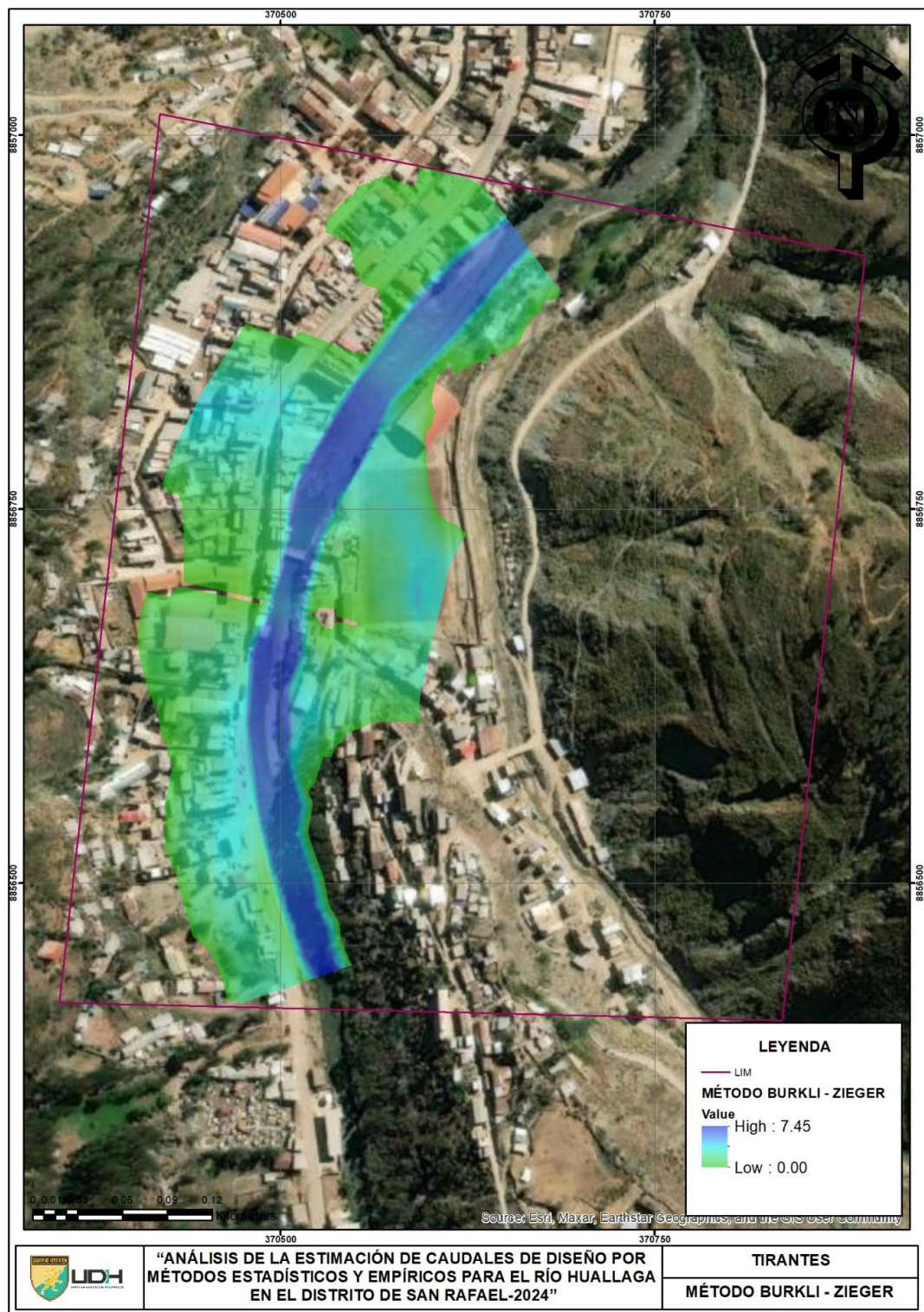
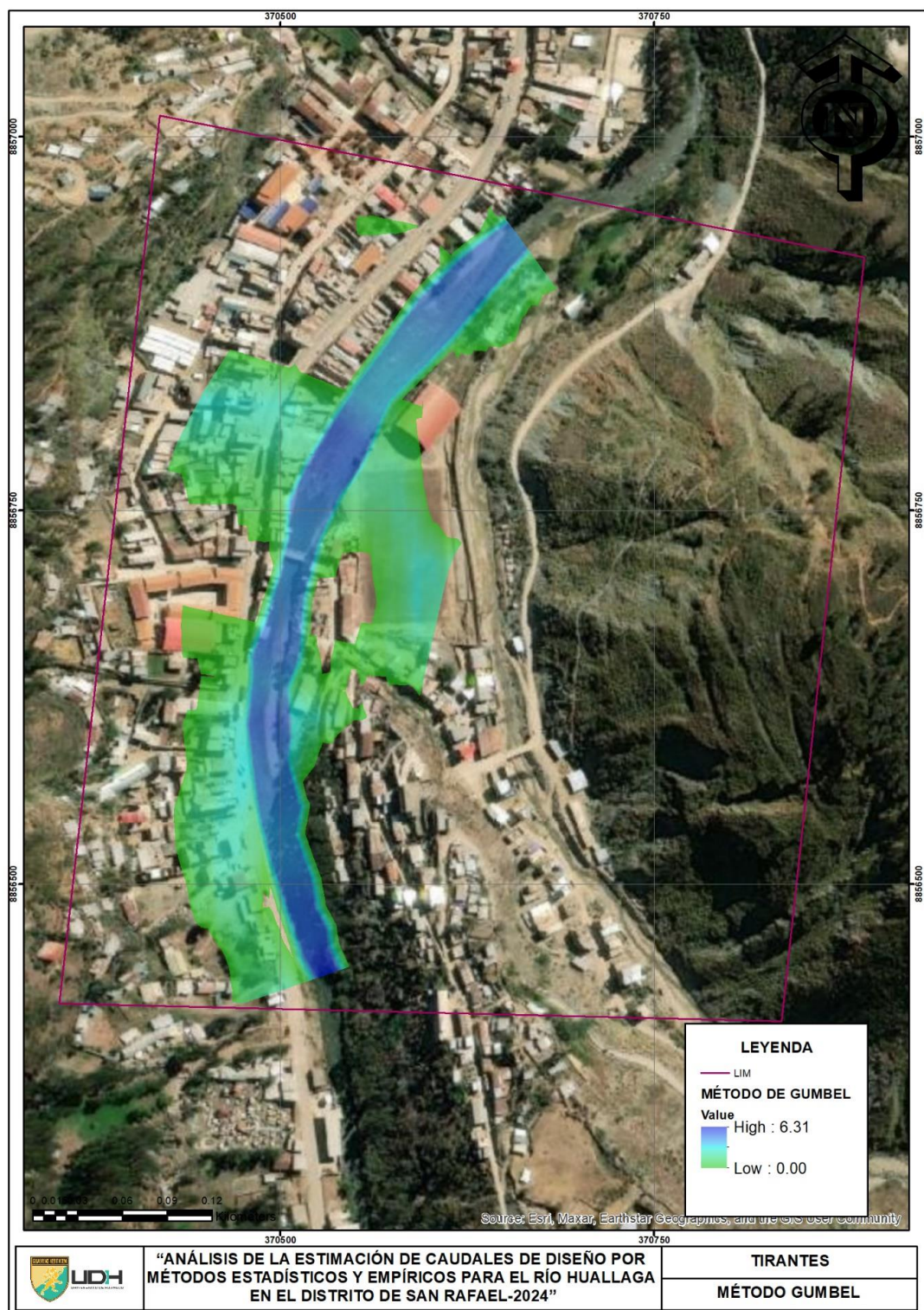


Figura 50

Estimación de tirantes por el método Gumbel



Estimación de tirantes por el método Kolmogorov – Smirnov



Figura 52

Estimación de tirantes por el método Mac Math

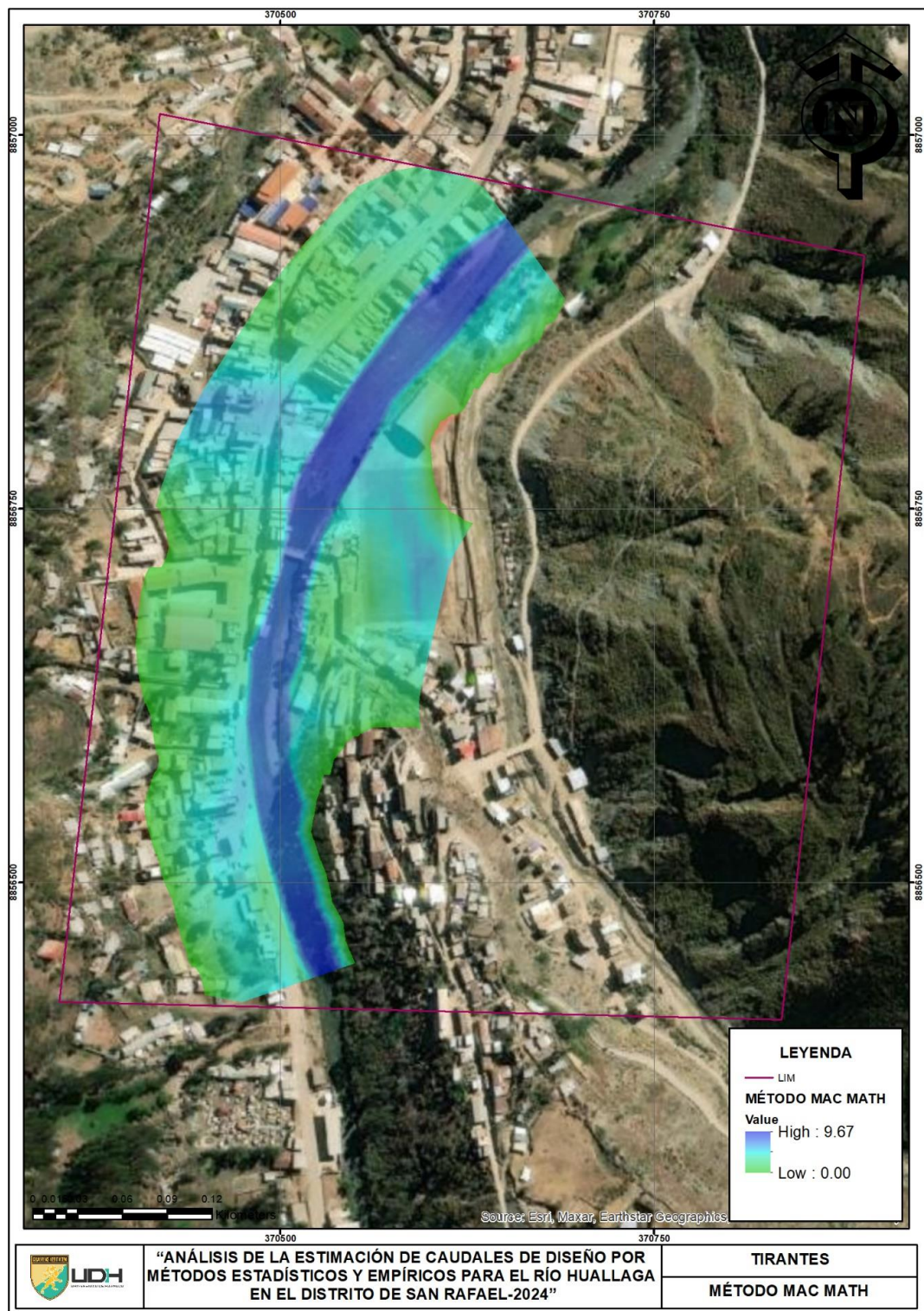


Figura 53

Estimación de tirantes por el método Nash

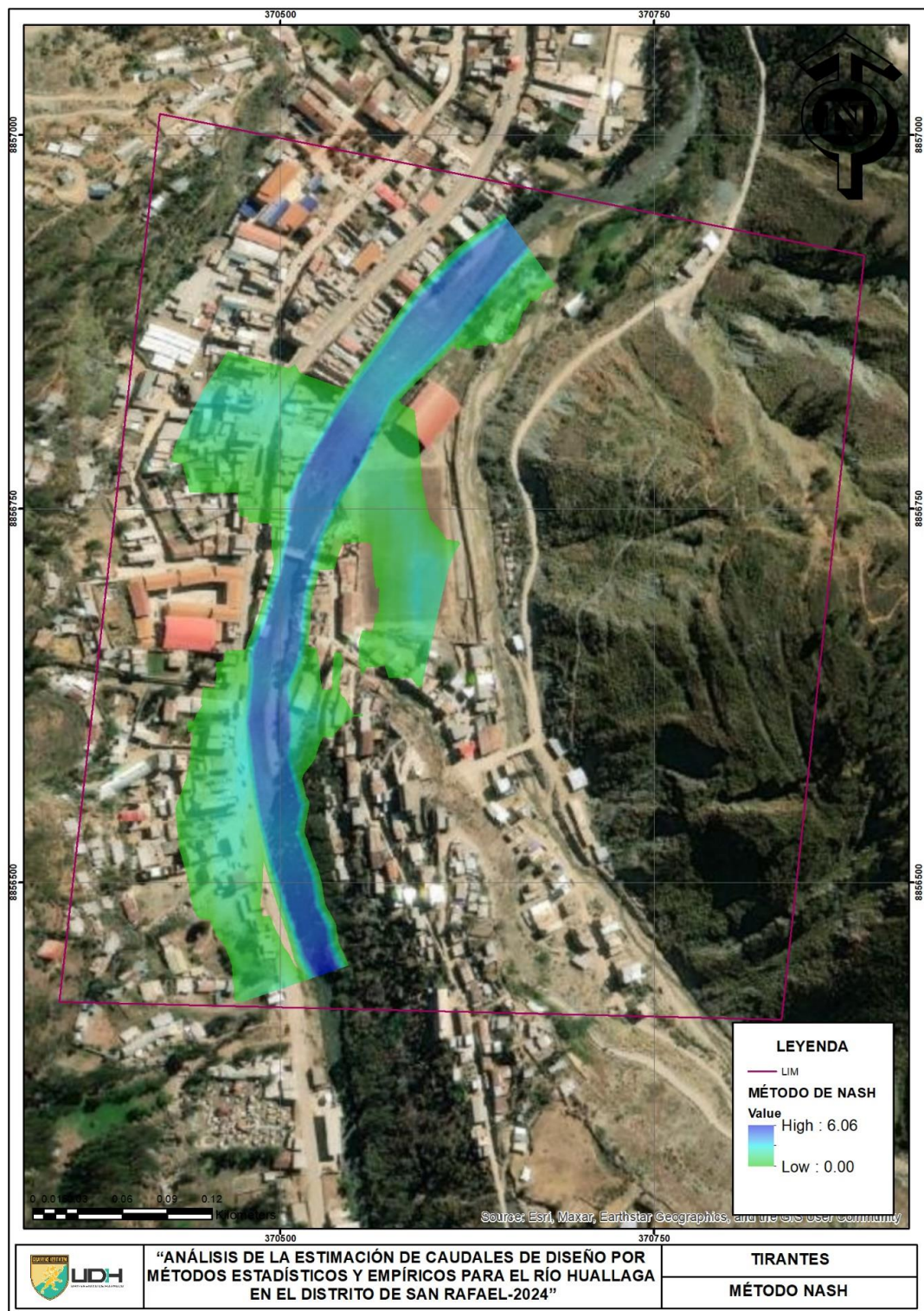


Figura 54

Estimación de tirantes por el método Número de Curva

