

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Identificación de las zonas de inundación a causa de la
precipitación en la cuenca del río Tulumayo, Tramo CC. PP
Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga 2024”**

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

AUTORA: Palomino Campos María Gianella

ASESOR: Lira Camargo, Luis Gerónimo

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Geotecnia
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): 76332440

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41198244

Grado/Título: Maestro en educación con mención en investigación y docencia superior

Código ORCID: 0000-0003-2344-6956

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Valdivieso Echevarría, Martín César	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:30 horas del día lunes 26 de mayo 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:

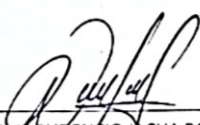
❖ DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0978-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN A CAUSA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO TULUMAYO, TRAMO CC. PP CESAR VALLEJO – CRUCE TULUMAYO/HUALLAGA 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Maria Gianella PALOMINO CAMPOS, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

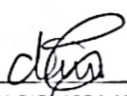
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

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 14 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 16:30 horas del día 26 del mes de mayo del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


DR. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS
DNI: 40895876
ORCID: 0000-0001-7920-1304
PRESIDENTE


MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
SECRETARIO (A)


MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA
DNI: 73645168
ORCID: 0009-0001-0745-5433
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MARÍA GIANELLA PALOMINO CAMPOS, de la investigación titulada "IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN A CAUSA DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO TULUMAYO, TRAMO CC. PP CESAR VALLEJO - CRUCE TULUMAYO/HUALLAGA 2024", con asesor(a) LUIS GERONIMO LIRA CAMARGO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1133-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

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

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

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

Huánuco, 27 de diciembre 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

69. PALOMINO CAMPOS MARÍA GIANELLA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

7%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

4%

3

[Submitted to uncedu](#)

Trabajo del estudiante

1%

4

distancia.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

1%



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

Dedico este trabajo a mis padres por su amor, sabiduría y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por la persistencia a pesar de las dificultades, por creer en mi incluso en los momentos en los que yo misma dudaba. A mis hermanos por ser mis más grandes aliados, gracias por ser fuente constante de mucha inspiración y motivación. Por último, en memoria a mis abuelos que me enseñaron que cada sacrificio tiene una recompensa sin importar lo largo y adverso que sea el camino.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la perseverancia durante todo este tiempo, fortaleza para enfrentar adversidades y sensatez para tomar las decisiones correctas.

A mis padres por su motivación constante y por su capacidad de contribuir en mi formación académica.

A mi asesor por guiarme y brindarme todos los alcances necesarios para la realización de la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	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. PROBLEMA ESPECÍFICO	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	16
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.2. BASES TEÓRICAS	23
2.2.1. HIDRÁULICA	23
2.2.2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	26

2.2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA	29
2.2.4. PRECIPITACIÓN.....	33
2.2.5. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	35
2.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS.....	36
2.2.7. ESTUDIO DE UNA TORMENTA	39
2.2.8. EXCESO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA DIRECTA	46
2.2.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES	51
2.2.10. SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (HMS)	53
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	55
2.4. HIPÓTESIS	56
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	56
2.5. VARIABLES	57
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	57
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	57
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)	58
CAPÍTULO III.....	59
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.1.1. ENFOQUE.....	59
3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....	59
3.1.3. DISEÑO.....	60
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
3.2.1. POBLACIÓN.....	60
3.2.2. MUESTRA	60
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.3.1. TÉCNICAS.....	61
3.3.2. INSTRUMENTOS	63
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS	65
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	65
4.1.1. PROCESAMIENTO DE CUENCA	65
4.1.2. MODELO PLUVIOGRÁFICO.....	72
4.1.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES	84

4.1.4. ESTIMACIÓN DE INUNDACIÓN	88
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	94
CAPÍTULO V	97
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de coeficientes de rugosidad n	29
Tabla 2 Valores críticos d para la prueba de Kolmogorov Smirnov	39
Tabla 3 Coeficientes de duración de lluvias entre 48h y 1h.....	42
Tabla 4 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración	44
Tabla 5 Números de curvas de escurrimiento para usos selectos de tierra agrícola urbana y suburbana (humedad II, $I_a=0.2S$).....	50
Tabla 6 Operacionalización de variables	58
Tabla 7 Cuadro de parámetros geométricos de cuenca	66
Tabla 8 Relieve de la cuenca.....	68
Tabla 9 Caracterización de la cuenca.....	69
Tabla 10 Caracterización de la red hídrica de la cuenca	72
Tabla 11 Análisis de estaciones cercanas	72
Tabla 12 Registro pluviométrico Est-Tulumayo	73
Tabla 13 Registro pluviométrico completo Est-Tulumayo	75
Tabla 14 Registro pluviométrico Simulado.....	77
Tabla 15 Valores de precipitación crítica	80
Tabla 16 Ajuste Normal	82
Tabla 17 Prueba Kolmogorov-Smirnov	83
Tabla 18 Valores de precipitación en diferentes periodos de retorno	83
Tabla 19 Coeficientes de ecuación de intensidad.....	84
Tabla 20 Valores de intensidad en diferentes duraciones	85
Tabla 21 Valores de caudal en diferentes periodos de retorno.....	87
Tabla 22 Resumen de áreas de inundación	94
Tabla 23 Valores de caudal en diferentes periodos de retorno.....	95
Tabla 24 Registro pluviométrico Est-Tingo María	116
Tabla 25 Registro pluviométrico completo Est- Tingo María.....	119
Tabla 26 Registro pluviométrico Est-Maronal	122
Tabla 27 Registro pluviométrico completo Est- Maronal.....	125

Tabla 28 Distribución Normal.....	128
Tabla 29 Distribución Log Normal 2P	130
Tabla 30 Distribución Log Normal 3P	133
Tabla 31 Distribución Gamma 2P	136
Tabla 32 Distribución Gamma 3P	139
Tabla 33 Distribución Gumbel.....	142
Tabla 34 Distribución Log-Gumbel.....	145
Tabla 35 Hietograma PR 25 años.....	148
Tabla 36 Hietograma PR 50 años.....	150
Tabla 37 Hietograma PR 100 años.....	152
Tabla 38 Hietograma PR 500 años.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Lecho rígido	24
Figura 2 Lecho móvil.....	24
Figura 3 Canal natural de río	26
Figura 4 Parámetros de una sección transversal de un canal	27
Figura 5 Parámetros de la sección transversal de un canal rectangular	28
Figura 6 Delimitación de una cuenca.....	30
Figura 7 Trazado de parteaguas.....	31
Figura 8 Perímetro de una cuenca.....	31
Figura 9 Curva hipsométrica	33
Figura 10 Determinación de polígonos de Thiessen.....	35
Figura 11 Hietograma de diseño.....	45
Figura 12 Sol. escorrentía.....	49
Figura 13 Hidrograma unitario triangular del SCS	53
Figura 14 Zona de trabajo del HEC-HMS	55
Figura 15 Servidor Earth Data	61
Figura 16 Servidor de descargas del SENAMHI	62
Figura 17 Cuenca del río Tulumayo.....	65
Figura 18 Área entre cuencas.....	67
Figura 19 Curva hipsométrica y polígonos de frecuencia	67
Figura 20 Pendiente de la cuenca	69
Figura 21 Número de curva de la cuenca	70
Figura 22 Red hídrica de la cuenca	71
Figura 23 Análisis de precipitaciones mensuales	79
Figura 24 Análisis de doble masa	80
Figura 25 Distribución Normal.....	82
Figura 26 Curva de precipitaciones	84
Figura 27 Curvas IDF para la estimación de caudales	86
Figura 28 Tormenta de diseño PR10	86

Figura 29 Estimación de caudales para PR 10 años	87
Figura 30 Mapa de curvas topográficas.....	88
Figura 31 Área de inundación PR 10 años	89
Figura 32 Área de inundación PR 25 años	90
Figura 33 Área de inundación PR 50 años	91
Figura 34 Área de inundación PR 100 años	92
Figura 35 Área de inundación PR 500 años	93
Figura 36 Área de inundación PR 500 años	94
Figura 37 Estimación de caudales para PR 10 años	95
Figura 38 Mapa de ubicación.....	115
Figura 39 Caudal PR 25 años.....	156
Figura 40 Caudal PR 50 años.....	156
Figura 41 Caudal PR 100 años.....	157
Figura 42 Caudal PR 500 años.....	157

RESUMEN

El estudio se enfocó en evaluar las zonas de inundación en la cuenca del río Tulumayo, específicamente en el tramo entre CC. PP Cesar Vallejo y el Cruce Tulumayo/Huallaga. Mediante el uso de modelos topográficos y datos de caudal, se pudo estimar con precisión las áreas propensas a inundaciones para distintos periodos de retorno, revelando superficies de inundación de 23856.61 m² (10 años), 25278.48 m² (25 años), 26378.72 m² (50 años), 27525.64 m² (100 años) y 31110.24 m² (500 años). Además, se logró caracterizar la cuenca del río Tulumayo mediante la determinación de parámetros como el área (445.26 km²), perímetro (135.08 km), longitud (19.71 km), ancho promedio (34.02 km) y diámetro (23.81 km). Estos datos se complementaron con los valores de caudal asociados a cada periodo de retorno: 398.90 m³/s (10 años), 430.20 m³/s (25 años), 455.50 m³/s (50 años), 482.50 m³/s (100 años) y 561.90 m³/s (500 años). Además, se estimaron los tirantes de inundación correspondientes a los periodos de retorno mencionados, siendo estos de 5.85 m (10 años), 6.13 m (25 años), 6.34 m (50 años), 6.57 m (100 años) y 7.34 m (500 años). Estos hallazgos ofrecen una visión integral de la dinámica hidrológica en la cuenca del río Tulumayo, proporcionando información valiosa para la gestión de riesgos, la planificación del uso del suelo y la toma de decisiones relacionadas con la protección de comunidades y la infraestructura ante eventos extremos de inundación.

Palabras Clave: Identificación, zonas, inundación, precipitación, cuenca tramo.

ABSTRACT

The study focused on evaluating the flood zones in the Tulumayo River basin, specifically in the section between CC. PP Cesar Vallejo and the Tulumayo/Huallaga Crossing. By using topographic models and flow data, flood-prone areas could be accurately estimated for different return periods, revealing flood surfaces of 23856.61 m² (10 years), 25278.48 m² (25 years), 26378.72 m² (50 years). years), 27525.64 m² (100 years) and 31110.24 m² (500 years). In addition, it was possible to characterize the Tulumayo River basin by determining parameters such as area (445.26 km²), perimeter (135.08 km), length (19.71 km), average width (34.02 km) and diameter (23.81 km). These data were complemented with the flow values associated with each return period: 398.90 m³/s (10 years), 430.20 m³/s (25 years), 455.50 m³/s (50 years), 482.50 m³/s (100 years) and 561.90 m³/s (500 years). In addition, the flood depths corresponding to the mentioned return periods were estimated, being 5.85 m (10 years), 6.13 m (25 years), 6.34 m (50 years), 6.57 m (100 years) and 7.34 m (500 years). These findings offer a comprehensive view of the hydrological dynamics in the Tulumayo River basin, providing valuable information for risk management, land use planning and decision making related to the protection of communities and infrastructure in the face of extreme disaster events. flood.

Keywords: Identification, zones, flooding, precipitation, basin section.

INTRODUCCIÓN

La tesis tiene como objetivo identificar las zonas de inundación en la cuenca del río Tulumayo, tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga, debido a la precipitación anómala. Los objetivos específicos incluyen la determinación de parámetros geomorfológicos, la obtención de caudales de diseño, el modelamiento hidráulico del río Tulumayo y la elaboración de un mapa de inundación. Estos pasos se realizan mediante el uso de herramientas como HEC-HMS, HEC-RAS y ARCGIS, con el propósito de comprender los factores hidrológicos y geomorfológicos que contribuyen a las inundaciones. Los resultados se utilizarán para la toma de decisiones en la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Con lo cual la presente investigación se estructuró de la siguiente forma:

CAPÍTULO I: En este apartado se planteó la problemática que movió la realización de la investigación, una descripción detallada del análisis, la formulación de los problemas generales y específicos, los planteamientos de los objetivos generales y específicos se plantearon de la misma manera los diferentes tipos de justificaciones y con ello también estimar las limitaciones de la investigación para su desarrollo adecuado.

CAPÍTULO II: En este apartado se fundamentan las bases teóricas dentro de ellas se incluyeron los antecedentes de investigaciones similares a la presente investigación desarrollada, con ello se tomaron en cuenta conceptos relevantes para la ejecución de la investigación y finalmente se establecieron las variables y la hipótesis que será de análisis en la investigación.

CAPÍTULO III: En este apartado de la investigación se establecieron las características metodológicas aplicadas en la investigación y como se caracteriza el desarrollo de la presente investigación, con ello también se establecieron los límites de la población y caracterización de la muestra tomada en cuenta en la investigación y la caracterización de las técnicas e instrumentos aplicados.

CAPÍTULO IV: En este apartado de la investigación se presentaron los resultados de la investigación y cada una de las interpretaciones de las tablas y figuras obtenidas de la investigación.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante una entrevista con Noticias ONU, el representante regional de la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA) en Latinoamérica y el Caribe hizo referencia a los impactos significativos de este fenómeno local en todo el Perú, con especial énfasis en el norte del país. Esta afirmación hace de gran necesidad la identificación precisa de las zonas de inundación, ya que, es fundamental para el desarrollo de planes de gestión del agua, la planificación urbana y más importante aún, la mitigación de desastres.

Por lo tanto, las inundaciones son fenómenos naturales que pueden tener efectos devastadores en las comunidades cercanas a ríos, arroyos y cuerpos de agua.

El distrito de Mariano Damaso Beraún, ubicado en la provincia de Leoncio Prado, Perú, está expuesto a eventos de inundación debido a su ubicación geográfica, a la presencia de ríos y arroyos en la zona y especialmente durante los eventos climáticos del Yaku y el fenómeno del Niño. Estos eventos climáticos pueden causar precipitaciones intensas y prolongadas, lo que aumenta significativamente el riesgo de inundaciones en la zona.

El problema principal que aborda este proyecto de investigación es la necesidad de identificar las áreas susceptibles a inundaciones en un sector del distrito de Mariano Damaso Beraún, provincia Leoncio Prado y comprender la magnitud y extensión de los eventos de inundación. Esto implica realizar un análisis hidrológico e hidráulico detallado de los ríos y arroyos en la zona, considerando tanto el caudal de los ríos como las precipitaciones intensas que pueden ocurrir en la región.

El software HEC-RAS (River Analysis System) y HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), desarrollados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de

los Estados Unidos, son herramientas ampliamente utilizadas en la ingeniería hidrológica para el análisis de ríos y cuencas. HEC-RAS se enfoca en la simulación hidráulica de los flujos en ríos y arroyos, mientras que HEC-HMS se utiliza para modelar y simular el comportamiento hidrológico de una cuenca.

Sin embargo, el uso eficiente y preciso de este software requiere una comprensión detallada de los principios hidrológicos y la capacidad de aplicar correctamente los parámetros y datos relevantes al modelo. Además, el proceso de identificación de las zonas de inundación implica la recopilación y análisis de datos topográficos, hidrológicos y meteorológicos, así como la validación de los resultados obtenidos a partir de los modelos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo realizar la identificación de las zonas de inundación a causa de la precipitación en la cuenca río Tulumayo tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cómo determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Tulumayo para su posterior caracterización?

¿Cómo obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años mediante un análisis hidrológico en la cuenca del río Tulumayo usando el software HEC-HMS?

¿De qué manera se realiza el modelamiento hidráulico del río Tulumayo usando el software HEC-RAS para tiempos de retorno 100 y 500 años?

¿Cómo elaborar el mapa de inundación del distrito de Mariano Damaso Beraún, CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la identificación de las zonas de inundación a causa de la precipitación en la cuenca río Tulumayo tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Tulumayo para su posterior caracterización.

Obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años mediante un análisis hidrológico en la cuenca del río Tulumayo usando el software HEC-HMS.

Realizar el modelamiento hidráulico del río Tulumayo usando el software HEC-RAS para tiempos de retorno 100 y 500 años.

Elaborar el mapa de inundación del distrito de Mariano Damaso Beraún CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El estudio de las zonas de inundación en un tramo de una cuenca buscó contribuir al conocimiento científico en el campo de la ingeniería hidrológica y la gestión de riesgos naturales. Este proyecto permitió avanzar en la comprensión de los procesos hidrológicos e hidráulicos que ocurren en la cuenca del río Tulumayo, y su relación con los eventos de inundación. Al utilizar los softwares HEC-RAS y HEC-HMS, se aplicaron principios y modelos hidrológicos reconocidos internacionalmente, lo que permitió fortalecer la base teórica en este campo y su aplicación en situaciones reales.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Este proyecto proporcionó información valiosa para la toma de decisiones y la planificación de medidas de mitigación y adaptación frente a eventos de inundación en la zona. Los resultados obtenidos ayudarán a las autoridades locales, ingenieros y planificadores a comprender los riesgos asociados con las inundaciones y desarrollar estrategias adecuadas para minimizar su impacto en la población, la infraestructura y los recursos naturales.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

La elección de los softwares HEC-RAS y HEC-HMS como herramientas para este estudio fue respaldado por su reconocimiento y amplio uso en la comunidad científica y profesional. Estos softwares sustentan una plataforma robusta y confiable para el modelado hidrológico e hidráulico, lo que permitió simular con precisión los flujos de agua y evaluar las zonas de inundación en la cuenca del río Tulumayo. La metodología involucró la recopilación y análisis de datos relevantes, la calibración y validación de los modelos, y el análisis de resultados. Esto garantizó la rigurosidad y confiabilidad de las prácticas obtenidas, respaldando la validez científica de la investigación y sus aplicaciones.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación como la gran mayoría de investigaciones a nivel de pregrado presentaron limitaciones que fueron expuestas a continuación:

- La disponibilidad de datos hidrológicos e hidráulicos de campo fue limitada en ciertas áreas de Perú, incluido el distrito de Mariano Damaso Beraún en Huánuco. La falta de estaciones hidrometeorológicas o la escasez de registros históricos confiables no dificultaron la obtención de datos precisos y completos.

- Los modelos hidrológicos e hidráulicos utilizados, como el HEC-RAS y el HEC- HMS, son herramientas poderosas, pero su precisión depende en gran medida de la calidad y disponibilidad de los datos de entrada.
- La imprecisión de la información topográfica derivada de imágenes satelitales. Aunque las imágenes satelitales cuentan con una valiosa fuente de datos para el análisis de zonas de inundación, la resolución espacial y la precisión altimétrica fueron limitadas.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue considerada viable debido a la disposición y compromiso para llevarla a cabo, así como la disponibilidad de recursos mínimos para cubrir los gastos asociados. Además, se contó con software especializado, como HEC-RAS y HEC-HMS, y se dispuso de personal capacitado en hidrología e hidráulica, lo que aseguró un manejo adecuado de las herramientas y maximizó la efectividad del análisis de las zonas de inundación. Aunque no se contó con estaciones pluviométricas diversas en la misma zona de estudio, se identificaron estaciones cercanas que brindaron información confiable y adecuada para el procesamiento en sistemas geográficos. En resumen, la combinación de disponibilidad de recursos, compromiso, tiempo suficiente, software especializado y capacitación adecuada respaldaron la viabilidad y el éxito del proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Vera y Esaú (2020) en su tesis *“Análisis Del Riesgo Por Inundación En La Localidad De Roblecito, Cantón Urdaneta: Propuesta De Medidas De Mitigación”*. Buscan investigar la posibilidad de inundaciones en Roblecito y proponer soluciones para minimizar los daños potenciales. En la primera etapa, se analizó la vulnerabilidad general considerando siete aspectos: ambiental, físico, económico, social, educativo, cultural y científico. En la segunda etapa, se realizó un análisis a nivel de microcuenca mediante el uso de mapas de elevación, pendiente, curvatura, TWI, SPI, número de curva y distancia al río para determinar el nivel de amenaza. Posteriormente, se crearon mapas de vulnerabilidad y amenaza utilizando sistemas de información geográfica para evaluar el riesgo. Los resultados mostraron niveles significativos de vulnerabilidad en gran parte del área estudiada, con una amenaza calificada como muy alta. En consecuencia, se concluyó que la mayor parte del pueblo enfrenta un alto y muy alto riesgo de inundación, lo que indica la necesidad de aplicar medidas de prevención, mitigación y respuesta.

Pomasongo (2021) en su tesis *“Uso de softwares para el análisis de caudales pluviales aplicados a procesos hidrológicos: una revisión de la literatura científica de los últimos 10 años”* el cual tiene como objetivo una revisión sistemática enfocada en recopilar información actualizada sobre los softwares utilizados en el análisis de caudales pluviales en procesos hidrológicos dentro del campo de la ingeniería civil. Los resultados estadísticos obtenidos revelaron una gran diversidad de artículos provenientes de 20 países diferentes, lo que refleja la aplicabilidad del análisis de caudales pluviales en una variedad de

escenarios con condiciones climáticas diversas. Finalmente, se encontró que el software más utilizado en los estudios seleccionados fue el modelo HEC-HMS, con una participación y contribución del 83,33%. Este hallazgo resalta la importancia y la relevancia de este software en el análisis de caudales pluviales en procesos hidrológicos, proporcionando una visión amplia y actualizada sobre los softwares utilizados en el análisis de caudales pluviales, mostrando su aplicabilidad, diversidad y la relevancia de las investigaciones previas en el campo de la ingeniería civil.

Castro (2023) en su tesis *“Modelamiento de huella de inundación en la cuenca baja del Río Bogotá en el municipio de Girardot-Cundinamarca”* El objetivo del estudio consiste en elaborar un mapa de amenazas de inundación empleando herramientas SIG para llevar a cabo un análisis hidrológico de la cuenca baja del Río Bogotá en Girardot, Cundinamarca, utilizando los programas ArcGIS y Hec-RAS. La investigación determinó que el análisis hidrológico de dicha cuenca se utilizó para generar el mapa de amenazas de inundación mediante el software HEC-RAS. Se llevaron a cabo simulaciones hidráulicas para obtener datos como la geometría de las secciones transversales, la altura de la lámina de agua, la elevación en cada punto de las secciones y la velocidad total en el canal. Se recopilaron registros de niveles máximos y mínimos de tres estaciones ubicadas en la cuenca baja del río Bogotá, registrando un caudal máximo de 537 m³/s. A partir de estos datos, se determinaron los caudales máximos para distintos periodos de retorno seleccionados en el análisis, que abarcaban periodos de 2, 33, 30, 20 y 100 años. Finalmente, se optó por el método de Gumbel para calcular los periodos de retorno debido a su coeficiente de calificación lineal de 0.987, lo que lo hizo más preciso que otros métodos disponibles.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Taípe (2022) en su tesis *“Estudio hidrológico e Hidráulico para el análisis de inundaciones en el Caserío Macuaco - Distrito de Oyotun -*

Provincia de Chiclayo - Departamento de Lambayeque”. La investigación adoptó un enfoque longitudinal no experimental y de naturaleza cuantitativa. Su objetivo principal fue llevar a cabo un análisis hidrológico e hidráulico de la quebrada Macuaco con el propósito de generar mapas de inundación para el caserío Macuaco en diferentes periodos de retorno. El proceso metodológico se estructuró en diversas etapas. En primer lugar, se delimitó la cuenca y se estableció una red hídrica mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Posteriormente, se identificaron los parámetros clave de la cuenca. Para el análisis hidrológico, se emplearon datos de precipitación máxima diaria, aplicando el procedimiento de corrección recomendado por la Organización Meteorológica Mundial. Se llevó a cabo un análisis probabilístico de las distribuciones de probabilidad, utilizado para generar hietogramas de diseño mediante el método de bloques alternos. Respecto a la simulación hidrológica, se utilizó el modelo matemático HEC-HMS 3.5 para calcular los caudales de diseño correspondientes a diferentes periodos de retorno. El análisis hidráulico incluyó la inspección del terreno, la generación de curvas de nivel mediante fotogrametría utilizando tecnología LIDAR a través de un RPAS (DRON), la definición del cauce y de las secciones de la quebrada, así como la determinación de los valores del coeficiente de Manning. Finalmente, se llevó a cabo la simulación hidráulica utilizando los caudales de diseño obtenidos del análisis hidrológico, lo que permitió identificar las áreas propensas a inundaciones en situaciones de avenidas máximas. Como resultado de la investigación, se formularon medidas y recomendaciones para mitigar las repercusiones del desbordamiento del río y se propusieron acciones para reducir los riesgos asociados a las inundaciones en la zona examinada.

Neyra (2021) en su tesis “Modelamiento hidráulico del río Amojú para la reducción de vulnerabilidad en el sector San Camilo, Jaén – Cajamarca” en la Universidad Cesar Vallejo. El principal objetivo fue realizar un modelado hidráulico con el fin de detectar las zonas susceptibles a inundaciones en el Sector San Camilo y desarrollar un

diseño preliminar de protección ribereña en los puntos críticos del río Amojú. El proceso inició con un levantamiento topográfico en el área de interés. Además, se llevó a cabo un análisis hidrológico empleando la carta hidrográfica (12-f Jaén Zona 17 Sur) y el software ArcGIS para definir los límites de la cuenca. Se determinaron las precipitaciones máximas de 24 horas utilizando datos de la Autoridad Local del Agua - Jaén (ALA) y del SENAMHI, lo que resultó en un caudal máximo de 158,13 m³/s para un período de retorno de 20 años. Posteriormente, se procedió al modelado hidráulico utilizando el software Hec-Ras, lo que permitió identificar las áreas en riesgo de inundación en el Sector San Camilo. Finalmente, se llevó a cabo un estudio de mecánica de suelos para el diseño preliminar de la defensa ribereña, optando por la instalación de muros de contención en voladizo como medida de protección.

Caycho (2020) en su tesis “Modelación geoespacial con SIG en la identificación de las zonas vulnerables y cuantificación de la erosión hídrica, cuenca del Río Huarmey” en la Universidad Nacional Agraria La Molina. El objetivo principal fue detectar las áreas propensas a inundaciones y los procesos de erosión, así como evaluar la erosión hídrica en la cuenca del río Huarmey mediante el uso de modelado geoespacial y sistemas de información geográfica (SIG). La investigación llevó a la creación de una base de datos geoespaciales que abarcaba siete variables temáticas, con el propósito de desarrollar modelos de inundaciones, inundaciones extraordinarias y vulnerabilidad física, además de medir la pérdida de suelo en la cuenca Huarmey. El Mapa de Inundaciones se generó como resultado del segundo modelado geoespacial, mientras que el Mapa de Vulnerabilidad Física, el tercer modelo elaborado, se centró en factores como la pendiente y las precipitaciones. Por último, el Mapa de Identificación y Cuantificación de la Erosión Hídrica de la Cuenca Huarmey, basado en el método USLE, integró factores como precipitaciones, topografía, cobertura y tipo de suelo.

2.2. BASES TEÓRICAS

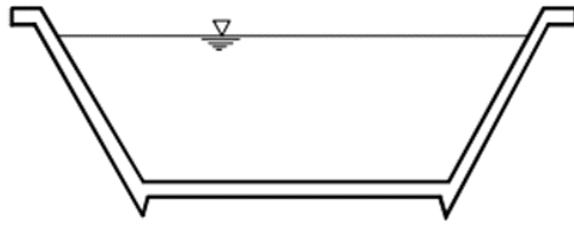
2.2.1. HIDRÁULICA

Desde una perspectiva hidráulica, un río se puede considerar como un tipo de canal. Sin embargo, el comportamiento de un río difiere significativamente de la simplificación o esquematización que solemos aplicar al estudiar el flujo en canales. En un río, el movimiento del agua no es permanente debido a que el caudal experimenta constantes cambios, ya sea de manera lenta o rápida. A diferencia de lo que ocurre en un canal artificial diseñado y operado por el ser humano, donde se puede mantener un flujo constante manipulando adecuadamente la fuente de alimentación, en un río esta condición de movimiento permanente es prácticamente inexistente. (Rocha, 1998).

El caudal de un río está en constante fluctuación debido a diversos factores, como las precipitaciones, el deshielo, la topografía del terreno y otros procesos hidrológicos. Estas variaciones en el caudal generan cambios en la velocidad y en la profundidad del agua, así como en la configuración del lecho y de las orillas del río. En consecuencia, el estudio y la comprensión del comportamiento de los ríos requieren un enfoque más completo y dinámico que considere las variaciones temporales del caudal y su influencia en la morfología y la hidráulica fluvial. (Rocha Felices, 1998)

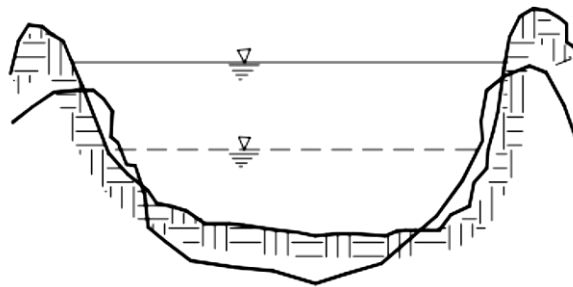
En resumen, aunque un río puede ser considerado como un tipo de canal, su comportamiento difiere significativamente de los canales artificiales. El flujo en un río no es permanente, ya que el caudal está en constante cambio debido a múltiples factores. Comprender el funcionamiento de los ríos requiere considerar estas variaciones temporales en el caudal y su impacto en la dinámica fluvial y la morfología del río. (Rocha, 1998).

Figura 1
Lecho rígido



Nota. La figura muestra un canal hecho por el hombre, el contorno del lecho es rígido e invariable. *Fuente.* Rocha, (1998)

Figura 2
Lecho móvil



Nota. La figura muestra un río de lecho es móvil, el contorno está en constante cambio debido a la erosión y deposición de sedimentos *Fuente.* Rocha, (1998)

En los ríos, la rugosidad, que es el coeficiente de resistencia, es mucho más impredecible. El lecho del río cambia con el caudal, pudiendo erosionarse o depositar sedimentos. Además, en el fondo del río se forman características que añaden una resistencia adicional y variable. (Rocha, 1998).

Para analizar la configuración y aspecto de los ríos, podemos considerar las siguientes características:

- **Variabilidad temporal de las descargas**

La mayoría de los ríos exhiben una notable variabilidad en sus caudales, lo que implica que estos difieren significativamente a lo largo del año y de un año a otro. Como resultado, se observan variaciones estacionales y anuales en los flujos de agua. Este patrón es especialmente evidente en los torrentes de la costa peruana. (Rocha, 1998).

Las inundaciones de gran magnitud a menudo provocan cambios significativos en la configuración de los ríos. Estos eventos extremos, conocidos como avenidas máximas, son de particular interés. Sin embargo, los datos históricos disponibles son limitados en cuanto a registrar la ocurrencia de eventos de gran envergadura. (Rocha, 1998).

- **Características de transporte sólido**

El transporte de sedimentos está directamente relacionado con los procesos de erosión presentes en la cuenca. La cantidad y la evolución temporal del transporte de sedimentos son factores clave que influyen en la morfología de los ríos. (Rocha, 1998).

- **Presencia de vegetación**

La vegetación desempeña un papel fundamental en la estabilización del curso de un río. Es importante analizar diversos factores, como la geología, la hidrología, las características geométricas del cauce y las propiedades hidráulicas (como los niveles de agua, las pendientes y las velocidades), para comprender la dinámica fluvial. Estos aspectos son clave para estudiar y comprender cómo se desarrolla y cambia el flujo del agua en un río. (Rocha, 1998).

- **Conductos abiertos**

Rocha (1998) menciona que los conductos hidráulicos abiertos se distinguen por tener una superficie expuesta al ambiente, lo que permite que el flujo se genere debido a la fuerza ejercida por el peso del fluido. En términos hidráulicos, un canal se asemeja al comportamiento de un río, ya que ambos presentan características similares en cuanto al flujo y la interacción con el entorno.

Por lo general, asumimos que el flujo en los canales es permanente y uniforme. En un canal, es posible mantener cierto grado de permanencia al mantener constante el caudal. Sin embargo, en un río, la permanencia del flujo es excepcional y solo se logra en casos especiales, como en el flujo regulado aguas abajo de una presa o

embalse. (Rocha, 1998).

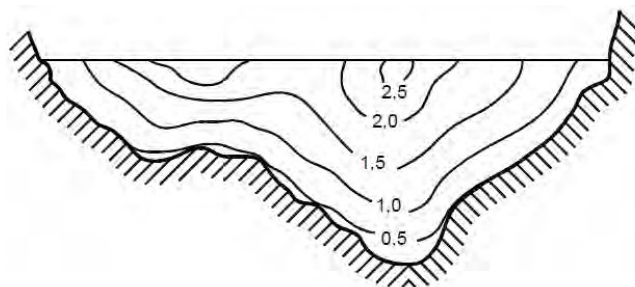
En un río, la forma de la sección transversal varía considerablemente, lo que provoca un flujo no uniforme. Por lo tanto, las ecuaciones de descarga utilizadas en los conductos abiertos, como la ecuación de Chezy o la de Manning, son simplificaciones o representaciones simplificadas del flujo real en el río. (Rocha, 1998).

Sin embargo, y a pesar de las limitaciones anteriores, en Hidráulica fluvial tenemos que hacer uso de las fórmulas y conceptos deducidos para el flujo en canales (Rocha, 1998).

2.2.2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Los canales se refieren a la forma o contorno en el cual el flujo de agua presenta una superficie libre en contacto con la atmósfera, y pueden ser de naturaleza natural o artificial. Los canales naturales incluyen los ríos, torrentes, arroyos y otros cursos de agua similares. Estos canales se caracterizan por tener una sección transversal irregular y variable. Su fondo está compuesto por partículas sólidas en movimiento, como arenas, limo y piedras, lo que se conoce como lecho móvil. En contraste, los canales artificiales son aquellos construidos por el ser humano para diversos propósitos, como canales de riego o drenaje.

Figura 3
Canal natural de río



Nota. La figura muestra un río con su forma o contorno con el flujo de agua, la cual es variable mejor dicho es de forma natural a comparación de un canal artificial *Fuente.* Rocha, (1998)

- **Radio hidráulica**

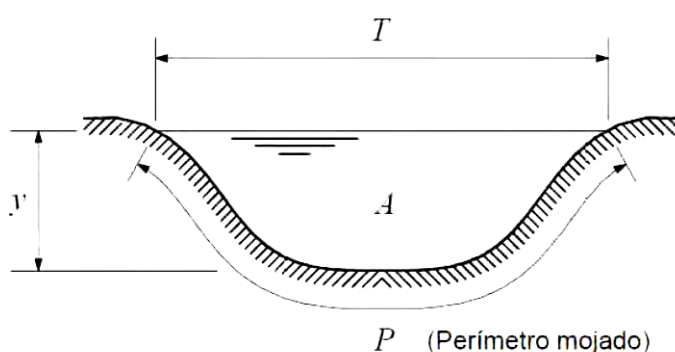
El radio hidráulico se define como la relación entre el área transversal y el perímetro mojado de un conducto hidráulico. La siguiente ecuación proporciona el cálculo del valor del radio hidráulico.

$$R = A/P$$

La siguiente figura muestra los parámetros de la sección transversal de un canal.

Figura 4

Parámetros de una sección transversal de un canal



Nota. La figura muestra una representación básica de la sección trasversal de un canal donde se muestra el área y perímetro mojado. *Fuente.* Rocha, (1998)

- **Tirante hidráulico (d)**

El tirante hidráulico se define como la relación entre el área de la sección transversal y el ancho superficial de un canal. Es una medida importante para describir el nivel de agua en el canal y se calcula dividiendo el área de la sección por el ancho superficial.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d = A/T$$

- **Tirante (y)**

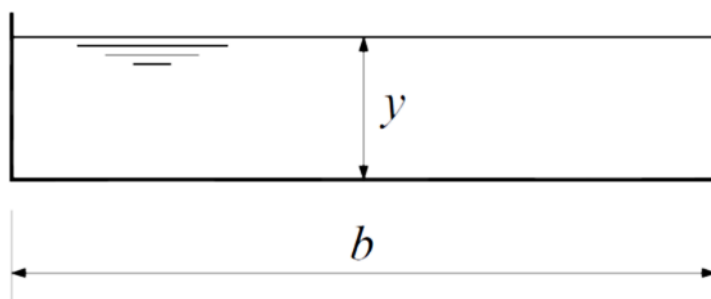
El tirante es la medida vertical que se toma desde el punto más bajo del fondo del canal hasta la superficie libre del agua.

- **Radio hidráulico en un canal muy ancho**

Cuando el ancho b de un canal o río es significativamente mayor que el tirante, se considera un canal muy ancho. Esta condición facilita el cálculo rápido y sencillo del radio hidráulico.

Figura 5

Parámetros de la sección transversal de un canal rectangular



Nota. La figura muestra una representación básica de la sección trasversal rectangular de un canal donde se muestra el tirante y la base del canal. *Fuente.* Rocha, (1998).

Para el cálculo del radio hidráulico en ríos:

$$A = by$$

$$P = b + 2y$$

$$R = \frac{by}{b + 2y} = \frac{y}{1 + 2 * \frac{y}{b}}$$

En un canal muy ancho, cuando la relación entre el ancho b y el tirante y es muy pequeña ($b/y \approx 0$), se puede aproximar el radio hidráulico R como igual al tirante y . Es decir, en un canal muy ancho, el radio hidráulico se puede considerar igual al tirante.

- **Selección del coeficiente de rugosidad de Manning**

Chow, Saldarriaga y Zuluaga (1994) presentan una tabla con valores de n para diferentes clases de canales. Para cada tipo de canal se proporcionan los valores mínimos, normales y máximos de n .

Tabla 1
Valores de coeficientes de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Planicies de inundación			
Pastizales, sin matorrales			
Pasto corto	0.025	0.030	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
Terreno limpio, con troncos sin retoño	0.030	0.040	0.050
Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160

Nota. La tabla muestra los tipos de canales con su clasificación y características máxima y mínimas para calcular el valor de Manning. *Fuente.* Chow et al., (1994)

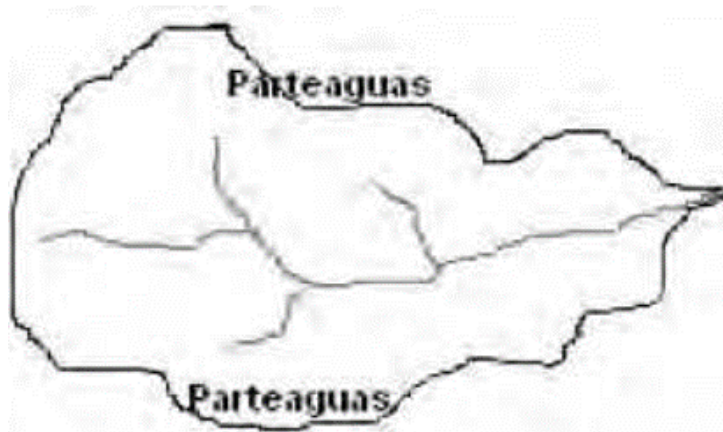
2.2.3. CUENCA HIDROGRÁFICA

Según Aparicio (1994), una cuenca hidrográfica se refiere a un área de tierra en la que las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por un curso de agua o un sistema conectado a cursos de agua. En esta área, todo el caudal de agua que fluye hacia afuera es descargado a través de una única salida.

- **Delimitación de una cuenca**

La cuenca está delimitada por una línea imaginaria llamada parteaguas, que es el lugar geométrico de todos los puntos de mayor nivel topográfico que divide el escurrimiento entre cuencas adyacentes. (Gámez, 2009).

Figura 6
Delimitación de una cuenca

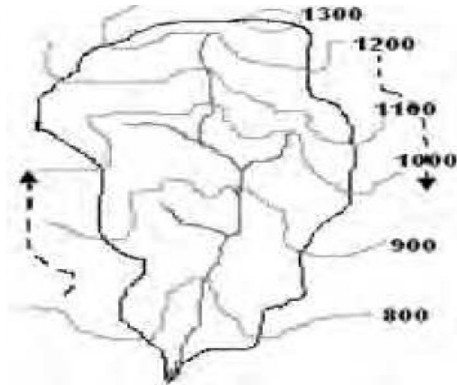


Nota. La figura muestra la forma de una delimitación de una cuenca y su ramificación por las líneas imaginarias mostradas en la figura. *Fuente.* Gámez (2009)

- **Reglas para trazado de parteaguas**

- ✓ La línea que marca la divisoria se cruza perpendicularmente con las líneas que representan el relieve en un mapa.
- ✓ A medida que la línea divisoria de altitudes aumenta, interseca las curvas de nivel en su parte convexa.
- ✓ Si la línea divisoria de altitudes disminuye, cruza las curvas de nivel en su parte cóncava.
- ✓ Al cortar el terreno con un plano perpendicular a la línea divisoria, el punto de intersección entre esta y las curvas de nivel corresponderá al punto más alto del terreno.
- ✓ Como confirmación, la línea divisoria no debe cruzar un río, arroyo o depresión, excepto en el punto donde queremos determinar su ubicación, que se encuentra dentro del área de estudio.

Figura 7
Trazado de parteaguas



Nota. La figura muestra un ejemplo representativo de la forma correcta de las reglas del trazado de parteaguas. *Fuente.* Gámez (2009)

- **Superficie de la cuenca**

La superficie de una cuenca hidrográfica se refiere al área resultante de proyectar la cuenca en un plano horizontal teniendo esta proyección, una geometría irregular.

- **Parámetro de la cuenca**

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca. (Villon, 2004)

Figura 8
Perímetro de una cuenca



Nota. La figura muestra el perímetro calculado después de la delimitación de una cuenca. *Fuente.* Villon (2004).

Dado que la forma de una cuenca es altamente irregular, no es posible calcular su perímetro mediante fórmulas geométricas convencionales. No obstante, existen herramientas que nos ayudan en este cálculo, como el uso de una cuerda y un curvímetero.

- **Longitud de una cuenca**

La longitud referida en este contexto se define como la distancia horizontal que se mide a lo largo del curso de agua principal, desde el punto de medición hasta el límite establecido para la cuenca (aguas arriba).

- **Longitud de cauce principal**

La longitud en cuestión se determina a partir de la extensión del curso de agua principal, representando la distancia recorrida por el río desde el punto de medición (aguas abajo) hasta el punto más alejado aguas arriba en términos topográficos.

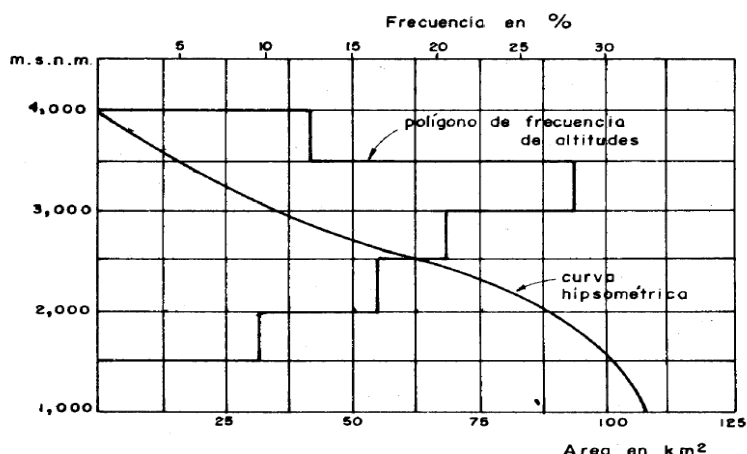
- **Longitud máxima o recorrido principal de la cuenca**

Se refiere a la distancia que existe entre el punto de aforo y el punto más distante de la cuenca siguiendo la dirección del flujo de agua.

- **Topografía**

La topografía se puede describir mediante dos gráficos distintivos. El primero es la curva hipsométrica, que muestra la relación entre la altitud en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y la superficie que se encuentra por encima de esa altitud. El segundo es el polígono de frecuencias de altitudes, el cual representa la distribución porcentual de las áreas ocupadas por diferentes intervalos de altitud. (Chereque, 1989).

Figura 9
Curva hipsométrica



Nota. La figura muestra la curva hipsométrica en relación de m.s.n.m. y el área en km² de la cuenca. *Fuente.* Chereque (1989).

2.2.4. PRECIPITACIÓN

La precipitación es un fenómeno en el cual la humedad presente en las nubes se libera y alcanza la superficie terrestre en forma de diferentes formas de agua, como lluvia, granizo, llovizna y nieve

Es la que determina la entrada de mayor aportación de agua a la cuenca, determina su cantidad y frecuencia y entre otras cosas su calidad. (Bateman, 2007).

• Cálculo de la precipitación media

En términos generales, la cantidad de precipitación que cae en un lugar determinado puede diferir de la cantidad que cae en los alrededores, incluso si están ubicados cerca uno del otro. Un ejemplo de esta diferencia se observa en los registros de lluvia obtenidos por un pluviómetro, que representa la cantidad de lluvia registrada en el punto específico donde se encuentra el dispositivo. Para muchos problemas hidrológicos, es necesario conocer la cantidad promedio de precipitación en una determinada área, ya sea en términos de precipitación diaria, mensual, anual, promedio mensual o promedio anual. (Villon, 2004).

En la cuenca analizada en este proyecto de tesis, se dispone únicamente de 5 estaciones meteorológicas. Debido a esta limitación, se

decidió utilizar el método del polígono de Thiessen como la mejor aproximación para calcular la precipitación media en la cuenca.

- **Polígonos de Thiessen**

Según lo mencionado por Monsalve (1999), el método del polígono de Thiessen se puede aplicar cuando existe una distribución no uniforme de estaciones meteorológicas. Este método brinda resultados más precisos en áreas de la cuenca que son relativamente planas. Consiste en asignar un factor de peso (r) a los totales de precipitación registrados en cada estación, en proporción al área de influencia de cada una. Sin embargo, este método no considera las influencias orográficas en el cálculo. Las áreas de influencia se determinan trazando líneas rectas que conectan las ubicaciones de las estaciones en un mapa de la cuenca, y luego trazando las mediatrices de estas líneas para formar polígonos (ver ilustración 5). Los lados de los polígonos delimitan las áreas de influencia de cada estación (p.107).

$$P_m = (S_1P_1 + S_2P_2 + \dots + S_nP_n) / S_{total}$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i \cdot P_i$$

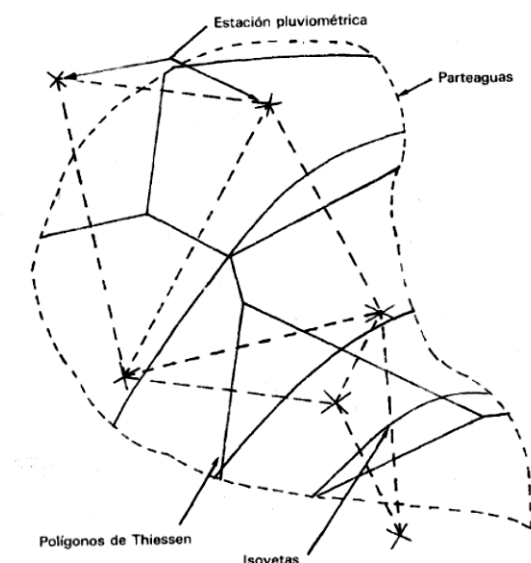
Donde:

P_{med} : Precipitación media

A_t : área total de la cuenca

A_i : área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i .

Figura 10
Determinación de polígonos de Thiessen



Nota. la figura muestra los polígonos de Thiessen lo cual son los más precisos en el cálculo de áreas de una cuenca. *Fuente.* Aparicio (1994).

2.2.5. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

En el contexto peruano, existe una falta de disponibilidad de datos hidrométricos y pluviométricos, y la mayoría de las cuencas hidrográficas no cuentan con una instrumentación adecuada. Debido a estas limitaciones, se recurre a métodos indirectos para estimar los caudales de diseño. Basándose en la información disponible para los estudios, se seleccionará el método más apropiado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal. (MTC, 2018).

- **Periodo de retorno**

Conforme al manual de hidrología, hidráulica y drenajes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008), el periodo de retorno se describe como el intervalo medio, expresado en años, en el cual se espera que el caudal pico de una crecida específica sea igualado o superado al menos una vez.

Cuando se elige el periodo de retorno para el diseño de una estructura, es fundamental tener en cuenta la relación entre la

probabilidad de que ocurra un evento, la durabilidad de la estructura y el nivel de riesgo tolerable de fallo. Este último se ve afectado por factores económicos, sociales, técnicos y otros.

2.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS

- **Modelos de Distribución**

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. (MTC, 2018).

En el campo de la estadística, hay varias funciones de distribución de probabilidad teóricas disponibles. Según el manual de hidrología, hidráulica y drenajes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008), se recomienda utilizar las siguientes funciones:

- ✓ **Distribución normal**

Hace uso de la siguiente función

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-u}{s}\right)^2}$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal

X = variable independiente

μ = parámetro de localización (media aritmética de x)

S = parámetro de escala (desviación estándar de x)

- ✓ **Distribución Log Normal**

Hace uso de la siguiente función

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-X)^2}{2S^2}\right)} dx$$

Donde:

X y S son los parámetros de la distribución

✓ Distribución Log Pearson tipo III

Hace uso de la siguiente función

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{y-1} \cdot e^{\frac{-(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^y y!}$$

Solo si

$$X_0 \leq x < \infty, -\infty < x < \infty, 0 < \beta < \infty, 0 < y < \infty$$

Donde:

X_0 : parámetro de posición

Y: parámetro de forma

β : parámetro de escala

✓ Distribución de probabilidad de Gumbel o doble exponencial

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

Usando el método de momentos:

$$\alpha = 1.2825 / \sigma$$

$$\beta = u - 0.45\sigma$$

Donde:

α : parámetro de concentración

β : parámetro de localización

- ✓ Distribución de probabilidad Log Gumbel

$$y = (\ln x - u) / \alpha$$

Función acumulada reducida:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

- **Pruebas de bondad de ajuste**

Las pruebas de bondad de ajuste son herramientas estadísticas utilizadas para determinar si un conjunto de datos proviene de una distribución específica. Estas pruebas de hipótesis, como la prueba de chi-cuadrado (X^2) y la prueba de Kolmogórov-Smirnov, se emplean para evaluar si los datos son una muestra independiente de la distribución elegida. (MTC, 2008).

- ✓ Kolmogorov – Smirnov

Consiste en la comparación del máximo valor absoluto de la diferencia entre la función de probabilidad observada y la estimada. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Siendo así

$$D = \max |F_o(x_m) - F(x_m)|$$

Teniendo un valor crítico d que está en función del número de datos, con un nivel de significancia elegido de la tabla 1. Si D es menor que d , se acepta la hipótesis nula.

La función de probabilidad se calcula:

$$F_o(x_m) = 1 - m/(n + 1)$$

Donde:

- m: número de orden del dato X_m de una lista ordenada de mayor a menor
- n: cantidad total de datos

Tabla 2

Valores críticos d para la prueba de Kolmogorov Smirnov

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Nota. Son los valores críticos por el enfoque Kolmogorov Smirnov según el tamaño de muestra. *Fuente.* Aparicio (1994).

2.2.7. ESTUDIO DE UNA TORMENTA

Se entiende por tormenta o borrasca, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo con esta definición, una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días, y puede abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas hasta regiones. (Villon, 2004).

El estudio y análisis de las tormentas están estrechamente vinculados a los cálculos y estudios preliminares necesarios para el diseño de obras de ingeniería hidráulica. Estos cálculos y estudios previos son fundamentales para el estudio de drenaje, determinación de la capacidad de un puente, conservación de suelos, cálculo del diámetro de alcantarillas, entre otros aspectos relacionados. (Villon, 2004).

- **Determinación de la tormenta de diseño**

Una tormenta de diseño se refiere a un modelo particular de precipitación empleado en el diseño de un sistema hidrológico. Por lo general, este patrón de lluvia se utiliza como entrada en el sistema, y a partir de él se calculan los caudales resultantes mediante métodos de escorrentía superficial y modelado de flujo. La definición de una tormenta de diseño puede ser a través de un valor de profundidad de precipitación en un punto específico, o mediante un hietograma de diseño que describe la distribución temporal de la precipitación durante la tormenta. (MTC, 2008).

- **Curvas de intensidad, duración y frecuencia**

Según el MTC (2008), las curvas IDF representan un componente de diseño que vincula la intensidad de la lluvia, su duración y la probabilidad de ocurrencia, expresada en términos de su periodo de retorno.

Chow et al., (1994) sostienen que uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño hidrológico, como el diseño de sistemas de drenaje urbano, es determinar los eventos de lluvia apropiados para su aplicación. Esto se logra comúnmente mediante el uso de una tormenta de diseño o un evento que relacione la intensidad de la lluvia (o su profundidad), su duración y las frecuencias o periodos de retorno pertinentes para el proyecto y la ubicación específica.

Para generar las curvas IDF, es esencial disponer de registros pluviográficos en el área de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diversas duraciones en cada año. Este procedimiento involucra llevar a cabo un análisis de frecuencia con cada serie formada. En otras palabras, se examinan los hietogramas de cada tormenta ocurrida en un año y se identifica la lluvia correspondiente a la hora más intensa, las dos horas más intensas, las tres horas más intensas, y así sucesivamente. Utilizando los valores seleccionados, se crean series anuales para cada duración elegida. Estas series anuales se construyen

seleccionando, en cada año del registro, el valor más alto observado para cada duración, lo que resulta en un valor para cada año y duración. (MTC, 2008).

Se realiza un análisis de frecuencia para cada serie, utilizando modelos probabilísticos para asignar probabilidades a la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración. Estos resultados se representan en un gráfico de intensidad vs duración, teniendo en cuenta el periodo de retorno como parámetro. (MTC, 2008).

Las curvas IDF también pueden expresarse como ecuaciones, usando el siguiente modelo general:

$$I = a / (D+b)^m$$

Donde:

I: intensidad de lluvia de diseño

D: duración

a, b y m: coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno

Debido a la falta de información pluviográficos en nuestro país, es difícil elaborar curvas de intensidad-duración-frecuencia. Por lo general, solo se cuenta con registros de lluvias máximas en 24 horas. Para estimar la intensidad de precipitación pluvial máxima en diferentes duraciones, se utiliza un coeficiente de duración que se multiplica por la precipitación máxima en 24 horas. En la tabla 3 se presentan coeficientes de duración para diferentes intervalos de tiempo, desde 1 hora hasta 48 horas. Estos coeficientes pueden utilizarse con criterio y precaución para calcular la intensidad en casos donde no se disponga de información más precisa. (MTC, 2008).

Tabla 3*Coefficientes de duración de lluvias entre 48h y 1h*

DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS	COEFICIENTE
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Nota. Son los coeficientes de la duración de lluvias entre 2 días establecidos por el reglamento que se tomara en cuenta. *Fuente.* MTC (2008)

Las curvas de duración de intensidad-duración-frecuencia, fueron calculadas indirectamente, mediante la ecuación 2.14

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = periodo de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

Los valores de los factores característicos de la zona de estudio se calculan mediante una regresión lineal de las intensidades de lluvia correspondientes a diferentes periodos de retorno, como 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

- **Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración, de acuerdo con Monsalve (1999), se refiere al lapso que requiere la lluvia que cae en el punto más alejado de la corriente de agua de una cuenca para llegar a una sección específica de esa corriente. Es una medida del tiempo necesario para que toda el área de la cuenca contribuya con escorrentía superficial en la sección considerada.

Se calcula mediante

$$tc = to + tf$$

Donde

t_o = tiempo de duración, hasta alguna alcantarilla

t_f = tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes métodos para la estimación del tiempo de concentración.

Tabla 4
Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Método	Fórmula para tc
Método de Kirpich	$TC = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{2-0.385}$
	Donde:
	L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m
	S = pendiente promedio de la cuenca, m/m L
Método California	$TC = 0.0195(L^3/H)^{0.385}$
	Donde:
Culverts	L = Longitud del curso de agua más largo, m.
Practice	H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y salida, m.
Método Izzard	$TC = 525(0.00000276i + c) L^{0.33} / (S^{0.333} i^{0.667})$
	Donde:
	i = intensidad de lluvia, mm/h
	c = coeficiente de retardo
	L = longitud de la trayectoria de flujo, m
	S = pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.
Método de ecuación de retardo SCS	$TC = 0.0136L^{0.8}(1000/CN-9)^{0.7} / S^{0.5}$
	Donde:
	L = longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m.
	CN = Número de curva SCS
	S = pendiente promedio de la cuenca m/m.
Método de Témez	$TC = 0.3(L/S^{0.25})^{0.76}$
	tc = tiempo de concentración en horas
	L = longitud del cauce principal en km
	S = diferencia de cotas sobre L en porcentaje

Nota. La tabla muestra los 5 métodos más conocidos para calcular el tiempo de concentración (Tc) con sus respectivas observaciones. *Fuente.* MTC (2008).

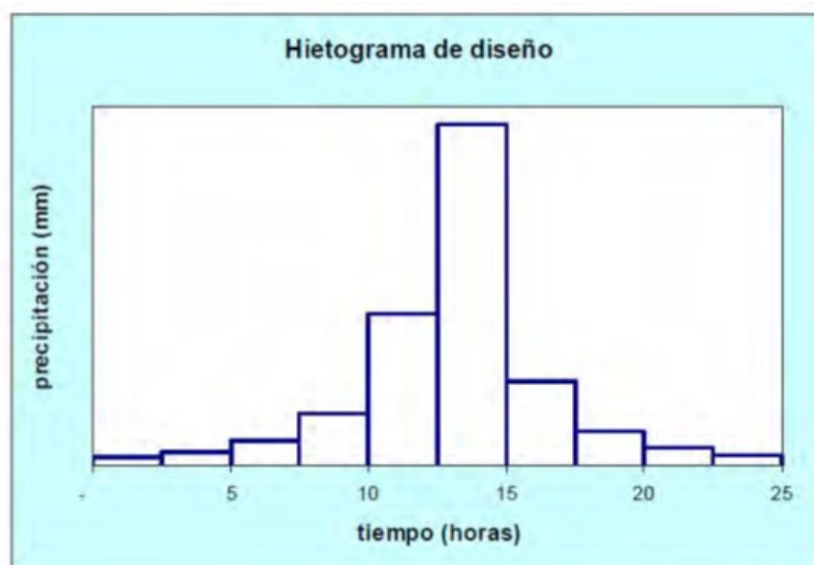
- **Histograma de diseño**

Chow et al., (1994) se señala que en los métodos de diseño hidrológico desarrollados hace muchos años, como el método racional, solo se tomaba en cuenta el caudal pico sin considerar la distribución temporal del caudal (hidrograma de caudal) o la distribución temporal de la precipitación (hietograma de precipitación). No obstante, los métodos de diseño más actuales, que emplean el análisis de flujo no permanente, requieren de predicciones precisas del hietograma de diseño para generar hidrogramas de diseño.

- **Método del Bloque Alterno**

Chow et al., (1994) Se indica que el método del bloque alterno representa una técnica directa para generar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. Este hietograma de diseño establece la cantidad de precipitación que ocurre en intervalos de tiempo consecutivos de duración Δt , dentro de una duración total de $T_d = n \Delta t$. Después de elegir el periodo de retorno deseado, se consulta la intensidad correspondiente en la curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, y así sucesivamente, y se calcula la profundidad de precipitación multiplicando la intensidad por la duración. Al obtener las diferencias entre los valores consecutivos de profundidad de precipitación, se determina la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos, o bloques, se organizan en una secuencia temporal de modo que la máxima intensidad se sitúe en el centro de la duración requerida T_d , y los demás bloques se distribuyan alternadamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central, configurando así el hietograma de diseño.

Figura 11
Hietograma de diseño



Nota. La figura muestra el modelo de un hietograma de diseño la cual define la cantidad de precipitación que ocurre en un tiempo. *Fuente.* MTC (2008)

Dado que la disponibilidad de información sobre la intensidad y su variabilidad en el tiempo de una tormenta es limitada, se ha elegido utilizar el método de bloques alternos. Este método ofrece una solución directa y rápida al utilizar una curva IDF para su desarrollo.

2.2.8. EXCESO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA DIRECTA

El exceso de precipitación, también conocido como precipitación efectiva, se refiere a la porción de la lluvia que no se retiene en la superficie terrestre ni se infiltra en el suelo. Después de fluir sobre la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa que sale de la cuenca, siguiendo el modelo de flujo superficial hortoniano. El análisis del hietograma de exceso de precipitación, que representa la variación del exceso de precipitación en función del tiempo, es esencial para el estudio de las relaciones entre la lluvia y la escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total observado y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracción o pérdidas. Estas pérdidas principalmente se deben a la infiltración del agua en el suelo, junto con la interceptación y el almacenamiento superficial. (Chow et al., 1994).

Los parámetros de las ecuaciones de infiltración pueden ser obtenidos mediante técnicas de optimización, como la programación no lineal. No obstante, existe un método más simple conocido como el índice ϕ . Este índice representa la tasa constante de abstracción que resultaría en un hietograma de exceso de precipitación con una profundidad total equivalente a la escorrentía directa r_d de la cuenca. Para determinar el valor de ϕ , se elige un intervalo de tiempo de longitud Δt y se determina el número de intervalos M de lluvia que realmente contribuyen a la escorrentía directa. Después, se resta $\phi \Delta t$ de la precipitación observada en cada intervalo y se ajustan de manera iterativa los valores de ϕ y M hasta que las profundidades de la escorrentía directa y del exceso de precipitación sean iguales. (Chow et al., 1994).

Ecuación para el cálculo de la escorrentía directa:

$$rd = \sum_{m=1}^M (R_m - \phi \Delta t)$$

Donde:

R_m : precipitación observada en pulg. En el intervalo de tiempo m

- **Coefficiente de escorrentía**

Los coeficientes de escorrentía se emplean para describir las pérdidas en el proceso hidrológico. La definición más usual de un coeficiente de escorrentía consiste en la relación entre la tasa máxima de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación durante una tormenta. Sin embargo, determinar este valor utilizando datos observados puede ser desafiante debido a la gran variabilidad en la intensidad de la precipitación. Además, un coeficiente de escorrentía puede ser interpretado como la relación entre la escorrentía y la precipitación durante un período de tiempo específico. Estos coeficientes se aplican generalmente a los datos de precipitación y escorrentía de una tormenta, pero también pueden ser utilizados para la información de precipitación y caudales mensuales o anuales. Si $\sum_{m=1}^M (R_m)$ representa la precipitación total y rd es la profundidad correspondiente de escorrentía, entonces el coeficiente de escorrentía podría ser definido mediante la ecuación. (Chow et al., 1994).

$$C = \frac{rd}{\sum_{m=1}^M R_m}$$

- **Método SCS para pérdidas**

El Servicio de Conservación del Suelo (Soil Conservation Service), desarrolló un método para calcular las pérdidas de precipitación durante una tormenta. En este método, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (P_e) siempre es menor o igual a la profundidad total de precipitación (P). De manera similar, una vez que la escorrentía

comienza, la cantidad adicional de agua retenida en la cuenca (F_a) es menor o igual a una capacidad de retención potencial máxima (S). Existe un punto en el cual no habrá escorrentía, correspondiente a una cantidad de precipitación (I_a). Por lo tanto, la escorrentía potencial se calcula como la diferencia entre la precipitación total (P) y la cantidad de precipitación necesaria para alcanzar el punto de no escorrentía (I_a). (MTC, 2008)

La hipótesis del Servicio de Conservación del Suelo (SCS) establece que las relaciones entre las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, como se muestra en la siguiente ecuación

$$F_a / S = P_e / (P - I_a)$$

Del principio de continuidad en la siguiente ecuación:

$$P = P_e + I_a +$$

Combinando las ecuaciones anteriores y despejando P_e , se tiene:

$$P_e = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S)$$

Esta ecuación es la base para calcular la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al analizar los resultados obtenidos de numerosas cuencas experimentales de tamaño reducido, se estableció una relación empírica $I_a = 0.2S$.

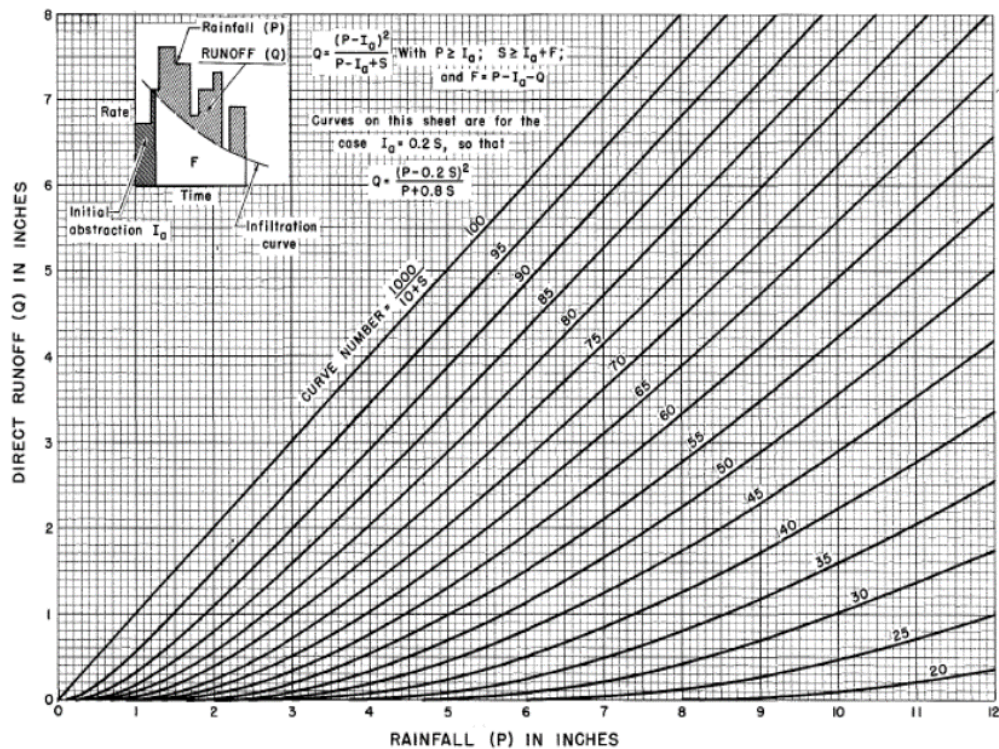
Reemplazando en la ecuación anterior, se obtiene:

$$P_e = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$$

Al representar la información de P y P_e en gráficos para diversas cuencas, el SCS identificó curvas similares a las mostradas en la figura 7. Con el fin de estandarizar estas curvas, se introduce un número

adimensional de curva CN, que cumple con la condición $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua, $CN=100$; mientras que, para superficies naturales, $CN < 100$. (Cabrera, 2012)

Figura 12
Sol. escorrentía



Nota. La figura muestra el diagrama de las ecuaciones de escorrentía que van valores desde 20 hasta 100. *Fuente.* (Cabrera, 2012)

El desarrollo del concepto del número de curva CN como una forma de evaluar la respuesta hidrológica de las cuencas según las características de los suelos, la cobertura vegetal y el uso del suelo, representó un avance significativo. Este enfoque también demandó una comprensión de la variabilidad observada en los datos de escorrentía. (Cabrera, 2012)

Además el Soil Conservation Service ha tabulado los números de curva en función del tipo de suelo y el uso de la tierra. Estos números se clasifican en cuatro grupos de suelo. (Chow et al., 1994)

Se muestran en la siguiente ilustración, los valores de CN para distintos tipos de uso de la tierra según los grupos de suelos.

Tabla 5

Números de curvas de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola urbana y suburbana (humedad II, Ia=0.2S)

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones polares	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Tronos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones: cubiertas de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
Condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50% al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentos con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Nota. La tabla observa la descripción del uso de la tierra relaciona con el grupo hidrológico del suelo, son valores promedios de acuerdo con el tipo de tierra, su uso y tamaño. *Fuente.* MTC (2008)

2.2.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Cuando se dispone de datos de caudales medidos en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales en la estación más cercana al lugar de interés. Se calculan los caudales correspondientes a los periodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años, que son los valores estándar), utilizando distribuciones como la Log-Normal, Log-Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), entre otras. (MTC, 2008).

En este estudio, se ha implementado el método del hidrograma unitario como enfoque para la estimación de caudales.

- **Método del hidrograma unitario**

El hidrograma unitario se refiere al gráfico que representa la variación en el tiempo de la información hidrológica, específicamente el hidrograma de escorrentía directa que se generaría en la salida de una cuenca en caso de recibir una precipitación neta unitaria de una duración específica. (MTC, 2008).

- **Hidrogramas sintéticos**

La mayoría de las cuencas carecen de estaciones hidrométricas o registros pluviográficos completos, lo cual hace necesario disponer de métodos que permitan obtener hidrogramas unitarios utilizando únicamente datos generales de la cuenca. Estos hidrogramas generados se conocen como sintéticos. (Villon, 2004)

El objetivo de un hidrograma sintético es representar o simular un hidrograma que sea representativo del comportamiento hidrológico de la cuenca, de manera que se pueda determinar el caudal pico para propósitos de diseño. Debido a su relevancia, se han desarrollado diversos tipos de hidrogramas unitarios sintéticos, siendo el hidrograma unitario triangular uno de los más utilizados y significativos. (Villon, 2004)

- **Hidrograma sintético unitario triangular**

Mockus propuso un hidrograma unitario sintético de forma triangular que se utiliza ampliamente, incluido el método del Soil Conservation Service (SCS). A pesar de su simplicidad, este hidrograma proporciona los parámetros clave del hidrograma, como el tiempo de recesión (en horas), el tiempo de retardo (en horas), el tiempo de concentración (en horas) y el caudal (en m³/s·cm). (Villon, 2004)

El volumen resultante de la precipitación neta y las pérdidas se transporta a través del río mediante la aplicación del hidrograma unitario.

El tiempo de recesión se calcula aproximadamente con la siguiente ecuación:

$$tr = 1.67 T$$

Sabiendo que el área bajo el HU es igual a una escorrentía de 1cm, por lo tanto, se deduce la ecuación 2.23

$$qr = 2.08A/ Tp$$

Donde:

- A = área de drenaje en km²
- Tp = tiempo de ocurrencia del pico en horas
- También, se ha demostrado que tp se aproxima a la siguiente ecuación

$$tp = 0.6Tc$$

Donde:

- tp = tiempo de retardo (entre el centroide del hietograma y el pico de caudal) (h)
- Tc = tiempo de concentración de la cuenca

- El tiempo de ocurrencia del pico (T_p) se puede expresar mediante la ecuación 2.25

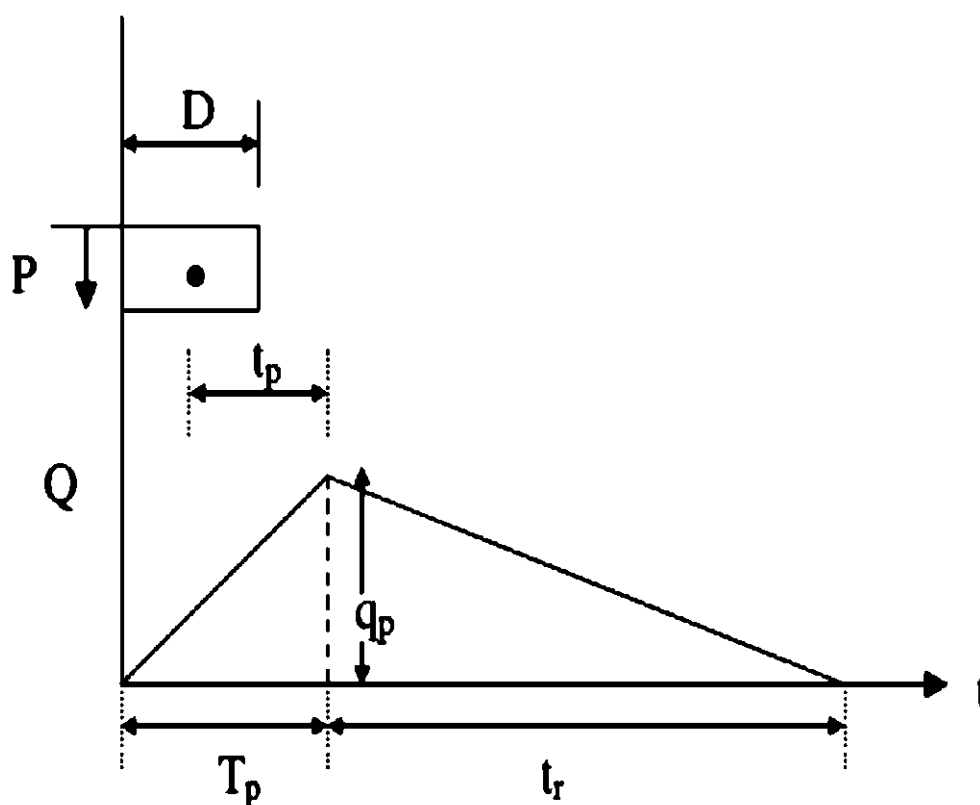
$$T_p = 0.5 * D + t_p$$

Donde:

D = Duración de la lluvia

A continuación, se muestra el hidrograma unitario del SCS

Figura 13
Hidrograma unitario triangular del SCS



Nota. La figura se observa que el hidrograma unitario proporciona los parámetros como el tiempo de recesión, el tiempo de retardo, el tiempo de concentración y el caudal.

Fuente. (MTC, 2008)

2.2.10.SISTEMA DE MODELAMIENTO HIDROLÓGICO (HMS)

El software de modelo hidrológico HEC-HMS ha sido desarrollado para simular de manera integral los diversos procesos hidrológicos presentes en sistemas de cuencas dendríticas. Este programa incorpora una variedad de métodos y técnicas tradicionales de análisis hidrológico,

como la infiltración de eventos, la generación de hidrogramas unitarios y el enrutamiento hidrológico. (Hydrocad, 2022).

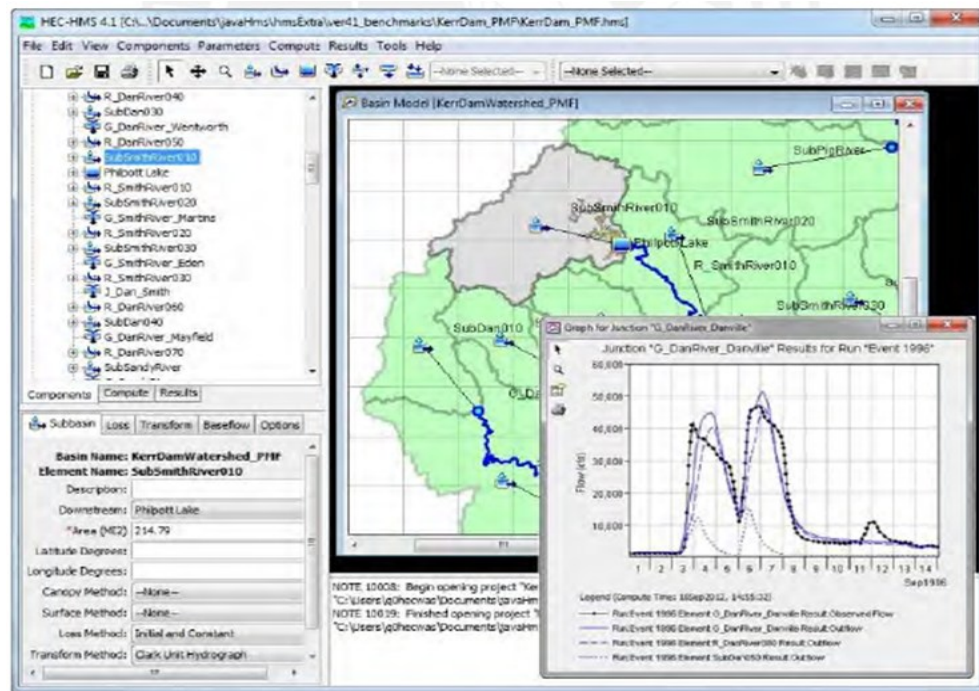
HMS proporciona una amplia gama de funciones y capacidades que permiten a los usuarios modelar y simular diversos componentes del ciclo hidrológico. Entre las características principales se incluyen la generación de hidrogramas unitarios, la estimación de la infiltración de eventos, el enrutamiento de los flujos de agua y la predicción de caudales y niveles de agua en ríos y embalses. (Hydrocad, 2022).

Además, HMS ofrece una interfaz intuitiva y amigable que facilita la configuración de los modelos hidrológicos y la visualización de los resultados. Los usuarios pueden ingresar datos hidrológicos, como precipitación, evapotranspiración y características de la cuenca, y el sistema utiliza algoritmos y métodos sofisticados para simular y representar los procesos hidrológicos de manera precisa. (Hydrocad, 2022).

En cuanto a los datos específicos de la cuenca, se requieren tres funciones principales: la función de infiltración, que describe cómo el suelo y la vegetación retienen y liberan el agua; la función del hidrograma unitario, que representa la respuesta de la cuenca a una precipitación neta unitaria; y la función de recesión de las avenidas, que indica cómo disminuye el caudal después de un evento de lluvia. (Hydrocad, 2022).

Para los cálculos de tránsito de avenidas, el programa HEC-HMS ofrece métodos como el método de Muskingum, el método del Soil Conservation Service (SCS) y el método Muskingum-Cunge. Estos métodos permiten analizar cómo se propagan los flujos de agua a lo largo de la cuenca y brindan resultados útiles para comprender y gestionar las inundaciones y los caudales de los ríos. (Caycho, 2020)

Figura 14
Zona de trabajo del HEC-HMS



Nota. La figura se observa un ejemplo de modelamiento en la interfaz del programa, la cual nos ajorra el mapa e hidrogramas. *Fuente.* (Caycho, 2020)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Datos/Información hidrológica:** Son aquellos que describen el ciclo hidrológico, necesarios para la prestación de servicios hidrológicos y para la investigación. (OMM, 2021).
- **Tormenta:** Una tormenta se define como el conjunto de lluvias que obedecen al mismo efecto meteorológico y posee características bien definidas (Ramirez, 2003)
- **Escorrentía:** La escorrentía se refiere al exceso de agua proveniente de las lluvias, que se desplaza sobre la superficie del suelo o a través de él y fluye hacia los cursos de agua, saliendo de la cuenca hidrográfica. (Gonzáles, 2007).
- **Tránsito de avenidas en una cuenca:** Es el comportamiento que presenta el caudal durante intervalos de tiempo que pueden ser constantes o variables. (Lee et al., 2018).

- **Modelo hidrológico:** Se presentan como una necesidad y una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de las diferentes componentes del ciclo hidrológico. (Cabrera, 2012).
- **Descarga de ríos:** Es el caudal volumétrico pasado una sección transversal determinada, no es tan fácil medir la descarga ya que la mayor parte de la medición se relaciona con el Q, con el área y la velocidad. (Southard, 2023)
- **Coeficiente de rugosidad de Manning:** El coeficiente de rugosidad de Manning es un índice el cual determina la resistencia de un flujo en un canal. (Araya et al., 2017).
- **Inundaciones:** Ocurren cuando las precipitaciones intensas o prolongadas exceden la capacidad de retención del suelo, superan el caudal máximo que el río. (Mendoza, 2017).
- **Inundaciones pluviales:** Este tipo de inundación se produce como resultado de lluvias intensas y persistentes, que pueden consistir en una gran cantidad de precipitación en un corto período de. (Mendoza, 2017).
- **ArcGIS:** Es un sistema que permite cargar datos geoespaciales y representarlos en mapas, gráficos y tablas de atributos. Es una herramienta útil para la gestión y análisis de datos espaciales. (Peña, 2017).
- **SIG:** También llamada Sistema de Información Geográfica es la combinación de hardware, software, datos geográficos con el objetivo es resolver problemas complejos de planificación y gestión. (Peña, 2017).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Se puede identificar las zonas de inundación causadas por precipitaciones en la cuenca del río Tulumayo, tramo CC. PP. César Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Zonas de inundación.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Precipitaciones.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 6

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR
Zonas de inundación	Se refiere a la determinación de las áreas propensas a inundarse debido a las precipitaciones en la cuenca del río Tulumayo. Se medirá utilizando mapas de inundación generados por modelos hidrológicos, que mostrarán las áreas con mayor probabilidad de inundación, clasificadas por niveles de riesgo (alto, medio y bajo).	Variable dependiente	Área afectada	Faja marginal
			Profundidad de inundación	Tirante hidráulico
Precipitaciones	Se refiere a la cantidad de lluvia que cae en la cuenca del río Tulumayo, específicamente en el tramo mencionado. Se medirá en milímetros (mm) mediante estaciones meteorológicas o registros pluviométricos, considerando tanto la intensidad como la duración de los eventos de precipitación.	Variable Independiente	Intensidad	Cantidad de lluvia en precipitación
			Duración	Tiempo de concentración
			Frecuencia	Periodo de retorno
			Estimación de los caudales de diseño	Valores de precipitación Histórica Tiempo de concentración de la cuenca

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La investigación correspondió a un estudio de la aplicación del método **cuantitativo**, ya que, se centró en la recolección de datos objetivos y medibles relacionados con la precipitación, caudales de los ríos, características topográficas de la cuenca, entre otros. Estos datos se analizaron utilizando métodos estadísticos y técnicas de modelado para identificar patrones, tendencias y relaciones cuantitativas entre las variables.

En todo el desarrollo de la investigación y como propósito final fue obtener un mapa de riesgo de inundaciones, el cual podrá contribuir al desarrollo y prevención de los sectores que se verían afectados por estos fenómenos ya mencionados.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El alcance **descriptivo** en una investigación se refiere al enfoque cuyo objetivo principal es detallar y caracterizar un fenómeno, hecho o situación tal como se presenta en un contexto específico. A través de este tipo de estudio, se busca recolectar información precisa y ordenada que permita definir las características y atributos de las variables involucradas. Un inventario detallado de las zonas de inundación en el tramo del río Tulumayo, con una descripción clara de los factores físicos y meteorológicos que definen estas áreas. También se generaron mapas georreferenciados que identifiquen los sectores más vulnerables. Esta de investigación buscó describir y caracterizar las zonas afectadas por las inundaciones, brindando una visión detallada de cómo es el fenómeno en el área de estudio.

3.1.3. DISEÑO

La investigación tratada se consideró un diseño de investigación **no experimental** debido a que no implica la manipulación deliberada de variables. En lugar de eso, se buscó observar y describir los fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, en este caso, las zonas de inundación en la cuenca del río Tulumayo. El objetivo principal del estudio fue obtener información detallada sobre estas zonas y su relación con la precipitación, sin intervenir ni modificar las variables de interés. Al utilizar métodos de recolección de datos como la observación, el análisis de registros y la recopilación de información existente, se buscó obtener una descripción precisa de los fenómenos estudiados, sin realizar manipulaciones controladas. Esto respalda la afirmación de que la investigación tuvo un diseño no experimental.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Es el conjunto del que se desea conocer algo en una investigación, pueden estar constituido por personas, animales, entre otros. (Hernández, 2014).

Este trabajo de investigación tomó como población al río del tramo CC. PP. Cesar Vallejo y cruce Tulumayo/Huallaga; del distrito de Mariano Damaso Beraún, provincia Leoncio Prado y departamento de Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

La muestra es el subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta. (Hernández, 2014).

Este trabajo de investigación tomó como muestra a la cuenca del río Tulumayo/Huallaga.

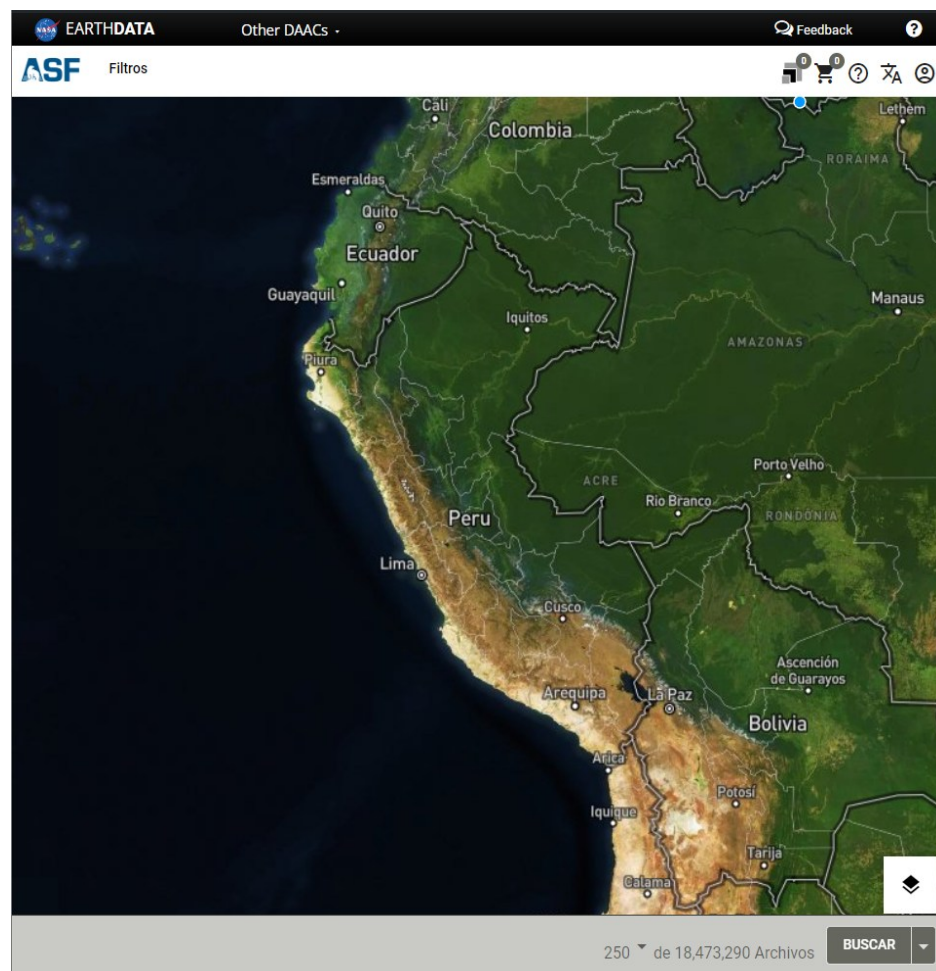
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICAS

3.3.1.1. CUENCA

Para realizar una delimitación adecuada de la cuenca se presentó la necesidad de obtener modelos de elevación digital de la zona de interés (DEM), dicha información fue recopilada de los servidores satelitales de Earth Data que pertenecen a la Nasa, dicho servidor de imágenes satelitales tiene como base funcional el de brindar de manera gratuita las imágenes DEM a fin de utilizar la información para investigaciones. Dentro del servidor se identificaron las zonas de interés y se obtuvieron los sectores que toman en cuenta a la cuenca del río Tulumayo.

Figura 15
Servidor Earth Data

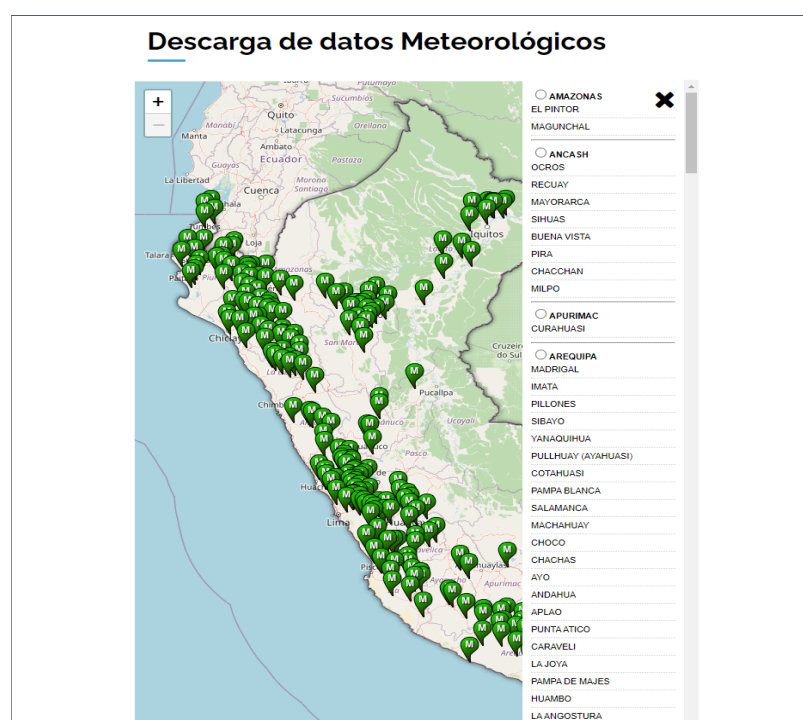


Dentro de la zona de interés se descargaron las imágenes que comprenden a la zona de la cuenca del río Tulumayo, las imágenes fueron procesadas a partir de un software GIS que facilitó el proceso de delimitación de cuencas con lo cual se optimizaron los tiempos de desarrollo de la investigación.

3.3.1.2. LLUVIAS

La información de precipitaciones de la zona de interés fue obtenida de los servidores del Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica del Perú (SENAMHI), en dicho servidor se encuentran los registros históricos de precipitaciones obtenidas por cada una de las estaciones pluviométricas con las que cuenta el estado peruano.

Figura 16
Servidor de descargas del SENAMHI



Los datos de precipitaciones obtenidos en el servidor de descargas tuvieron que ser sometidos a un proceso de validación y complemento de valores faltantes ya que cada una de las estaciones en diferentes periodos temporales carecen de algunos

datos de registro, para el proceso de complemento de datos se aplicó un promedio armónico en el cual se tuvo en cuenta las distancias a las que se encuentran cada una de las estaciones con respecto a las otras que se encuentren en el radio de influencia de la estación con datos faltantes.

3.3.2. INSTRUMENTOS

3.3.2.1. CUENCA

La ficha de parámetros geomorfológicos (adjuntada en los anexos) fue rellenada a partir de la información procesada en el software ArcGIS, dicha información fue obtenida a partir de la caracterización morfométrica de la cuenca.

3.3.2.2. LLUVIAS

El proceso de calibración y verificación de valores de precipitación fue realizado íntegramente en el software Excel con la finalidad de poder identificar las anomalías en las series de valores tomadas en cuenta.

La ficha de precipitaciones (adjuntada en los anexos), fue completada con los valores procesados del registro completo del SENAMHI, estos valores fueron los máximos diarios registrados en 24 hrs, dichos valores fueron sometidos a un proceso de consistencia visual denominado análisis de doble masa en la cual a partir de los quiebres se puede determinar la consistencia y validación de los datos, con la información de cada una de las estaciones tomadas en cuenta en la caracterización hidrológica de la cuenca se procedió a estimar a partir de una interpolación los valores de precipitación para el centroide de la cuenca de interés esto a fin de obtener los valores de intensidad ajustados a la cuenca caracterizada en la investigación.

3.3.2.3. CAUDALES

La estimación de caudales se llevó a cabo en el software HEC-HMS con la metodología del número de curva del SCS, dicha metodología se encuentra precargada en el software HEC-HMS, para dicho modelo se requirió de la elaboración de los hietogramas de intensidad.

En la estimación de los valores de caudal se precargaron los valores geomorfológicos de la cuenca estimados con anterioridad, dentro de la caracterización de la cuenca también se tomaron en cuenta los valores de intensidad estimados en las hojas de cálculo.

3.3.2.4. INUNDACIÓN

La estimación y simulación hidráulica de las áreas de inundación estimada para el centro poblado de Cesar Vallejo fue determinado con el software HEC-RAS dicho software generó los modelos de desplazamiento de agua a partir de un modelo topográfico de la zona analizada.

La información topográfica y los valores de caudal estimados fueron necesarios en el modelo hidráulico para la estimación de las zonas de inundación dando, así como resultados las zonas más afectadas por inundaciones en diferentes periodos de retorno que fueron de interés en la investigación planteada.

CAPÍTULO IV

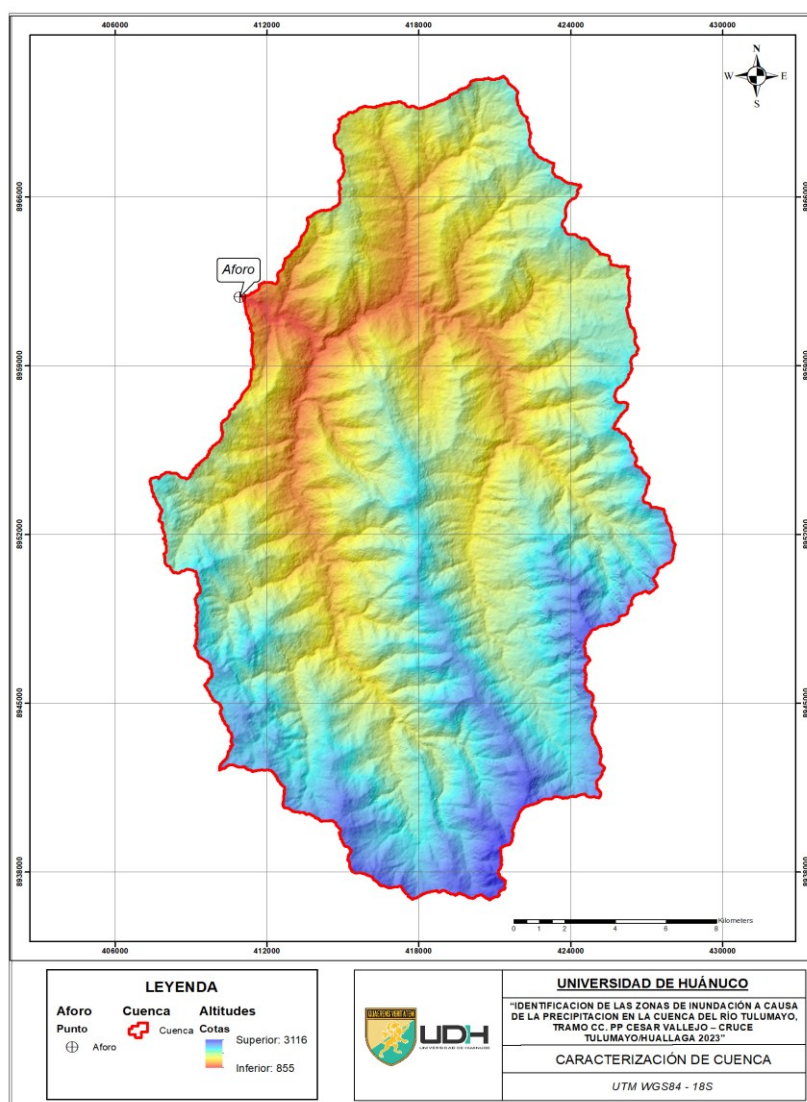
RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. PROCESAMIENTO DE CUENCA

Figura 17

Cuenca del río Tulumayo



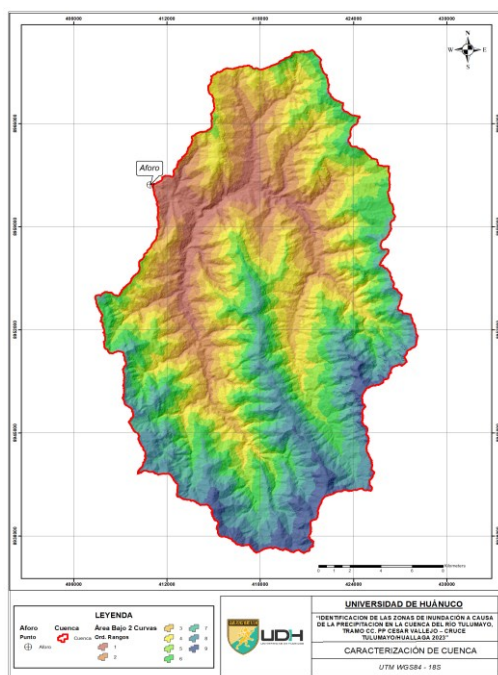
Nota. Parte de la caracterización hidrológica de la cuenca requiere de la delimitación de la cuenca que componen los cauces del río Tulumayo, a partir de ello se identificó un punto de aforo el cual se encuentra a inicios del Centro Poblado de Cesar Vallejo, dicho punto se encuentra en las coordenadas 410947.11 Este y 8961860.49 Norte.

Tabla 7
Cuadro de parámetros geométricos de cuenca

Morfometría de la cuenca				
	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
P. Geométrico	Superficie	A	km ²	445.26
	Superficie de Rectángulo Equivalente	Ar	km ²	676.45
	Lado mayor del rectángulo	Lmay	km	60.13
	Lado menor del rectángulo	Lmen	km	7.40
	Longitud de divisoria	P	km	135.08
	Longitud	L	km	19.71
	Ancho Promedio	a	km	34.02
	Ancho Máximo	amáx	km	34.32
	Diámetro	D	km	23.81
	Long. Per. de círculo de la cuenca	Pc	km	74.80

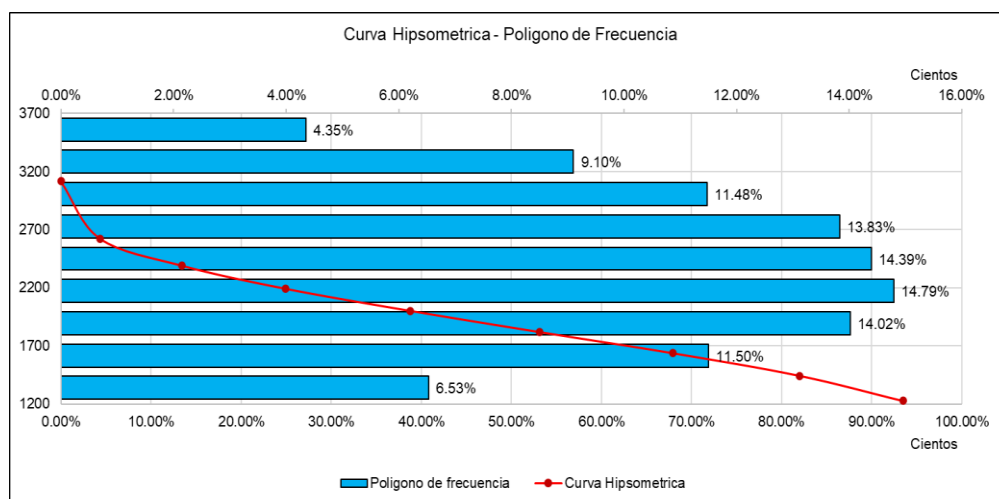
Nota. La cuenca que compone el río Tulumayo se pudo determinar a partir del modelo GIS los siguientes parámetros: el área de la cuenca se estima en 445.26 km², el cual forma un rectángulo equivalente con lados de 60.13 km y un lado menor de 7.40, estimando un área de rectángulo equivalente de 676.45, el perímetro de la cuenca se estimó en 135.08 km, la longitud de la cuenca en dirección al cauce principal se estimó en 19.71 km, un ancho promedio de la cuenca fue de 34.02 y con dichos valores se estimó que el diámetro de la cuenca fue de 23.81 km.

Figura 18
Área entre cuencas



Nota. A partir del modelo de elevación digital determinado con las imágenes satelitales de la cuenca, a partir de ello se reclasificaron en 9 rangos altitudinales con la finalidad estimar la curva hipsométrica y el polígono de frecuencia en la cuenca.

Figura 19
Curva hipsométrica y polígonos de frecuencia



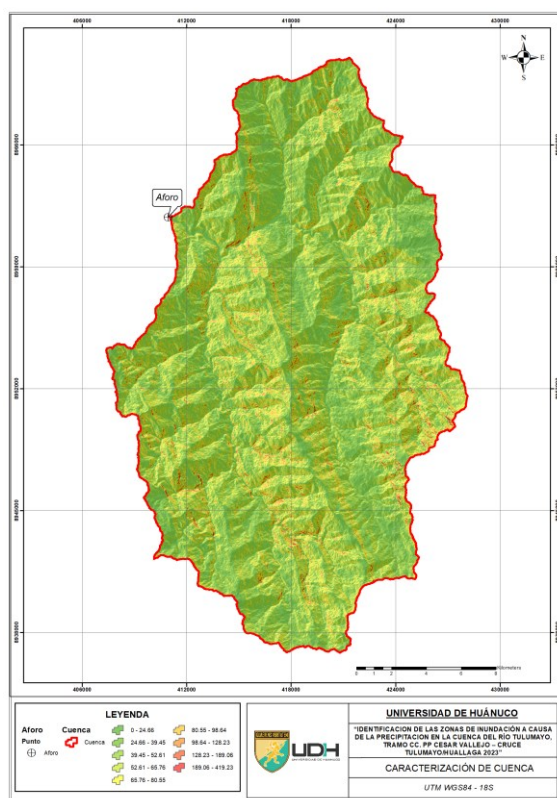
Nota. Con la determinación de los rangos altitudinales que componen la cuenca a partir del modelo digital de elevación de la cuenca se pudo identificar la formación específica de la curva hipsométrica en la cual se pudo caracterizar que la cuenca se encuentra en un estado maduro en su desarrollo debido a la forma en tipo de S que los caracteriza, del polígono de frecuencias se pudo determinar que la altitud más recurrente es de aproximadamente 2200 msnm con una presencia de 14.79% dando así las características altitudinales de la cuenca.

Tabla 8
Relieve de la cuenca

Forma de relieve de la cuenca	Morfometría de la cuenca			
	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
	Altitud Mínima	h	msnm	856.00
	Altitud Máxima	H	msnm	3,116.00
	Altitud Media	Hm	msnm	2,163.10
	Relieve Máximo	Rm	msnm	952.90
	Radio del Relieve	R	msnm/km	48.35
	Relieve Relativo	Rr	-	7.05
	Pendiente Media	Pm	%	10.66
	Altitud de la naciente	Hnac	msnm	1,300.00
	Altitud del desagüe	Hdes	msnm	856.00
	Rel. Máx. del Cauce Principal	Rmcp	msnm	444.00
	I. Hipsométrica	IH	-	0.58
	C. Masividad	Cm	m/km2	4.86
	C. Orográfico	Co	-	0.011

Nota. Con la caracterización altitudinal de la cuenca se pudo determinar que la altitud mínima que presenta la cuenca es de 856 msnm, una altitud máxima de 3116 msnm en las partes altas de la divisoria de la cuenca, se tuvo una altitud media de 2163.10 msnm, de la cuenca se pudo determinar que el relieve máximo fue de 952.90, el valor del radio de relieve estimado que caracteriza a la cuenca es de 48.35 msnm/km. Los valores de la pendiente de la cuenca se pudieron estimar en un valor de 10.66% en promedio, de la cuenca del índice hipsométrico se estimó en 0.58, el coeficiente de masividad se estimó en 4.86 m/km2 y el coeficiente orográfico de 0.011.

Figura 20
Pendiente de la cuenca



Nota. La delimitación de las pendientes de la cuenca se estimó a partir de una reclasificación porcentual de pendientes desde 0% al 100%, se generaron rangos equivalentes de 10% cada uno, los valores más críticos se clasificaron con una coloración rojiza a fin de identificar las zonas con un alta pendiente, de la caracterización cartográfica se pudo determinar que las pendientes más críticas se presentaron dentro de las formaciones de los cauces.

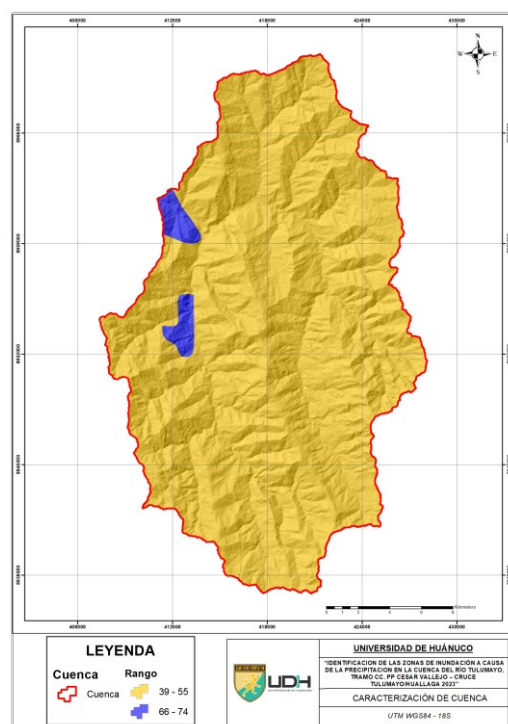
Tabla 9
Caracterización de la cuenca

Morfometría de la cuenca				
	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Forma de la cuenca	Elongación	E	-	1.21
	Coef. Compacidad	Kc	-	1.79
	Ind. Alargamiento	Ia	-	0.57
	Ind.	Ih	-	0.66
	Homogeneidad			
	Fact. Forma	Ff	-	1.30
	Alargamiento de Caquot	Ac	-	0.93
	Radio de elongación	Re	-	1.21

Radio de circularidad	RC	-	0.31
Índice de Forma	IF	-	0.05
Índice entre largo y área de cuenca	Ico	-	0.05
Coef. Forma	Cf	-	1.73
Número de Curva	NC	-	47.52
Coef. Redondez	Cr	-	0.69

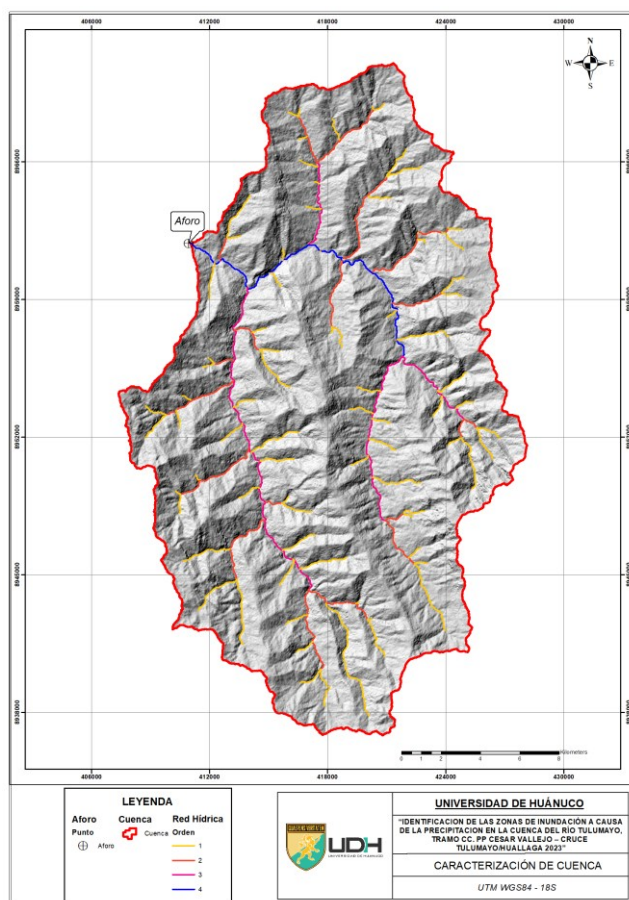
Nota. De la forma que presenta la cuenca se pudo determinar que el coeficiente de elongación que presenta es de 1.21, los valores de coeficiente de compacidad son de 1.79, el índice de alargamiento se estima en 0.57, el valor del índice de homogeneidad fue de 0.66, el factor de forma que se estimó para la cuenca fue 1.30, el valor del coeficiente de redondez de la cuenca se estima en 0.69.

Figura 21
Número de curva de la cuenca



Nota. Con la caracterización de los suelos y el valor de impermeabilidad del suelo se pudo determinar que el número de curva de la cuenca se encuentra entre 2 rangos, uno más predominante que el otro como se muestra en la figura, los rangos identificados en la cuenca son de 39-55 y 66-74 con lo cual a partir de un promedio con respecto a las áreas se pudo determinar que el número de curva que le corresponde a la cuenca es de 47.52.

Figura 22
Red hídrica de la cuenca



Nota. La aplicación GIS identificada para la realización de esta investigación presentó la facilidad de la identificación de la red hídrica que compone la cuenca a partir de la determinación de la dirección del flujo y los valores de flujo acumulado con lo cual para la cuenca se pudo identificar que la cuenca presenta un orden de cuarto grado en las corrientes que la componen.

Tabla 10
Caracterización de la red hídrica de la cuenca

Morfometría de la cuenca			
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
<i>Long. Cauce Principal</i>	Lcp	km	18.53
<i>Orden mayor de cauce principal</i>	-	-	4.00
<i>Long. Recta entre inic y fin de cauce principal</i>	Lvm	km	18.53
<i>Índice de sinuosidad</i>	St	-	0.38
<i>Long. Total, de Corrientes</i>	Ltc	km	228.90
<i>Densidad de drenaje</i>	Dd	km/km2	0.51
<i>Coef. Mant de canal</i>	Cmc	km2/km	1.95
<i>Pend. Red hídrica</i>	Pnd	%	17.71
<i>Exten. Med . Escorrentía Superficial</i>	Em	km	0.49

Nota. Del modelo estimado de la red hídrica que compone la cuenca del río Tulumayo se pudo determinar que la longitud del cauce principal es de 18.53 km, se presenta un orden de red de 4, el valor del índice de sinuosidad es de aproximadamente 0.38, toda la cuenca se compone por alrededor de 228.90 km de cauce en toda su superficie, la densidad de drenaje se estima en un valor de 0.51, la pendiente de la red hídrica se determinó en un 17.51% con un valor de escorrentía superficial de 0.49.

4.1.2. MODELO PLUVIOGRÁFICO

Tabla 11
Análisis de estaciones cercanas

Análisis Temporal						
Estación	Este	Norte	Altura	Límite inferior	Límite Superior	# Años
Tulumayo	389088.50	8988734.40	612.00	1965	2014	50
Tingo María	390121.00	8970701.20	657.00	1940	2015	76
Maronal	489344.10	9065952.10	178.00	1993	2014	22
Periodo de Años Analizados				1993	2014	22

Nota. Para la cuenca del río Tulumayo se lograron identificar 3 estaciones cercanas las cuales se denominan Tulumayo, Tingo María y Maronal, los cuales cuentan con registros históricos en diferentes periodos temporales los cuales para todos se pudo identificar que el periodo utilizado para la investigación comprende a los años de 1993 a 2014 los cuales en total comprenden 22 años de registro histórico.

Tabla 12
Registro pluviométrico Est-Tulumayo

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Prom. Anual	Míni. Anual
Estación Tulumayo	1993	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-1198.80	-99.90	-99.90
	1994	53.50	52.00	53.50	72.00	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-568.20	-47.35	-99.90
	1995	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-1198.80	-99.90	-99.90
	1996	-99.90	36.00	28.30	102.90	95.70	43.60	4.20	19.20	25.20	55.20	65.30	446.80	37.23	-99.90
	1997	48.40	58.40	62.40	136.00	31.00	40.50	21.60	43.80	51.20	49.20	110.50	698.20	58.18	21.60
	1998	63.70	109.00	82.00	67.20	113.30	35.80	23.20	60.80	37.00	65.70	27.20	750.50	62.54	23.20
	1999	113.80	60.60	74.40	17.30	67.70	26.30	43.60	12.80	24.00	34.00	53.50	551.80	45.98	12.80
	2000	47.40	57.80	63.20	34.00	40.90	49.50	26.10	96.60	21.20	35.40	28.30	558.50	46.54	21.20
	2001	67.80	42.40	34.60	28.40	62.00	42.80	41.00	18.50	34.40	34.10	65.40	562.10	46.84	18.50
	2002	56.30	103.50	50.50	43.30	58.00	31.30	72.50	35.00	12.00	40.30	79.00	481.80	40.15	-99.90
	2003	41.80	72.30	60.50	126.00	72.00	36.20	23.00	68.20	66.00	44.00	93.00	777.50	64.79	23.00
	2004	70.80	31.30	60.00	40.20	32.30	21.30	102.40	22.70	22.10	32.20	50.20	531.20	44.27	21.30
	2005	52.60	142.00	65.10	24.80	13.10	62.50	5.50	27.70	54.70	72.70	41.60	650.00	54.17	5.50
	2006	46.40	118.60	40.80	38.00	38.00	51.40	30.40	60.00	35.50	55.30	63.20	639.90	53.33	30.40
	2007	60.00	34.70	45.20	40.80	65.00	20.40	35.20	21.60	19.10	76.80	56.00	541.80	45.15	19.10
	2008	34.80	43.40	45.50	68.30	37.80	36.40	61.00	22.80	47.90	57.40	26.20	524.50	43.71	22.80
	2009	62.00	97.60	40.80	56.70	67.00	33.00	27.80	32.70	41.10	35.50	50.70	611.20	50.93	27.80

2010	36.30	70.90	108.50	56.70	26.30	11.30	40.30	14.40	12.50	39.60	78.60	43.60	539.00	44.92	11.30
2011		54.10	84.00	28.20	38.40	29.30	18.10	54.60	16.70	89.00	52.00	22.50	50.00	536.90	
2012		80.00	73.00	69.00	43.00	52.60	54.60	13.80	31.10	36.40	22.70	61.80	52.70	590.70	
2013		83.70	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	67.80	70.00	56.40	45.50	-375.90	
2014		77.00	31.20	73.40	17.70	-99.90	33.00	-99.90	-99.90	0.00	0.00	0.00	0.00	-67.40	
Total Mensual		850.70	1019.00	786.20	752.00	402.50	248.40	126.70	105.10	397.40	572.40	729.70	593.20		
Promedio Mensual		38.67	46.32	35.74	34.18	18.30	11.29	5.76	4.78	18.06	26.02	33.17	26.96		
Mínimo Mensual		-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90	-99.90		
Máximo Mensual		113.80	142.00	108.50	136.00	113.30	62.50	102.40	96.60	89.00	76.80	110.50	90.70		

Nota. Con la recopilación de la información de lluvias del servidor del SENAMHI, se pudo identificar que hay datos faltantes o con un valor de -99.9 el cual según la información de recolección de datos del SENAMHI evidencia un fallo en la lectura de la lluvia para dichos valores faltantes se procedió a hacer una estimación a partir de la ubicación de las estaciones con respecto a la estación faltante.

Tabla 13
Registro pluviométrico completo Est-Tulumayo

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																	
Estación Tulumayo		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual
	1993	101.92	24.50	28.17	61.76	42.98	36.00	48.40	40.49	55.82	89.88	80.47	96.50	706.90	58.91	24.50	101.92
	1994	53.50	52.00	53.50	72.00	70.40	34.47	66.11	21.85	58.67	81.15	45.83	147.57	757.06	63.09	21.85	147.57
	1995	80.85	98.01	82.81	36.91	35.92	44.95	43.91	16.76	44.51	75.02	52.14	69.95	681.75	56.81	16.76	98.01
	1996	69.70	36.00	28.30	102.90	95.70	43.60	4.20	19.20	25.20	55.20	65.30	71.10	616.40	51.37	4.20	102.90
	1997	48.40	58.40	62.40	136.00	31.00	40.50	21.60	43.80	51.20	49.20	110.50	45.20	698.20	58.18	21.60	136.00
	1998	63.70	109.00	82.00	67.20	113.30	35.80	23.20	60.80	37.00	65.70	27.20	65.60	750.50	62.54	23.20	113.30
	1999	113.80	60.60	74.40	17.30	67.70	26.30	43.60	12.80	24.00	34.00	53.50	23.80	551.80	45.98	12.80	113.80
	2000	47.40	57.80	63.20	34.00	40.90	49.50	26.10	96.60	21.20	35.40	28.30	58.10	558.50	46.54	21.20	96.60
	2001	67.80	42.40	34.60	28.40	62.00	42.80	41.00	18.50	34.40	34.10	65.40	90.70	562.10	46.84	18.50	90.70
	2002	56.30	103.50	50.50	43.30	58.00	31.30	72.50	35.00	12.00	40.30	79.00	59.87	641.57	53.46	12.00	103.50
	2003	41.80	72.30	60.50	126.00	72.00	36.20	23.00	68.20	66.00	44.00	93.00	74.50	777.50	64.79	23.00	126.00
	2004	70.80	31.30	60.00	40.20	32.30	21.30	102.40	22.70	22.10	32.20	50.20	45.70	531.20	44.27	21.30	102.40
	2005	52.60	142.00	65.10	24.80	13.10	62.50	5.50	27.70	54.70	72.70	41.60	87.70	650.00	54.17	5.50	142.00
	2006	46.40	118.60	40.80	38.00	38.00	51.40	30.40	60.00	35.50	55.30	63.20	62.30	639.90	53.33	30.40	118.60
	2007	60.00	34.70	45.20	40.80	65.00	20.40	35.20	21.60	19.10	76.80	56.00	67.00	541.80	45.15	19.10	76.80
	2008	34.80	43.40	45.50	68.30	37.80	36.40	61.00	22.80	47.90	57.40	26.20	43.00	524.50	43.71	22.80	68.30
	2009	62.00	97.60	40.80	56.70	67.00	33.00	27.80	32.70	41.10	35.50	50.70	66.30	611.20	50.93	27.80	97.60
	2010	36.30	70.90	108.50	56.70	26.30	11.30	40.30	14.40	12.50	39.60	78.60	43.60	539.00	44.92	11.30	108.50

2011	54.10	84.00	28.20	38.40	29.30	18.10	54.60	16.70	89.00	52.00	22.50	50.00	536.90	44.74	16.70	89.00
2012	80.00	73.00	69.00	43.00	52.60	54.60	13.80	31.10	36.40	22.70	61.80	52.70	590.70	49.23	13.80	80.00
2013	83.70	103.61	64.55	113.45	32.52	59.91	18.74	38.12	67.80	70.00	56.40	45.50	754.29	62.86	18.74	113.45
2014	77.00	31.20	73.40	17.70	51.61	33.00	38.26	34.37	0.00	0.00	0.00	0.00	356.54	29.71	0.00	77.00
Total, Mensual	1402.87	1544.82	1261.43	1263.82	1135.44	823.33	841.61	756.20	856.11	1118.15	1207.84	1366.69				
Promedio Mensual	63.77	70.22	57.34	57.45	51.61	37.42	38.26	34.37	38.91	50.82	54.90	62.12				
Mínimo Mensual	34.80	24.50	28.17	17.30	13.10	11.30	4.20	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00				
Máximo Mensual	113.80	142.00	108.50	136.00	113.30	62.50	102.40	96.60	89.00	89.88	110.50	147.57				

Nota. Los valores completados a partir de promedios armónicos partidos a partir de la distancia entre estaciones dan la seguridad de que los valores estimados se acercan a la realidad y reemplaza de manera adecuada a los valores faltantes en el caso de que no se cuenten registros en todas las estaciones para los meses se tomaron en cuenta los valores mensuales que se hayan determinado en las estaciones analizadas.

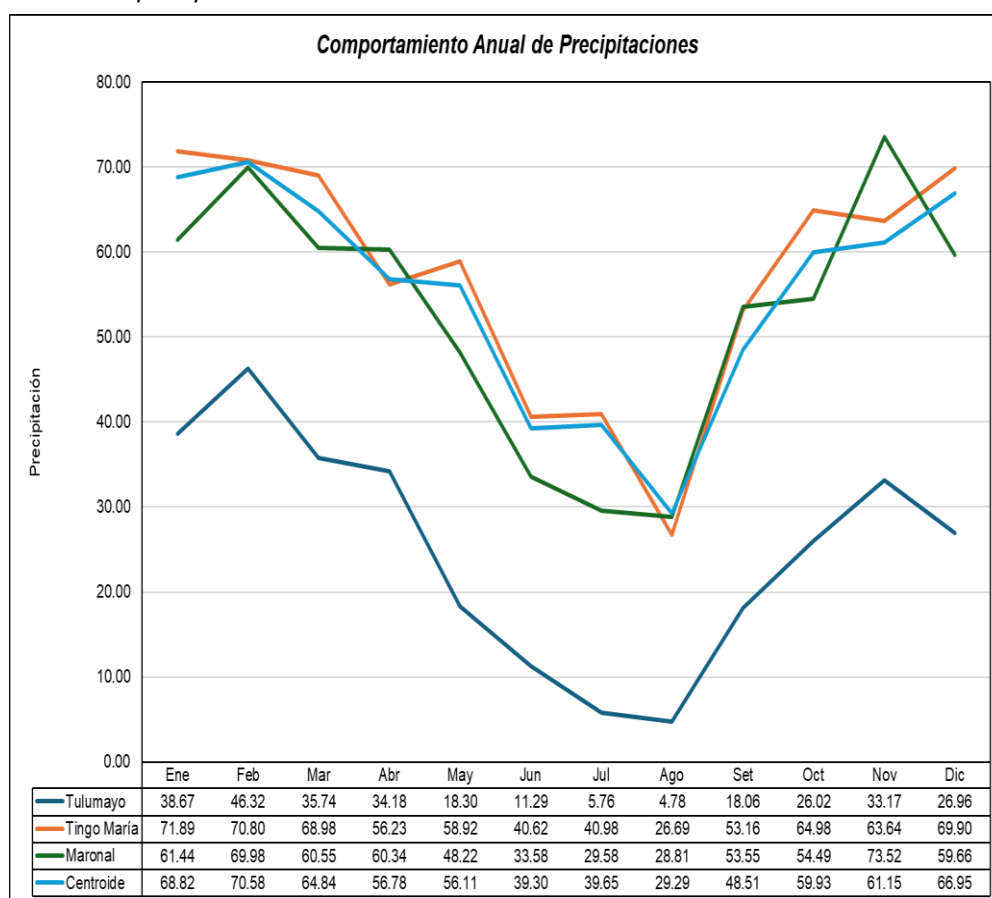
Tabla 14
Registro pluviométrico Simulado

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																	
Estación Centroide	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual	
	1993	99.33	23.88	29.00	61.46	42.47	35.63	48.52	40.49	55.72	89.09	80.19	95.38	701.16	58.43	23.88	99.33
	1994	103.75	71.90	48.29	84.36	69.28	34.69	64.50	21.80	59.39	79.71	45.99	145.55	829.21	69.10	21.80	145.55
	1995	79.04	97.52	81.70	37.80	35.46	44.52	43.54	16.59	44.53	74.68	53.19	69.00	677.58	56.46	16.59	97.52
	1996	70.95	62.67	31.84	84.97	73.47	47.67	15.76	26.02	43.89	54.25	73.70	55.28	640.47	53.37	15.76	84.97
	1997	53.15	47.16	61.22	78.72	44.22	35.28	40.94	30.41	66.97	40.10	83.89	78.97	661.01	55.08	30.41	83.89
	1998	56.70	93.67	77.42	64.15	140.09	64.96	18.00	38.83	38.07	86.01	58.34	60.81	797.05	66.42	18.00	140.09
	1999	75.16	73.53	78.78	48.84	98.28	46.14	45.39	19.10	26.03	29.29	65.97	69.11	675.62	56.30	19.10	98.28
	2000	74.20	63.46	57.24	27.82	29.52	56.45	64.32	46.83	28.72	46.60	45.63	62.73	603.51	50.29	27.82	74.20
	2001	85.54	46.28	58.00	35.79	64.20	32.73	41.23	11.02	67.95	37.04	77.99	60.46	618.24	51.52	11.02	85.54
	2002	65.21	88.27	97.42	62.47	61.66	40.86	51.16	31.29	46.52	43.71	68.51	59.21	716.30	59.69	31.29	97.42
	2003	37.21	93.07	55.25	79.11	122.11	72.76	23.01	59.03	62.45	86.50	86.45	93.65	870.58	72.55	23.01	122.11
	2004	66.03	55.24	73.25	48.03	36.68	16.39	87.73	25.78	30.22	42.40	61.53	46.80	590.08	49.17	16.39	87.73
	2005	49.80	106.72	82.89	23.41	28.72	48.83	26.42	26.84	53.59	65.17	57.92	94.56	664.87	55.41	23.41	106.72
	2006	52.38	110.28	48.86	65.78	40.74	30.53	38.69	41.07	56.59	63.51	85.02	63.88	697.33	58.11	30.53	110.28
	2007	67.30	37.17	61.30	48.96	45.35	10.07	35.05	28.52	24.80	61.46	59.02	62.10	541.10	45.09	10.07	67.30
	2008	61.10	71.58	59.23	45.90	35.50	30.46	42.81	16.95	33.88	80.66	29.07	36.44	543.59	45.30	16.95	80.66

2009	72.44	68.03	44.97	57.46	67.25	30.11	33.53	33.39	39.61	34.63	44.82	58.88	585.14	48.76	30.11	72.44									
2010	42.91	66.59	81.75	40.30	26.49	21.80	49.94	18.79	34.19	46.34	72.76	58.02	559.88	46.66	18.79	81.75									
2011	86.29	74.57	69.02	55.01	38.77	30.73	31.87	23.02	82.98	47.93	46.82	42.51	629.52	52.46	23.02	86.29									
2012	67.54	58.50	91.08	50.33	45.44	39.78	11.55	20.82	32.32	45.87	51.98	60.28	575.50	47.96	11.55	91.08									
2013	91.59	102.50	63.62	111.52	32.67	60.16	18.66	38.51	100.82	67.74	52.27	48.99	789.04	65.75	18.66	111.52									
2014	56.52	40.16	74.30	37.09	56.11	34.04	39.65	29.29	37.86	95.88	44.33	50.39	595.61	49.63	29.29	95.88									
Total, Mensual		1514.11		1552.78		1426.42		1249.27		1234.47		864.59		872.29		644.40		1067.11		1318.55		1345.39		1472.98	
Promedio Mensual		68.82		70.58		64.84		56.78		56.11		39.30		39.65		29.29		48.51		59.93		61.15		66.95	
Mínimo Mensual		37.21		23.88		29.00		23.41		26.49		10.07		11.55		11.02		24.80		29.29		29.07		36.44	
Máximo Mensual		103.75		110.28		97.42		111.52		140.09		72.76		87.73		59.03		100.82		95.88		86.45		145.55	

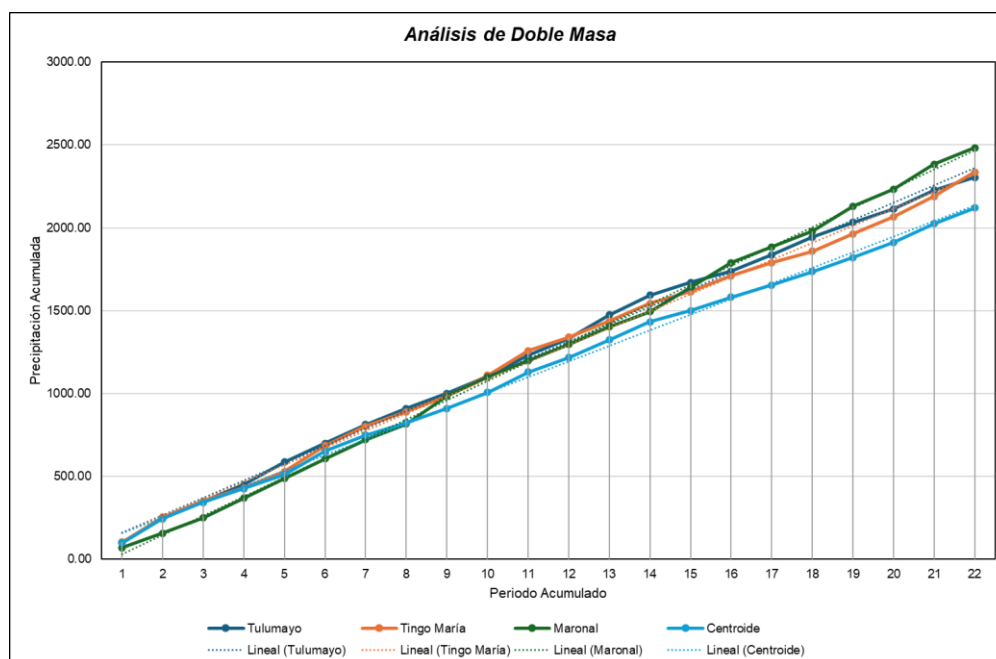
Nota. A partir de todos los datos completos en los registros históricos se pudo determinar una estación simulada en el centroide de la cuenca de río Tulumayo, con ello se asegura el ajuste de los valores de caudal simulado a fin de evitar el sobredimensionamiento de los valores de caudal para el punto de foro de la cuenca.

Figura 23
Análisis de precipitaciones mensuales



Nota. Tomando en cuenta el año completo y haciendo un análisis de valores promedio en cada mes que comprende el año se pudo identificar que para la zona se identifica un decrecimiento de las precipitaciones en los meses que comprende desde abril a agosto, dicho patrón se repite en cada una de las estaciones tomadas en cuenta, este análisis sirve como identificador de patrones de precipitación ya que debido a la cercanía de las estaciones estos deben presentar una similitud en los incrementos o disminuciones de los eventos de precipitación, con ello también se puede determinar que la estación simulada en el centroide de la cuenca se ajusta de manera significativa con la estación Tingo María, esto a causa de la cercanía entre el centroide de la cuenca con la ubicación de la estación en cuestión, con ello también se valida que el procedimiento de estimación de precipitaciones faltantes tiene una consistencia ya que mientras más cercanas las estaciones se evidencian valores de precipitación más ajustadas.

Figura 24
Análisis de doble masa



Nota. Del análisis de precipitaciones acumuladas se establecieron de manera visual los valores que mantengan una mejor precisión en su registro de valores con lo cual de la imagen se puede determinar que la línea de valores de precipitación acumulada presenta pocos quiebres en comparación al resto de tendencias de las estaciones cercanas con lo cual se valida la determinación de los valores para el modelo de precipitación.

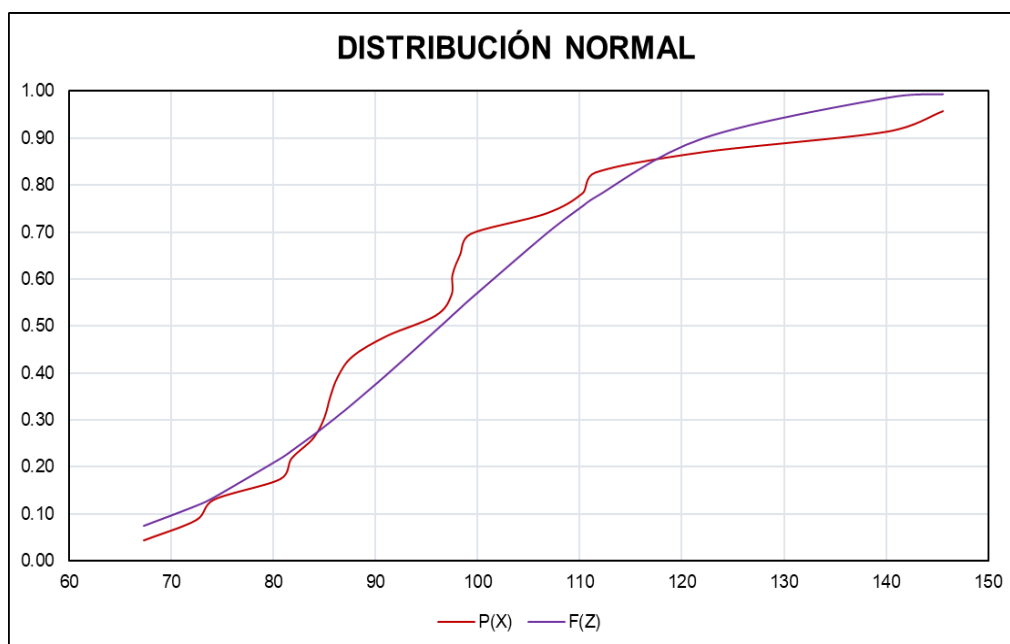
Tabla 15
Valores de precipitación crítica

Valores de precipitación	
Estación:	Centroide de cuenca
Este	418,019.65
Norte	8,953,660.43
Cota	2,163.10
1993	99.33
1994	145.55
1995	97.52
1996	84.97
1997	83.89
1998	140.09
1999	98.28
2000	74.20
2001	85.54

2002	97.42
2003	122.11
2004	87.73
2005	106.72
2006	110.28
2007	67.30
2008	80.66
2009	72.44
2010	81.75
2011	86.29
2012	91.08
2013	111.52
2014	95.88
Cantidad de datos	22.00
Sumatoria	2,120.54
Valor mínimo	67.30
Valor máximo	145.55
Media	96.39
Varianza	405.44
Desviación estándar	20.14
Coefficiente de variación	0.21
Coefficiente de sesgo	1.05

Nota. Los valores máximos de análisis de precipitaciones comprenden un total de 22 años desde 1993 al 2024 del cual se pudo estimar que los valores de sumatoria son de 2120.54 mm de precipitación, en la cual el valor mínimo fue de 67.30 mm y el valor máximo fue de 145.55, teniendo un valor promedio de precipitación de 96.39 mm con una varianza de 405.44 mm, el valor de desviación estándar 20.14 y el coeficiente de variación entre 0.21 y el valor de sesgo de 1.05 el cual demuestra que los valores de consistencia que presenta la serie es confiable para su aplicación estadística.

Figura 25
Distribución Normal



Nota. De la serie de valores se reorganizaron en orden creciente con lo cual se pudo elaborar la gráfica de la distribución normal en la cual se puede evidenciar el ajuste de la serie en donde el $P(x)$ es la curva generada a partir de los valores recolectados y la curva $F(z)$ que es la curva idealizada para la distribución presentado así el ajuste de la serie de datos.

Tabla 16
Ajuste Normal

Prueba de distribución	
N	22
Δ teórico	0.1376
Δ tabular	0.2900
Se ajusta	

Nota. En total de la serie de 22 valores de precipitación se pudo estimar que el valor del delta teórico es de 0.1376 y el valor del delta tabular es de 0.2900.

Tabla 17
Prueba Kolmogorov-Smirnov

Kolmogorov-smirnov	
Distrib.	Δ
Normal	0.1376
Log normal 2p	0.0971
Gamma 2p	0.2044
Gumbel	0.1881
Log-gumbel	0.1794
Conclusión	0.0971
	Log normal 2p

Nota. Con los valores de precipitación y los valores de ajuste de distribución se pudo estimar que el valor de delta menor es de 0.0971 el cual corresponde a la distribución Log Normal de 2 Parámetros, dicha distribución facilitó la estimación de las precipitaciones en diferentes periodos de retorno.

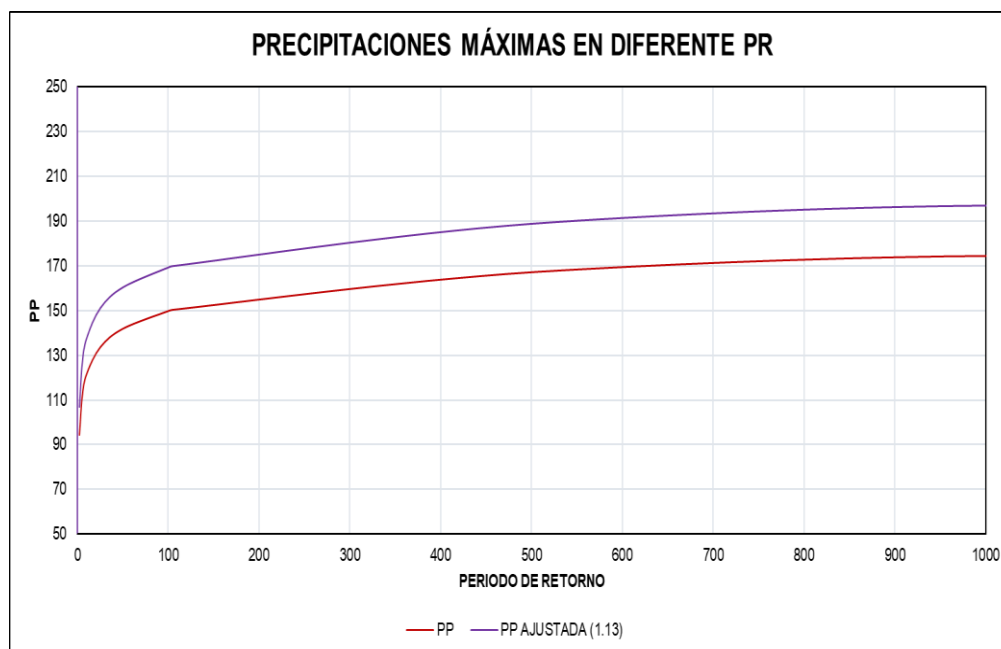
Tabla 18
Valores de precipitación en diferentes periodos de retorno

LLUVIAS	
PR	PP (mm)
5 años	111.66
10 años	121.81
25 años	133.65
50 años	141.9
100 años	149.76
500 años	167.01

Nota. Aplicando la distribución de Log Normal con los valores de precipitación máxima se estimaron que para un periodo de retorno de 100 años se estimó que la precipitación es de 149.76 mm, con dichos valores se estimaron las curvas de intensidad – duración – frecuencia.

4.1.3. ESTIMACIÓN DE CAUDALES

Figura 26
Curva de precipitaciones



Nota. Con los valores de precipitación proyectados en diferentes periodos de retorno se genera la curva de precipitaciones proyectadas, adicionalmente a ello se aplicó un valor de reajuste de 1.13, dicho valor se basa en el manual de hidrología a fin de tener un margen de error en la estimación de los valores de caudal.

Tabla 19
Coeficientes de ecuación de intensidad

FACTORES PARA LA ECUACIÓN DE INTENSIDAD	
K	427.245
m	0.083
n	0.619

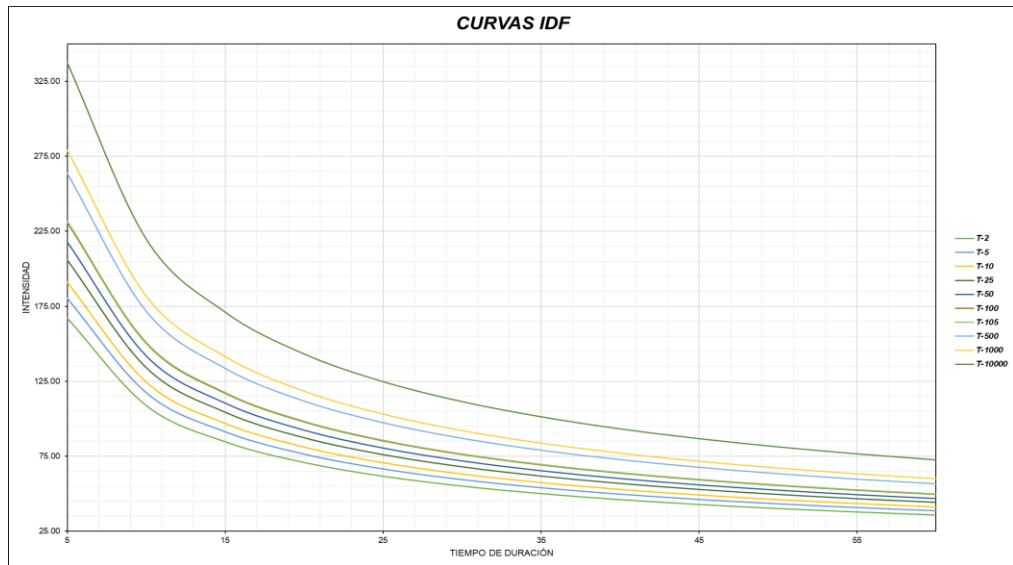
Nota. Para la ecuación $I = \frac{KT^m}{t^n}$, se pudo determinar que el valor del coeficiente es de 427.245, los exponentes m y n se estimaron en 0.083 y 0.619 respectivamente.

Tabla 20
Valores de intensidad en diferentes duraciones

INTENSIDADES												
DURACIÓN												
T	5 MIN	10 MIN	15 MIN	20 MIN	25 MIN	30 MIN	35 MIN	40 MIN	45 MIN	50 MIN	55 MIN	60 MIN
T-2	167.17	108.88	84.72	70.91	61.77	55.18	50.16	46.19	42.94	40.23	37.93	35.94
T-5	180.30	117.43	91.38	76.48	66.62	59.52	54.10	49.81	46.31	43.39	40.91	38.76
T-10	190.91	124.34	96.76	80.98	70.54	63.02	57.29	52.75	49.04	45.95	43.32	41.05
T-25	205.90	134.11	104.36	87.35	76.08	67.97	61.79	56.89	52.89	49.55	46.72	44.27
T-50	218.02	142.00	110.50	92.49	80.56	71.97	65.42	60.24	56.01	52.47	49.47	46.88
T-100	230.86	150.36	117.01	97.93	85.31	76.21	69.28	63.78	59.30	55.56	52.38	49.63
T-105	231.79	150.97	117.48	98.33	85.65	76.51	69.56	64.04	59.54	55.78	52.59	49.83
T-500	263.65	171.72	133.62	111.84	97.42	87.03	79.12	72.84	67.72	63.45	59.82	56.68
T-1000	279.17	181.83	141.49	118.42	103.16	92.15	83.77	77.13	71.71	67.19	63.34	60.02
T-10000	337.59	219.87	171.10	143.21	124.74	111.44	101.30	93.27	86.72	81.25	76.59	72.58

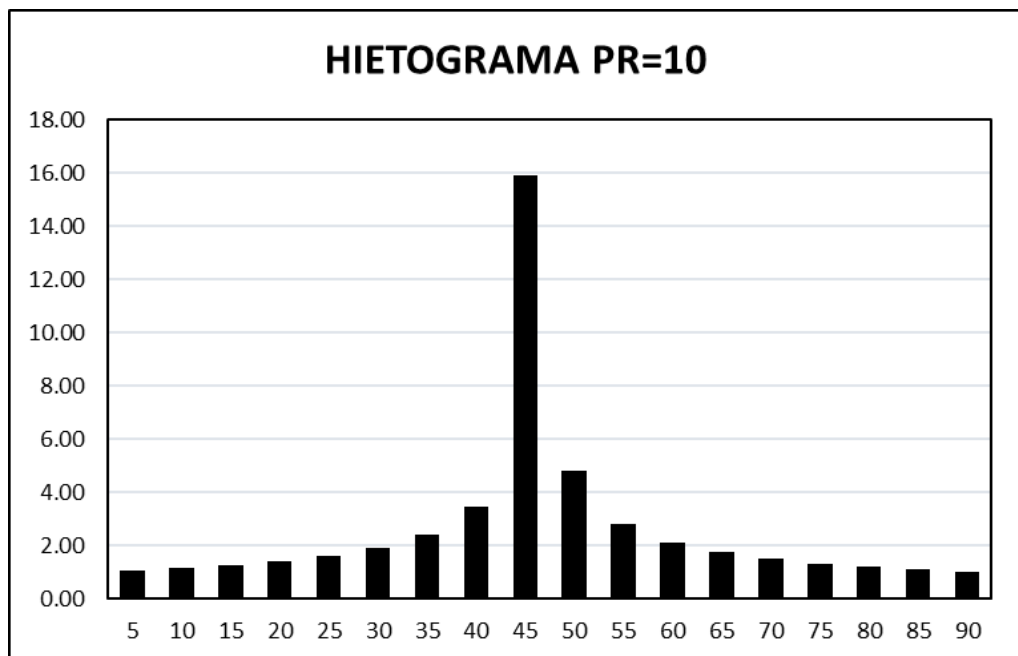
Nota. El valor de intensidad para un periodo de retorno de 500 años en una duración de 60 min se pudo determinar que la intensidad generada es de 56.68 mm.

Figura 27
Curvas IDF para la estimación de caudales



Nota. Con la ecuación de intensidades que caracterizan a la serie de datos de precipitación se pudieron elaborar las curvas de intensidad – duración – frecuencia a partir de los cuales se determinaron los modelos de intensidad para diferentes periodos de retorno y se lograron aplicar los modelos de bloque alterno para los hietogramas.

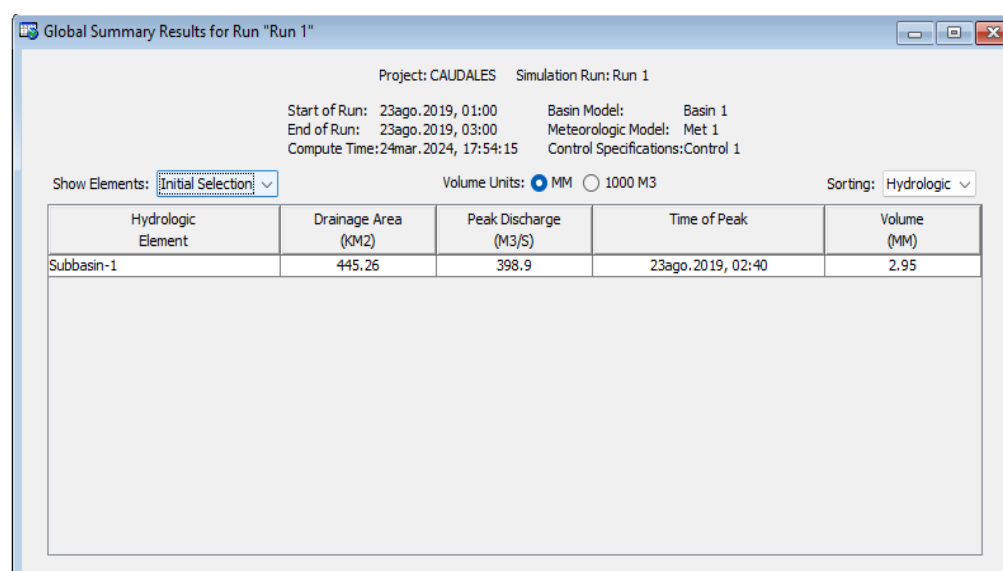
Figura 28
Tormenta de diseño PR10



Nota. Se tiene que para la cuenca se hizo determinó una duración de tormenta de 90 min con la cual se pudo determinar una intensidad de lluvia 31.94, con una precipitación máxima en 24 hrs en 47.91 mm el cual se aplican en intervalos de cada 5 min aplicando el bloque alterno se estimó que la intensidad era aproximadamente de 16 mm.

Cada uno de los periodos de retorno fueron analizados de la misma forma a fin de caracterizar cada uno de los valores de intensidad y de estimación de los valores del hietograma, con lo cual se pudo determinar los valores de caudal en diferentes periodos de retorno.

Figura 29
Estimación de caudales para PR 10 años



Nota. Para un periodo de retorno de 10 años se logró estimar que el valor de caudales es de 398.90 m3/s. Para cada uno de los periodos de retorno planteados se lograron estimar en el software HEC-HMS a partir de la metodología SCS Número de Curva.

Tabla 21
Valores de caudal en diferentes periodos de retorno

CAUDAL DE DISEÑO	
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS
10	398.90
25	430.20
50	455.50
100	482.50
500	561.90

Nota. Del cálculo se pudo estimar que los valores de caudal son de 398.90, 430.20, 455.50, 482.50 y 561.90 m3/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.1.4. ESTIMACIÓN DE INUNDACIÓN

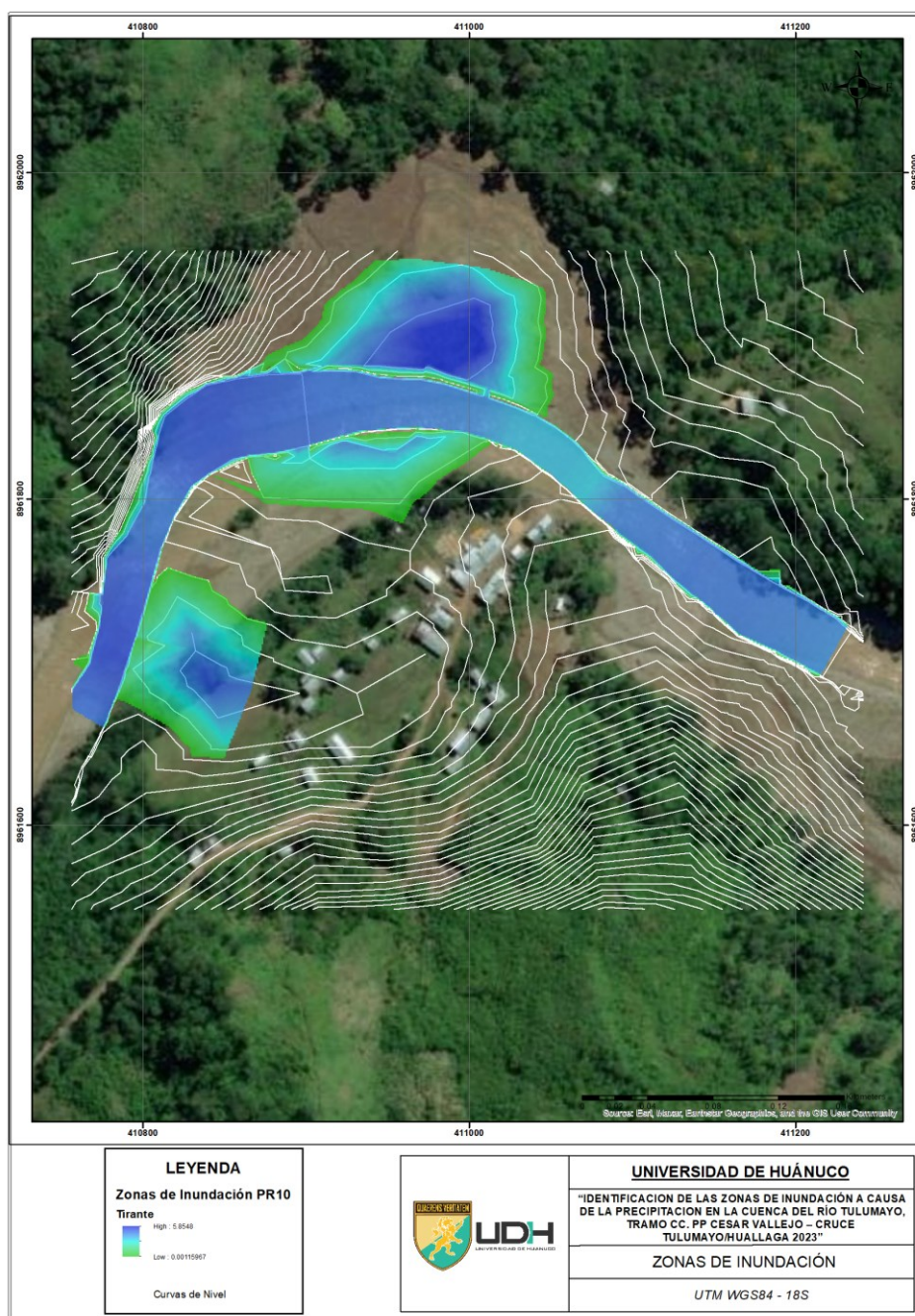
Figura 30

Mapa de curvas topográficas



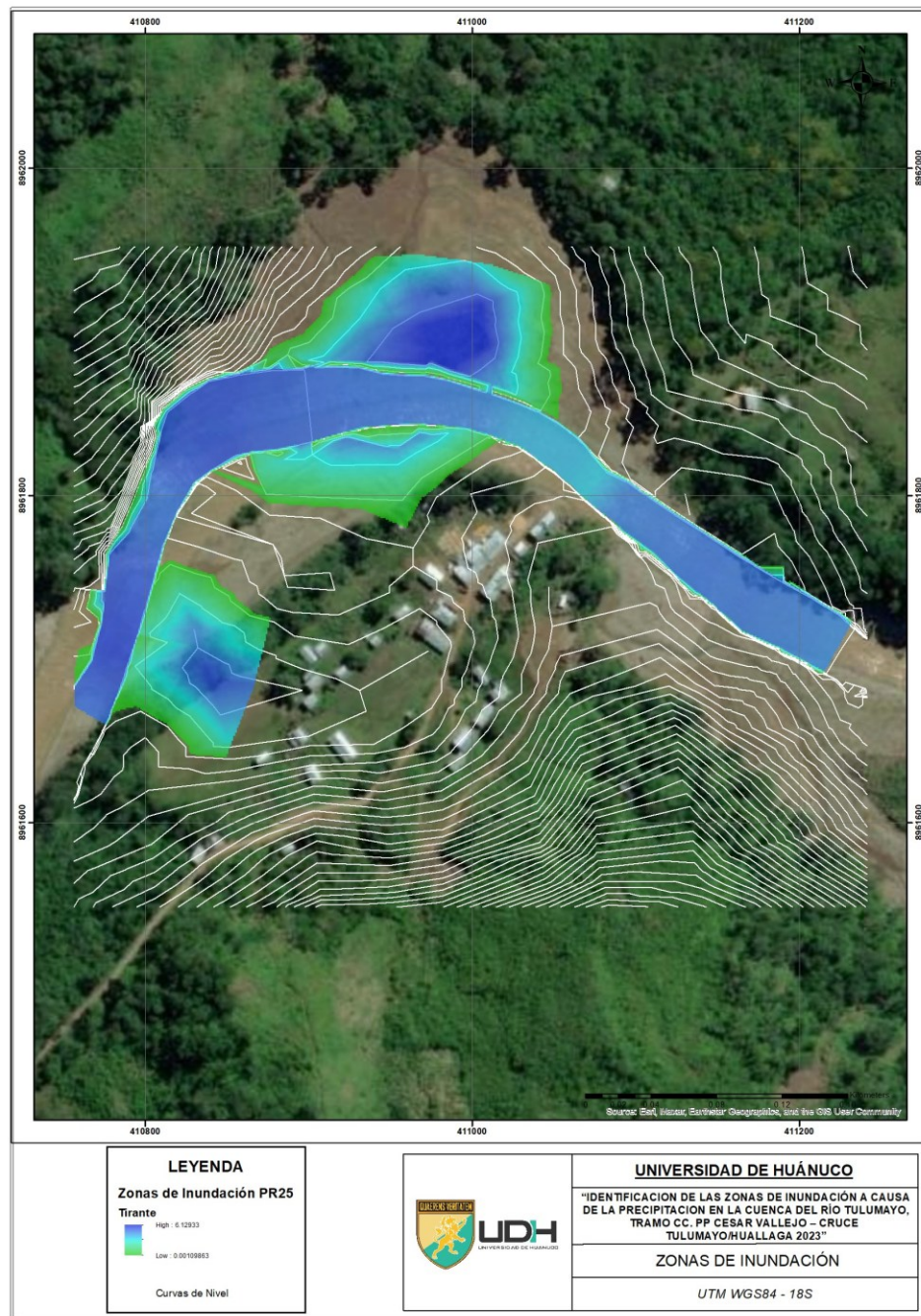
Nota. El área de interés para el modelo de inundación se identificó a partir de un levantamiento topográfico planteado en el centro poblado Cesar Vallejo, dicho modelo es relevante para la determinación de las zonas de inundación que se presentan en la zona.

Figura 31
Área de inundación PR 10 años



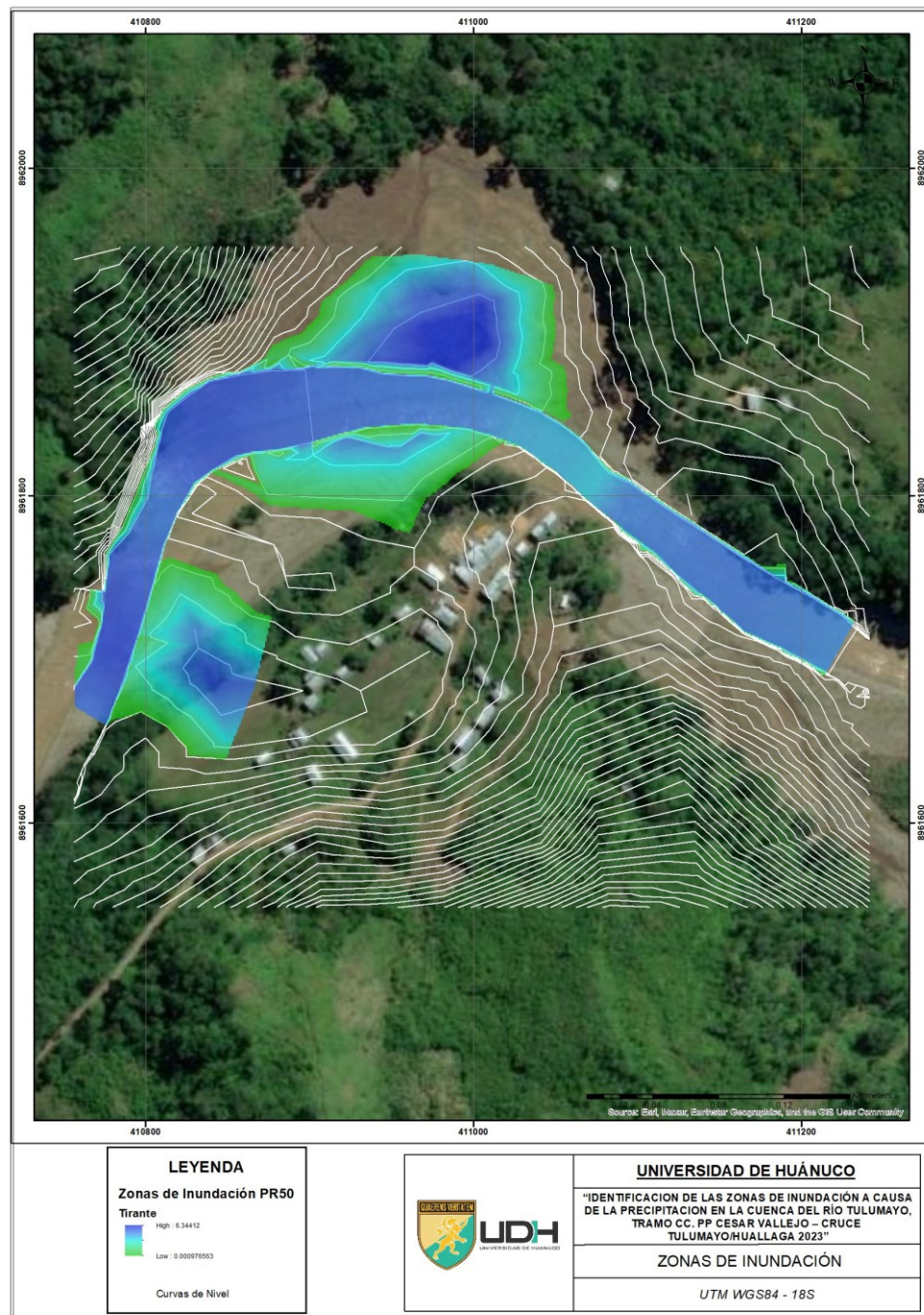
Nota. Para un periodo de retorno de 10 años se pudo identificar un área de inundación de 23856.61 m² con tirantes hasta los 5.85 m fuera del cauce de río Tulumayo.

Figura 32
Área de inundación PR 25 años



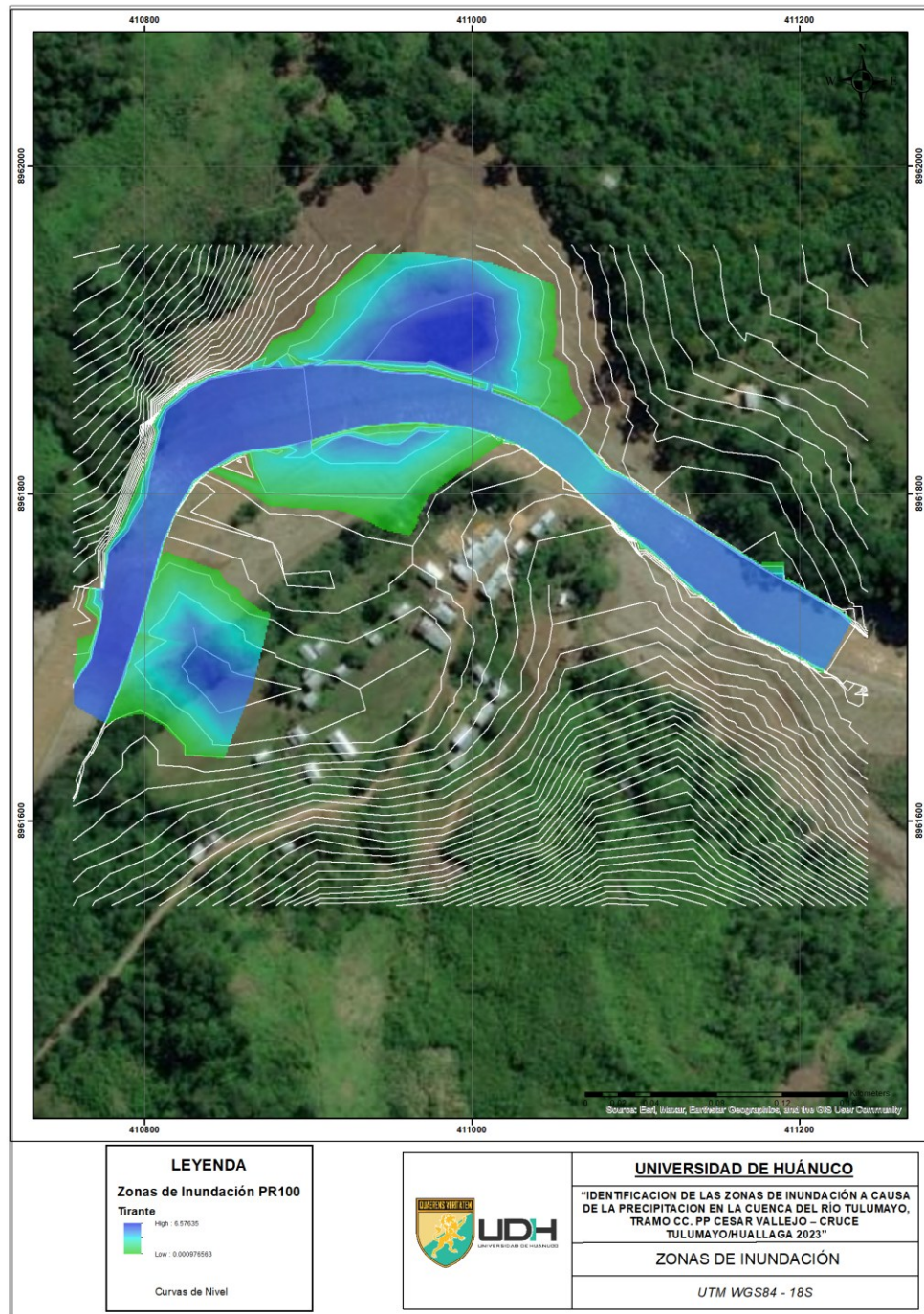
Nota. Para un periodo de retorno de 25 años se pudo identificar un área de inundación de 25278.48 m² con tirantes hasta los 6.13 m fuera del cauce de río Tulumayo.

Figura 33
Área de inundación PR 50 años



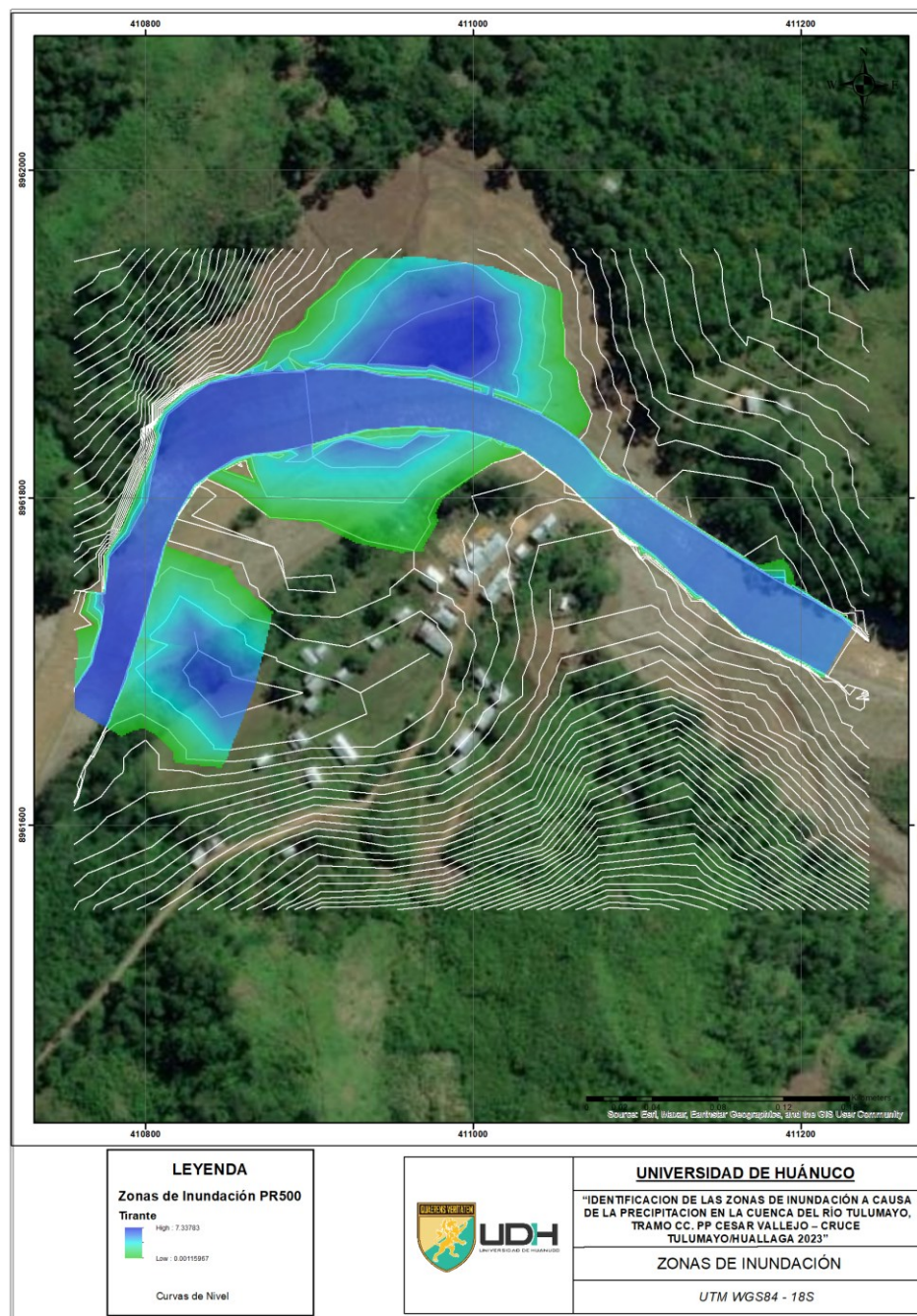
Nota. Para un periodo de retorno de 50 años se pudo identificar un área de inundación de 26378.72 m2 con tirantes hasta los 6.34 m fuera del cauce de río Tulumayo.

Figura 34
Área de inundación PR 100 años



Nota. Para un periodo de retorno de 100 años se pudo identificar un área de inundación de 27525.64 m2 con tirantes hasta los 6.57 m fuera del cauce de río Tulumayo.

Figura 35
Área de inundación PR 500 años



Nota. Para un periodo de retorno de 500 años se pudo identificar un área de inundación de 31110.24 m2 con tirantes hasta los 7.34 m fuera del cauce de río Tulumayo.

Tabla 22
Resumen de áreas de inundación

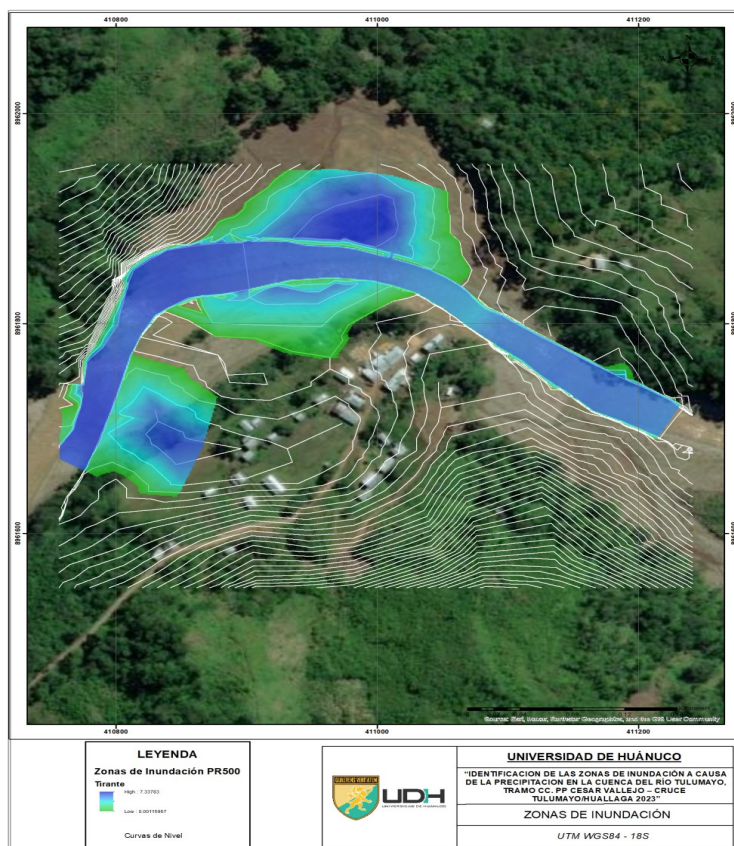
ÁREAS DE INUNDACIÓN	
TIEMPO DE RETORNO	ÁREAS (m2)
10	23856.61
25	25278.48
50	26378.72
100	27525.64
500	31110.24

Nota. Se pudo identificar que a partir del modelo topográfico y los valores de caudal se estimaron los valores de superficies de inundación de 23856.61, 25278.48, 26378.72, 27525.64 y 31110.24 m2 para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

H: Se puede identificar las zonas de inundación causadas por precipitaciones en la cuenca del río Tulumayo, tramo CC. PP. César Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga.

Figura 36
Área de inundación PR 500 años



Los valores de inundación fueron estimados a partir de la identificación de valores de caudal, los valores de caudal a su vez fueron estimados aplicando el modelo del SCS Número de Curva.

Figura 37
Estimación de caudales para PR 10 años

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	445.26	398.9	23ago.2019, 02:40	2.95

El modelo SCS fue determinado con el software HEC-HMS el cual facilitó la automatización de los cálculos con ello se logró determinar:

Tabla 23
Valores de caudal en diferentes periodos de retorno

CAUDAL DE DISEÑO	
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS
10	398.90
25	430.20
50	455.50
100	482.50
500	561.90

Los valores de caudal fueron estimados a partir del modelo de distribución e intensidad aplicado a los valores de precipitación máxima con ello se elaboró un modelo hidráulico en 2D con la finalidad de identificar de manera visual las zonas de inundación, dicha información fue estimada en la aplicación del software HEC-RAS, generando así un modelo cartográfico presentado al inicio de este ítem.

Con lo presentado se puede evidenciar que la hipótesis planteada es verdadera ya que se lograron identificar las zonas de inundación para la cuenca del río Tulumayo en el CC. PP César Vallejo causadas por precipitaciones, esto como se demostró en las figuras y cuadros presentados, se logró a partir de la aplicación de modelos hidrológicos basados en la precipitación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la estimación de Castro (2023), se pudo determinar que los valores de caudal para la cuenca baja del río Bogotá el cual fue de 537 m³/s, los valores de caudal fueron estimados para los periodos de retorno de 2, 33, 30, 20 y 100 años, los valores estimados fueron determinados a partir de la aplicación de la metodología de Gumbel el valor del coeficiente lineal fue de 0.987. En la presente investigación se logró determinar los valores de caudal de 398.90, 430.20, 455.50, 482.50 y 561.90 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente. La determinación de los valores de caudal en la presente investigación fue aplicando la metodología SCS Número de Curva, a diferencia de la investigación en referencia ya que en la investigación de Castro (2023) se determinaron a partir de un registro de caudales estimados en el cauce del río de interés, en la presente investigación los valores de caudal se originaron a partir de los registros de precipitación histórica máxima en 24 hrs.

En la investigación de Neyra (2021) se estimaron que para un periodo de retorno de 20 años el valor de caudal es de 158.13 m³/s el cual corresponde al sector de San Camilo en la localidad de Jaén, posterior a la estimación de los valores de caudal se procedió a aplicar los valores de caudal en el modelo hidráulico aplicado con el software HEC-RAS determinando las zonas así más críticas frente a las inundaciones del cauce. En la presente investigación se determinaron los valores de caudal no solo para un periodo de retorno, sino que se tomaron los valores de 10, 25, 50, 100 y 500 años con dicha información al igual que la investigación referenciada se pudo determinar las zonas de inundación con un modelo determinado en el software HEC-RAS. Los valores de caudal son superiores a los estimados en la investigación de referencia esto debido a la composición de la cuenca tomada en cuenta en la presente investigación ya que presenta una mayor superficie y longitud de los cauces determinado. En la investigación de referencia se tuvo como finalidad determinar los valores para la construcción medidas de encausamiento de las aguas de precipitación generadas en la zona, en la

presente investigación solo se tomaron en cuenta los valores de caudal para la identificación de las zonas más vulnerables en el centro poblado de Cesar Vallejo en el cauce del río Tulumayo.

CONCLUSIONES

Se pudo identificar que a partir del modelo topográfico y los valores de caudal se estimaron los valores de superficies de inundación de 23856.61, 25278.48, 26378.72, 27525.64 y 31110.24 m² para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

La cuenca que compone el río Tulumayo se pudo determinar a partir del modelo GIS los siguientes parámetros: el área de la cuenca se estima en 445.26 km², el cual forma un rectángulo equivalente con lados de 60.13 km y un lado menor de 7.40, estimando un área de rectángulo equivalente de 676.45, el perímetro de la cuenca se estimó en 135.08 km, la longitud de la cuenca en dirección al cauce principal se estimó en 19.71 km, un ancho promedio de la cuenca fue de 34.02 y con dichos valores se estimó que el diámetro de la cuenca fue de 23.81 km.

Los valores de caudal son de 398.90, 430.20, 455.50, 482.50 y 561.90 m³/s para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

Los valores estimados de tirante a partir de la caracterización cartográfica de las inundaciones fueron de 5.85, 6.13, 6.34, 6.57 y 7.34 m para los periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis del modelo topográfico y los datos de caudal, se ha logrado estimar con precisión las áreas de superficie inundada para diferentes periodos de retorno. Estos datos son fundamentales para la planificación y la gestión de riesgos en áreas propensas a inundaciones. Se sugiere que estos resultados sean considerados en la formulación de políticas públicas y estrategias de mitigación de desastres, así como en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano y la protección de infraestructuras críticas.

Se sugiere que estos hallazgos sean utilizados en la formulación de planes de manejo de cuencas, así como en la evaluación de riesgos relacionados con inundaciones, erosión y otros eventos hidrológicos extremos. Además, se recomienda que estos datos sean compartidos con las autoridades pertinentes y otros actores involucrados en la planificación del desarrollo sostenible y la conservación del medio ambiente en la cuenca del río Tulumayo.

Los valores de caudal identificados para diversos periodos de retorno son cruciales para la gestión de recursos hídricos y la planificación de infraestructuras hidráulicas. Se recomienda que estos datos sean utilizados en la evaluación de riesgos relacionados con inundaciones, el diseño de estructuras de control de inundaciones, y la planificación de medidas de adaptación al cambio climático.

Los valores estimados de tirante proporcionan información crucial para la evaluación del riesgo de inundaciones y la planificación de medidas de mitigación. Se recomienda que estos datos sean utilizados en la elaboración de mapas de riesgo de inundación, así como en la planificación de infraestructuras de protección y en la gestión del uso del suelo en áreas vulnerables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1994). *Fundanetos de la hidrología de superficie*. Cuernavaca: Grupo Noriega Editores.
- Araya, A. (2017). *Análisis de la variación del coeficiente de rugosidad de Manning con respecto a la pendiente del canal en tubería de PVC de 315 mm de diámetro*. IUV.
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Lima: GITS.
- Cabrera, J. (2012). *Modelos Hidrológicos*. Instituto para la mitigación de los Efectos del Fenómeno del Niño. Obtenido de https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
- Castro, M. (2023). *Modelamiento de huella de inundación en la cuenca baja del río Bogotá en el Municipio de Girardot-Cundinamarca*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Caycho, L. (2020). *Modelación geoespacial con sig en la identificación de las zonas vulnerables y cuantificación de la erosión hídrica, cuenca del río Huarmey*. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología*. PUCP.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Gámez, W. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua: Editronic, S.A.
- Gonzáles, M. (20 de Marzo de 2007). *Escorrentías*. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología.
- Hernandez, R. (2014). *Metodología De La Investigación*. México: McMac Hill.

- Lucas, G. (2018). *Análisis del riesgo por inundación en la localidad de Roblecito, cantón Urdaneta: propuesta de medidas de mitigación*. Universidad de Guayaquil. Obtenido de Repositorio .
- Mendoza, M. (2017). *Evaluación del Riesgo por Inundación en la Quebrada Romero, del Distrito de Cajamarca, Periodo 2011-2016*. Cajamarca, Cajamarca - Perú: UTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: MTC.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Santa Fe de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Neyra, L. (2021). *Modelamiento hidráulico del río Amojú para la reducción de vulnerabilidad en el sector San Camilo, Jaén – Cajamarca*. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de: Repositorio Digital Institucional.
- Organización Meteorológica Mundial. (2021). *Intercambio de datos hidrológicos*. OMM. Obtenido de OMM.
- Peña, M. (2017). *Modelamiento Geoespacial Para Evaluar La Vulnerabilidad Ambiental, Ante La Ocurrencia De Inundaciones ,En La Cuenca Baja Del Río Chillón*. Lima: UTP.
- Pomasongo, D. (2021). *Uso de softwares para el análisis de caudales pluviales aplicados a procesos hidrológicos: una revisión de la literatura científica de los últimos 10 años*. Universidad Privada del Norte. Obtenido de: Repositorio institucional.
- Ramirez, M. (2003). *Hidrología Aplicada*.
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Lima: UNI.
- Rocha, F. (2007). *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: UNI.
- Taipe, C. (2022). *Estudio hidrológico e Hidráulico para el análisis de inundaciones en el Caserío Macuaco - Distrito de Oyotun - Provincia de*

Chiclayo - Departamento de Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de: Repositorio Institucional.

Vásconez, M. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana.

Villon, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Palomino Campos M. (2025). *Identificación de las zonas de inundación a causa de la precipitación en la cuenca del río Tulumayo, Tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Técnica
¿Cómo realizar la identificación de las zonas de inundación a causa de la precipitación en la cuenca río Tulumayo tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga?	Realizar la identificación de las zonas de inundación a causa de la precipitación en la cuenca río Tulumayo tramo CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga	Se puede identificar las zonas de inundación causadas por precipitaciones en la cuenca del río Tulumayo, tramo CC. PP. César Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga.	Recopilación de datos a través de Estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	VARIABLES	Instrumentos
¿Cómo determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Tulumayo para su posterior caracterización?	-Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Tulumayo para su posterior caracterización.	Variable Independiente	Obtención de datos de elevación digital (DEM) que serán proporcionados por el satélite de la NASA
¿Cómo obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años mediante un análisis hidrológico en la cuenca del río Tulumayo usando el software HEC-HMS?	-Obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años mediante un análisis hidrológico en la cuenca del río Tulumayo usando el software HEC-HMS.	Precipitaciones.	
	-Realizar el modelamiento hidráulico del río Tulumayo usando el software HEC-RAS para tiempos de retorno 100 y 500 años.	Variable Dependiente	•Hojas o ficha en excel de los datos de precipitación máxima en 24 horas.
¿De qué manera se realiza el modelamiento hidráulico del río Tulumayo usando el software	-Elaborar el mapa de inundación del distrito de Mariano Damaso Beraún CC. PP Cesar	Zonas de inundación	•Hojas o ficha en excel para el registro de datos de campo.

HEC-RAS para tiempos de retorno 100 y 500 años?	Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS	•Hojas o ficha en excel para la validación de instrumentos.
¿Cómo elaborar el mapa de inundación del distrito de Mariano Damaso Beraún, CC. PP Cesar Vallejo – Cruce Tulumayo/Huallaga, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS?		

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
Tipo de Investigación: Cuantitativa Alcance de Investigación: Descriptivo. Diseño: No experimental.	Población: Este trabajo de investigación tomó como población al río del tramo CC. PP. César Vallejo y cruce Tulumayo/Huallaga; del distrito de Mariano Damaso Beraún, provincia Leoncio Prado y departamento de Huánuco. Muestra: Este trabajo de investigación se tomó como muestra a la cuenca del río Tulumayo/Huallaga

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0101-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 05 de febrero de 2024

Visto, el Oficio N° 062-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE INUNDACION A CAUSA DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL RÍO TULUMAYO, TRAMO CC. PP CESAR VALLEJO – CRUCE TULUMAYO/HUALLAGA 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Maria Gianella PALOMINO CAMPOS**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1133-2023-D-FI-UDH, de fecha 19 de mayo de 2023, perteneciente al Bach. **Maria Gianella PALOMINO CAMPOS** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Luis Geronimo Lira Camargo, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 062-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE INUNDACION A CAUSA DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL RÍO TULUMAYO, TRAMO CC. PP CESAR VALLEJO – CRUCE TULUMAYO/HUALLAGA 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Maria Gianella PALOMINO CAMPOS**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas (Presidente), Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarria (Secretario) y Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE INUNDACION A CAUSA DE LA PRECIPITACION EN LA CUENCA DEL RÍO TULUMAYO, TRAMO CC. PP CESAR VALLEJO – CRUCE TULUMAYO/HUALLAGA 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Maria Gianella PALOMINO CAMPOS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Eitel Jhovani Monzono Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA(E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIC – Asesor – Exp. Graduando – Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

ANEXO 3

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1133-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 18 de mayo de 2023

Visto, el Oficio N° 792-2023-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 411984-0000004265, de la Bach. Maria Gianella PALOMINO CAMPOS, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 411984-0000004265, presentado por el (la) Bach. Maria Gianella PALOMINO CAMPOS, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Luis Geronimo Lira Camargo, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DESIGNAR, como Asesor de Tesis de la Bach. Maria Gianella PALOMINO CAMPOS, al Mg. Luis Geronimo Lira Camargo, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mat. y Reg. Acad. - Intermedio - Archivo.
BLCR/EJML/eto.

ANEXO 4

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Instrumento 1

Ficha de recolección de datos geomorfológicos

Morfometría de la cuenca			
	Parámetro	Símbolo	Unidad
P. Geométrico	<i>Superficie</i>	A	km ²
	<i>Superficie de Rectángulo Equivalente</i>	Ar	km ²
	<i>Lado mayor del rectángulo</i>	Lmay	km
	<i>Lado menor del rectángulo</i>	Lmen	km
	<i>Longitud de divisoria</i>	P	km
	<i>Longitud</i>	L	km
	<i>Ancho Promedio</i>	a	km
	<i>Ancho Máximo</i>	amáx	km
	<i>Diámetro</i>	D	km
	<i>Long. Per. de círculo de la cuenca</i>	Pc	km
	<i>Altitud Mínima</i>	h	msnm
Forma de relieve de la cuenca	<i>Altitud Máxima</i>	H	msnm
	<i>Altitud Media</i>	Hm	msnm
	<i>Relieve Máximo</i>	Rm	msnm
	<i>Radio del Relieve</i>	R	msnm/km
	<i>Relieve Relativo</i>	Rr	-
	<i>Pendiente Media</i>	Pm	%
	<i>Altitud de la naciente</i>	Hnac	msnm
	<i>Altitud del desagüe</i>	Hdes	msnm
	<i>Rel. Máx. del Cauce Principal</i>	Rmcp	msnm
	<i>I. Hipsométrica</i>	IH	-
	<i>C. Masividad</i>	Cm	m/km ²
Forma de la cuenca	<i>C. Orográfico</i>	Co	-
	<i>Elongación</i>	E	-
	<i>Coef. Compacidad</i>	Kc	-
	<i>Ind. Alargamiento</i>	la	-

Extensión de la red de drenaje	<i>Ind. Homogeneidad</i>	lh	-
	<i>Fact. Forma</i>	Ff	-
	<i>Alargamiento de Caquot</i>	Ac	-
	<i>Radio de elongación</i>	Re	-
	<i>Radio de circularidad</i>	RC	-
	<i>Índice de Forma</i>	IF	-
	<i>Índice entre largo y área de cuenca</i>	Ico	-
	<i>Coef. Forma</i>	Cf	-
	<i>Número de Curva</i>	NC	-
	<i>Coef. Redondez</i>	Cr	-
	<i>Long. Cauce Principal</i>	Lcp	km
	<i>Orden mayor de cauce principal</i>	-	-
	<i>Long. Recta entre inic y fin de cauce principal</i>	Lvm	km
	<i>Índice de sinuosidad</i>	St	-
	<i>Long. Total, de Corrientes</i>	Ltc	km
	<i>Densidad de drenaje</i>	Dd	km/km2
	<i>Coef. Mant de canal</i>	Cmc	km2/km
	<i>Pend. Red hídrica</i>	Pnd	%
	<i>Exten. Med . Escorrentía Superficial</i>	Em	km

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 2

Ficha de recolección de información de precipitaciones

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																	
Estación Tingo María		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	Promed	Mínim	Máxim
		n	e	a	b	a	u	u	g	e	c	o	i	Anua	io	o	o
		e	b	r	r	y	n	l	o	t	t	v	c	l	Anual	Anual	Anual
	1993																
	1994																
	1995																
	1996																
	1997																
	1998																
	1999																
	2000																
	2001																
	2002																
	2003																
	2004																
	2005																
	2006																
2007																	
2008																	
2009																	
2010																	
2011																	
2012																	
2013																	
2014																	
Total																	
Mensual																	
Promedi																	
o																	
Mensual																	
Mínimo																	
Mensual																	
Máximo																	
Mensual																	

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 3

Ficha de estimación de precipitaciones críticas

VALORES DE PRECIPITACIÓN	
ESTACIÓN:	CENTROIDE DE CUENCA
ESTE	
NORTE	
COTA	
1993	
1994	
1995	
1996	
1997	
1998	
1999	
2000	
2001	
2002	
2003	
2004	
2005	
2006	
2007	
2008	
2009	
2010	
2011	
2012	
2013	
2014	
CANTIDAD DE DATOS	
SUMATORIA	
VALOR MÍNIMO	
VALOR MÁXIMO	
MEDIA	
VARIANZA	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	
COEFICIENTE DE SESGO	

Nota. Ficha Adaptada de Cuenas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 4

Ficha de prueba de bondad

KOLMOGOROV-SMIRNOV	
DISTRIB.	Δ
NORMAL	
LOG NORMAL 2P	
GAMMA 2P	
GUMBEL	
LOG-GUMBEL	
CONCLUSIÓN	

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 5

Ficha de estimación de intensidades

INTENSIDADES												
DURACIÓN												
T	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN
T-2												
T-5												
T-10												
T-25												
T-50												
T-100												
T-105												
T-500												
T-1000												
T-10000												

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 6

Ficha de estimación de caudales

CAUDAL DE DISEÑO	
TIEMPO DE RETORNO	HEC-HMS
10	
25	
50	
100	
500	

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Instrumento 7

Ficha de estimación de áreas de inundación

ÁREAS DE INUNDACIÓN	
TIEMPO DE RETORNO	ÁREAS (m2)
10	
25	
50	
100	
500	

Nota. Ficha Adaptada de Cuencas Hidrográficas (Váscones, 2019).

Figura 38
Mapa de ubicación

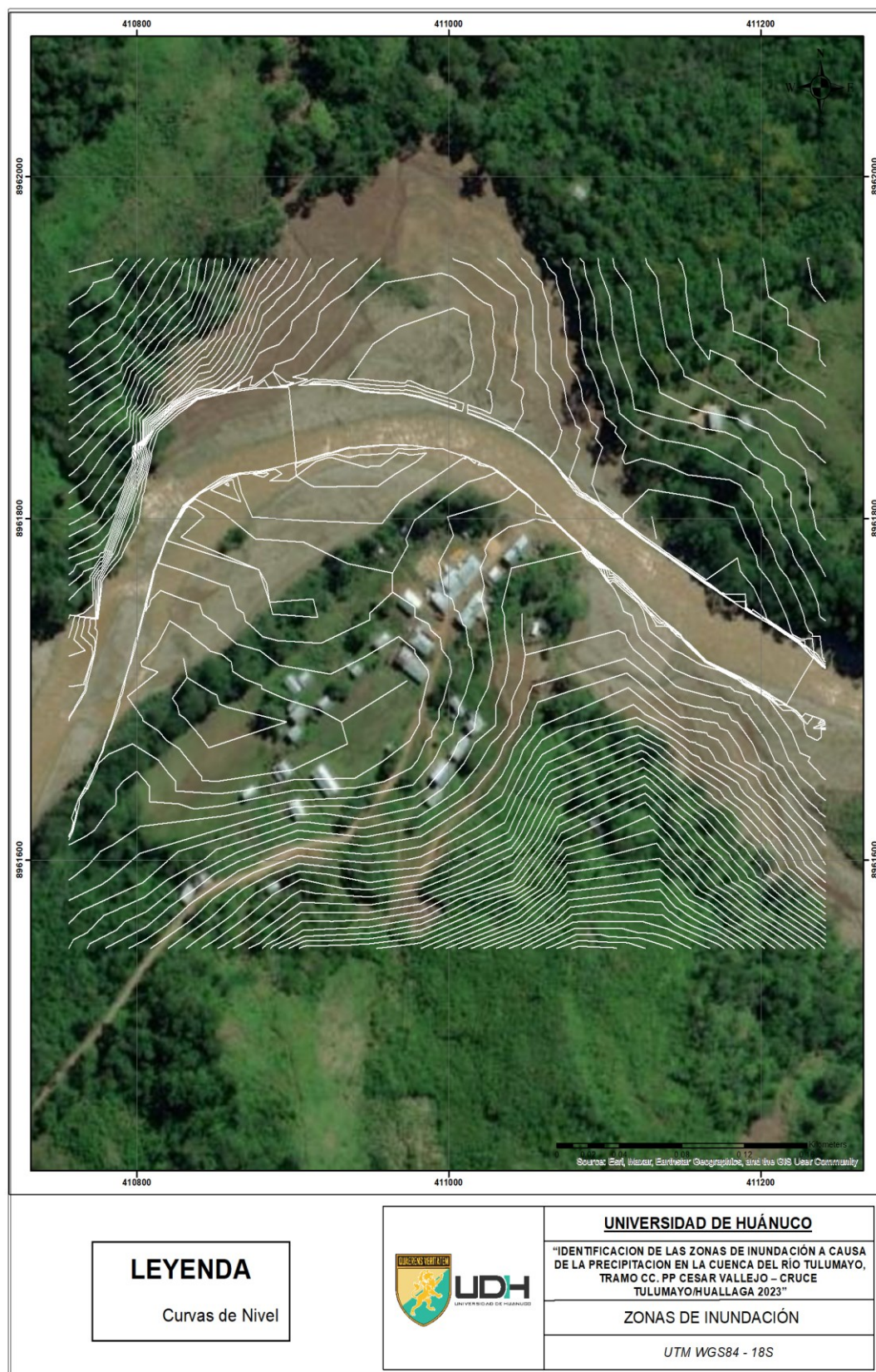


Tabla 24
Registro pluviométrico Est-Tingo María

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual
1993	104.0 0	25.00	27.50	62.00	43.40	36.30	48.3 0	40.5 0	55.90	90.50	80.70	97.40	711.50	59.29	25.00	104.00
1994	133.0 0	84.80	46.50	94.30	71.30	34.30	67.4 0	21.9 0	58.10	82.30	45.70	149.2 0	888.80	74.07	21.90	149.20
1995	82.30	98.40	83.70	36.20	36.30	45.30	44.2 0	16.9 0	44.50	75.30	51.30	70.70	685.10	57.09	16.90	98.40
1996	68.70	75.30	32.20	76.00	63.90	50.00	21.0 0	30.0 0	54.50	53.00	78.00	44.60	647.20	53.93	21.00	78.00
1997	55.00	39.70	60.40	51.00	50.00	33.70	51.3 0	23.7 0	76.20	33.60	68.00	99.80	642.40	53.53	23.70	99.80
1998	52.50	87.00	74.50	63.30	156.0 0	83.00	16.4 0	27.5 0	36.90	97.10	72.20	54.80	821.20	68.43	16.40	156.00
1999	57.10	78.30	82.60	66.30	116.5 0	52.20	48.0 0	22.3 0	22.70	26.10	71.80	94.00	737.90	61.49	22.30	116.50
2000	88.50	64.50	54.60	24.10	20.90	60.90	85.6 0	20.5 0	32.80	53.40	51.70	65.40	622.90	51.91	20.50	88.50

2001	95.90	45.80	71.80	38.70	67.70	28.30	43.3 0	7.40	88.30	35.50	79.00	43.90	645.60	53.80	7.40	95.90
2002	72.20	78.80	123.1 0	72.70	64.70	46.90	40.7 0	28.9 0	61.30	46.00	65.20	60.40	760.90	63.41	28.90	123.10
2003	33.80	106.0 0	51.70	54.60	149.7 0	94.60	23.5 0	57.1 0	58.40	111.2 0	86.00	103.3 0	929.90	77.49	23.50	149.70
2004	64.10	67.80	80.00	50.00	38.10	13.80	79.6 0	27.5 0	33.40	48.50	68.20	46.10	617.10	51.43	13.80	80.00
2005	48.80	92.60	94.70	23.30	37.50	43.70	37.5 0	25.7 0	54.30	58.70	66.80	97.50	681.10	56.76	23.30	97.50
2006	54.80	108.0 0	53.00	80.50	41.90	20.50	42.0 0	30.6 0	68.10	68.90	96.00	64.50	728.80	60.73	20.50	108.00
2007	70.50	35.00	69.80	51.50	35.80	4.90	35.5 0	29.1 0	27.80	48.30	61.80	60.90	530.90	44.24	4.90	70.50
2008	69.50	88.60	65.50	31.70	34.90	26.50	35.0 0	14.5 0	24.60	95.80	28.80	32.90	548.30	45.69	14.50	95.80
2009	78.20	53.00	48.50	55.50	65.60	27.40	35.5 0	34.8 0	- 99.90	34.40	41.80	56.70	431.50	35.96	-99.90	78.20
2010	46.00	64.40	69.90	30.30	23.70	26.90	55.7 0	22.0 0	45.30	51.40	68.40	66.30	570.30	47.53	22.00	69.90
2011	105.0 0	66.30	85.30	64.00	44.00	37.60	21.7 0	26.0 0	79.60	47.20	60.50	38.80	676.00	56.33	21.70	105.00

2012	58.90	51.50	103.7 0	52.20	43.00	33.70	9.60	15.8 0	28.80	55.10	48.50	61.60	562.40	46.87	9.60	103.70
2013	98.00	104.5 0	65.30	115.0 0	32.40	59.70	18.8 0	37.8 0	121.0 0	69.20	44.20	53.00	818.90	68.24	18.80	121.00
2014	44.70	42.40	73.20	43.80	- 99.90	-99.90	- 99.9 0	- 99.9 0	56.50	148.0 0	65.50	75.90	150.40	12.53	-99.90	148.00
Total Mensual	1581. 50	1557. 70	1517. 50	1237. 00	1137. 40	760.3 0	760. 70	460. 60	1029. 10	1429. 50	1400. 10	1537. 70				
Promedio Mensual	71.89	70.80	68.98	56.23	51.70	34.56	34.5 8	20.9 4	46.78	64.98	63.64	69.90				
Mínimo Mensual	33.80	25.00	27.50	23.30	- 99.90	-99.90	- 99.9 0	- 99.9 0	- 99.90	26.10	28.80	32.90				
Máximo Mensual	133.0 0	108.0 0	123.1 0	115.0 0	156.0 0	94.60	85.6 0	57.1 0	121.0 0	148.0 0	96.00	149.2 0				

Tabla 25*Registro pluviométrico completo Est- Tingo María*

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual
1993	104.0 0	25.00	27.50	62.00	43.40	36.3 0	48.3 0	40.5 0	55.90	90.50	80.70	97.40	711.50	59.29	25.00	104.00
1994	133.0 0	84.80	46.50	94.30	71.30	34.3 0	67.4 0	21.9 0	58.10	82.30	45.70	149.2 0	888.80	74.07	21.90	149.20
1995	82.30	98.40	83.70	36.20	36.30	45.3 0	44.2 0	16.9 0	44.50	75.30	51.30	70.70	685.10	57.09	16.90	98.40
1996	68.70	75.30	32.20	76.00	63.90	50.0 0	21.0 0	30.0 0	54.50	53.00	78.00	44.60	647.20	53.93	21.00	78.00
1997	55.00	39.70	60.40	51.00	50.00	33.7 0	51.3 0	23.7 0	76.20	33.60	68.00	99.80	642.40	53.53	23.70	99.80
1998	52.50	87.00	74.50	63.30	156.0 0	83.0 0	16.4 0	27.5 0	36.90	97.10	72.20	54.80	821.20	68.43	16.40	156.00
1999	57.10	78.30	82.60	66.30	116.5 0	52.2 0	48.0 0	22.3 0	22.70	26.10	71.80	94.00	737.90	61.49	22.30	116.50
2000	88.50	64.50	54.60	24.10	20.90	60.9 0	85.6 0	20.5 0	32.80	53.40	51.70	65.40	622.90	51.91	20.50	88.50

2001	95.90	45.80	71.80	38.70	67.70	28.3 0	43.3 0	7.40	88.30	35.50	79.00	43.90	645.60	53.80	7.40	95.90
2002	72.20	78.80	123.1 0	72.70	64.70	46.9 0	40.7 0	28.9 0	61.30	46.00	65.20	60.40	760.90	63.41	28.90	123.10
2003	33.80	106.0 0	51.70	54.60	149.7 0	94.6 0	23.5 0	57.1 0	58.40	111.2 0	86.00	103.3 0	929.90	77.49	23.50	149.70
2004	64.10	67.80	80.00	50.00	38.10	13.8 0	79.6 0	27.5 0	33.40	48.50	68.20	46.10	617.10	51.43	13.80	80.00
2005	48.80	92.60	94.70	23.30	37.50	43.7 0	37.5 0	25.7 0	54.30	58.70	66.80	97.50	681.10	56.76	23.30	97.50
2006	54.80	108.0 0	53.00	80.50	41.90	20.5 0	42.0 0	30.6 0	68.10	68.90	96.00	64.50	728.80	60.73	20.50	108.00
2007	70.50	35.00	69.80	51.50	35.80	4.90	35.5 0	29.1 0	27.80	48.30	61.80	60.90	530.90	44.24	4.90	70.50
2008	69.50	88.60	65.50	31.70	34.90	26.5 0	35.0 0	14.5 0	24.60	95.80	28.80	32.90	548.30	45.69	14.50	95.80
2009	78.20	53.00	48.50	55.50	65.60	27.4 0	35.5 0	34.8 0	40.59	34.40	41.80	56.70	571.99	47.67	27.40	78.20
2010	46.00	64.40	69.90	30.30	23.70	26.9 0	55.7 0	22.0 0	45.30	51.40	68.40	66.30	570.30	47.53	22.00	69.90
2011	105.0 0	66.30	85.30	64.00	44.00	37.6 0	21.7 0	26.0 0	79.60	47.20	60.50	38.80	676.00	56.33	21.70	105.00

2012	58.90	51.50	103.7 0	52.20	43.00	33.7 0	9.60	15.8 0	28.80	55.10	48.50	61.60	562.40	46.87	9.60	103.70
2013	98.00	104.5 0	65.30	115.0 0	32.40	59.7 0	18.8 0	37.8 0	121.0 0	69.20	44.20	53.00	818.90	68.24	18.80	121.00
2014	44.70	42.40	73.20	43.80	58.92	33.3 6	40.9 8	26.6 9	56.50	148.0 0	65.50	75.90	709.95	59.16	26.69	148.00
Total Mensual	1581. 50	1557. 70	1517. 50	1237. 00	1296. 22	893. 56	901. 58	587. 19	1169. 59	1429. 50	1400. 10	1537. 70				
Promedio Mensual	71.89	70.80	68.98	56.23	58.92	40.6 2	40.9 8	26.6 9	53.16	64.98	63.64	69.90				
Mínimo Mensual	33.80	25.00	27.50	23.30	20.90	4.90	9.60	7.40	22.70	26.10	28.80	32.90				
Máximo Mensual	133.0 0	108.0 0	123.1 0	115.0 0	156.0 0	94.6 0	85.6 0	57.1 0	121.0 0	148.0 0	96.00	149.2 0				

Tabla 26
Registro pluviométrico Est-Maronal

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual
1993	0.00	0.00	61.00	49.90	22.6 0	21.4 0	53.3 0	40.2 0	51.90	59.20	69.30	52.40	481.20	40.10	0.00	69.30
1994	50.20	28.90	33.40	25.70	26.3 0	43.0 0	2.90	19.6 0	86.80	24.50	52.20	67.80	461.30	38.44	2.90	86.80
1995	9.60	78.90	39.10	71.80	17.5 0	27.9 0	29.6 0	10.1 0	45.20	61.50	93.40	32.90	517.50	43.13	9.60	93.40
1996	118.8 0	82.10	56.10	79.90	41.5 0	43.9 0	28.0 0	18.7 0	28.40	66.70	74.50	96.40	735.00	61.25	18.70	118.80
1997	63.10	74.30	64.80	46.90	61.8 0	16.7 0	- 99.9 0	26.7 0	49.20	69.60	118.9 0	23.40	515.50	42.96	-99.90	118.90
1998	66.20	72.80	86.50	52.00	106. 20	16.2 0	0.00	38.3 0	66.50	76.40	95.70	119.2 0	796.00	66.33	0.00	119.20
1999	43.20	105.4 0	53.00	30.00	58.8 0	115. 70	17.6 0	20.0 0	98.50	41.80	76.20	45.20	705.40	58.78	17.60	115.70
2000	67.00	94.70	49.90	36.40	74.6 0	42.3 0	39.5 0	56.4 0	25.70	29.90	93.40	58.10	667.90	55.66	25.70	94.70

2001	66.00	87.40	30.00	50.90	25.2 0	19.8 0	9.10	6.90	- 99.90	87.60	169.0 0	75.60	527.60	43.97	-99.90	169.00
2002	25.80	114.6 0	74.20	57.40	42.8 0	22.7 0	41.6 0	39.1 0	97.50	35.00	33.60	34.00	618.30	51.53	22.70	114.60
2003	54.30	57.00	69.00	83.10	94.6 0	24.4 0	14.9 0	12.5 0	98.90	41.70	37.90	97.90	686.20	57.18	12.50	98.90
2004	57.10	52.50	74.90	82.40	50.7 0	17.3 0	96.7 0	23.6 0	47.10	28.70	48.20	67.80	647.00	53.92	17.30	96.70
2005	42.30	38.40	39.80	- 99.90	17.2 0	16.8 0	22.1 0	38.4 0	32.40	107.7 0	50.70	104.6 0	410.50	34.21	-99.90	107.70
2006	63.40	76.90	49.30	60.20	45.0 0	17.7 0	54.9 0	52.2 0	46.80	44.60	90.10	67.20	668.30	55.69	17.70	90.10
2007	76.90	94.20	58.60	76.70	35.1 0	7.20	26.3 0	78.2 0	24.00	147.8 0	38.80	40.00	703.80	58.65	7.20	147.80
2008	147.2 0	31.40	73.00	89.00	25.7 0	45.2 0	16.3 0	7.40	67.40	29.30	58.20	38.80	628.90	52.41	7.40	147.20
2009	66.50	63.60	22.40	96.40	96.6 0	50.3 0	50.0 0	16.0 0	10.80	31.00	44.50	31.50	579.60	48.30	10.80	96.60
2010	48.30	65.80	48.80	65.40	74.1 0	27.3 0	37.3 0	3.40	36.20	20.40	94.80	44.40	566.20	47.18	3.40	94.80
2011	52.30	130.6 0	149.0 0	48.40	33.4 0	25.2 0	5.60	27.8 0	87.40	25.30	28.60	39.80	653.40	54.45	5.60	149.00

2012	103.8 0	50.20	71.40	82.20	24.6 0	13.6 0	24.6 0	15.8 0	55.70	91.40	25.60	103.2 0	662.10	55.18	13.60	103.80
2013	53.10	60.00	27.80	37.40	38.4 0	70.0 0	15.6 0	53.7 0	49.60	24.20	150.4 0	12.60	592.80	49.40	12.60	150.40
2014	76.60	79.80	100.2 0	92.00	- 99.9 0	54.1 0	- 99.9 0	- 99.9 0	0.00	0.00	0.00	0.00	103.00	8.58	-99.90	100.20
Total Mensual	1351. 70	1539. 50	1332. 20	1214. 20	912. 80	738. 70	386. 10	505. 10	1006. 10	1144. 30	1544. 00	1252. 80				
Promedio Mensual	61.44	69.98	60.55	55.19	41.4 9	33.5 8	17.5 5	22.9 6	45.73	52.01	70.18	56.95				
Mínimo Mensual	0.00	0.00	22.40	- 99.90	- 99.9 0	7.20	99.9 0	99.9 0	- 99.90	0.00	0.00	0.00				
Máximo Mensual	147.2 0	130.6 0	149.0 0	96.40	106. 20	115. 70	96.7 0	78.2 0	98.90	147.8 0	169.0 0	119.2 0				

Tabla 27
Registro pluviométrico completo Est- Maronal

Datos Pluviométricos - Registro Histórico																	
Estación Maronal		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual	Promedio Anual	Mínimo Anual	Máximo Anual
	1993	0.00	0.00	61.00	49.90	22.60	21.4 0	53.3 0	40.2 0	51.90	59.20	69.30	52.40	481.20	40.10	0.00	69.30
	1994	50.20	28.90	33.40	25.70	26.30	43.0 0	2.90	19.6 0	86.80	24.50	52.20	67.80	461.30	38.44	2.90	86.80
	1995	9.60	78.90	39.10	71.80	17.50	27.9 0	29.6 0	10.1 0	45.20	61.50	93.40	32.90	517.50	43.13	9.60	93.40
	1996	118.8 0	82.10	56.10	79.90	41.50	43.9 0	28.0 0	18.7 0	28.40	66.70	74.50	96.40	735.00	61.25	18.70	118.80
	1997	63.10	74.30	64.80	46.90	61.80	16.7 0	35.2 2	26.7 0	49.20	69.60	118.9 0	23.40	650.62	54.22	16.70	118.90
	1998	66.20	72.80	86.50	52.00	106.2 0	16.2 0	0.00	38.3 0	66.50	76.40	95.70	119.2 0	796.00	66.33	0.00	119.20
	1999	43.20	105.4 0	53.00	30.00	58.80	115. 70	17.6 0	20.0 0	98.50	41.80	76.20	45.20	705.40	58.78	17.60	115.70
	2000	67.00	94.70	49.90	36.40	74.60	42.3 0	39.5 0	56.4 0	25.70	29.90	93.40	58.10	667.90	55.66	25.70	94.70

2001	66.00	87.40	30.00	50.90	25.20	19.8 0	9.10	6.90	18.63	87.60	169.0 0	75.60	646.13	53.84	6.90	169.00
2002	25.80	114.6 0	74.20	57.40	42.80	22.7 0	41.6 0	39.1 0	97.50	35.00	33.60	34.00	618.30	51.53	22.70	114.60
2003	54.30	57.00	69.00	83.10	94.60	24.4 0	14.9 0	12.5 0	98.90	41.70	37.90	97.90	686.20	57.18	12.50	98.90
2004	57.10	52.50	74.90	82.40	50.70	17.3 0	96.7 0	23.6 0	47.10	28.70	48.20	67.80	647.00	53.92	17.30	96.70
2005	42.30	38.40	39.80	13.43	17.20	16.8 0	22.1 0	38.4 0	32.40	107.7 0	50.70	104.6 0	523.83	43.65	13.43	107.70
2006	63.40	76.90	49.30	60.20	45.00	17.7 0	54.9 0	52.2 0	46.80	44.60	90.10	67.20	668.30	55.69	17.70	90.10
2007	76.90	94.20	58.60	76.70	35.10	7.20	26.3 0	78.2 0	24.00	147.8 0	38.80	40.00	703.80	58.65	7.20	147.80
2008	147.2 0	31.40	73.00	89.00	25.70	45.2 0	16.3 0	7.40	67.40	29.30	58.20	38.80	628.90	52.41	7.40	147.20
2009	66.50	63.60	22.40	96.40	96.60	50.3 0	50.0 0	16.0 0	10.80	31.00	44.50	31.50	579.60	48.30	10.80	96.60
2010	48.30	65.80	48.80	65.40	74.10	27.3 0	37.3 0	3.40	36.20	20.40	94.80	44.40	566.20	47.18	3.40	94.80
2011	52.30	130.6 0	149.0 0	48.40	33.40	25.2 0	5.60	27.8 0	87.40	25.30	28.60	39.80	653.40	54.45	5.60	149.00

2012	103.8 0	50.20	71.40	82.20	24.60	13.6 0	24.6 0	15.8 0	55.70	91.40	25.60	103.2 0	662.10	55.18	13.60	103.80
2013	53.10	60.00	27.80	37.40	38.40	70.0 0	15.6 0	53.7 0	49.60	24.20	150.4 0	12.60	592.80	49.40	12.60	150.40
2014	76.60	79.80	100.2 0	92.00	48.22	54.1 0	29.5 8	28.8 1	53.55	54.49	73.52	59.66	750.54	62.54	28.81	100.20
Total Mensual	1351. 70	1539. 50	1332. 20	1327. 53	1060. 92	738. 70	650. 69	633. 81	1178. 18	1198. 79	1617. 52	1312. 46				
Promedio Mensual	61.44	69.98	60.55	60.34	48.22	33.5 8	29.5 8	28.8 1	53.55	54.49	73.52	59.66				
Mínimo Mensual	0.00	0.00	22.40	13.43	17.20	7.20	0.00	3.40	10.80	20.40	25.60	12.60				
Máximo Mensual	147.2 0	130.6 0	149.0 0	96.40	106.2 0	115. 70	96.7 0	78.2 0	98.90	147.8 0	169.0 0	119.2 0				

Tabla 28
Distribución Normal

N	PP	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	P (X) =N/N+1	Z = X-Xm/S	f(Z)	F(Z)	Delta
1	67.30	96.39	20.14	0.0435	-1.445	0.141	0.0743	0.0308
2	72.44			0.0870	-1.189	0.197	0.1171	0.0302
3	74.20			0.1304	-1.102	0.217	0.1352	0.0048
4	80.66			0.1739	-0.781	0.294	0.2173	0.0434
5	81.75			0.2174	-0.727	0.306	0.2336	0.0162
6	83.89			0.2609	-0.621	0.329	0.2674	0.0065
7	84.97			0.3043	-0.567	0.340	0.2854	0.0190
8	85.54			0.3478	-0.539	0.345	0.2950	0.0528
9	86.29			0.3913	-0.502	0.352	0.3080	0.0833
10	87.73			0.4348	-0.430	0.364	0.3336	0.1011
11	91.08			0.4783	-0.264	0.385	0.3961	0.0822
12	95.88			0.5217	-0.025	0.399	0.4899	0.0318
13	97.42			0.5652	0.051	0.398	0.5204	0.0449
14	97.52			0.6087	0.056	0.398	0.5225	0.0862
15	98.28			0.6522	0.094	0.397	0.5375	0.1147
16	99.33			0.6957	0.146	0.395	0.5581	0.1376
17	106.72			0.7391	0.513	0.350	0.6961	0.0430
18	110.28			0.7826	0.690	0.314	0.7549	0.0277
19	111.52			0.8261	0.751	0.301	0.7738	0.0523

20	122.11	0.8696	1.277	0.176	0.8992	0.0297
21	140.09	0.9130	2.170	0.038	0.9850	0.0720
22	145.55	0.9565	2.441	0.020	0.9927	0.0362

Tabla 29
Distribución Log Normal 2P

N	X	Y=LnX	P(x)	MEDIA	DESV. ESTÁNDAR	Z = (X-Xm)/S	f(z)	F(z)	Delta
1	67.3020	4.2092	0.0435	4.5491	0.1977	-1.7198	0.0068	0.0427	0.0007
2	72.4388	4.2827	0.0870			-1.3477	0.0112	0.0889	0.0019
3	74.1973	4.3067	0.1304			-1.2263	0.0128	0.1100	0.0204
4	80.6573	4.3902	0.1739			-0.8040	0.0181	0.2107	0.0368
5	81.7494	4.4037	0.2174			-0.7359	0.0188	0.2309	0.0135
6	83.8891	4.4295	0.2609			-0.6052	0.0200	0.2725	0.0116
7	84.9711	4.4423	0.3043			-0.5404	0.0205	0.2945	0.0099
8	85.5384	4.4490	0.3478			-0.5067	0.0208	0.3062	0.0416
9	86.2871	4.4577	0.3913			-0.4626	0.0210	0.3218	0.0695
10	87.7327	4.4743	0.4348			-0.3786	0.0214	0.3525	0.0823
11	91.0820	4.5118	0.4783			-0.1890	0.0218	0.4250	0.0532
12	95.8794	4.5631	0.5217			0.0707	0.0210	0.5282	0.0064
13	97.4166	4.5790	0.5652			0.1511	0.0205	0.5601	0.0051
14	97.5246	4.5801	0.6087			0.1568	0.0204	0.5623	0.0464
15	98.2841	4.5879	0.6522			0.1960	0.0201	0.5777	0.0745
16	99.3313	4.5985	0.6957			0.2496	0.0197	0.5986	0.0971
17	106.7220	4.6702	0.7391			0.6127	0.0157	0.7300	0.0092
18	110.2837	4.7031	0.7826			0.7788	0.0135	0.7820	0.0007
19	111.5164	4.7142	0.8261			0.8350	0.0128	0.7982	0.0279

20	122.1063	4.8049	0.8696	1.2940	0.0072	0.9022	0.0326
21	140.0875	4.9423	0.9130	1.9890	0.0020	0.9767	0.0636
22	145.5458	4.9805	0.9565	2.1824	0.0013	0.9855	0.0289

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	22
Δ TEÓRICO	0.0971
Δ TABULAR	0.2900
SE AJUSTA	

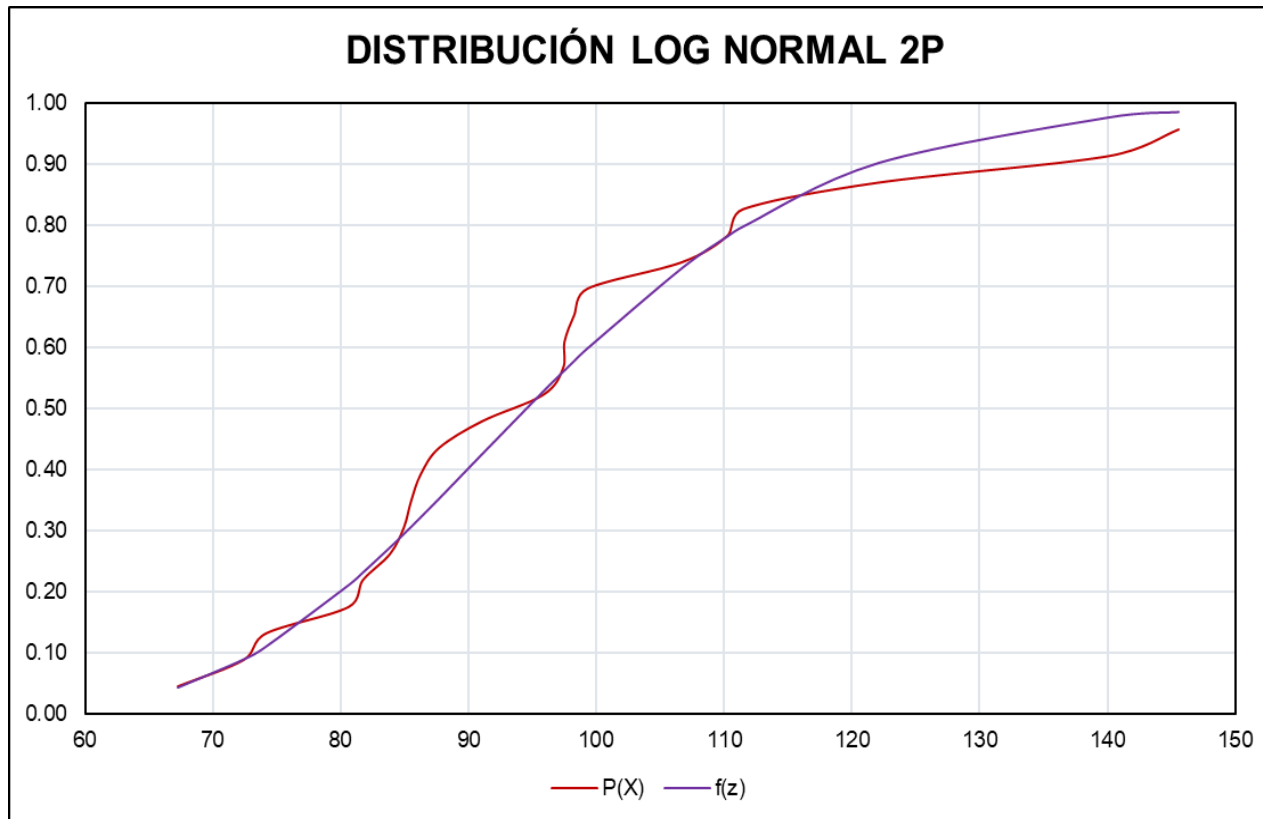


Tabla 30
Distribución Log Normal 3P

<i>N</i>	<i>X</i>	<i>P(X)</i>	<i>Mediana</i>	<i>X0</i>	<i>(X-X0)</i>	<i>Ln (X-X0)</i>	<i>Media Ln (X-X0)</i>	<i>Desv. Estándar Ln(X-X0)</i>	<i>Z</i>	<i>f(Z)</i>	<i>F(Z)</i>	<i>Delta</i>
1	67.3020	0.0435	93.4807	40.8279	26.4742	3.2762	3.9592	0.3388	-2.0157	0.0058	0.0219	0.0216
2	72.4388	0.0870			31.6109	3.4535			-1.4924	0.0122	0.0678	0.0192
3	74.1973	0.1304			33.3694	3.5076			-1.3326	0.0145	0.0913	0.0391
4	80.6573	0.1739			39.8294	3.6846			-0.8103	0.0213	0.2089	0.0350
5	81.7494	0.2174			40.9216	3.7117			-0.7305	0.0220	0.2325	0.0152
6	83.8891	0.2609			43.0613	3.7626			-0.5801	0.0231	0.2809	0.0201
7	84.9711	0.3043			44.1433	3.7874			-0.5068	0.0235	0.3061	0.0018
8	85.5384	0.3478			44.7106	3.8002			-0.4691	0.0236	0.3195	0.0283
9	86.2871	0.3913			45.4593	3.8168			-0.4201	0.0237	0.3372	0.0541
10	87.7327	0.4348			46.9048	3.8481			-0.3277	0.0238	0.3716	0.0632
11	91.0820	0.4783			50.2541	3.9171			-0.1242	0.0232	0.4506	0.0277
12	95.8794	0.5217			55.0515	4.0083			0.1449	0.0212	0.5576	0.0359
13	97.4166	0.5652			56.5887	4.0358			0.2262	0.0203	0.5895	0.0243
14	97.5246	0.6087			56.6967	4.0377			0.2318	0.0202	0.5917	0.0170
15	98.2841	0.6522			57.4562	4.0510			0.2711	0.0198	0.6068	0.0453
16	99.3313	0.6957			58.5034	4.0691			0.3244	0.0191	0.6272	0.0685
17	106.7220	0.7391			65.8941	4.1880			0.6755	0.0142	0.7503	0.0112
18	110.2837	0.7826			69.4558	4.2407			0.8309	0.0120	0.7970	0.0144

19	111.5164	0.8261	70.6885	4.2583	0.8828	0.0113	0.8113	0.0148
20	122.1063	0.8696	81.2785	4.3979	1.2948	0.0063	0.9023	0.0327
21	140.0875	0.9130	99.2596	4.5977	1.8846	0.0020	0.9703	0.0572
22	145.5458	0.9565	104.7180	4.6513	2.0426	0.0014	0.9795	0.0229

**PRUEBA DE
DISTRIBUCIÓN**

N	22
Δ TEÓRICO	0.0685
Δ TABULAR	0.2900

SE AJUSTA

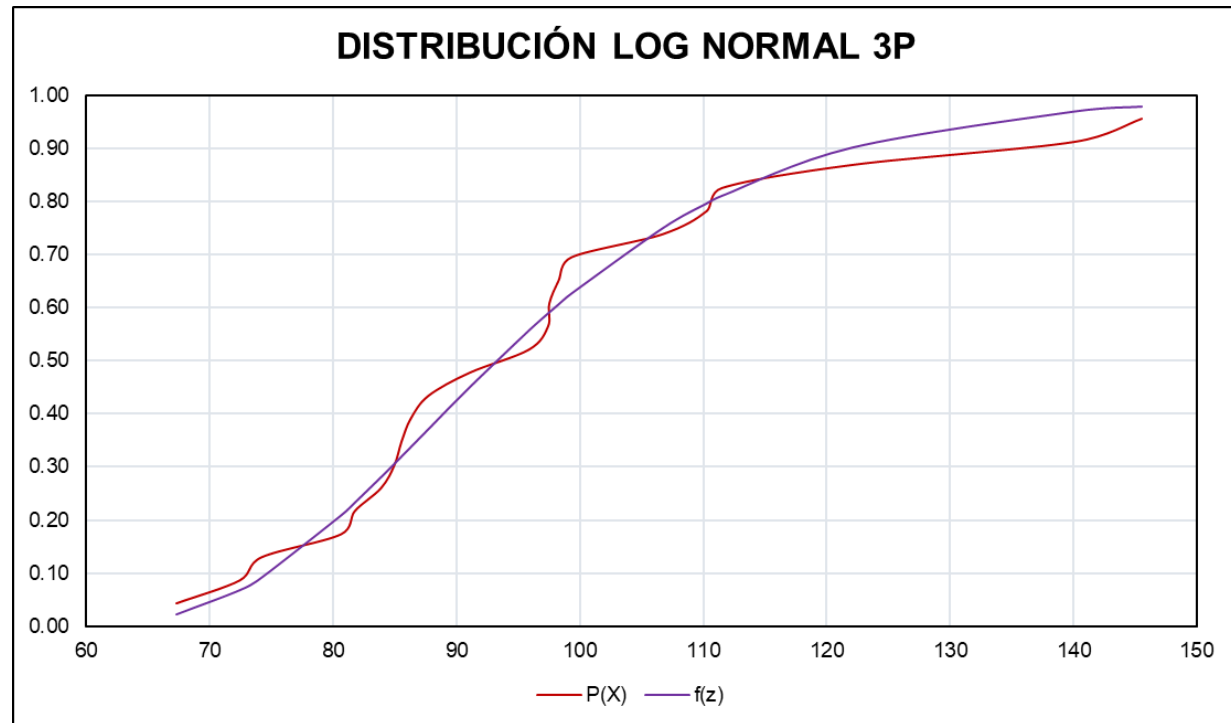


Tabla 31
Distribución Gamma 2P

N	x	Ln x	P(x)	Media X	Media Ln x	Y	Y	β	f(x)	F(x)	Δ
1	67.3020	4.2092	0.0370	96.3883	4.5491	0.0193	26.1232	3.6898	0.0067	0.0479	0.0109
2	72.4388	4.2827	0.0741						0.0106	0.0923	0.0182
3	74.1973	4.3067	0.1111						0.0121	0.1122	0.0011
4	80.6573	4.3902	0.1481						0.0170	0.2066	0.0585
5	81.7494	4.4037	0.1852						0.0178	0.2256	0.0405
6	83.8891	4.4295	0.2222						0.0190	0.2651	0.0428
7	84.9711	4.4423	0.2593						0.0196	0.2860	0.0267
8	85.5384	4.4490	0.2963						0.0199	0.2972	0.0009
9	86.2871	4.4577	0.3333						0.0202	0.3122	0.0212
10	87.7327	4.4743	0.3704						0.0207	0.3417	0.0286
11	91.0820	4.5118	0.4074						0.0214	0.4125	0.0051
12	95.8794	4.5631	0.4444						0.0212	0.5153	0.0708
13	97.4166	4.5790	0.4815						0.0208	0.5476	0.0661
14	97.5246	4.5801	0.5185						0.0208	0.5498	0.0313
15	98.2841	4.5879	0.5556						0.0206	0.5655	0.0100
16	99.3313	4.5985	0.5926						0.0202	0.5869	0.0057
17	106.7220	4.6702	0.6296						0.0166	0.7238	0.0942
18	110.2837	4.7031	0.6667						0.0144	0.7789	0.1123
19	111.5164	4.7142	0.7037						0.0136	0.7962	0.0925
20	122.1063	4.8049	0.7407						0.0075	0.9070	0.1662

21	140.0875	4.9423	0.7778	0.0018	0.9822	0.2044
22	145.5458	4.9805	0.8148	0.0011	0.9899	0.1751

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	22
Δ TEÓRICO	0.2044
Δ TABULAR	0.2900
SE AJUSTA	

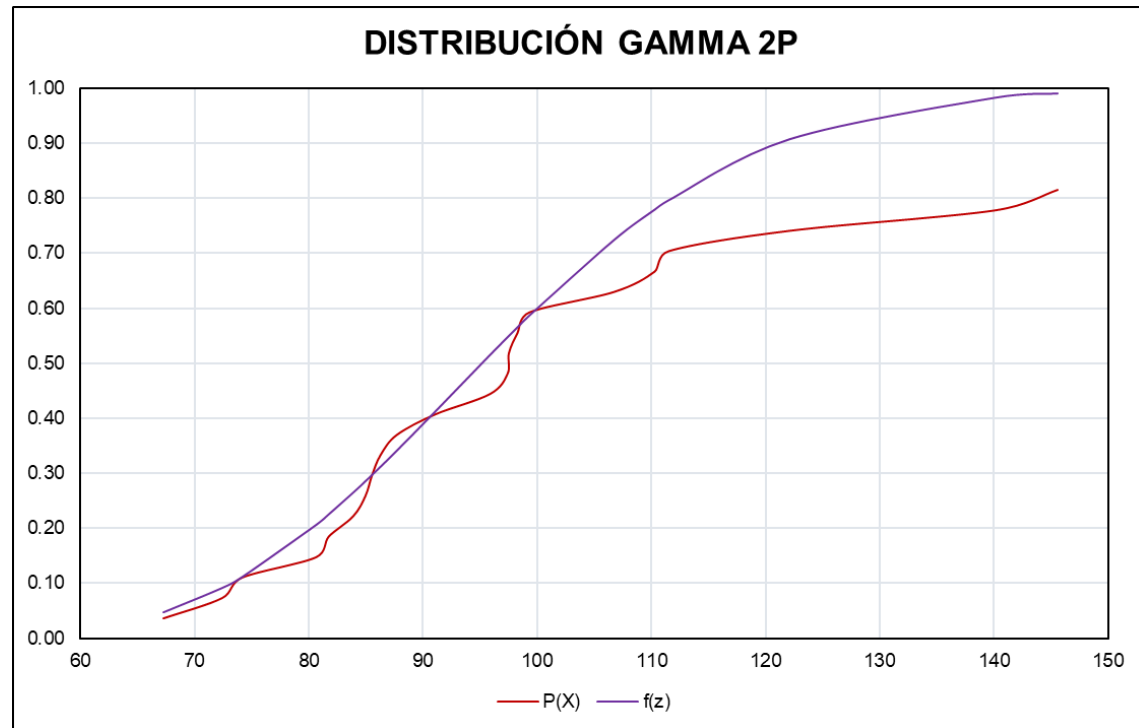


Tabla 32
Distribución Gamma 3P

<i>N</i>	<i>X</i>	<i>P(x)</i>	<i>Media (x)</i>	<i>S</i>	<i>Cs</i>	<i>X0</i>	<i>(x-X0)</i>	β	<i>Y</i>	<i>f(x)</i>	<i>F(x)</i>	Δ
1	67.3020	0.0370	96.3883	20.1356	1.0502	58.0425	9.2595	10.5733	3.6267	0.0073	0.0227	0.0144
2	72.4388	0.0741					14.3963			0.0142	0.0781	0.0040
3	74.1973	0.1111					16.1548			0.0163	0.1050	0.0061
4	80.6573	0.1481					22.6148			0.0214	0.2291	0.0810
5	81.7494	0.1852					23.7069			0.0219	0.2528	0.0676
6	83.8891	0.2222					25.8467			0.0224	0.3002	0.0780
7	84.9711	0.2593					26.9286			0.0225	0.3245	0.0653
8	85.5384	0.2963					27.4959			0.0226	0.3373	0.0410
9	86.2871	0.3333					28.2447			0.0225	0.3542	0.0209
10	87.7327	0.3704					29.6902			0.0224	0.3867	0.0164
11	91.0820	0.4074					33.0395			0.0216	0.4607	0.0533
12	95.8794	0.4444					37.8369			0.0196	0.5599	0.1155
13	97.4166	0.4815					39.3741			0.0188	0.5895	0.1080
14	97.5246	0.5185					39.4821			0.0188	0.5915	0.0730
15	98.2841	0.5556					40.2416			0.0184	0.6056	0.0501
16	99.3313	0.5926					41.2888			0.0178	0.6246	0.0320
17	106.7220	0.6296					48.6795			0.0136	0.7408	0.1111
18	110.2837	0.6667					52.2412			0.0117	0.7859	0.1192
19	111.5164	0.7037					53.4739			0.0111	0.8000	0.0963
20	122.1063	0.7407					64.0639			0.0065	0.8919	0.1512

21	140.0875	0.7778	82.0450	0.0023	0.9657	0.1880
22	145.5458	0.8148	87.5033	0.0016	0.9763	0.1615

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	22
Δ TEÓRICO	0.1880
Δ TABULAR	0.2900
SE AJUSTA	

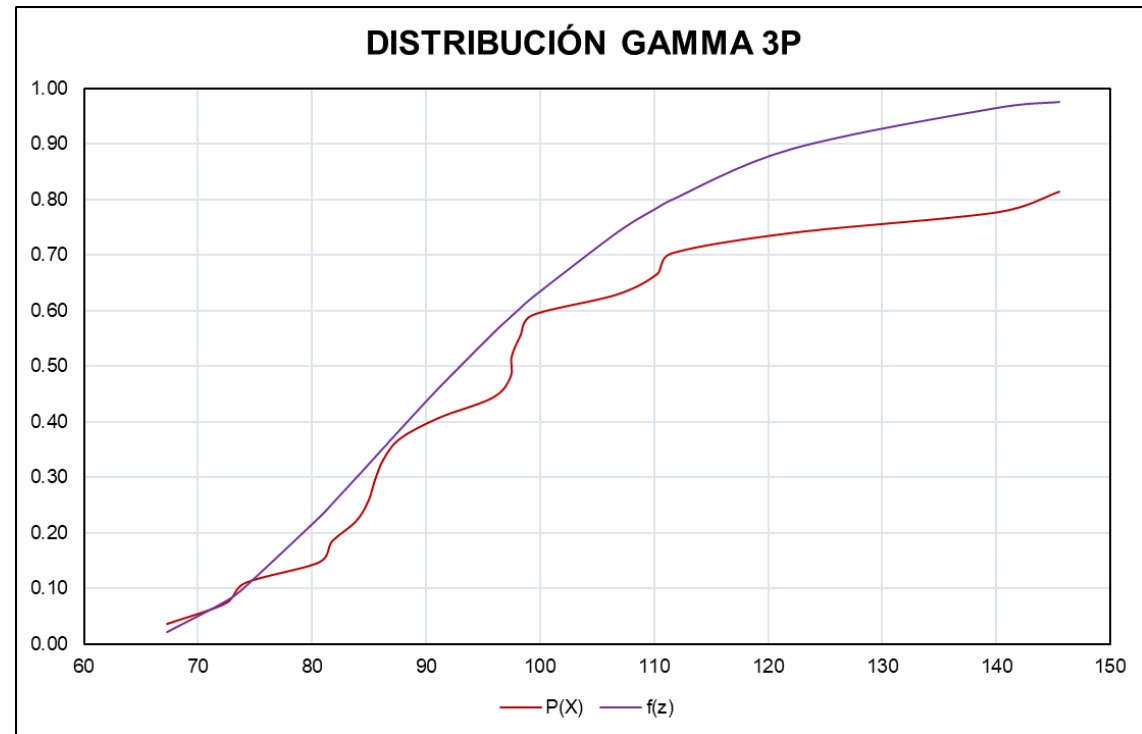


Tabla 33
Distribución Gumbel

N	x	P(x)	Media (x)	S (x)	μ	α	f(x)	F(x)	Δ
1	67.30	0.0370	96.39	20.1356	87.3273	15.6997	0.0013	0.0279	0.0092
2	72.44	0.0741					0.0036	0.0757	0.0016
3	74.20	0.1111					0.0048	0.0995	0.0116
4	80.66	0.1481					0.0104	0.2167	0.0685
5	81.75	0.1852					0.0116	0.2401	0.0549
6	83.89	0.2222					0.0139	0.2880	0.0658
7	84.97	0.2593					0.0151	0.3129	0.0536
8	85.54	0.2963					0.0157	0.3261	0.0298
9	86.29	0.3333					0.0165	0.3435	0.0102
10	87.73	0.3704					0.0182	0.3774	0.0070
11	91.08	0.4074					0.0219	0.4551	0.0477
12	95.88	0.4444					0.0270	0.5599	0.1155
13	97.42	0.4815					0.0285	0.5910	0.1095
14	97.52	0.5185					0.0286	0.5932	0.0746
15	98.28	0.5556					0.0293	0.6080	0.0524
16	99.33	0.5926					0.0302	0.6278	0.0352
17	106.72	0.6296					0.0360	0.7477	0.1181
18	110.28	0.6667					0.0382	0.7932	0.1265
19	111.52	0.7037					0.0389	0.8072	0.1035
20	122.11	0.7407					0.0432	0.8966	0.1559

21	140.09	0.7778	0.0465	0.9659	0.1881
22	145.55	0.8148	0.0470	0.9758	0.1610

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	22
Δ TEÓRICO	0.1881
Δ TABULAR	0.2900
SE AJUSTA	

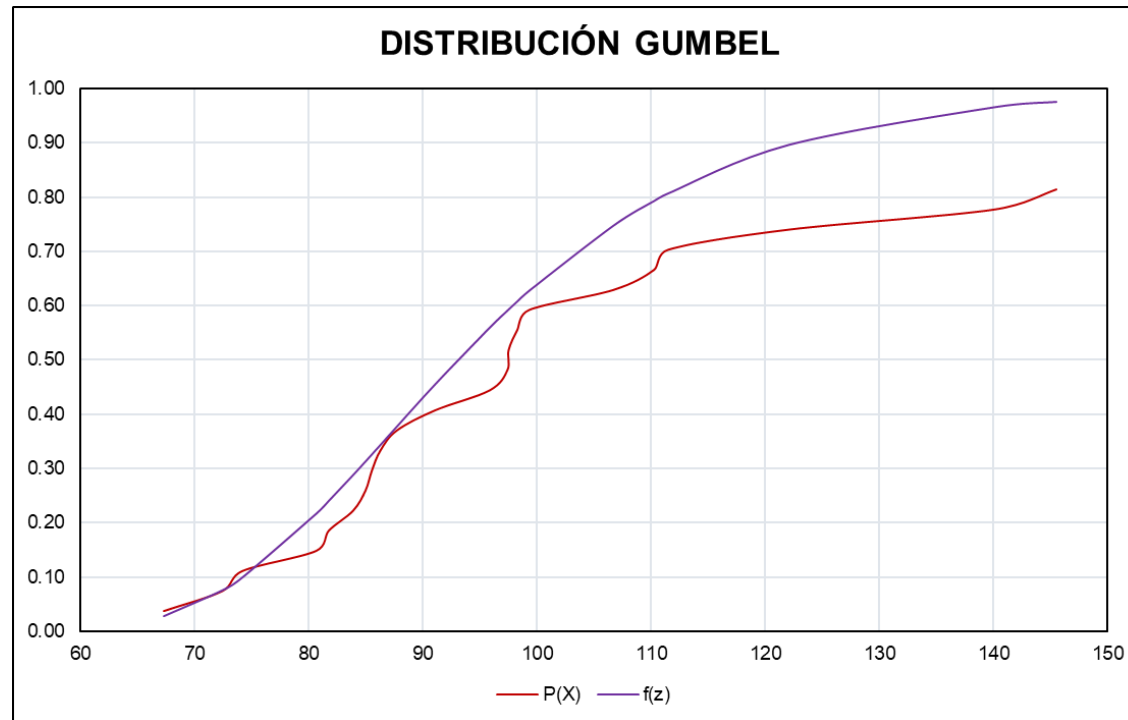


Tabla 34
Distribución Log-Gumbel

N	x	P(x)	Ln (x)	Media Ln (x)	S Ln(x)	μ	α	F(x)	Δ
1	67.30	0.0370	4.2092	4.5491	0.1977	4.4602	0.1541	0.0061	0.0309
2	72.44	0.0741	4.2827					0.0423	0.0317
3	74.20	0.1111	4.3067					0.0668	0.0443
4	80.66	0.1481	4.3902					0.2071	0.0589
5	81.75	0.1852	4.4037					0.2362	0.0510
6	83.89	0.2222	4.4295					0.2952	0.0729
7	84.97	0.2593	4.4423					0.3253	0.0661
8	85.54	0.2963	4.4490					0.3411	0.0448
9	86.29	0.3333	4.4577					0.3619	0.0286
10	87.73	0.3704	4.4743					0.4015	0.0312
11	91.08	0.4074	4.5118					0.4889	0.0815
12	95.88	0.4444	4.5631					0.5988	0.1544
13	97.42	0.4815	4.5790					0.6297	0.1482
14	97.52	0.5185	4.5801					0.6318	0.1132
15	98.28	0.5556	4.5879					0.6462	0.0906
16	99.33	0.5926	4.5985					0.6652	0.0726
17	106.72	0.6296	4.6702					0.7742	0.1446
18	110.28	0.6667	4.7031					0.8132	0.1465
19	111.52	0.7037	4.7142					0.8250	0.1213
20	122.11	0.7407	4.8049					0.8987	0.1580

21	140.09	0.7778	4.9423	0.9571	0.1794
22	145.55	0.8148	4.9805	0.9664	0.1516

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN	
N	22
Δ TEÓRICO	0.1794
Δ TABULAR	0.2900
SE AJUSTA	

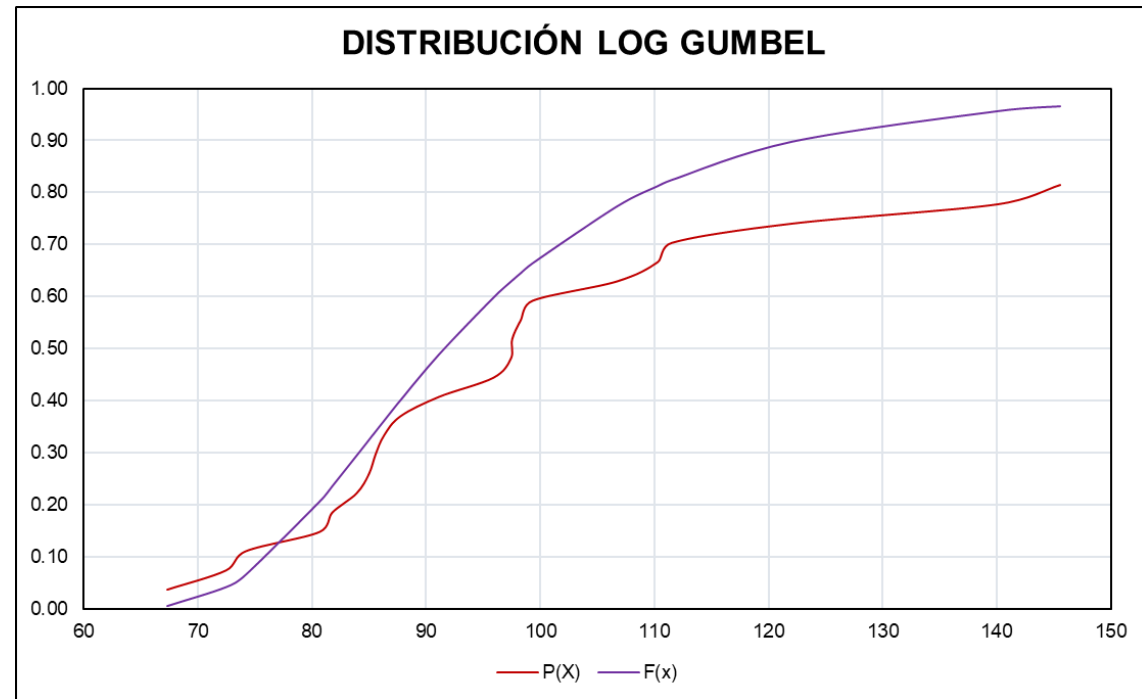


Tabla 35
Hietograma PR 25 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
5	205.904	17.159	17.159	205.904	1.156	13.868	1.156
10	134.107	22.351	5.193	62.311	1.252	15.023	2.408
15	104.358	26.090	3.738	44.859	1.372	16.469	3.780
20	87.346	29.115	3.026	36.308	1.529	18.346	5.309
25	76.084	31.702	2.587	31.039	1.743	20.912	7.051
30	67.970	33.985	2.283	27.396	2.058	24.697	9.110
35	61.788	36.043	2.058	24.697	2.587	31.039	11.696
40	56.889	37.926	1.883	22.599	3.738	44.859	15.434
45	52.892	39.669	1.743	20.912	17.159	205.904	32.593
50	49.555	41.295	1.627	19.519	5.193	62.311	37.786
55	46.717	42.824	1.529	18.346	3.026	36.308	40.811
60	44.269	44.269	1.445	17.341	2.283	27.396	43.094
65	42.131	45.642	1.372	16.469	1.883	22.599	44.978
70	40.243	46.950	1.309	15.702	1.627	19.519	46.604
75	38.562	48.202	1.252	15.023	1.445	17.341	48.049
80	37.053	49.403	1.201	14.415	1.309	15.702	49.358
85	35.689	50.559	1.156	13.868	1.201	14.415	50.559
90	34.449	51.673	1.114	13.372	1.114	13.372	51.673

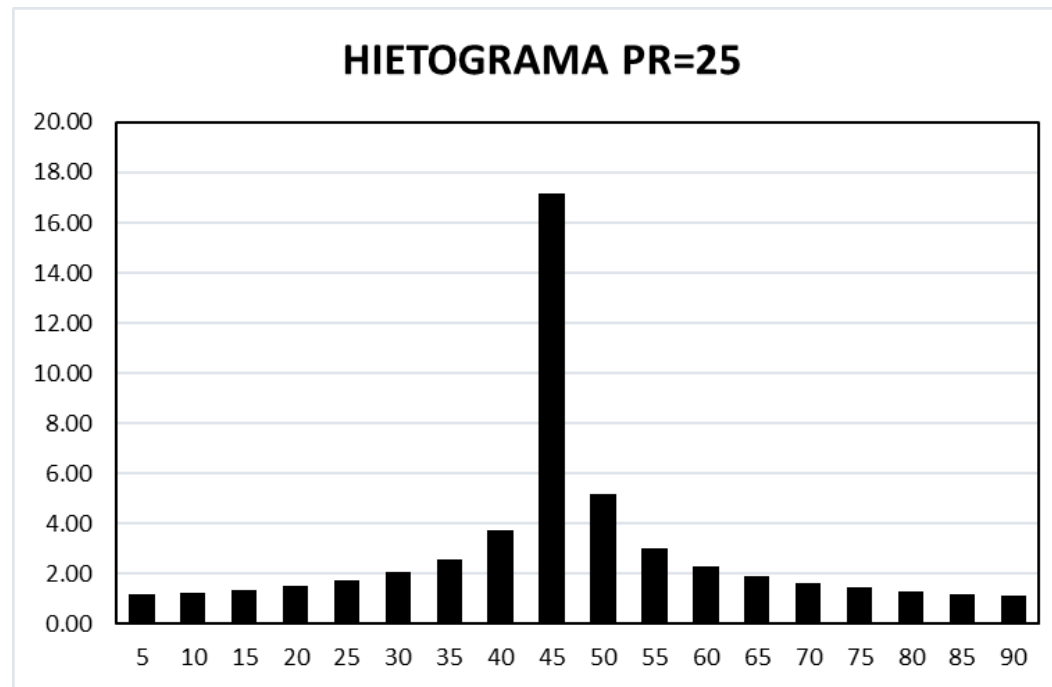


Tabla 36
Hietograma PR 50 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
5	218.024	18.169	18.169	218.024	1.224	14.685	1.224
10	142.002	23.667	5.498	65.979	1.326	15.907	2.549
15	110.501	27.625	3.958	47.500	1.453	17.438	4.002
20	92.487	30.829	3.204	38.446	1.619	19.426	5.621
25	80.563	33.568	2.739	32.866	1.845	22.143	7.467
30	71.971	35.985	2.417	29.009	2.179	26.151	9.646
35	65.425	38.165	2.179	26.151	2.739	32.866	12.385
40	60.238	40.159	1.994	23.930	3.958	47.500	16.343
45	56.005	42.004	1.845	22.143	18.169	218.024	34.512
50	52.472	43.726	1.722	20.668	5.498	65.979	40.010
55	49.467	45.345	1.619	19.426	3.204	38.446	43.214
60	46.875	46.875	1.530	18.362	2.417	29.009	45.631
65	44.611	48.328	1.453	17.438	1.994	23.930	47.625
70	42.612	49.714	1.386	16.627	1.722	20.668	49.348
75	40.832	51.040	1.326	15.907	1.530	18.362	50.878
80	39.234	52.312	1.272	15.264	1.386	16.627	52.263
85	37.790	53.535	1.224	14.685	1.272	15.264	53.535
90	36.477	54.715	1.180	14.159	1.180	14.159	54.715

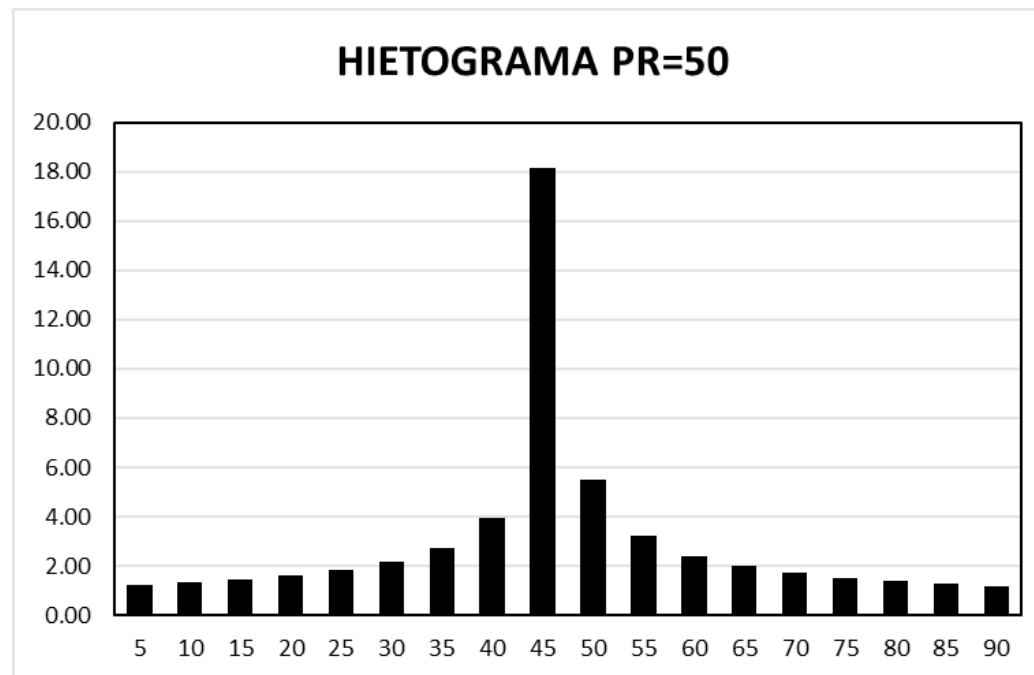


Tabla 37
Hietograma PR 100 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
5	230.859	19.238	19.238	230.859	1.296	15.549	1.296
10	150.361	25.060	5.822	69.863	1.404	16.844	2.699
15	117.006	29.251	4.191	50.296	1.539	18.464	4.238
20	97.932	32.644	3.392	40.709	1.714	20.570	5.952
25	85.305	35.544	2.900	34.800	1.954	23.447	7.906
30	76.207	38.104	2.560	30.717	2.308	27.690	10.214
35	69.276	40.411	2.308	27.690	2.900	34.800	13.114
40	63.784	42.523	2.112	25.338	4.191	50.296	17.305
45	59.302	44.477	1.954	23.447	19.238	230.859	36.543
50	55.560	46.300	1.824	21.885	5.822	69.863	42.365
55	52.379	48.014	1.714	20.570	3.392	40.709	45.758
60	49.635	49.635	1.620	19.443	2.560	30.717	48.317
65	47.237	51.173	1.539	18.464	2.112	25.338	50.429
70	45.120	52.640	1.467	17.605	1.824	21.885	52.252
75	43.235	54.044	1.404	16.844	1.620	19.443	53.873
80	41.543	55.391	1.347	16.162	1.467	17.605	55.340
85	40.014	56.687	1.296	15.549	1.347	16.162	56.687
90	38.624	57.936	1.249	14.993	1.249	14.993	57.936

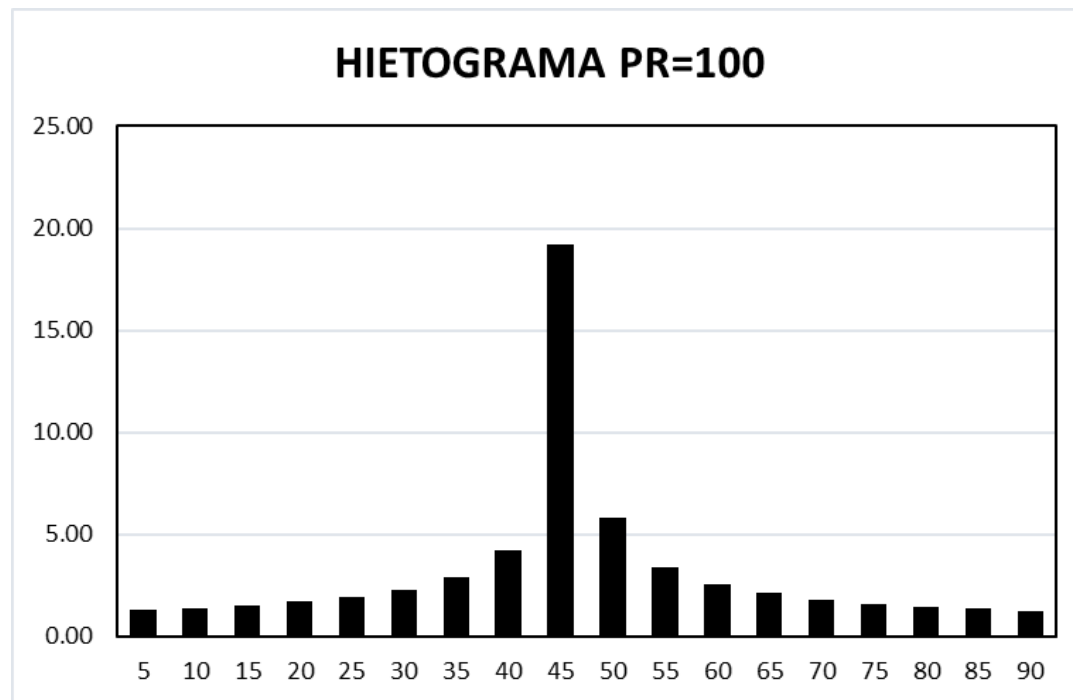


Tabla 38
Hietograma PR 500 años

INSTANTE (min)	INTENSIDAD (mm/h)	P. ACUMULADA (mm)	ΔP (mm)	INTENSIDAD PARCIAL (mm/h)	P ALTERNADA (mm)	ImPa ALTERNADA (mm)	P. ACUM (mm)
5	263.648	21.971	21.971	263.648	1.480	17.757	1.480
10	171.717	28.619	6.649	79.786	1.603	19.236	3.083
15	133.625	33.406	4.787	57.440	1.757	21.087	4.840
20	111.841	37.280	3.874	46.491	1.958	23.491	6.798
25	97.422	40.592	3.312	39.743	2.231	26.777	9.029
30	87.031	43.516	2.923	35.079	2.635	31.623	11.664
35	79.116	46.151	2.635	31.623	3.312	39.743	14.976
40	72.843	48.562	2.411	28.937	4.787	57.440	19.763
45	67.725	50.794	2.231	26.777	21.971	263.648	41.734
50	63.452	52.876	2.083	24.993	6.649	79.786	48.382
55	59.819	54.834	1.958	23.491	3.874	46.491	52.257
60	56.684	56.684	1.850	22.204	2.923	35.079	55.180
65	53.946	58.442	1.757	21.087	2.411	28.937	57.591
70	51.529	60.117	1.675	20.106	2.083	24.993	59.674
75	49.376	61.720	1.603	19.236	1.850	22.204	61.524
80	47.444	63.258	1.538	18.458	1.675	20.106	63.200
85	45.697	64.738	1.480	17.757	1.538	18.458	64.738
90	44.110	66.165	1.427	17.122	1.427	17.122	66.165

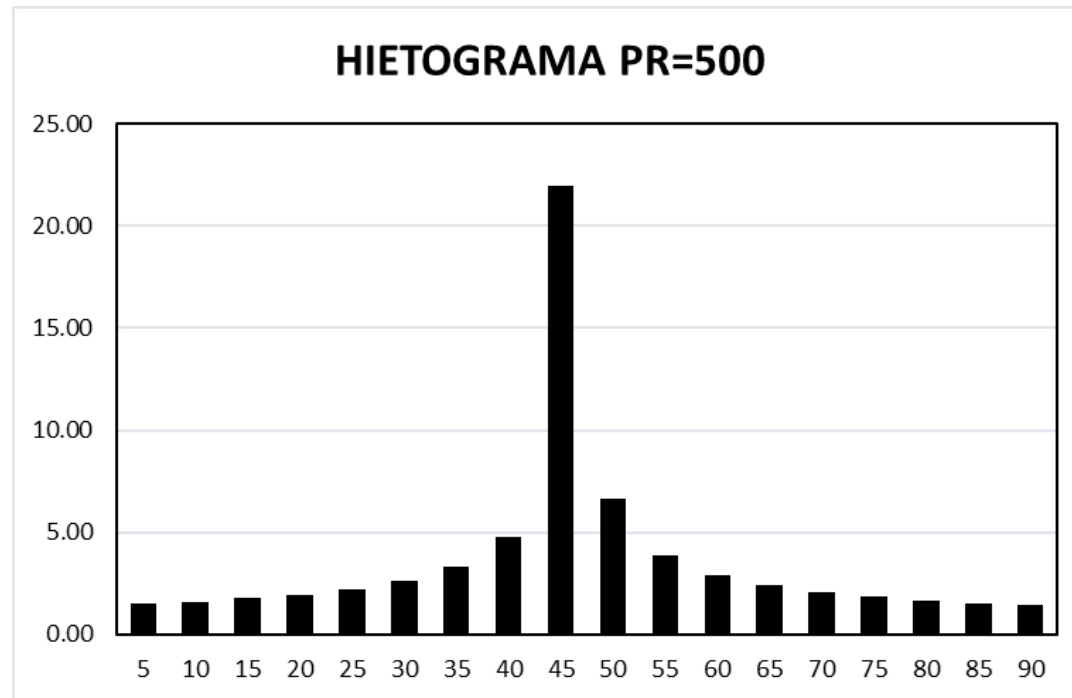


Figura 39
Caudal PR 25 años

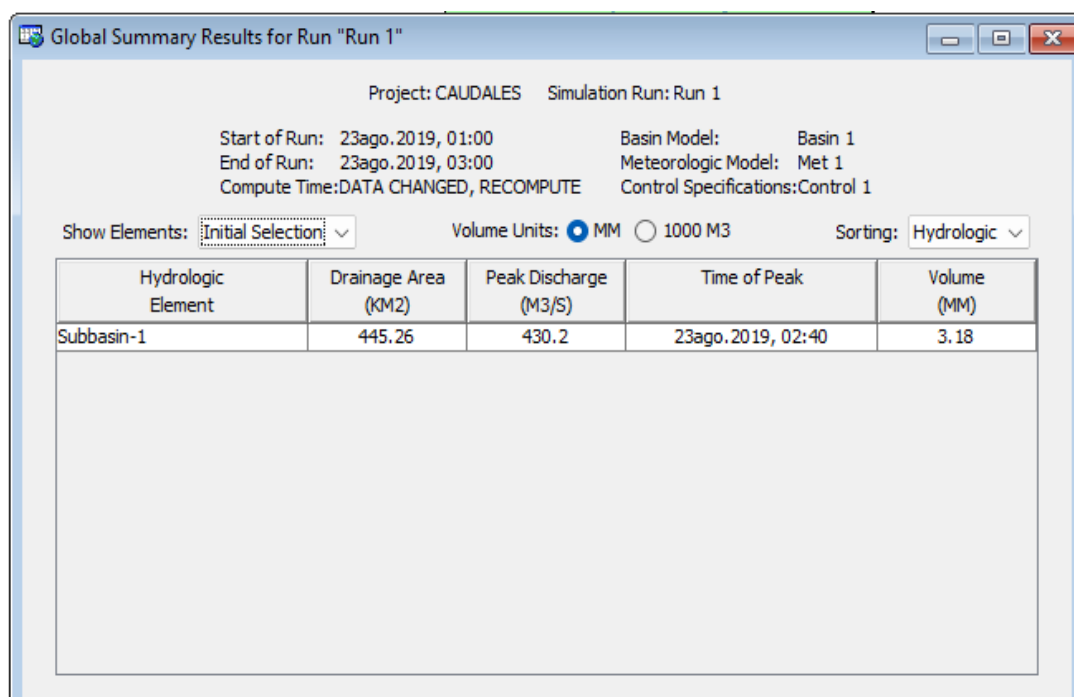


Figura 40
Caudal PR 50 años

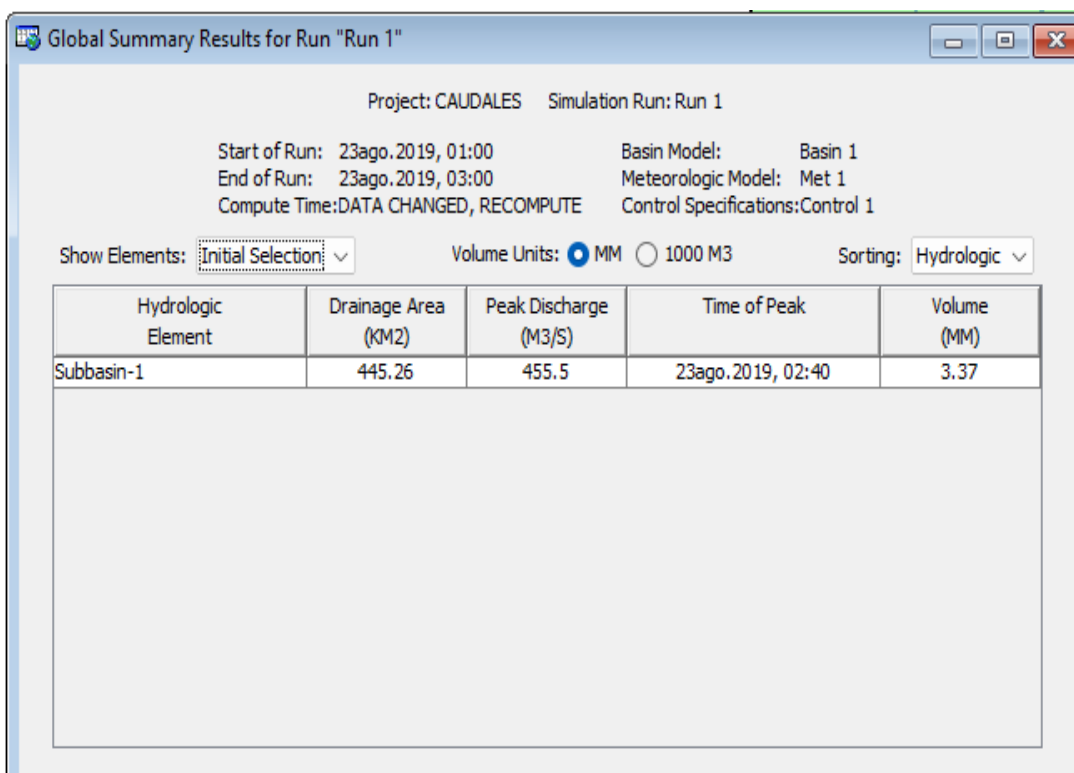


Figura 41
Caudal PR 100 años

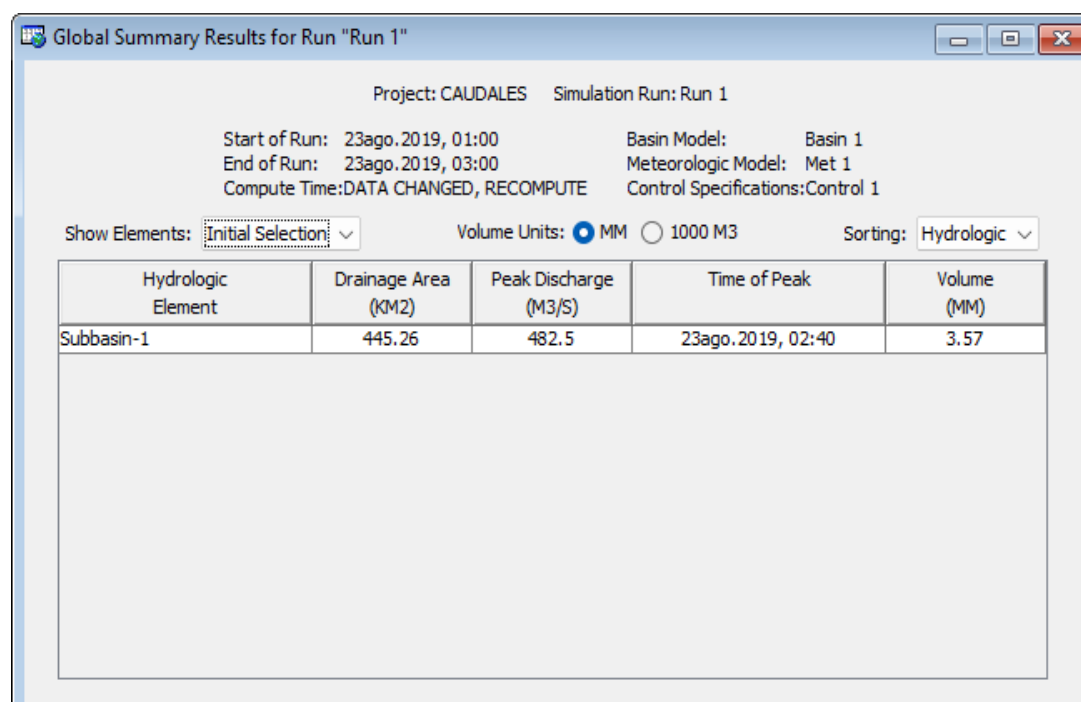
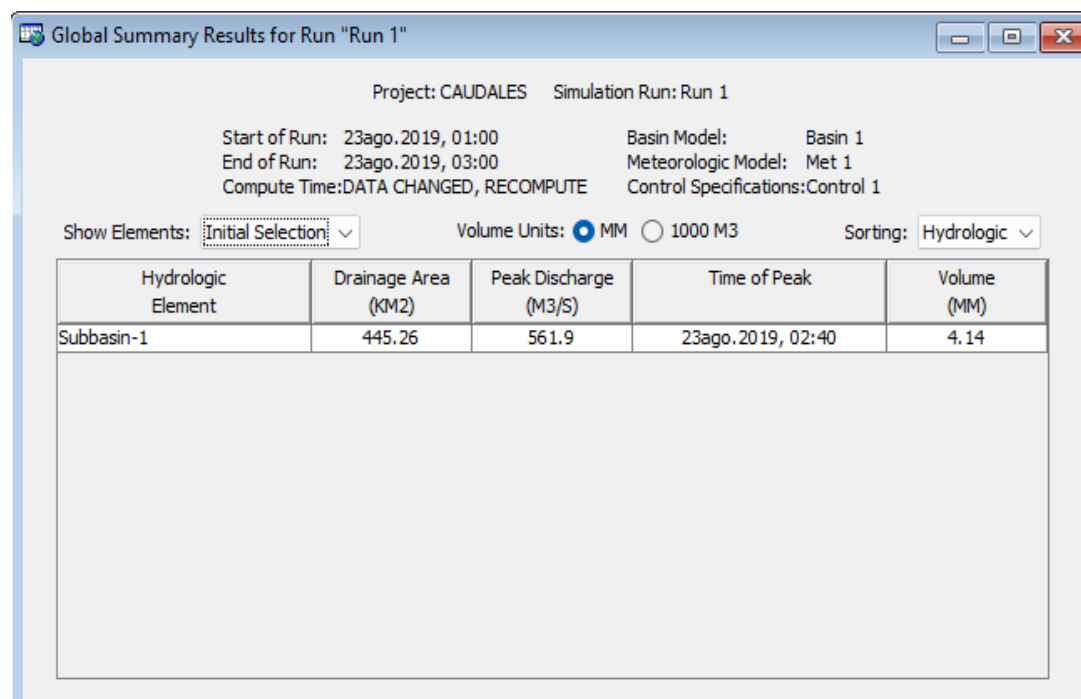


Figura 42
Caudal PR 500 años



ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO

PRIMER DIA DE LEVANTAMIENTO



SE OBSERVA EL INGRESO AL CENTRO POBLADO CESAR VALLEJO.



SE OBSERVA LA I.E. N°32564 – CESAR VALLEJO-NIVEL SECUNDARIO.



**SE PROCEDE AL VISADO CORRESPONDIENTE DESPUES DEL
RECONOCIMIENTO DEL AREA DE TRABAJO.**

SEGUNDO DIA DE LEVANTAMIENTO



SE PROCEDE AL ESTACIONAMIENTO DEL EQUIPO, PARA REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.

TERCER DIA DE LEVANTAMIENTO



SE PROCEDE AL ESTACIONAMIENTO DEL EQUIPO, PARA REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.



SE PROCEDE AL ESTACIONAMIENTO DEL EQUIPO, PARA REALIZAR EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.