

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga para delimitar áreas de inundación utilizando el software Arcgis y Hec-Hms en la localidad de San Rafael – Huánuco, 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Marín Salinas, Gregory

ASESOR: Huamán Cuespan, Carlos Esteban

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



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

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 76526719

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 42289817

Grado/Título: Doctor en ciencias ambientales y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-9668-6670

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Lira Camargo, Luis Gerónimo	Maestro en educación con mención en investigación y docencia superior	41198244	0000-0003-2344-6956
2	Valdivieso Echevarría, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



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 15:00 horas del día miércoles 26 de febrero de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. LUIS GERONIMO LIRA CAMARGO	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante RESOLUCIÓN No 0317-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "SIMULACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL RIO HUALLAGA PARA DELIMITAR ÁREAS DE INUNDACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE ARCGIS Y HEC-HMS EN LA LOCALIDAD DE SAN RAFAEL – HUÁNUCO, 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Gregory MARIN SALINAS, 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^h 20' horas del día 26 del mes de febrero del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. LUIS GERONIMO LIRA CAMARGO
DNI: 41198244
ORCID: 0000-0003-2344-6956
PRESIDENTE



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



MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: GREGORY MARIN SALINAS, de la investigación titulada "SIMULACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA DEL RIO HUALLAGA PARA DELIMITAR ÁREAS DE INUNDACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE ARCGIS Y HEC-HMS EN LA LOCALIDAD DE SAN RAFAEL - HUÁNUCO, 2024", con asesor(a) CARLOS ESTEBAN HUAMAN CUESPAN, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0928-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

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

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

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

Huánuco, 13 de febrero de 2025



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

28. MARIN SALINAS GREGORY.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	13%	4%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.udh.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	distancia.udh.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unsch.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.uns.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
6	www.coursehero.com	<1%
	Fuente de Internet	
7	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
	Trabajo del estudiante	
8	Submitted to unhuancavelica	<1%
	Trabajo del estudiante	



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



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

DEDICATORIA

A mi madre Lourdes Salinas Huaynate, por su apoyo incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por todo el amor brindado y por cada consejo dado en el momento que más necesité.

A mi padre y hermanos, por el apoyo económico dado y por la confianza depositado en mí y por nunca dudar que de las metas trazadas lo alcanzaría.

A mis amigos, por estar siempre presentes, por su compañía y por hacer de este viaje algo más llevadero con su cariño y apoyo.

A mis profesores y mentores, quienes con su conocimiento y guía me han ayudado a crecer no solo académicamente, sino también como persona.

Y, finalmente, a mí mismo, por no rendirme, por cada noche de desvelo, por cada obstáculo superado y por haber llegado hasta aquí.

Con gratitud y cariño,

AGRADECIMIENTO

Al concluir esta etapa tan significativa en mi vida, deseo manifestar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de diversas maneras, ayudaron en la realización de esta tesis y en mi crecimiento personal y académico.

En primer lugar, agradezco a Dios por proveerme con la fuerza, la paciencia y la salud necesarias para enfrentar los obstáculos que surgieron en este camino.

A mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme que todo es posible con dedicación y persistencia. Gracias por ser mi mayor motivación y por confiar en mí en todo momento.

A mi padre y hermanos, quienes siempre han sido un soporte fundamental en mi vida. Gracias por el apoyo incondicional y por motivarme a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Sin su respaldo, este sueño no hubiera sido posible.

A mis amigos quienes, con su apoyo, su compañía y sus palabras motivadoras hicieron que este trayecto fuera más llevadero. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro.

A mi asesor de tesis, por su paciencia, su compromiso y sus valiosos consejos que ayudaron en el desarrollo de este trabajo. Su orientación ha sido clave en mi formación profesional y en la culminación de este proyecto.

A mis profesores y mentores, por compartir su conocimiento y enseñarme a ir más allá de los libros, incentivándome a pensar de manera crítica y a continuar aprendiendo.

Y, por último, a mí mismo, por no rendirme, por cada esfuerzo, cada sacrificio y cada jornada de dedicación. Este logro es el fruto de años de trabajo y aprendizaje, y representa un paso más hacia mis sueños.

Con gratitud,

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO	14
1.3 OBJETIVO GENERAL	14
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	15
1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	16
1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	16
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.2 BASES TEÓRICAS.....	24
2.2.1 PRINCIPIOS DE LA HIDROLOGÍA	24
2.2.2 RELACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LOS CAUDALES DEL RÍO.....	28
2.2.3 GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL	29

2.2.4 FUNDAMENTOS DE LA MODELIZACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA	30
2.2.5 SOFTWARE ARCGIS.....	31
2.2.6 SOFTWARE HEC-HMS.....	32
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	32
2.4 HIPÓTESIS	34
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	34
2.5 VARIABLES	34
2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	34
2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE	34
2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES).....	35
CAPÍTULO III.....	38
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
3.1.1 ENFOQUE	38
3.1.2 ALCANCE O NIVEL	38
3.1.3 DISEÑO	39
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	39
3.2.1 POBLACIÓN	39
3.2.2 MUESTRA	39
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	40
3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	40
3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	41
3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ...	42
CAPÍTULO IV.....	44
RESULTADOS.....	44
4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS	44
4.1.1 PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL HUALLAGA	44
4.1.2 LLUVIAS PARA LA CUENCA DEL HUALLAGA.....	51
4.1.3 ESTIMACIÓN DE CAUDAL EN HEC-HMS	60
4.1.4 MODELO HEC-RAS	60
4.1.5 ZONAS DE INUNDACIÓN.....	62
4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ...	63

CAPÍTULO V.....	67
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de áreas	41
Tabla 2 Red hídrica.....	41
Tabla 3 Clasificación de pendientes	42
Tabla 4 Parámetros de la cuenca del Huallaga	44
Tabla 5 Características altitudinales de la cuenca del Huallaga	46
Tabla 6 Morfología de la cuenca.....	46
Tabla 7 Caracterización de los cauces	48
Tabla 8 Morfología de la cuenca del Huallaga	48
Tabla 9 Caracterización del suelo de la cuenca del Huallaga.....	49
Tabla 10 Determinación del valor promedio del número de curva	51
Tabla 11 Datos de lluvia de la estación San Rafael.....	51
Tabla 12 Estación San Rafael datos completos.....	54
Tabla 13 Determinación de la prueba de bondad	57
Tabla 14 Estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno	57
Tabla 15 Área de inundación para un PR 50 años	62
Tabla 16 Parámetros de la cuenca del Huallaga	67
Tabla 17 Morfología de la cuenca del Huallaga	68
Tabla 18 Área de inundación para un PR 50 años	68
Tabla 19 Matriz de consistencia.....	76
Tabla 20 Clasificación de áreas	79
Tabla 21 Red hídrica.....	79
Tabla 22 Clasificación de pendientes	79
Tabla 23 Estaciones consideradas	80
Tabla 24 Registro SENAMHI – San Rafael.....	80
Tabla 25 Valores de Kriging.....	83
Tabla 26 Intensidades PR 50 años	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Interfaz del usuario del HEC-HMS.....	32
Figura 2 Límites de la cuenca del río Huallaga.....	44
Figura 3 Alturas clasificadas de la cuenca del Huallaga.....	45
Figura 4 Pendiente morfológica de la cuenca del Huallaga.....	47
Figura 5 Cauce de la cuenca del Huallaga	47
Figura 6 Caracterización del suelo de la cuenca del río Huallaga	49
Figura 7 Número de curva de la cuenca del Huallaga	50
Figura 8 Identificación de estaciones cercanas	53
Figura 9 Estimación Kriging enero 1989	54
Figura 10 Doble masa estación San Rafael.....	56
Figura 11 Representación de curva IDF	58
Figura 12 Curva IDF para un periodo de retorno de 50 años	59
Figura 13 Histograma de diseño para un PR de 50 años	59
Figura 14 Modelo HEC-HMS	60
Figura 15 Modelo topográfico de la zona.....	60
Figura 16 Modelo HEC-RAS.....	61
Figura 17 Zonas de inundación.....	61
Figura 18 Cartografía de inundación PR50 años	62
Figura 19 Registro de precipitaciones máximas	63
Figura 20 Modelo Kriging	64
Figura 21 Modelo HEC-HMS	65
Figura 22 Mapa de inundación.....	65
Figura 23 Área de estudio.....	78
Figura 24 Hidroesta – Distribución Normal	86
Figura 25 Hidroesta – Distribución Log Normal 2P	87
Figura 26 Hidroesta – Distribución Log Normal 3P	88
Figura 27 Hidroesta – Distribución Gamma 2P	89
Figura 28 Hidroesta – Distribución Gamma 3P	90
Figura 29 Hidroesta – Distribución Gumbel	91
Figura 30 Hidroesta – Distribución Log-Gumbel	92

RESUMEN

La tesis aborda la problemática de las inundaciones, un fenómeno natural que se ha vuelto más frecuente y devastador debido al cambio climático. El principal objetivo del estudio fue desarrollar un modelo predictivo que permita identificar las áreas de inundación en el casco urbano de San Rafael, utilizando herramientas de simulación hidrológica e hidráulica.

La metodología empleada incluyó la recopilación de datos topográficos y pluviométricos, así como la aplicación de modelos hidrológicos para simular el comportamiento de las cuencas del río Huallaga. Se utilizó software especializado, como ArcGIS y HEC-HMS, para identificar las zonas más vulnerables a inundaciones. Los resultados alcanzados según los objetivos planteados fueron significativos: se logró analizar los parámetros geomorfológicos de la cuenca, determinando que las características del terreno influyen en la dinámica de las inundaciones. Además, se compararon las precipitaciones máximas en la cuenca utilizando herramientas de análisis, lo que permitió establecer un perfil de riesgo más preciso.

El caudal máximo instantáneo fue simulado para un periodo de retorno de 50 años, revelando que las áreas cercanas a los ríos y quebradas son las más propensas a inundaciones. Entre las conclusiones más relevantes, se destaca la importancia de implementar modelos predictivos en la planificación urbana y la gestión de riesgos de inundación. La investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de riesgos, sugiriendo la necesidad de desarrollar estrategias de mitigación, como la construcción de infraestructuras de defensa contra inundaciones y la implementación de medidas de adaptación. En resumen, esta tesis no solo contribuye al conocimiento técnico sobre la predicción de inundaciones, sino que también ofrece herramientas prácticas para proteger la vida y el patrimonio de los habitantes de San Rafael, Huánuco.

Palabras clave: Inundación, Simulación hidrológica, ArcGIS, HEC-HMS y Zonas de riesgo.

ABSTRACT

The thesis addresses the issue of flooding, a natural phenomenon that has become more frequent and devastating due to climate change. The main objective of the study was to develop a predictive model to identify flood-prone areas in the urban core of San Rafael, using hydrological and hydraulic simulation tools.

The methodology involved collecting topographic and pluviometric data, as well as applying hydrological models to simulate the behavior of the Huallaga River basins. Specialized software, such as ArcGIS and HEC-HMS, was utilized to identify the most vulnerable areas to flooding. The results achieved, aligned with the study's objectives, were significant: the geomorphological parameters of the basin were analyzed, revealing that the terrain's characteristics influence flood dynamics. Additionally, maximum precipitation levels in the basin were compared using analytical tools, enabling the establishment of a more precise risk profile.

The maximum instantaneous flow rate was simulated for a 50-year return period, showing that areas near rivers and streams are the most prone to flooding. Among the most relevant conclusions, the study highlights the importance of implementing predictive models in urban planning and flood risk management. The research provides a solid foundation for decision-making in risk management, suggesting the need to develop mitigation strategies such as constructing flood defense infrastructure and implementing adaptation measures.

In summary, this thesis not only contributes to technical knowledge on flood prediction but also offers practical tools to protect the lives and assets of the residents of San Rafael, Huánuco.

Keywords: Flooding, Hydrological simulation, ArcGIS, HEC-HMS, Risk zones.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones representan uno de los desastres naturales más devastadores a nivel mundial, con un impacto significativo en la vida humana, la infraestructura, la economía y el medio ambiente. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las inundaciones son responsables de la pérdida de millones de vidas y bienes materiales anualmente. En los últimos años, el cambio climático ha incrementado la frecuencia y magnitud de estos eventos extremos, lo que ha obligado a las naciones a priorizar la gestión de riesgos de inundación como parte de su planificación y respuesta ante emergencias. La tecnología ha jugado un papel crucial en este ámbito, destacándose herramientas como la simulación hidráulica e hidrológica que permiten predecir y mapear áreas susceptibles a inundaciones, facilitando la toma de decisiones y el diseño de medidas de mitigación efectivas.

En el contexto peruano, las inundaciones son recurrentes, especialmente en la región amazónica, donde la cuenca del río Huallaga se ha visto afectada por eventos hidrológicos severos. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), entre 2010 y 2020, las inundaciones en Perú afectaron a más de 1.2 millones de personas y causaron pérdidas económicas superiores a los 3,000 millones de soles. La localidad de San Rafael, ubicada en el departamento de Huánuco y parte de la cuenca del río Huallaga, es una de las zonas más vulnerables a estos fenómenos debido a su ubicación geográfica y la falta de infraestructura adecuada para la gestión de riesgos.

El presente estudio se enfoca en la simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando los softwares ArcGIS y HEC-HMS con el objetivo de identificar y delimitar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael, Huánuco. Esta investigación busca proporcionar herramientas técnicas que permitan predecir el comportamiento del río bajo diferentes escenarios climáticos y hidráulicos, y así ofrecer soluciones para la planificación territorial, la gestión de riesgos y la protección de la comunidad.

La metodología propuesta emplea modelos de simulación para analizar los parámetros geomorfológicos, las precipitaciones máximas y los caudales

máximos de la cuenca del río Huallaga. Se utilizarán datos históricos de precipitación y caudal para calibrar los modelos, los cuales serán implementados en ArcGIS para generar mapas topográficos y en HEC-HMS para realizar simulaciones hidrológicas. Los resultados obtenidos permitirán identificar las áreas más vulnerables a las inundaciones y aportar información clave para la gestión del riesgo de desastres.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo al contexto internacional, la inundación es uno de los desastres naturales más frecuentes y devastadores a nivel mundial. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las inundaciones afectan anualmente a millones de personas y causan pérdidas económicas significativas, estimadas en miles de millones de dólares (Organización de las Naciones Unidas, 2020). El cambio climático ha exacerbado la frecuencia y severidad de las inundaciones debido al aumento del nivel del mar y patrones climáticos más extremos. La gestión de riesgos de inundación se ha convertido en una prioridad global, y la simulación hidráulica e hidrológica se ha destacado como una herramienta crucial para la identificación y mitigación de áreas propensas a inundaciones.

En Perú, las inundaciones son una amenaza constante, especialmente en la región amazónica y la cuenca del río Huallaga. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), entre 2010 y 2020, las inundaciones en Perú afectaron a más de 1.2 millones de personas y causaron daños económicos superiores a los 3,000 millones de soles (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2021). La necesidad de herramientas precisas para predecir y gestionar estas inundaciones es crítica. El uso de tecnologías avanzadas como ArcGIS y HEC-HMS ha demostrado ser efectivo para mapear y prever áreas de riesgo, proporcionando información vital para la planificación y respuesta ante emergencias.

La localidad de San Rafael, en el departamento de Huánuco, es particularmente vulnerable a las inundaciones debido a su ubicación en la cuenca del río Huallaga. Las características geográficas y climáticas de la zona, junto con la falta de infraestructura adecuada, agravan el riesgo de inundaciones. Un estudio reciente realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en 2022 destacó que las inundaciones en San Rafael han aumentado en frecuencia y severidad en los últimos años, afectando tanto a

las áreas urbanas como rurales. La implementación de un modelo de simulación hidráulica e hidrológica utilizando ArcGIS y HEC-HMS puede ofrecer una solución eficiente para identificar y mitigar las áreas propensas a inundaciones (Autoridad Nacional del Agua, 2022).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo podemos determinar las áreas susceptibles a inundaciones a lo largo del río Huallaga en la localidad de San Rafael – Huánuco mediante la simulación hidráulica e hidrológica utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS?

1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huallaga mediante la aplicación del software ArcGIS?

¿Cuáles son las precipitaciones máximas en la cuenca del río Huallaga utilizando las herramientas de análisis de Hidroesta y Microsoft Excel?

¿Cuál es el caudal máximo instantáneo mediante la simulación hidrológica utilizando el software HEC-HMS para un período de retorno de 50 años en la cuenca del río Huallaga?

¿Cómo representar las áreas propensas a inundaciones en la región de estudio, teniendo en cuenta un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Huallaga?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga para la delimitación de áreas inundables utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS, en la localidad de San Rafael – Huánuco.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huallaga mediante la aplicación del software ArcGIS.

Realizar una comparativa de las precipitaciones máximas en la cuenca del río Huallaga utilizando las herramientas de análisis de Hidroesta y Microsoft Excel.

Calcular el caudal máximo instantáneo a través de la simulación hidrológica utilizando el software HEC-HMS para un período de retorno de 50 años.

Elaborar un mapa topográfico que muestre las áreas propensas a inundaciones en la región de estudio, considerando un periodo de retorno de 50 años.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Se justifica por su contribución a la gestión de riesgos de inundación en una región vulnerable. La simulación hidráulica e hidrológica proporciona una metodología precisa para evaluar y predecir inundaciones, permitiendo la identificación de áreas de alto riesgo. El uso de software como ArcGIS permite el análisis espacial detallado de datos geográficos, mientras que HEC-HMS ofrece la capacidad de modelar escenarios hidrológicos con precisión. Esto es crucial para entender la dinámica de inundación en la cuenca del río Huallaga y tomar medidas preventivas y correctivas. Dada la exposición directa de la localidad de San Rafael - Huánuco a los riesgos de inundación, esta investigación proporcionará información crucial para la planificación urbana y la toma de decisiones en la gestión del agua y el desarrollo sostenible. En resumen, la tesis aborda una necesidad apremiante en la gestión del riesgo de inundación, ofreciendo un enfoque científico y tecnológico para mitigar los impactos de este fenómeno natural en la comunidad local.

1.5.2 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Presenta una justificación práctica al ofrecer herramientas y conocimientos que pueden aplicarse directamente para la gestión del riesgo de inundación en la localidad mencionada. Mediante la simulación hidráulica e hidrológica, utilizando software especializado como ArcGIS y HEC-HMS, se pueden identificar áreas específicas que son propensas a inundaciones, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones en la planificación urbana, la gestión del territorio y la reducción de riesgos. Esta investigación ayudará a las autoridades locales y a los planificadores a desarrollar estrategias de mitigación de riesgos más efectivas, como la construcción de infraestructuras de defensa contra inundaciones y la implementación de medidas de adaptación. Además, al proporcionar una evaluación detallada de las áreas de inundación potencial, esta tesis permitirá una respuesta más rápida y eficiente ante eventos extremos de precipitación, protegiendo así la vida y el patrimonio de los habitantes de San Rafael - Huánuco.

1.5.3 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se justifica metodológicamente al emplear una combinación de herramientas y técnicas ampliamente reconocidas en el campo de la hidrología y la geomática. El uso de software como ArcGIS y HEC-HMS proporciona un enfoque sistemático y robusto para la delimitación de áreas de inundación, permitiendo la integración de datos geospaciales, topográficos e hidrológicos en un entorno de modelado hidráulico. La metodología propuesta implicará la recopilación y procesamiento de datos geográficos y climáticos pertinentes, la creación de modelos hidrológicos y la simulación de escenarios de inundación. Además, se realizarán validaciones cruzadas y análisis de sensibilidad para garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Este enfoque metodológico proporcionará una base sólida para la investigación y permitirá la generación de información precisa y útil para la gestión del riesgo de inundación en la localidad de San Rafael - Huánuco.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones de la investigación pueden incluir la disponibilidad y calidad de los datos topográficos e hidrológicos, la complejidad y simplificación del modelo hidráulico e hidrológico, posibles limitaciones de funcionalidad en el software ArcGIS y HEC-HMS, la influencia de factores externos como eventos climáticos extremos imprevistos, y la dificultad en la validación de resultados con datos observados, lo que podría comprometer la precisión y fiabilidad de las predicciones de inundación obtenidas en el trabajo de investigación.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad de la tesis sobre la simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga es alta debido a la disponibilidad de software avanzado como ArcGIS y HEC-HMS, que son herramientas accesibles y reconocidas para modelar y analizar dinámicas fluviales y de inundación. Además, la colaboración con entidades locales y la posible obtención de datos a través de instituciones gubernamentales y académicas aumentan la factibilidad de adquirir los datos necesarios. Este proyecto también es viable debido al interés creciente en la gestión de riesgos naturales, lo que podría facilitar el soporte y la financiación por parte de organismos interesados en la mitigación de desastres.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Rojas & Jiménez (2021) en su revista titulado *"Pronóstico de las áreas de inundación en el casco urbano del Municipio De Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la Cuenca Quebrada Negra Y Río Negro"*. se llevó a cabo en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia. El principal objetivo del estudio fue desarrollar un modelo predictivo para identificar las áreas de inundación en el casco urbano de Útica bajo diferentes periodos de retorno, utilizando herramientas de simulación hidrológica e hidráulica. La metodología del estudio incluyó la recopilación de datos topográficos y pluviométricos, el uso de modelos hidrológicos para simular el comportamiento de las cuencas Quebrada Negra y Río Negro, y la aplicación de software especializado para la identificación de áreas propensas a inundaciones. Este proyecto se llevará a cabo en el barrio La Vainilla, una de las áreas con mayor vulnerabilidad dentro de la ciudad de Villavicencio. Los resultados del estudio indicaron que las zonas más vulnerables a inundaciones en el casco urbano de Útica varían significativamente con los diferentes periodos de retorno analizados, destacándose que las áreas cercanas a los ríos y quebradas presentan mayor riesgo de inundación. Las conclusiones del estudio subrayaron la importancia de utilizar modelos predictivos para la planificación urbana y la gestión de riesgos de inundación, y recomendaron la implementación de medidas de mitigación y adaptación para reducir el impacto de estos eventos en la comunidad local. Esta investigación no solo contribuye al conocimiento técnico sobre la predicción de inundaciones, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la gestión de riesgos en áreas urbanas vulnerables.

Segura & Vargas (2022) en su tesis titulado *"Determinación de las zonas de inundación del caño Maizaro, en el tramo del barrio La Vainilla, Villavicencio-Meta, por medio de los softwares HEC-RAS y HEC-HMS"*, fue desarrollado en la Universidad de la Salle, Colombia. El principal objetivo del estudio fue identificar las zonas propensas a inundaciones en el tramo del caño Maizaro, específicamente en el barrio La Vainilla de Villavicencio, utilizando los softwares de modelación hidráulica e hidrológica HEC-RAS y HEC-HMS. Para lograr este objetivo, los investigadores llevaron a cabo una serie de pasos metodológicos detallados. Primero, recopilaron y analizaron datos topográficos y de precipitación de la cuenca del caño Maizaro. Utilizando HEC-HMS, modelaron la respuesta hidrológica de la cuenca a diversos eventos de precipitación, generando hidrogramas de entrada para diferentes escenarios de lluvia. Posteriormente, implementaron HEC-RAS para simular el comportamiento hidráulico del caño Maizaro, utilizando los hidrogramas generados para prever el flujo del agua a lo largo del tramo estudiado. Este proyecto se llevará a cabo en el barrio La Vainilla, una de las áreas con mayor vulnerabilidad dentro de la ciudad de Villavicencio. Los resultados obtenidos del estudio revelaron que varias áreas del barrio La Vainilla son altamente vulnerables a inundaciones durante eventos de precipitación intensa. Los mapas de inundación generados a partir de las simulaciones mostraron que ciertas zonas podrían experimentar niveles de agua que superan los límites de seguridad establecidos, lo que representa un riesgo significativo para los residentes y las infraestructuras locales. Los investigadores concluyeron que la combinación de HEC-HMS y HEC-RAS es una herramienta poderosa y eficaz para la identificación y gestión de riesgos de inundación. Además, recomendaron la implementación de medidas de mitigación específicas, como la mejora de la infraestructura de drenaje y la creación de zonas de almacenamiento temporal de aguas pluviales, para reducir el impacto de futuras inundaciones en el barrio La Vainilla. Este estudio destaca la importancia de utilizar tecnologías avanzadas en la planificación urbana y la gestión de desastres naturales, subrayando

la necesidad de acciones proactivas para proteger a las comunidades vulnerables en áreas propensas a inundaciones.

Méndez & Vásquez (2021) en su tesis titulado *"Modelación hidrológica E hidráulica de la cuenca del Río Machángara para evaluar zonas de inundación."* en la Universidad de Cuenca, Ecuador, se planteó el objetivo de desarrollar un modelo preciso para identificar y evaluar las áreas propensas a inundaciones en la cuenca del río Machángara. Para lograr este objetivo, los autores emplearon una metodología que combinó técnicas de modelación hidrológica e hidráulica utilizando los programas HEC-HMS y HEC-RAS. La modelación hidrológica con HEC-HMS permitió simular el comportamiento del caudal del río Machángara a partir de datos históricos de precipitación y escurrimiento. Posteriormente, los resultados obtenidos se integraron en el modelo hidráulico de HEC-RAS para analizar el flujo del río y predecir las áreas susceptibles a inundaciones. Tuvo como población y muestra la cuenca del río Machángara. Los resultados mostraron que las zonas más vulnerables a inundaciones se ubicaban principalmente en áreas urbanas y rurales cercanas al cauce del río, identificando varios puntos críticos con alta probabilidad de inundación. Las conclusiones del estudio resaltaron la efectividad de la combinación de HEC-HMS y HEC-RAS para la evaluación de riesgos de inundación, subrayando la importancia de utilizar estos modelos para la planificación y gestión del territorio. La investigación recomendó la implementación de medidas preventivas y estructurales para mitigar los efectos de las inundaciones en la cuenca del río Machángara, así como la necesidad de actualizar continuamente los datos hidrológicos e hidráulicos para mantener la precisión de los modelos y mejorar la capacidad de respuesta ante eventos de inundación futuros. Esta tesis aporta significativamente al conocimiento y gestión del riesgo de inundaciones en Ecuador, ofreciendo una metodología robusta y replicable para estudios similares en otras cuencas.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Esquives & Velazco (2023) en su tesis titulado *"Modelamiento hidrológico e hidráulico para sistema de alerta temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal, provincia de Huarmey - 2021."* fue desarrollado en la Universidad Nacional del Santa, Perú. El principal objetivo del estudio fue diseñar y implementar un sistema de alerta temprana para inundaciones en la Quebrada Pedregal, ubicada en la provincia de Huarmey, utilizando el software de modelación hidrológica e hidráulica HEC-HMS. La metodología del estudio incluyó la recopilación y análisis de datos hidrometeorológicos y topográficos de la cuenca de la Quebrada Pedregal. Utilizando HEC-HMS, los investigadores modelaron la respuesta hidrológica de la cuenca a eventos de precipitación significativos, generando hidrogramas que representaban el flujo de agua en diversos escenarios de lluvia. Estos hidrogramas fueron luego empleados para calibrar y validar el modelo, asegurando su precisión y fiabilidad. El estudio se centró en la Quebrada Pedregal, ubicada en una subcuenca de la Cuenca Huarmey, cuya proximidad a zonas pobladas y agropecuarias la hace vulnerable a inundaciones causadas por precipitaciones que superan la capacidad hidráulica de la red fluvial. Se evaluó in situ el cauce principal hasta su desembocadura en el río Huarmey. La muestra, seleccionada de forma no probabilística e intencional, consideró la cercanía a centros poblados, la extensión de la cuenca, el tamaño de las redes fluviales y las áreas inundables que impactan a las comunidades locales. Los resultados del estudio mostraron que la Quebrada Pedregal tiene una alta susceptibilidad a inundaciones durante eventos de precipitación intensa, con áreas específicas identificadas como particularmente vulnerables. El modelamiento permitió generar mapas de riesgo de inundación y establecer umbrales críticos para la emisión de alertas tempranas. Las conclusiones del estudio subrayaron la eficacia del software HEC-HMS para el modelamiento hidrológico en cuencas complejas y su utilidad en la implementación de sistemas de alerta temprana. Los investigadores recomendaron la instalación de estaciones meteorológicas automáticas

y sensores de nivel de agua en puntos estratégicos de la cuenca para mejorar la capacidad de monitoreo y respuesta ante eventos de inundación. Además, destacaron la importancia de la educación y capacitación de la comunidad local en la interpretación y reacción ante las alertas emitidas por el sistema. Este estudio demuestra el valor de integrar tecnologías avanzadas en la gestión de riesgos de desastres y la protección de comunidades vulnerables frente a las amenazas naturales.

Vargas (2022) en su tesis titulado *"Identificación de áreas en riesgo de inundación por el río Huanta, a un kilómetro aguas abajo del puente Huanta sector Accoscca - 2020"*, fue desarrollado en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú. El objetivo principal del estudio fue identificar las áreas en riesgo de inundación a lo largo de un kilómetro del río Huanta, aguas abajo del puente Huanta, en el sector Accoscca. Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo una metodología que incluyó la recopilación y análisis de datos topográficos y de flujo del río. Utilizando herramientas de modelación hidrológica e hidráulica, se simuló el comportamiento del río Huanta bajo diferentes escenarios de flujo. Específicamente, se emplearon datos de caudales históricos y se modelaron diferentes eventos de precipitación para identificar las áreas susceptibles a inundaciones. Contiene como muestra la cuenca del río Huanta, a un kilómetro aguas abajo del puente Huanta, sector Accoscca. Los resultados de la investigación revelaron que existen varias zonas críticas a lo largo del kilómetro estudiado que presentan un alto riesgo de inundación, especialmente durante eventos de lluvias intensas. Los mapas generados a partir de las simulaciones mostraron que el sector Accoscca es particularmente vulnerable, con áreas donde el agua puede superar los niveles de seguridad y afectar a la población y la infraestructura local. Las conclusiones del estudio subrayaron la efectividad de la modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de riesgos de inundación y recomendaron la implementación de medidas preventivas y de mitigación para proteger a las comunidades locales. Entre estas medidas, se sugirió la mejora de la

infraestructura de drenaje y la implementación de sistemas de alerta temprana para minimizar el impacto de posibles inundaciones futuras. El estudio de Vargas Ñaupá destacó la importancia de utilizar tecnologías avanzadas y análisis detallados para la gestión de riesgos de desastres naturales, enfatizando la necesidad de una planificación proactiva y la adopción de estrategias integrales para proteger a las áreas vulnerables del río Huanta.

Villalobos (2021) en su tesis titulado "*Estudio de inundación por efectos del desborde del Río Amojú, aplicando los modelos matemáticos HEC-RAS y HEC-HMS en la ciudad de Jaén, distrito de Jaén provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.*" Desarrollado en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, tuvo como objetivo principal estudiar la inundación causada por el desborde del Río Amojú en la ciudad de Jaén, distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Para lograr este objetivo, se aplicaron modelos matemáticos HEC-RAS y HEC-HMS para simular el comportamiento hidráulico e hidrológico del río en diferentes escenarios de inundación. La investigación abarcó diversas cuencas de la provincia de Jaén, utilizando información recopilada físicamente y a través de modelos digitales de elevación. La muestra seleccionada fue la cuenca del río Amojú, ubicada en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, en el departamento de Cajamarca. Los resultados obtenidos permitieron identificar las áreas vulnerables a inundaciones y evaluar el riesgo asociado a eventos extremos de desborde del río. Las conclusiones del estudio resaltan la importancia de contar con herramientas de modelado hidráulico para la gestión del riesgo de inundación y la planificación territorial en áreas vulnerables. Se destaca la necesidad de implementar medidas de prevención y mitigación, así como de promover la concientización y la participación comunitaria en la reducción del riesgo de inundación. En resumen, el estudio proporciona una herramienta valiosa para la protección de la población y la infraestructura frente a eventos de desborde del Río Amojú, ofreciendo una base sólida para la implementación de acciones de adaptación y resiliencia en la ciudad de

Jaén y otras áreas vulnerables a inundaciones en la región de Cajamarca.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PRINCIPIOS DE LA HIDROLOGÍA

La hidrología se enfoca en el estudio de la distribución, circulación y comportamiento del agua tanto en la superficie terrestre como subterránea. Esto incluye el ciclo hidrológico, que abarca procesos como la evaporación, la precipitación, la escorrentía y la infiltración, regulados por factores como el clima, la topografía, la geología y el uso del suelo. (Viessman , Warren, & Lewis, 2013.)

2.2.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de movimiento y redistribución del agua en la Tierra, desde la evaporación hasta la precipitación, la infiltración, la recarga de acuíferos y la transpiración de las plantas, impulsado por la energía solar y la gravedad, esencial para el equilibrio hídrico y la vida en el planeta. (Viessman , Warren, & Lewis, 2013.)

2.2.1.2 LA CAPTACIÓN DE AGUA

La captación de agua es crucial en el ciclo hidrológico, consistiendo en recolectar y acumular agua de lluvia o escorrentía en diversas estructuras. Este proceso permite el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico para actividades como consumo doméstico, agricultura, industria y generación de energía, operando a escalas que van desde sistemas individuales hasta comunitarios o a nivel de cuenca hidrográfica. (Ward, R.C., 2000)

Existen diversos métodos y tecnologías para captar agua, adaptados a las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas de cada región. Uno de los más comunes es la captación de agua de lluvia mediante techos o superficies

impermeables que la dirigen hacia sistemas de recolección, como tanques o cisternas. Estos sistemas pueden ser simples, como barriles bajo desagües de techos, o complejos, como sistemas subterráneos de gran capacidad. (Ward, R.C., 2000)

Las presas y embalses son métodos de captación de agua que permiten almacenar grandes volúmenes para usos como riego, energía hidroeléctrica, abastecimiento urbano o control de inundaciones. Su diseño y tamaño varían según el propósito, requiriendo estudios detallados de ingeniería e impacto ambiental. (Ward, R.C., 2000)

Además de la captación de agua superficial, también se puede captar agua subterránea a través de la construcción de pozos o galerías filtrantes. Estos métodos son especialmente importantes en regiones donde el acceso al agua superficial es limitado o poco confiable, y pueden proporcionar un suministro constante de agua para comunidades rurales o urbanas. (Ward, R.C., 2000)

La captación de agua abarca la recolección física y la gestión de su calidad y cantidad. Es crucial filtrar y purificar el agua para asegurar su potabilidad, además de implementar medidas sostenibles para prevenir la sobreexplotación y proteger los ecosistemas acuáticos. (Ward, R.C., 2000)

En resumen, la captación de agua es un proceso esencial para garantizar el acceso a un recurso vital para la vida y el desarrollo humano. Mediante una variedad de métodos y tecnologías, se puede recolectar y almacenar agua de lluvia o escorrentía para su uso en diversas actividades humanas, contribuyendo así a la seguridad hídrica y el bienestar de las comunidades en todo el mundo. (Ward, R.C., 2000)

2.2.1.3 LA ESCORRENTÍA

La escorrentía es el flujo superficial de agua que se produce cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo o en terrenos impermeables. Este flujo forma arroyos, ríos y llega a cuerpos de agua mayores. Puede ser difusa, cuando el agua fluye uniformemente sobre el suelo saturado, o concentrada, acumulándose en surcos naturales o artificiales. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

La escorrentía está determinada por la intensidad y duración de la lluvia, la pendiente del terreno, la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal y la presencia de estructuras como carreteras o edificaciones que alteran el flujo natural del agua. En entornos urbanos, con más superficies impermeables debido a la urbanización, la escorrentía suele ser rápida y concentrada, lo que puede causar inundaciones repentinas y problemas de drenaje (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013).

Existen varios tipos de escorrentía según las características del terreno y la precipitación. La escorrentía superficial se mueve sobre el suelo sin infiltrarse, mientras que la escorrentía subsuperficial fluye debajo de la capa superficial y puede alimentar arroyos y manantiales. La escorrentía de base es el flujo constante de ríos alimentado por aguas subterráneas, y la escorrentía de tormenta se refiere al aumento temporal del flujo durante lluvias intensas (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013).

El estudio y la cuantificación de la escorrentía son fundamentales para comprender y predecir los procesos hidrológicos en una cuenca hidrográfica, así como para la gestión del agua y la planificación del uso del suelo. Esto incluye la evaluación de los riesgos de inundación, la gestión de recursos hídricos, la planificación urbana y la conservación del medio

ambiente. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

En resumen, la escorrentía es un proceso clave en el ciclo hidrológico que implica el flujo de agua superficial sobre la superficie del suelo, influenciado por una variedad de factores ambientales y antropogénicos. Su estudio es fundamental para comprender y gestionar los recursos hídricos de manera sostenible y mitigar los riesgos asociados con eventos extremos de precipitación. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

2.2.1.4 LA INFILTRACIÓN

La infiltración es clave en el ciclo hidrológico al permitir que el agua penetre desde la superficie del suelo hacia capas más profundas. Esto es vital para la recarga de acuíferos y la sustentación de manantiales, arroyos y ríos en épocas secas mediante la absorción del agua proveniente de la lluvia y otras precipitaciones. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

La tasa de infiltración varía según la textura, estructura del suelo, contenido de humedad, vegetación, pendiente del terreno e intensidad de la lluvia. Suelos arenosos y sueltos facilitan una mayor infiltración, permitiendo que el agua pase fácilmente, mientras que suelos arcillosos y compactos suelen tener menor permeabilidad y, por lo tanto, menor tasa de infiltración. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

La infiltración varía dinámicamente según el tiempo y el espacio. Durante una tormenta, puede aumentar al saturarse el suelo, pero también puede reducirse por compactación o capas impermeables de sedimentos u orgánicos. La vegetación puede mitigar este efecto al romper la fuerza de la lluvia y favorecer la

penetración del agua en el suelo. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

El estudio de la infiltración es crucial para la gestión efectiva de los recursos hídricos. La capacidad del suelo para infiltrar agua afecta la disponibilidad de agua subterránea y la recarga de manantiales y ríos. Además, la infiltración juega un papel importante en la erosión del suelo y la calidad del agua, al transportar nutrientes y contaminantes hacia capas subterráneas. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

2.2.2 RELACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES Y LOS CAUDALES DEL RÍO

La relación entre las precipitaciones y los caudales de los ríos es crucial en hidrología, ya que las precipitaciones son la principal fuente de agua para ríos y cuerpos de agua superficiales. Parte de esta precipitación se convierte en escorrentía, alimentando los caudales de ríos y arroyos. Esta conexión es fundamental para entender cómo los eventos meteorológicos afectan el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua en una región específica. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

La cantidad de agua que llega a un río por la precipitación depende de factores como la intensidad y duración de la lluvia, la distribución espacial de la precipitación en la cuenca, y la capacidad de infiltración del suelo. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

La relación entre precipitaciones y caudales de ríos varía según la geografía y características de la cuenca. En regiones estacionales, con periodos de lluvias intensas seguidos de sequías, se observan fluctuaciones estacionales en los caudales, con crecidas y descensos. En cuencas montañosas, las precipitaciones pueden generar crecidas rápidas debido al drenaje veloz de laderas y acumulación en valles. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

El estudio de la relación entre precipitaciones y caudales de ríos es crucial para la gestión de recursos hídricos y planificación del uso del suelo. Modelos hidrológicos y herramientas de pronóstico permiten prever el impacto de cambios en las precipitaciones en los caudales, orientando decisiones sobre gestión del agua, prevención de inundaciones y planificación de infraestructuras hidráulicas. (Viessman , Warren, & Lewis, Introduction to Hydrology, 2013)

2.2.3 GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL

La geomorfología fluvial estudia la forma y evolución de los ríos y sus sistemas de drenaje, analizando cómo interactúan con el paisaje y cómo los procesos geológicos y climáticos influyen en su desarrollo a largo plazo. Los ríos, como sistemas dinámicos, modelan activamente su entorno mediante erosión, transporte y deposición de sedimentos, lo que resulta en diversas formas y características geomorfológicas. (Montgomery, 1997.)

En geomorfología fluvial, la red de drenaje es esencial y se refiere al patrón de ríos y arroyos que conforman una cuenca hidrográfica, influenciados por factores como geología, topografía, clima y historia geológica. La morfología del río se forma por procesos erosivos que desgastan el paisaje y procesos de deposición que modelan su canal y entorno. (Montgomery, 1997.)

Los ríos desarrollan diversas características geomorfológicas, desde valles amplios y planos en llanuras hasta cañones profundos en montañas, formadas por erosión (abrasión, corrosión, hidrólisis) y la deposición de sedimentos. Ejemplos comunes incluyen meandros, terrazas fluviales, llanuras de inundación, deltas y barrancos. (Montgomery, 1997.)

La geomorfología fluvial es crucial para aplicaciones como gestión de recursos hídricos, prevención de inundaciones, restauración de ecosistemas y planificación del uso del suelo. Estudios en este campo identifican zonas vulnerables a erosión o inundación y guían la ubicación

óptima de infraestructuras hidráulicas como presas, canales y puentes. (Montgomery, 1997.)

2.2.4 FUNDAMENTOS DE LA MODELIZACIÓN HIDRÁULICA E HIDROLÓGICA

La modelización hidráulica e hidrológica son fundamentales para entender y predecir el comportamiento del agua en el medio ambiente, orientando la gestión de recursos hídricos y la planificación del uso del suelo. La hidráulica estudia los flujos en ríos y cuerpos de agua, mientras que la hidrología abarca el ciclo del agua en la superficie, incluyendo precipitación, escorrentía, infiltración, evaporación y transpiración. (Singh, 2006)

En la modelización hidráulica e hidrológica, el balance hídrico es esencial, representando la relación entre las entradas y salidas de agua en un sistema. Se utiliza la ecuación de continuidad, donde la cantidad de agua que entra es igual a la que sale más cualquier cambio en el almacenamiento. Este principio permite comprender la distribución del agua y cómo varía con el tiempo debido a factores como la precipitación, evaporación y flujo subterráneo. (Singh, 2006)

En la modelización hidráulica e hidrológica, se emplean modelos matemáticos para simular el comportamiento del agua en el medio ambiente, desde simples conceptuales hasta avanzados numéricos que consideran múltiples variables y procesos. Los modelos hidráulicos predicen el flujo en ríos, arroyos y el impacto de inundaciones, evaluando medidas como presas. Los modelos hidrológicos estiman la disponibilidad de agua, riesgo de inundaciones, diseñan drenajes urbanos y predicen efectos del cambio climático en recursos hídricos. (Singh, 2006)

La precisión de los datos en la modelización hidráulica e hidrológica es crucial. Incluyen mediciones de precipitación, caudales de ríos, niveles de agua subterránea, suelo y vegetación, obtenidos por estaciones meteorológicas, hidrológicas, sensores remotos y técnicas de

muestreo. Estos datos deben ser precisos para calibrar y validar modelos, asegurando resultados confiables para la toma de decisiones. (Singh, 2006)

2.2.5 SOFTWARE ARCGIS

ArcGIS, desarrollado por Esri, es un sistema de información geográfica (SIG) utilizado para capturar, gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales. Es ampliamente empleado en cartografía, planificación urbana, gestión de recursos naturales, agricultura, emergencias, y más. ArcGIS ofrece herramientas avanzadas para trabajar eficientemente con datos geoespaciales y realizar análisis complejos. (Bolstad, 2005)

ArcGIS destaca por su capacidad para integrar datos geoespaciales de diversas fuentes y formatos, como imágenes satelitales, mapas escaneados, GPS y bases de datos tabulares. Esto facilita a los usuarios combinar datos en un entorno único y utilizar herramientas avanzadas para limpiar, transformar y analizar eficientemente los datos. (Bolstad, 2005)

ArcGIS permite crear mapas y visualizaciones de alta calidad con opciones de diseño y estilo personalizables. Los usuarios pueden seleccionar símbolos, colores, etiquetas y estilos de línea, además de crear mapas interactivos y aplicaciones web mediante las capacidades de publicación en línea, facilitando compartir resultados con colegas y el público. (Bolstad, 2005)

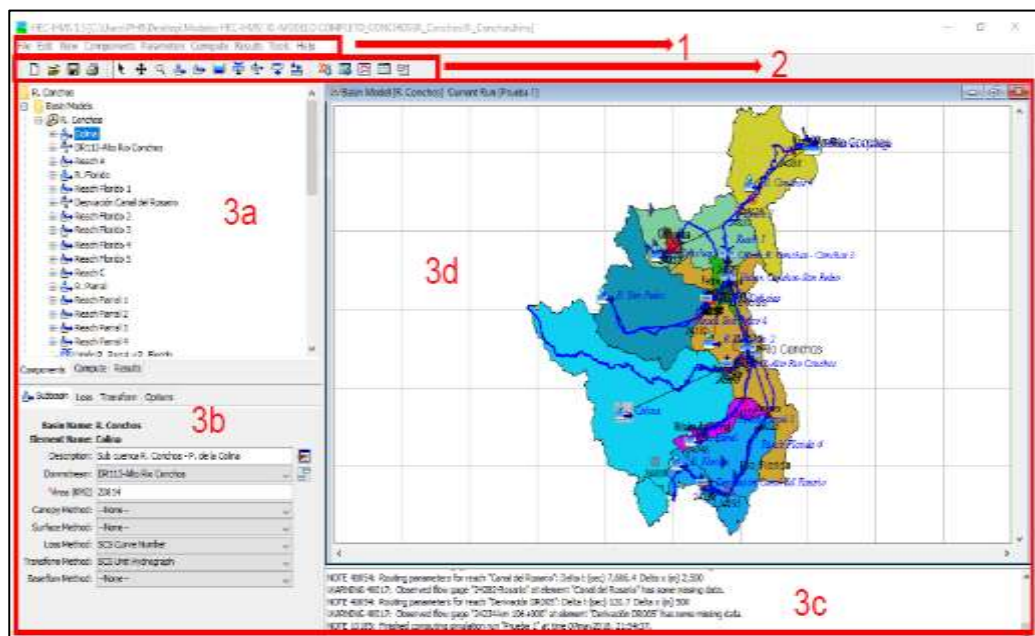
ArcGIS se destaca por su análisis espacial avanzado, ofreciendo herramientas y algoritmos para realizar una variedad de análisis geoespaciales, como proximidad, interpolación, modelado de superficies y análisis de redes. Estas capacidades permiten a los usuarios realizar análisis complejos para entender patrones espaciales y relaciones entre elementos geográficos. (Bolstad, 2005)

2.2.6 SOFTWARE HEC-HMS

HEC-HMS es un software diseñado para modelar procesos hidrológicos comunes en cuencas. Su manual está destinado a guiar a usuarios nuevos, dado que el programa es de distribución gratuita, su uso puede presentar desafíos sin una comprensión adecuada de las instrucciones de trabajo. No está optimizado para trabajar en red, lo cual puede complicar su utilización si no se siguen los pasos detallados en el manual, que incluye correcciones de errores comunes identificados durante cursos en la Escuela de Ingeniería de Caminos de Barcelona en 2003-2004 para mejorar la eficiencia de los nuevos usuarios (Hernández & Patiño, 2018).

Figura 1

Interfaz del usuario del HEC-HMS



Fuente: (Hernández Romero & Patiño Gómez, 2018)

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Simulación: Es el proceso de imitar el comportamiento de un sistema real a través de un modelo matemático. (Singh, Hydrology: Principles, Analysis, and Design., 2006)

Simulación hidráulica: Implica la recreación computarizada de flujos de agua en sistemas naturales o contruidos, permitiendo prever su comportamiento ante diferentes condiciones. (Chow, 1988)

Delimitación: Es el proceso de definir los límites o fronteras de una determinada área geográfica o entidad. (Burt, 2009)

Áreas inundables: Son zonas propensas a la inundación durante eventos climáticos extremos o por desbordamiento de cuerpos de agua. (Ambiente, 2010)

ArcGIS: Es un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite la gestión, análisis y visualización de datos espaciales para la toma de decisiones. (Informática, Guía Metodológica para la Elaboración del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres, 2018)

Software HEC-HMS: Es una herramienta de modelado hidrológico que permite simular el comportamiento de cuencas hidrográficas. (Informática, Manual de Hidrología Básica y Aplicada, 2015)

Parámetros geomorfológicos: Son características físicas y topográficas del paisaje, como la pendiente del terreno, la forma de los valles y la distribución de la vegetación. (Instituto Geológico, 2015)

Precipitaciones máximas: Son los valores más altos de lluvia registrados en un área durante un periodo de tiempo específico, utilizados en el diseño de infraestructuras hidráulicas. (Perú, 2016)

Cuenca: Es un área geográfica delimitada por la topografía donde toda el agua que cae se dirige hacia un mismo punto de salida, como un río o lago. (Ambiente, Manual de Gestión Ambiental para Proyectos de Infraestructura, 2008)

Caudal máximo: Se refiere a la máxima cantidad de agua que puede pasar por un punto específico de un río en un tiempo determinado. (Instituto Geológico, Guía para la elaboración de estudios de peligros y riesgos geológicos, 2004)

Mapa topográfico: Es una representación gráfica detallada del relieve de una región, mostrando la forma y las características físicas de la superficie terrestre. (Nacional, 2017)

Inundaciones: Son eventos naturales que ocurren cuando el agua cubre áreas que normalmente están secas, causando daños a la infraestructura y a las comunidades. (Informática, 2014)

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

Ha: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024.

Ho: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS no permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024.

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Identificación de áreas propensas a inundaciones.

2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS en la localidad de San Rafael - Huánuco.

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Identificación de áreas propensas a inundaciones.	Variable dependiente	• Extensión geográfica: Se refiere al área total identificada como propensa a inundaciones en la localidad de San Rafael - Huánuco. • Nivel de riesgo: Evalúa el grado de vulnerabilidad de cada área identificada en términos de su exposición y susceptibilidad a inundaciones. • Evaluación de medidas de mitigación: Evalúa la efectividad de las medidas	• Extensión geográfica de las áreas identificadas como propensas a inundaciones. • Nivel de riesgo asociado a cada área identificada. • Coincidencia entre las áreas identificadas por la simulación y las áreas históricamente afectadas por inundaciones. • Evaluación de la efectividad de las medidas de mitigación propuestas a partir de los resultados de la simulación.	• Metros (m) para la elevación y extensión geográfica de las áreas afectadas. • Hectáreas (ha) para la superficie total inundada.	• Software especializado ArcGIS para el análisis espacial y la generación de mapas de inundación. • HEC-HMS para simular el comportamiento hidrológico de la cuenca.

		propuestas para reducir el riesgo de inundaciones, utilizando los resultados de la simulación como referencia.			
Simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS en la localidad de San Rafael - Huánuco.	Variable Independiente	• Tiempo de simulación: Se refiere al período de tiempo requerido para completar la simulación hidráulica e hidrológica. • Precisión del modelo: Evalúa la exactitud del modelo en la representación de la cuenca del río Huallaga y sus características hidrológicas. • Capacidad del software: Se refiere a la eficacia y funcionalidad del software ArcGIS y HEC-HMS para procesar y analizar datos hidrológicos y topográficos.	• Tiempo requerido para la realización de la simulación. • Precisión del modelo hidráulico e hidrológico en la representación de la cuenca del río Huallaga. • Capacidad del software ArcGIS y HEC-HMS para procesar y analizar datos hidrológicos y topográficos.	• Metros cúbicos por segundo (m³/s) para caudales. • Metros (m) para elevaciones y distancias. • Hectáreas (ha) para áreas de inundación.	• Datos topográficos y cartográficos de la cuenca del río Huallaga, obtenidos mediante tecnologías de teledetección como imágenes satelitales y datos LIDAR. • Datos climáticos históricos y actuales, como precipitación y temperatura, que pueden ser

recolectados a
través de
estaciones
meteorológicas
locales o datos
disponibles en
bases de datos
climáticas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 ENFOQUE

Pertenece al enfoque de investigación aplicada o práctica. Este enfoque se centra en la aplicación directa de conocimientos teóricos y metodológicos para abordar problemas concretos o generar soluciones prácticas en el mundo real (Hernández, 2014).

En este caso, la investigación utiliza herramientas como ArcGIS y HEC-HMS para simular hidráulica e hidrológicamente el río Huallaga, con el objetivo de identificar áreas susceptibles a inundaciones en San Rafael, Huánuco. Será considerado este tipo de enfoque ya que busca no solo comprender fenómenos, sino también proporcionar resultados útiles y aplicables para la gestión de riesgos ambientales y la planificación urbana.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

Según Hernández (2014) este tipo de investigación establece una relación causa-efecto entre dos o más variables, sugiriendo que un cambio en una variable independiente (en este caso, la simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga) conducirá a un cambio en una variable dependiente (la identificación de áreas propensas a inundaciones).

Pertenece a una relación causa y efecto ya que tiene como objetivo el de investigar si la implementación de la simulación hidráulica e hidrológica utilizando ArcGIS y HEC-HMS tiene un efecto significativo en la capacidad de identificar áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael - Huánuco. Para ello, se llevaría a cabo un análisis detallado de los datos recopilados durante el proceso de simulación y se compararían con la situación actual de inundaciones en

la zona de estudio para determinar si existe una relación causal entre la simulación y la identificación de áreas inundables.

3.1.3 DISEÑO

Según Hernández (2014) el trabajo de investigación pertenece al diseño longitudinal, ya que se enfoca en el análisis y la simulación de las condiciones hidráulicas e hidrológicas del río Huallaga a lo largo de su curso para identificar áreas propensas a inundaciones. Este tipo de diseño implica evaluar los cambios y comportamientos del río en un periodo extendido y en un ámbito espacial amplio, utilizando herramientas como ArcGIS y HEC-HMS para modelar los flujos de agua y determinar zonas vulnerables a eventos extremos.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

La población en metodología de investigación se refiere al conjunto completo de elementos o individuos que comparten una característica específica y son objeto de estudio. Puede ser finita o infinita, y su adecuada definición es crucial para la validez de la investigación. (Hernández, 2014)

Para el trabajo de investigación tiene una población, el cual se compone de las residencias situadas en el lecho del río Huallaga en la región de San Rafael - Huánuco.

3.2.2 MUESTRA

La muestra en metodología de investigación se refiere a la parte representativa de la población que se estudiará para obtener conclusiones generales. Su selección y tamaño deben ser adecuados para garantizar la validez de los resultados. (Hernández, 2014)

La selección de muestra va consistir en las viviendas localizadas en el Sector Pomabamba - San Rafael – Huánuco. La muestra descrita

es no probabilística porque las viviendas seleccionadas no son elegidas al azar ni se basan en un procedimiento estadístico que garantice que cada vivienda en el área tenga la misma probabilidad de ser incluida.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.3.1 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos para la tesis incluyen:

OBSERVACIÓN PARTICIPANTE: CONSISTE EN LA PARTICIPACIÓN ACTIVA DEL INVESTIGADOR EN EVENTOS RELACIONADOS CON LA HIDROLOGÍA Y LA TOPOGRAFÍA EN LA LOCALIDAD DE SAN RAFAEL - HUÁNUCO. EL INVESTIGADOR PUEDE OBSERVAR Y REGISTRAR DE PRIMERA MANO LAS CARACTERÍSTICAS DEL RÍO HUALLAGA, LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y LOS POSIBLES INDICADORES DE INUNDACIÓN. (Hernández, 2014)

OBSERVACIÓN NO PARTICIPANTE: IMPLICA LA OBSERVACIÓN EXTERNA DE LOS FENÓMENOS HIDROLÓGICOS Y TOPOGRÁFICOS SIN INTERVENIR EN ELLOS. EL INVESTIGADOR PUEDE UTILIZAR HERRAMIENTAS COMO CÁMARAS FOTOGRÁFICAS O DE VIDEO PARA DOCUMENTAR VISUALMENTE EL ENTORNO DEL RÍO HUALLAGA Y LA LOCALIDAD DE SAN RAFAEL - HUÁNUCO EN DIFERENTES MOMENTOS Y CONDICIONES CLIMÁTICAS. (Hernández, 2014)

INSTRUMENTOS

MEDICIONES DE CAMPO: SE REALIZARÁN MEDICIONES DE CAMPO PARA RECOPIRAR DATOS TOPOGRÁFICOS, COMO ELEVACIONES DEL TERRENO Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO, UTILIZANDO EQUIPOS DE MEDICIÓN ADECUADOS, COMO ESTACIONES TOTALES O RECEPTORES GNSS. ESTOS DATOS SERÁN FUNDAMENTALES PARA LA MODELIZACIÓN HIDRÁULICA E

HIDROLÓGICA DEL RÍO HUALLAGA Y LA IDENTIFICACIÓN DE
ÁREAS PROPENSAS A INUNDACIONES. (Hernández, 2014)

REGISTROS HISTÓRICOS: SE RECOPIRARÁN REGISTROS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIONES Y MEDICIONES HIDROLÓGICAS DE ESTACIONES LOCALES PARA ANALIZAR PATRONES DE PRECIPITACIÓN Y CAUDAL A LO LARGO DEL TIEMPO. ESTOS REGISTROS PROPORCIONARÁN DATOS IMPORTANTES PARA CALIBRAR Y VALIDAR LOS MODELOS HIDROLÓGICOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN. (Hernández, 2014)

3.3.2 PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Se va a considerar diversos instrumentos para la presentación de datos, como son las siguientes:

Tabla 1

Clasificación de áreas

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
-----	-----	----------	-------------	-------------------	------------------------------	------------	-------------------------------------

Tabla 2

Red hídrica

Hidrografía de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A *B
1					
2					
3					
4					
Longitud Total					
Pendiente promedio					

Tabla 3*Clasificación de pendientes*

PENDIENTE DE LA CUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10			
10	20			
20	30			
30	40			
40	50			
50	60			
60	70			
70	80			
80	90			
90	100			
Total				
Pendiente promedio de la Cuenca				

3.3.3 PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Análisis geoespacial: Utilización del software ArcGIS para procesar datos geoespaciales, como imágenes satelitales, mapas topográficos y datos de elevación, con el fin de crear modelos digitales de terreno, identificar patrones espaciales y realizar **ANÁLISIS** de interpolación para obtener información detallada sobre la topografía de la zona de estudio.

Modelado hidrológico: Empleo del software HEC-HMS para realizar el modelado hidrológico de la cuenca del río Huallaga. Esto implica la calibración y validación de los modelos hidrológicos utilizando datos históricos de precipitación y caudal, así como la simulación de diferentes escenarios hidrológicos para estimar el comportamiento del río en diferentes condiciones.

Análisis estadístico: Aplicación de técnicas estadísticas para analizar los datos recopilados durante el estudio, como el análisis de frecuencia de eventos de inundación, la correlación de causa y efecto

entre variables hidrológicas y la evaluación de la incertidumbre en los resultados del modelado hidrológico.

Visualización de resultados: Utilización de herramientas de visualización, como mapas temáticos, gráficos y diagramas, para presentar de manera clara y comprensible los resultados del análisis geoespacial y del modelado hidrológico, facilitando la interpretación de los hallazgos y la toma de decisiones.

Estas técnicas permitirán procesar y analizar de manera efectiva la información recopilada durante la investigación, brindando insights importantes sobre las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael - Huánuco y contribuyendo a la toma de decisiones en la gestión del riesgo de desastres.

CAPÍTULO IV

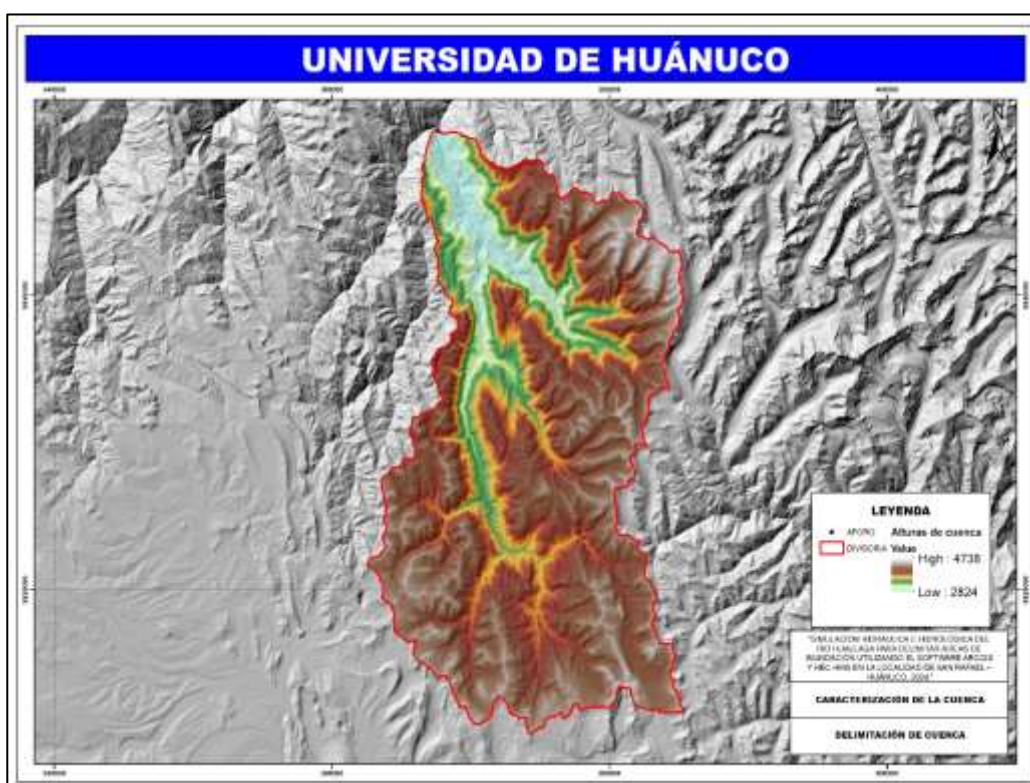
RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL HUALLAGA

Figura 2

Límites de la cuenca del río Huallaga



Nota. Delimitación de la cuenca hidrológica.

En la delimitación de la cuenca del río Huallaga se obtuvo una imagen de elevación digital de los límites de la cuenca analizada, de ella se pudo identificar de manera preliminar que las alturas se encuentran entre los rangos de 2824 a 4738 msnm.

Tabla 4

Parámetros de la cuenca del Huallaga

Parámetros de la cuenca	
Tipo	Valor
Área de la cuenca	623.58 km ²
Perímetro de la cuenca	186.50 km

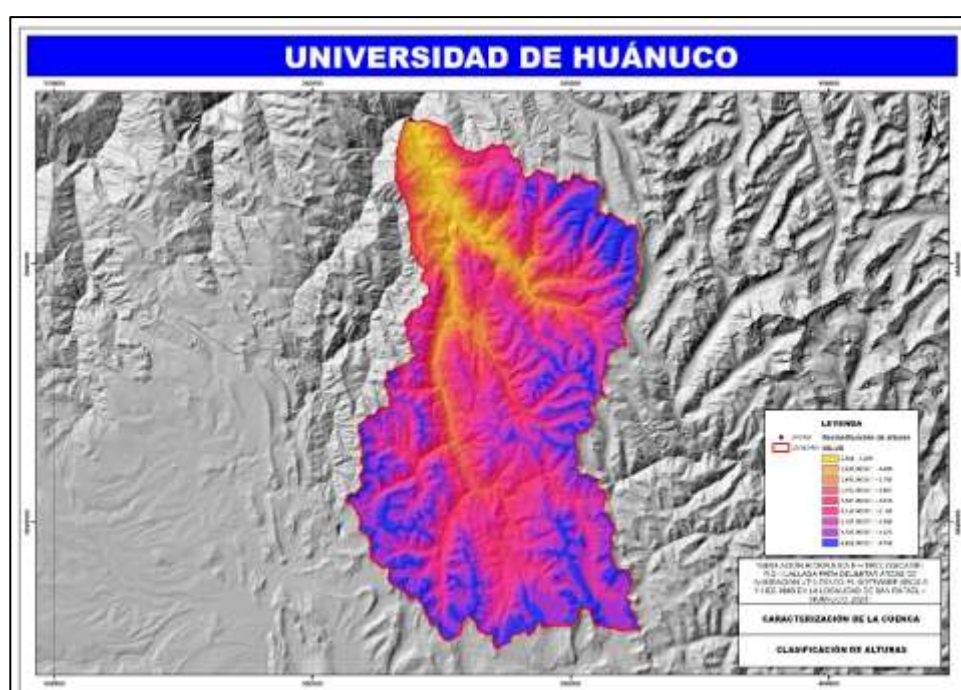
Ancho Promedio de cuenca	18.35 km
Largo Promedio de cuenca	43.46 km

Nota. La tabla muestra los valores de los parámetros de la cuenca del Huallaga

La tabla nos muestra la delimitación de la cuenca se pudo determinar que el área de la cuenca es de 623.58 km², con un perímetro de 186.50 km, ancho promedio de la cuenca de 18.35 km y el largo en sentido del cauce es de 43.46 km.

Figura 3

Alturas clasificadas de la cuenca del Huallaga



Nota. Clasificación de alturas de la cuenca.

Las alturas características de la cuenca se clasificaron en 09 rangos los cuales comprenden entre los de 2824 msnm a 3236 msnm, 3236 msnm a 3489 msnm, 3489 msnm a 3700 msnm, 3700 msnm a 3887 msnm, 3887 a 4049 msnm, 4049 msnm a 4185 msnm, 4185 msnm a 4306 msnm, 4306 msnm a 4422 msnm y 4422 msnm a 4738 msnm. Dentro de estos rangos se pudo elaborar los promedios altitudinales de la cuenca y la ubicación del centroide que conforma la cuenca.

Tabla 5*Características altitudinales de la cuenca del Huallaga*

Cotas y coordenadas de la cuenca	
Tipo	Valor
Cota mínima	2824.00 msnm
Cota máxima	4738.00 msnm
Este centroide	374138.49 E
Norte centroide	8830286.89 N
Cota centroide	3737.41 msnm

Nota. Identificación de coordenadas del centroide.

De la cuenca se pudo determinar que las coordenadas del centroide de la cuenca son de 374138 E, 8830286 N y con cota de 3737.41 msnm.

Tabla 6*Morfología de la cuenca*

Morfología de la cuenca	
Tipo	Valor
Alt. Media	3737.41 msnm
Alt. Frecuente	4999.50 msnm
Alt. Frec. Media	4071.70 msnm
Pendiente de cuenca	7.96 %

Nota. Identificación de alturas características de la cuenca.

Con la reclasificación de las alturas se determinó que la altura media para la cuenca del río Huallaga es de 3737.41 msnm, una altura frecuente de 4999.50 msnm, una altura de frecuencia media de 4071.70 msnm y la pendiente de la cuenca se estima en 7.96%, la caracterización de la pendiente de la cuenca se determinó a partir de la siguiente figura.

Figura 4

Pendiente morfológica de la cuenca del Huallaga



Nota. Clasificación de pendientes de cuenca.

Con la determinación del modelo de elevación digital se logró obtener un modelo de pendientes del terreno con la cual se estime un valor promedio para la identificación de las características de infiltración de la cuenca, para se establecieron 10 rangos equivalentes a cada 10%, de ello se estimó un valor promedio de pendiente de 7.96%

Figura 5

Cauce de la cuenca del Huallaga



Nota. Identificación de la red hídrica de la cuenca.

En la caracterización de los ríos que conforman la cuenca del Huallaga se pudo identificar que hasta el punto de San Rafael se caracteriza por presentar un orden de 04 grado, teniendo así una descripción de los cauces determinados.

Tabla 7

Caracterización de los cauces

Características de cauce	
Tipo	Valor
Cauce principal	36.26 km
Número de orden	04
Long. Total, de los cauces	329.56 km
Pendiente media de los ríos	15.08 %

Nota. Caracterización del cauce de la cuenca.

En la caracterización de los cauces se pudo determinar que el río principal tiene una longitud de 36.26 km, de 04 orden, en total los ríos presentan una longitud de 329.56 km y con la interpolación de la pendiente de la cuenca se pudo estimar que en promedio los cauces presentan una pendiente de 15.08%.

Tabla 8

Morfología de la cuenca del Huallaga

Factores de morfología	
Tipo	Valor
Índice de forma	0.42
Índice de compacidad	2.09
Lado mayor	86.00 km
Lado menor	7.25 km
Densidad de drenaje	0.53
Índice de pendiente	0.31

Nota. Caracterización morfológica de la cuenca.

Con la determinación de las características geométricas y altitudinales de la cuenca del río Huallaga se pudo determinar que este presenta un índice de forma de 0.42, el valor del índice de compacidad se estimó en 2.09, con relación al rectángulo equivalente se determinó que los lados son de 86.00 km y 7.25 km, el valor de la densidad de

drenaje se estima en 0.53 y el valor del índice de pendiente se determinó en 0.31.

Figura 6

Caracterización del suelo de la cuenca del río Huallaga



Nota. Características de del suelo de la cuenca.

Para la cuenca del río Huallaga se pudo determinar que la cuenca presenta 09 diferentes tipos de cobertura vegetal, de la figura se pudo determinar que la cuenta presenta un área predominante de Pajonal Andino.

Tabla 9

Caracterización del suelo de la cuenca del Huallaga

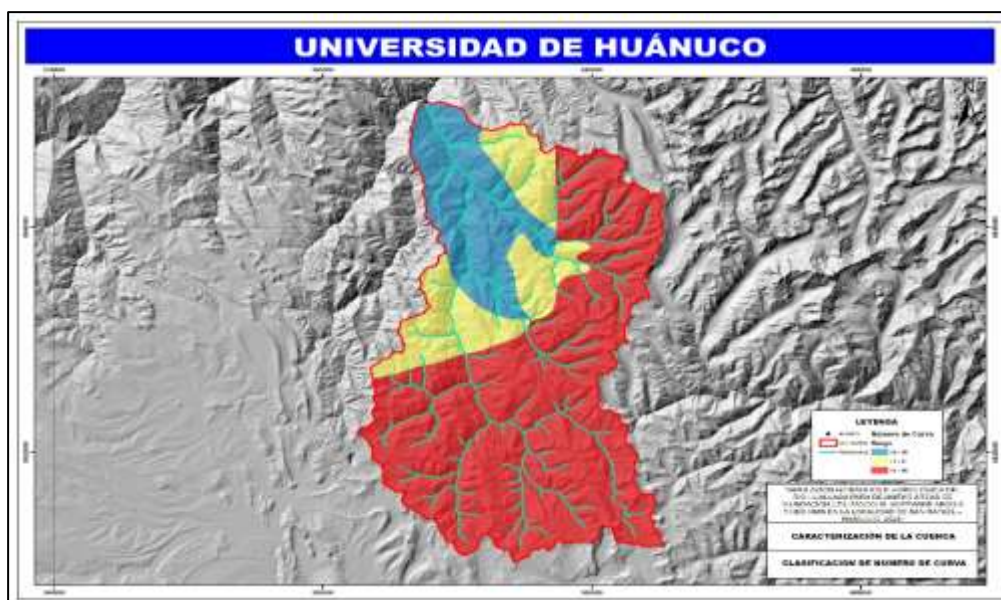
Cobertura vegetal de la cuenca	
Tipo	Área
Agricultura costera y andina	14.48 km ²
Área urbana	1.13 km ²
Bofedal	16.02 km ²
Bosque relicto altoandino	3.25 km ²
Lagunas, lagos y cochas	1.53 km ²
Matorral arbustivo	115.21 km ²
Pajonal andino	468.45 km ²
Plantación Forestal	2.61 km ²
Río	0.88 km ²

Nota. Identificación de la cobertura vegetal de la cuenca.

Con la identificación de los suelos predominantes en la cuenca del Huallaga se pudo calcular que de la superficie total de la cuenca 14.48 km² corresponde a una agricultura andina, un 1.13 km² representa el área urbana, 16.02 km² representa a los bofedales, 3.25 km² representa a los bosques altoandinos, un 1.53 km² representa a los cuerpos de agua, un 115.21 km² representa a los matorrales, 468.45 km² representa a áreas de pajonal andino, 2.61 km² representa a las plantaciones forestales en la zona y 0.88 km² representa a los ríos de la cuenca.

Figura 7

Número de curva de la cuenca del Huallaga



Nota. Determinación de los valores del número de curva a de la cuenca.

En la caracterización de la superficie de la cuenca se pudo determinar que se encuentra entre 03 rangos de valores de número de curva, a partir de la cual se planteó la estimación del valor promedio del número de curva correspondiente a la cuenca del Huallaga.

Tabla 10

Determinación del valor promedio del número de curva

Número de Curva			
Rango		Promedio	Área
Superior	Inferior		
55	66	60.50	105.28
74	81	77.50	105.24
81	90	85.50	413.05
Número de Curva Promedio			79.93

Nota. Ponderación del número de curva.

En la figura anterior se identificaron los rangos de 55 a 66, 74 a 81 y 81 a 90, del cual se estimaron las áreas correspondientes, la cuales fueron de 105.28 km², 105.24 km² y 413.05 km² respectivamente a cada rango, de ello se pudo determinar que en promedio la cuenca presenta un número de curva de 79.93.

4.1.2 LLUVIAS PARA LA CUENCA DEL HUALLAGA

Tabla 11

Datos de lluvia de la estación San Rafael

Registro Estación SAN RAFAEL															
SENAMHI													ME DIA	MÁ X	LOG(MAX)
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE T	OC T	NO V	DI C			
1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	#iNUM !
	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99. 90	99.9 0	99. 90	
1990	16. 60	13. 00	18. 00	22. 20	0.0 0	0.0 0	4.1 0	0.0 0	1.5 0	10. 70	6.8 0	5.0 0	8.16	22. 20	1.35
1991	14. 00	12. 00	13. 00	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	3.25	14. 00	1.15
1992	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	6.4 0	8.0 0	7.0 0	1.78	8.0 0	0.90
1993	8.0 0	10. 00	12. 20	7.0 0	2.0 0	1.0 0	3.5 0	4.2 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	40. 00	7.33	40. 00	1.60
1994	23. 20	38. 50	20. 10	12. 80	5.4 0	0.8 0	0.0 0	2.1 0	11. 00	15. 80	9.4 0	31. 20	14.1 9	38. 50	1.59

1995	25. 50	30. 00	36. 80	16. 00	18. 50	13. 00	1.5 0	3.5 0	18. 00	22. 00	26. 30	31. 70	20.2 3	36. 80	1.57
1996	18. 00	17. 40	22. 80	22. 20	8.0 0	6.0 0	0.9 0	3.7 0	21. 10	3.5 0	19. 50	16. 00	13.2 6	22. 80	1.36
1997	13. 00	18. 60	10. 20	12. 20	4.5 0	0.0 0	0.0 0	7.0 0	8.7 0	22. 40	14. 30	56. 70	13.9 7	56. 70	1.75
1998	29. 40	27. 50	22. 50	7.2 0	4.4 0	7.8 0	0.0 0	5.1 0	6.2 0	19. 80	19. 00	24. 60	14.4 6	29. 40	1.47
1999	17. 30	21. 00	21. 60	9.0 0	7.9 0	9.7 0	2.4 0	12. 80	14. 30	6.6 0	19. 20	14. 70	13.0 4	21. 60	1.33
2000	15. 90	19. 80	20. 70	12. 80	2.9 0	14. 50	3.5 0	12. 30	12. 20	9.4 0	5.9 0	25. 10	12.9 2	25. 10	1.40
2001	24. 40	18. 80	17. 60	16. 00	5.1 0	5.6 0	5.3 0	7.9 0	9.2 0	16. 20	41. 80	26. 10	16.1 7	41. 80	1.62
2002	10. 20	16. 00	20. 20	9.6 0	11. 40	2.7 0	17. 60	0.7 0	7.0 0	29. 90	12. 00	25. 00	13.5 3	29. 90	1.48
2003	7.5 0	8.6 0	15. 20	52. 90	1.9 0	7.2 0	0.0 0	22. 80	9.4 0	6.7 0	27. 30	18. 60	14.8 4	52. 90	1.72
2004	29. 60	16. 30	20. 20	10. 80	15. 00	8.0 0	3.0 0	4.3 0	27. 40	22. 80	24. 10	0.0 0	15.1 3	29. 60	1.47
2005	9.9 0	32. 00	25. 90	0.0 0	1.3 0	0.0 0	1.9 0	9.3 0	10. 60	13. 00	16. 10	10. 10	10.8 4	32. 00	1.51
2006	13. 90	13. 70	12. 70	9.0 0	0.6 0	5.3 0	5.6 0	5.8 0	16. 30	16. 50	28. 80	15. 70	11.9 9	28. 80	1.46
2007	22. 50	11. 10	25. 80	6.8 0	6.8 0	0.7 0	31. 90	3.5 0	12. 00	17. 10	12. 00	22. 60	14.4 0	31. 90	1.50
2008	17. 00	28. 20	8.6 0	6.1 0	6.3 0	6.1 0	1.2 0	1.8 0	42. 10	15. 30	24. 50	17. 60	14.5 7	42. 10	1.62
2009	16. 10	17. 60	25. 50	14. 70	14. 70	3.6 0	7.1 0	4.9 0	9.3 0	12. 70	16. 30	22. 90	13.7 8	25. 50	1.41
2010	25. 10	19. 80	20. 90	20. 80	17. 50	4.4 0	7.7 0	5.4 0	3.9 0	11. 80	9.0 0	23. 00	14.1 1	25. 10	1.40
2011	16. 40	18. 20	10. 40	21. 80	14. 40	0.8 0	1.4 0	4.5 0	10. 30	20. 10	12. 20	16. 10	12.2 2	21. 80	1.34
2012	13. 20	19. 50	15. 30	24. 30	5.0 0	6.1 0	1.7 0	6.4 0	1.9 0	14. 80	21. 30	33. 50	13.5 8	33. 50	1.53
2013	15. 60	24. 80	15. 90	12. 20	4.7 0	9.9 0	0.0 0	0.0 0	9.1 0	24. 60	27. 00	41. 10	15.4 1	41. 10	1.61
PROM	12. 10	14. 10	13. 29	9.0 6	2.3 4	0.5 3	0.0 2	1.1 2	6.4 6	9.5 3	12. 04	16. 98			

MÁX	29.	38.	36.	52.	18.	14.	31.	22.	42.	29.	41.	56.
	60	50	80	90	50	50	90	80	10	90	80	70
LOG(	1.4	1.5	1.5	1.7	1.2	1.1	1.5	1.3	1.6	1.4	1.6	1.7
MAX)	7	9	7	2	7	6	0	6	2	8	2	5

Nota. Identificación de los valores de precipitación.

Para la caracterización de las lluvias en la cuenca del río Huallaga se obtuvieron los registros pluviométricos de los registros del SENAMHI, se tomó como punto central a la estación de San Rafael, la cual en los 25 años analizados del registro se identificaron valores incompletos, los cuales fueron sometidos a un relleno de información a partir de las estaciones pluviométricas cercanas.

Figura 8

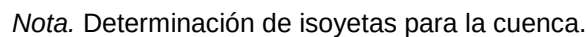
Identificación de estaciones cercanas



Nota. Identificación de las estaciones más cercanas a la cuenca.

Para la cuenca del río Huallaga se identificaron un total de 08 estaciones pluviométricas las cuales fueron Canchan, Gorgor, Huánuco, Oyón, Recuay, Ricrán, Tingo María y Tulumayo, con dichas estaciones se interpolaron para la estimación de los registros faltantes.

Estimación Kriging enero 1989

**Tabla 12**

Registro Estación SAN RAFAEL															
SENAMHI													ME DIA	MÁ X	LOG(MAX)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
O	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI			
	E	B	R	R	Y	N	L	O	T	T	V	C			
9	22.	21.	21.	14.	6.7	4.5	6.2	3.6	8.1	20.	11.	25.	13.9	25.	1.40
	38	96	70	00	3	7	2	7	8	82	49	27	2	27	
0	16.	13.	18.	22.	12.	8.5	4.1	5.4	1.5	10.	6.8	5.0	10.3	22.	1.35
	60	00	00	20	64	8	0	1	0	70	0	0	8	20	
1	14.	12.	13.	10.	7.4	6.0	4.0	0.9	3.8	13.	11.	15.	9.28	15.	1.18
	00	00	00	35	4	3	1	7	0	15	42	18		18	

1992	10. 54	19. 35	16. 54	14. 22	6.7 1	6.6 2	2.5 9	15. 38	7.9 3	6.4 0	8.0 0	7.0 0	10.1 1	19. 35	1.29
1993	8.0 0	10. 00	12. 20	7.0 0	2.0 0	1.0 0	3.5 0	4.2 0	9.3 7	13. 48	17. 01	40. 00	10.6 5	40. 00	1.60
1994	23. 20	38. 50	20. 10	12. 80	5.4 0	0.8 0	5.4 0	2.1 0	11. 00	15. 80	9.4 0	31. 20	14.6 4	38. 50	1.59
1995	25. 50	30. 00	36. 80	16. 00	18. 50	13. 00	1.5 0	3.5 0	18. 00	22. 00	26. 30	31. 70	20.2 3	36. 80	1.57
1996	18. 00	17. 40	22. 80	22. 20	8.0 0	6.0 0	0.9 0	3.7 0	21. 10	3.5 0	19. 50	16. 00	13.2 6	22. 80	1.36
1997	13. 00	18. 60	10. 20	12. 20	4.5 0	6.5 8	4.1 3	7.0 0	8.7 0	22. 40	14. 30	56. 70	14.8 6	56. 70	1.75
1998	29. 40	27. 50	22. 50	7.2 0	4.4 0	7.8 0	2.0 8	5.1 0	6.2 0	19. 80	19. 00	24. 60	14.6 3	29. 40	1.47
1999	17. 30	21. 00	21. 60	9.0 0	7.9 0	9.7 0	2.4 0	12. 80	14. 30	6.6 0	19. 20	14. 70	13.0 4	21. 60	1.33
2000	15. 90	19. 80	20. 70	12. 80	2.9 0	14. 50	3.5 0	12. 30	12. 20	9.4 0	5.9 0	25. 10	12.9 2	25. 10	1.40
2001	24. 40	18. 80	17. 60	16. 00	5.1 0	5.6 0	5.3 0	7.9 0	9.2 0	16. 20	41. 80	26. 10	16.1 7	41. 80	1.62
2002	10. 20	16. 00	20. 20	9.6 0	11. 40	2.7 0	17. 60	0.7 0	7.0 0	29. 90	12. 00	25. 00	13.5 3	29. 90	1.48
2003	7.5 0	8.6 0	15. 20	52. 90	1.9 0	7.2 0	2.1 0	22. 80	9.4 0	6.7 0	27. 30	18. 60	15.0 2	52. 90	1.72
2004	29. 60	16. 30	20. 20	10. 80	15. 00	8.0 0	3.0 0	4.3 0	27. 40	22. 80	24. 10	17. 59	16.5 9	29. 60	1.47
2005	9.9 0	32. 00	25. 90	7.6 1	1.3 0	5.3 4	1.9 0	9.3 0	10. 60	13. 00	16. 10	10. 10	11.9 2	32. 00	1.51
2006	13. 90	13. 70	12. 70	9.0 0	0.6 0	5.3 0	5.6 0	5.8 0	16. 30	16. 50	28. 80	15. 70	11.9 9	28. 80	1.46
2007	22. 50	11. 10	25. 80	6.8 0	6.8 0	0.7 0	31. 90	3.5 0	12. 00	17. 10	12. 00	22. 60	14.4 0	31. 90	1.50
2008	17. 00	28. 20	8.6 0	6.1 0	6.3 0	6.1 0	1.2 0	1.8 0	42. 10	15. 30	24. 50	17. 60	14.5 7	42. 10	1.62
2009	16. 10	17. 60	25. 50	14. 70	14. 70	3.6 0	7.1 0	4.9 0	9.3 0	12. 70	16. 30	22. 90	13.7 8	25. 50	1.41
2010	25. 10	19. 80	20. 90	20. 80	17. 50	4.4 0	7.7 0	5.4 0	3.9 0	11. 80	9.0 0	23. 00	14.1 1	25. 10	1.40
2011	16. 40	18. 20	10. 40	21. 80	14. 40	0.8 0	1.4 0	4.5 0	10. 30	20. 10	12. 20	16. 10	12.2 2	21. 80	1.34

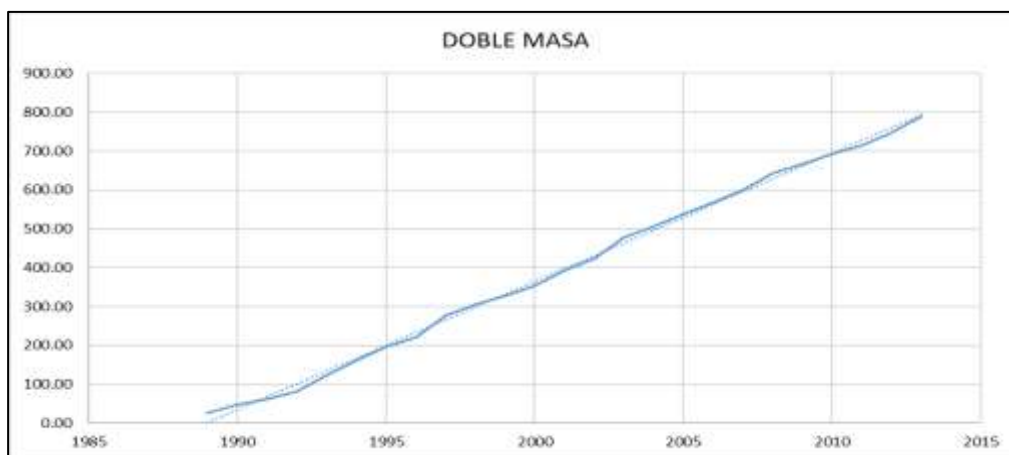
2012	13.	19.	15.	24.	5.0	6.1	1.7	6.4	1.9	14.	21.	33.	13.5	33.	1.53
	20	50	30	30	0	0	0	0	0	80	30	50	8	50	
2013	15.	24.	15.	12.	4.7	9.9	6.6	14.	9.1	24.	27.	41.	17.2	41.	1.61
	60	80	90	20	0	0	4	94	0	60	00	10	1	10	
PROM	17.	19.	18.	14.	7.6	6.0	5.3	6.7	11.	15.	17.	23.			
	41	75	81	90	7	4	4	4	63	42	63	29			
MÁX	29.	38.	36.	52.	18.	14.	31.	22.	42.	29.	41.	56.			
	60	50	80	90	50	50	90	80	10	90	80	70			
LOG(	1.4	1.5	1.5	1.7	1.2	1.1	1.5	1.3	1.6	1.4	1.6	1.7			
MAX)	7	9	7	2	7	6	0	6	2	8	2	5			

Nota. Relleno de valores faltantes de valores de precipitación.

Los valores de precipitación fueron rellenados con la finalidad de estimar la confiabilidad de la información recolectada, con el registro completo se procedió a determinar la consistencia estadística de los valores.

Figura 10

Doble masa estación San Rafael



Nota. Caracterización de análisis doble masa de la estación San Rafael

En la verificación de los valores de pluviometría se hizo uso de la prueba de Doble Masa el cual analiza los valores acumulados de la precipitación máxima en 24 horas, para dar conformidad a la serie de datos analizados se establece que mientras menos quiebre presente la serie el ajuste será óptimo, para el caso de la estación San Rafael se pudo identificar que si bien en la serie muestral evidencia quiebres esta característica no es muy agresiva por lo que se puede asegurar que la serie muestral es la adecuada para la determinación de intensidades y

posteriormente la determinación de los valores de caudal en diferentes periodos de retorno.

Tabla 13

Determinación de la prueba de bondad

PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIONES		
TIPO DE DISTRIBUCIÓN	VALOR TEÓRICO	VALOR TABULAR
NORMAL	0.1082	0.2720
LOG-NORMAL 2 PARÁMETROS	0.0830	0.2720
LOG-NORMAL 3 PARÁMETROS	0.0884	0.2720
GAMMA 2 PARÁMETROS	0.0976	0.2720
GAMMA 3 PARÁMETROS	0.0796	0.2720
LOGARITMO DE PEARSON TIPO 3	-	-
GUMBEL	0.0840	0.2720
LOGARITMO DE GUMBEL	0.0895	0.2720
DISTRIBUCIÓN SELECCIONADA	0.0796	GAMMA 3 PARÁMETROS

Nota. Caracterización estadística de los valores de precipitación.

En la caracterización de los datos de precipitación de los registros pluviométricos se aplicaron la prueba de bondad a partir de las determinaciones de deltas de ajuste, de ello se pudo identificar que el menor valor de delta es de 0.0796 el cual corresponde a la distribución de Gamma 3 parámetros.

Tabla 14

Estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno

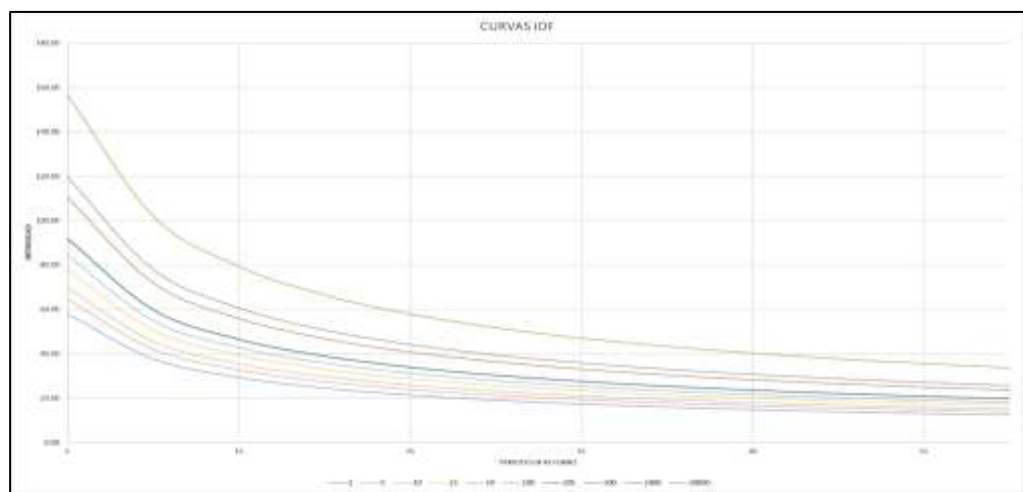
PRECIPITACIONES PROYECTADAS			
AÑOS	PP (mm)	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2	30.18 mm	0.50000	34.10 mm
5	39.50 mm	0.80000	44.64 mm
10	45.20 mm	0.90000	51.08 mm
25	51.93 mm	0.96000	58.68 mm
50	56.65 mm	0.98000	64.01 mm
100	61.14 mm	0.99000	69.09 mm
105	61.45 mm	0.99048	69.44 mm
500	70.90 mm	0.99800	80.12 mm
1000	74.84 mm	0.99900	84.57 mm
10000	85.94 mm	0.99990	97.11 mm

Nota. Ajuste de precipitaciones en diferentes periodos de retorno.

Con la identificación de la distribución que mejor se ajuste a la serie de valores se pudo determinar los valores de precipitación para los diferentes periodos de retorno y se le aplicó el factor de reajuste por errores en la recolección de la información, estimando así que para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 105, 500, 1000 y 10000 años las precipitaciones ajustadas de 34.10 mm, 44.64 mm; 51.08 mm, 58.68 mm, 64.01 mm, 69.09 mm, 69.44 mm, 80.12 mm, 84.57 mm y 97.11 mm respectivamente.

Figura 11

Representación de curva IDF



Nota. Elaboración de curvas de intensidad duración y frecuencia.

Con la determinación de los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno se lograron estimar los coeficientes K el cual fue de 144.58, el factor m de 0.117 y el factor n es de 0.619. Con dichos factores determinados a partir de las regresiones matemáticas se lograron determinar cada una de las curvas para diferentes periodos de retorno.

Figura 12

Curva IDF para un periodo de retorno de 50 años

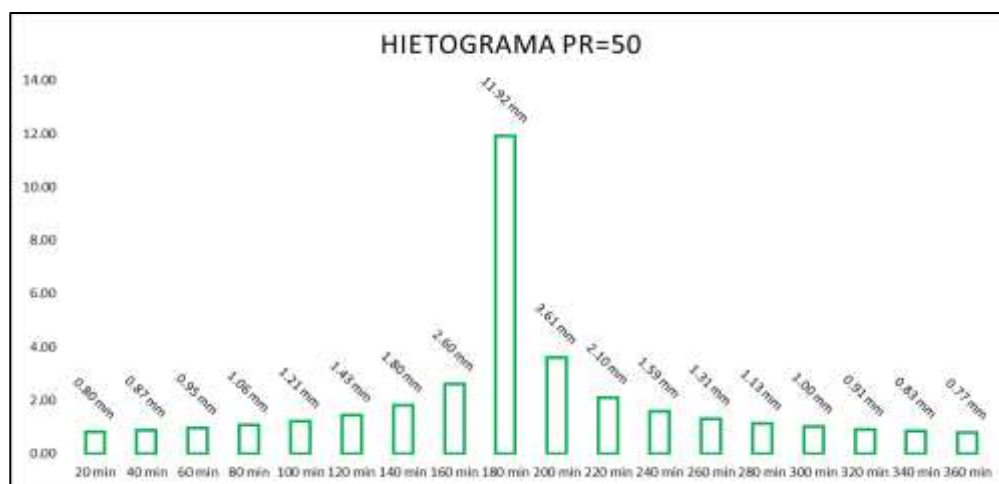


Nota. Curva de intensidad para un periodo de retorno de 50 años.

Se aisló la curva IDF que corresponde al periodo de retorno de 50 años con una duración de tormenta de 6 horas estimada como tiempo de concentración para la cuenca del río Huallaga, de la curva IDF se pudo determinar que el pico de intensidad es de 35.76 mm al inicio de la tormenta que se desarrolla con intervalos de 20 minutos hasta completar los 360 minutos.

Figura 13

Histograma de diseño para un PR de 50 años



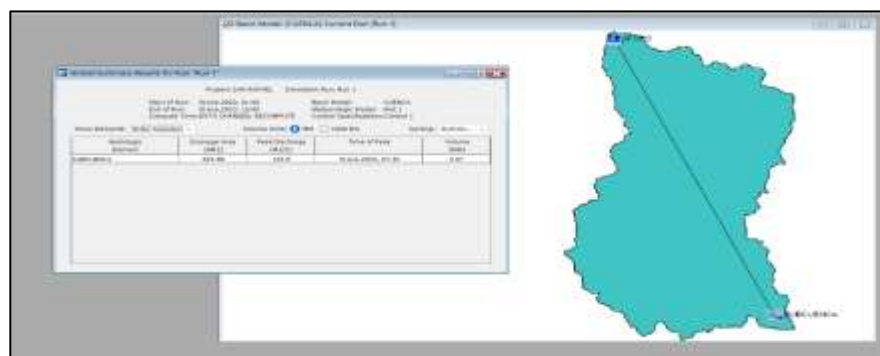
Nota. Determinación del hietograma de diseño.

Para el hietograma de diseño se calculó que el pico de la tormenta se en los 180 minutos con un valor de intensidad de 11.92 mm/h, dicho hietograma de diseño se cargó en el software HEC-HMS para elaborar el modelo hidrológico de la cuenca del río Huallaga.

4.1.3 ESTIMACIÓN DE CAUDAL EN HEC-HMS

Figura 14

Modelo HEC-HMS



Nota. Modelo hidrológico en el software Hec-HMS.

Con la aplicación del hietograma de diseño y con la determinación de las características morfológicas de la cuenca se pudo estimar que para un periodo de retorno de 50 años el valor de caudal es de 104.80 m³/s.

4.1.4 MODELO HEC-RAS

Figura 15

Modelo topográfico de la zona

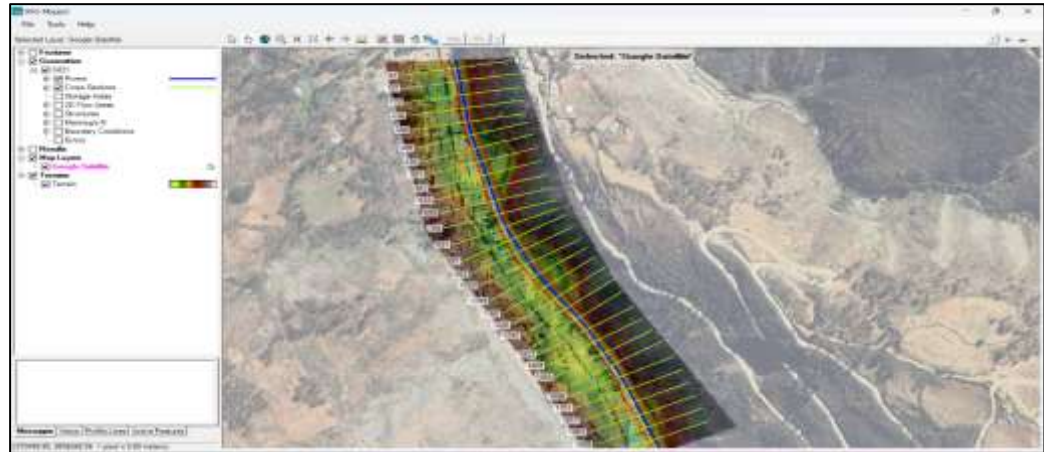


Nota. Modelo topográfico de la zona de interés.

Para el cauce de interés del río Huallaga se elaboró un modelo topográfico en la zona de Pomabamba en San Rafael, de ello se tomó aproximadamente 600 m de cauce con el cual se elaboraron los modelos de simulación de inundación.

Figura 16

Modelo HEC-RAS

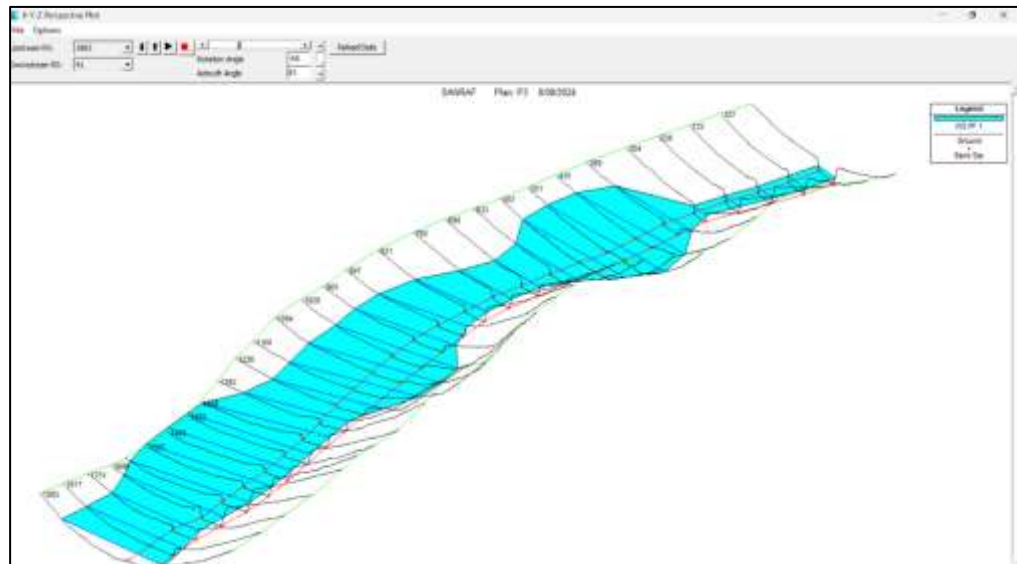


Nota. Modelo hidráulico Hec-RAS.

Con la elaboración de un modelo topográfico de la zona de interés se obtuvo un modelo TIFF con el cual se basará la simulación de inundación, para el modelo se tomó en cuenta el eje del cauce, las secciones y los márgenes del río los cuales servirán para el inicio del modelo bidimensional de inundación.

Figura 17

Zonas de inundación



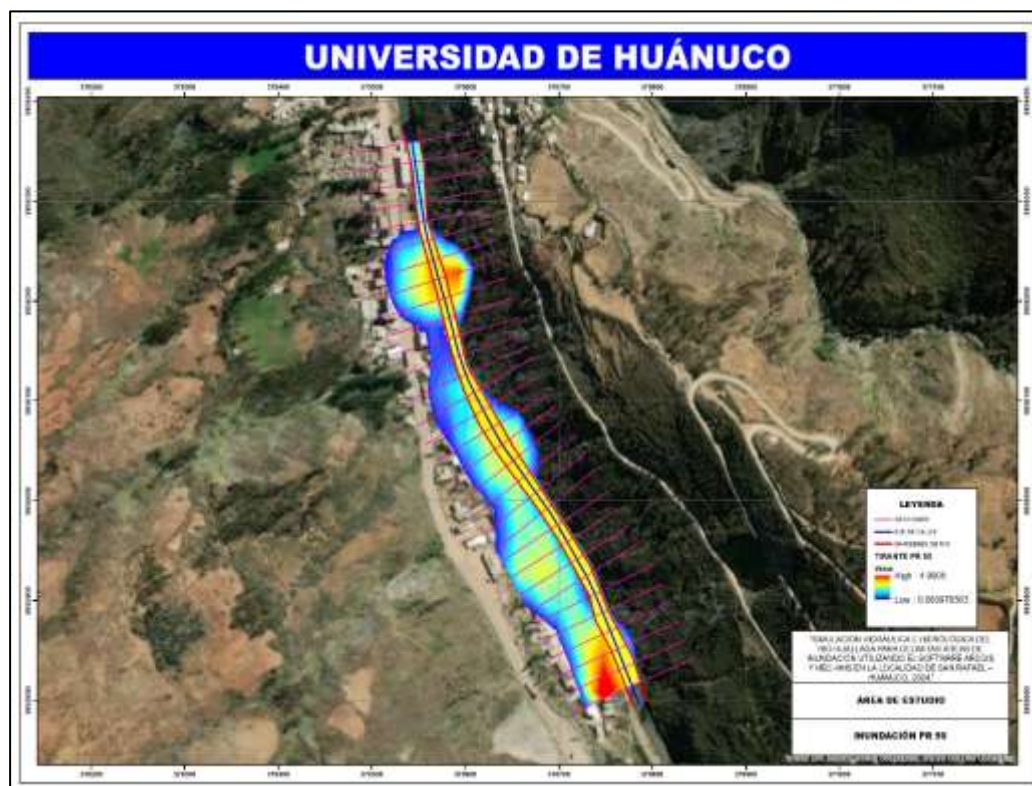
Nota. Modelo bidimensional de inundación.

Con los valores de caudal y con la caracterización del terreno se pudo identificar las zonas de inundación principalmente en el margen izquierdo del río.

4.1.5 ZONAS DE INUNDACIÓN

Figura 18

Cartografía de inundación PR50 años



Nota. Modelo hidráulico de la zona de interés.

Del modelo de inundación elaborado en el software HEC-RAS se pudo determinar que aproximadamente el tirante crítico para para el cauce del río es de aproximadamente 4 m, de la representación cartográfica se pudo identificar que la zona más crítica frente a las inundaciones es el margen izquierdo del cauce, dicha zona coincidentemente es el área urbana en la zona analizada presentando un alto riesgo en su ocurrencia.

Tabla 15

Área de inundación para un PR 50 años

ZONAS DE INUNDACIÓN	
ÁREA TOTAL DE SUPERFICIE DE AGUA	36490.64 m ²
ÁREA DE CAUCE DEL RÍO	8867.69 m ²
ÁREA DE INUNDACIÓN	27622.96 m ²

Nota. Estimación del área de inundación.

Del modelo cartográfico se pudo identificar que el total de la superficie del agua es de 364940.64 m², del cual el cauce del río representa una superficie de 8867.69 m² y con ello se pudo determinar que el área de inundación para un periodo de retorno de 50 años es de 27522.96 m². Dichos valores de superficie fueron estimados de manera planar a fin de cuantificar los efectos de inundación en la zona.

4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

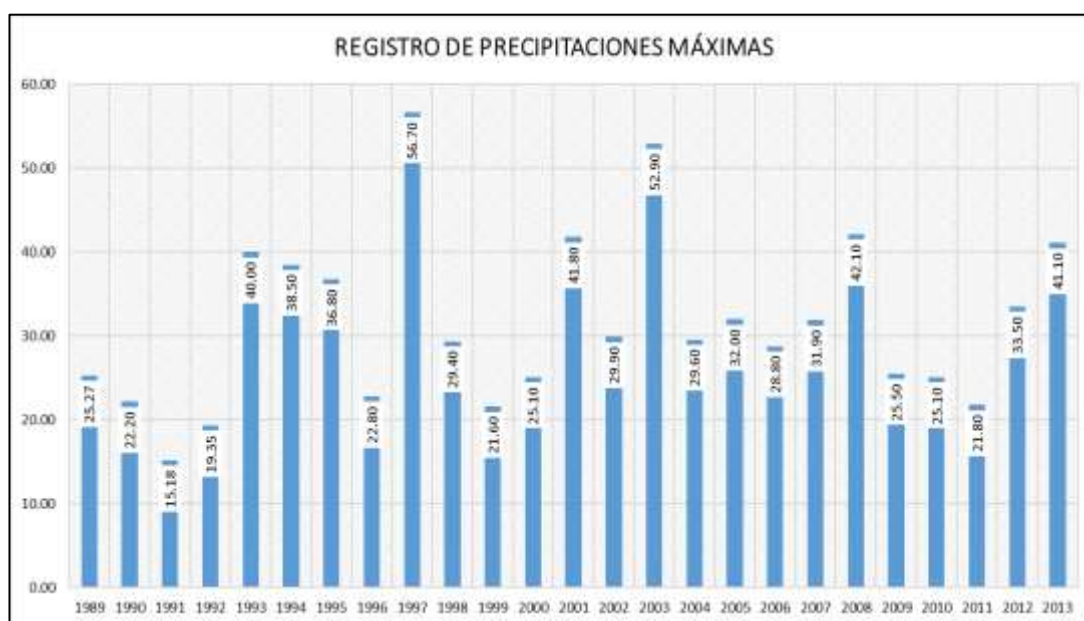
H_a: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024.

H₀: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS no permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024.

Con relación al procedimiento hidrológico aplicado en la cuenca del río Huallaga en la zona de San Rafael, se tomó en cuenta los valores de precipitación obtenidos de la estación San Rafael.

Figura 19

Registro de precipitaciones máximas



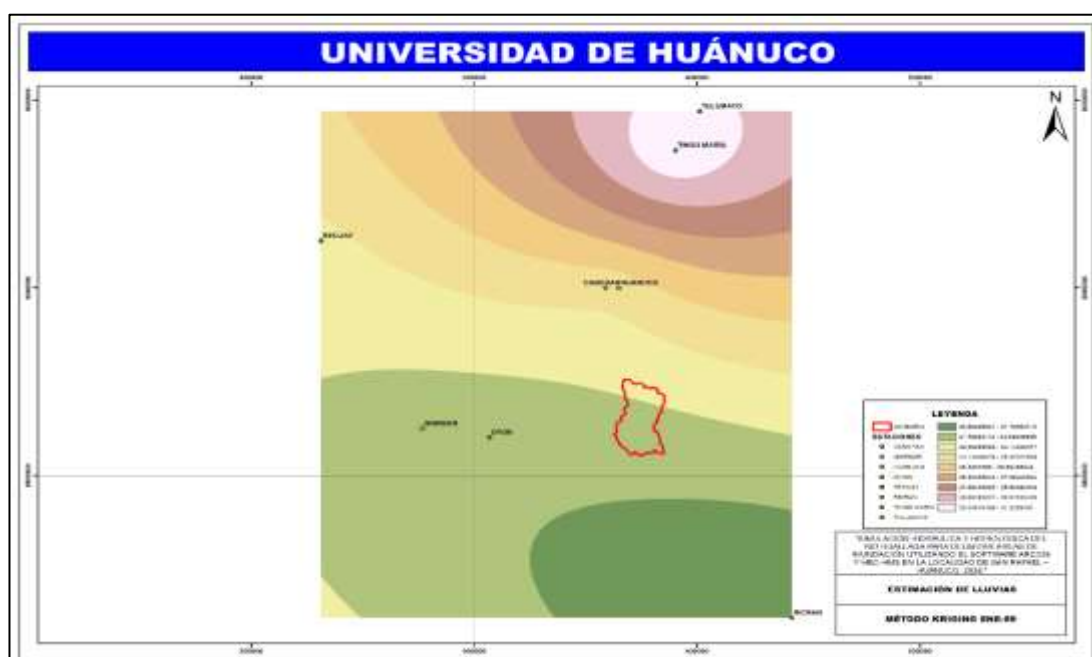
Nota. Hidrograma de máximas precipitaciones.

En los registros recolectados se pudo identificar la serie de precipitaciones para los 25 años necesarios en el análisis, con ello se pudo determinar que para el año 1997 el registro de precipitación máxima es el mayor con un valor de 56.70 mm.

Los valores de precipitación faltantes fueron rellenados a partir de la aplicación de la metodología de Kriging teniendo en cuenta las estaciones cercanas a la cuenca.

Figura 20

Modelo Kriging

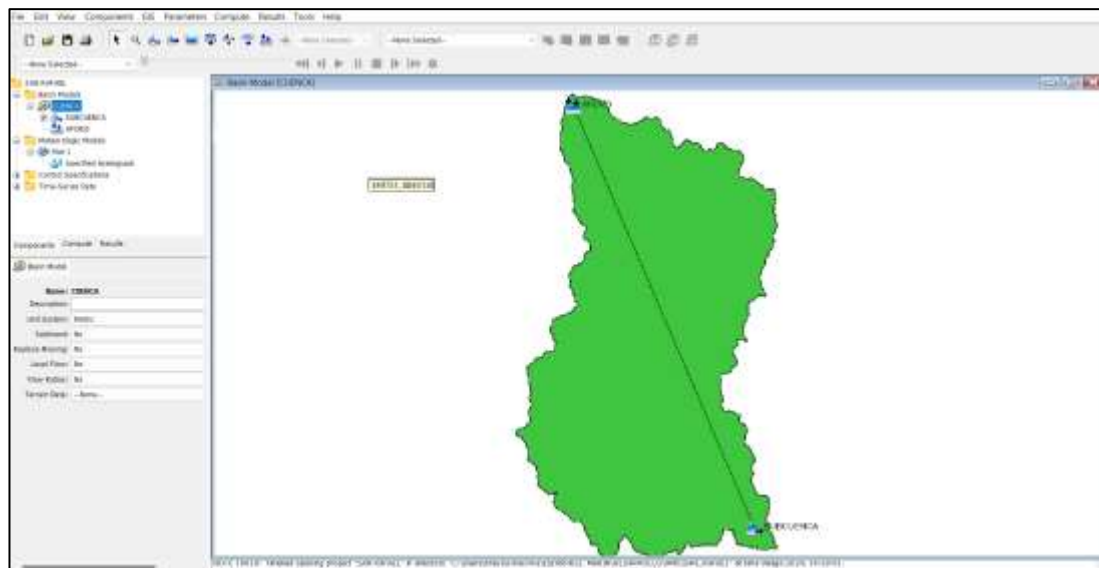


Nota. Modelo de isoyetas.

La aplicación del software ArcGIS facilitó la estimación de los modelos Kriging en los periodos de información faltante mejorando así el ajuste de los valores de precipitación.

Figura 21

Modelo HEC-HMS



Nota. Modelo Hec-HMS de caudales.

La cuenca delimitada y los valores de intensidad de precipitación para la cuenca del río Huallaga en la zona de San Rafael, se logró elaborar el modelo hidrológico de la cuenca estimado así los valores de caudal.

Figura 22

Mapa de inundación



Nota. Zonas de inundación a partir de la aplicación del caudal crítico.

Con la determinación de los caudales y el modelo bidimensional de inundación se pudo determinar que las zonas de inundación más críticas, para un periodo de retorno de 50 años, se presentan en el margen izquierdo del cauce del río Huallaga en la zona de Pomabamba identificando así las zonas más propensas a las inundaciones.

De lo elaborado en la presente investigación se pudo identificar que la hipótesis planteada es verdadera ya que con la aplicación de los softwares ArcGIS y HEC-HMS se lograron identificar las áreas propensas a inundaciones, de ello también se puede rechazar la hipótesis nula de la investigación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para Vargas (2022), mediante la aplicación del software ArcGIS, se determinaron los parámetros geomorfológicos de la cuenca de Huanta, estableciendo que su área es de 56.43 km², lo que la clasifica como una cuenca de dimensiones reducidas. La longitud del canal principal es de 14.99 km, con una pendiente de 12.44%, y un índice de compacidad de 1.55 que sugiere una forma alargada, con un tiempo de concentración de 1.72 horas. Las estimaciones de las descargas máximas, correspondientes a los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, fueron de 30.48 m³/s, 45.42 m³/s, 59.20 m³/s y 75.55 m³/s, respectivamente, como resultado del promedio de los métodos utilizados. Los registros de precipitación máxima en 24 horas para la cuenca se alinearon con la distribución teórica al nivel del 5%, destacando la distribución Log-Gumbel como la mejor ajustada. Además, se identificaron áreas de riesgo de inundación que abarcan 0.18, 0.46, 0.75 y 1.03 hectáreas para los mismos periodos de retorno, ubicadas en la zona urbana entre los tramos 4592 y 3690, donde el caudal excede la capacidad del cauce. Para el modelado hidráulico, se sugiere la utilización del software Hec-RAS. En la presente investigación se obtuvieron lo siguiente:

Tabla 16

Parámetros de la cuenca del Huallaga

Parámetros de la cuenca	
Tipo	Valor
Área de la cuenca	623.58 km ²
Perímetro de la cuenca	186.50 km
Ancho Promedio de cuenca	18.35 km
Largo Promedio de cuenca	43.46 km

Nota. Parámetros geométricos de la cuenca.

En la delimitación de la cuenca se pudo determinar que el área de la cuenca es de 623.58 km², con un perímetro de 186.50 km, ancho promedio de la cuenca de 18.35 km y el largo en sentido del cauce es de 43.46 km.

Tabla 17*Morfología de la cuenca del Huallaga*

Factores de morfología	
Tipo	Valor
Índice de forma	0.42
Índice de compacidad	2.09
Lado mayor	86.00 km
Lado menor	7.25 km
Densidad de drenaje	0.53
Índice de pendiente	0.31

Nota. Estimación de factores morfológicos.

Con la determinación de las características geométricas y altitudinales de la cuenca del río Huallaga se pudo determinar que este presenta un índice de forma de 0.42, el valor del índice de compacidad se estimó en 2.09, con relación al rectángulo equivalente se determinó que los lados son de 86.00 km y 7.25 km, el valor de la densidad de drenaje se estima en 0.53 y el valor del índice de pendiente se determinó en 0.31. Con la aplicación del hietograma de diseño y con la determinación de las características morfológicas de la cuenca se pudo estimar que para un periodo de retorno de 50 años el valor de caudal es de 104.80 m³/s.

Tabla 18*Área de inundación para un PR 50 años*

ZONAS DE INUNDACIÓN	
ÁREA TOTAL DE SUPERFICIE DE AGUA	36490.64 m ²
ÁREA DE CAUCE DEL RÍO	8867.69 m ²
ÁREA DE INUNDACIÓN	27622.96 m ²

Nota. Estimación de las áreas de inundación.

Del modelo cartográfico se pudo identificar que el total de la superficie del agua es de 364940.64 m², del cual el cauce del río representa una superficie de 8867.69 m² y con ello se pudo determinar que el área de inundación para un periodo de retorno de 50 años es de 27522.96 m². Dichos valores de superficie fueron estimados de manera planar a fin de cuantificar los efectos de inundación en la zona.

La variación de los valores de caudal y las zonas de inundación se debe a que la dimensión de la cuenca de referencia es mucho menor a la que se delimitó para la presente investigación, una menor superficie de cuenca presenta menores valores de caudal por ende una menor área de inundación en comparación con lo determinado para la cuenca del Huallaga.

Para Godoy (2022), A partir de la delimitación de la cuenca del río Vizcarra, se identificaron parámetros geomorfológicos clave, destacando una superficie de 1127.5 km² y un flujo máximo de 52.5 km con una pendiente de 0.026 m/m. La cuenca, de forma casi rectangular, presentó un índice de compacidad de 2.29. Se seleccionó un periodo de retorno de 140 años, basado en una vida útil de 40 años y un riesgo admisible de 0.25, adecuado para proteger infraestructuras ante inundaciones. El caudal máximo estimado mediante el método de Snyder fue de 165.9 m³/s. La modelación hidráulica, realizada con el programa IBER para flujos bidimensionales, identificó zonas inundables desde la progresiva 0+120 hasta 0+840, con tirantes máximos de hasta 4.23 metros, afectando áreas urbanas y poniendo en riesgo a la población. En total, se calcularon 37779 m² de áreas inundables en zonas urbanas, subrayando la importancia de los mapas de inundación para prevenir desastres futuros. Como se presentó en la discusión anterior en área de inundación para la presente investigación fue de 27522.96 m² siendo menor a lo determinado en la tesis de investigación debido a que la cuenca presenta una superficie total menor al de la tesis de referencia, adicionalmente a ello se pudo identificar que en la tesis de referencia la longitud del cauce analizado es mayor a lo analizado en la presente investigación, con ello también se pudo identificar que el software aplicado para la estimación de las áreas de investigación fue IBER, dicho programa es similar al HEC-RAS que fue aplicado en la presente investigación, sin embargo el software de la tesis de referencia requiere de mayor rendimiento computacional en comparación con el software HEC-RAS.

CONCLUSIONES

En la evaluación hidráulica e hidrológica de la cuenca del río Huallaga se pudo determinar el total de la superficie del agua es de 364940.64 m², del cual el cauce del río representa una superficie de 8867.69 m² y con ello se pudo determinar que el área de inundación para un periodo de retorno de 50 años es de 27522.96 m².

Del análisis de los parámetros morfológicos para la cuenca del río Huallaga se pudo determinar que este presenta un índice de forma de 0.42, el valor del índice de compacidad se estimó en 2.09, con relación al rectángulo equivalente se determinó que los lados son de 86.00 km y 7.25 km, el valor de la densidad de drenaje se estima en 0.53 y el valor del índice de pendiente se determinó en 0.31

En la comparación de las precipitaciones determinados con el software Hidroesta se pudo identificar que el menor valor de delta es de 0.0796 el cual corresponde a la distribución de Gamma 3 parámetros.

En la estimación de los valores de caudal en el software HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años se pudo determinar que el caudal es de 104.80 m³/s.

Del mapa topográfico de la zona se pudo identificar que la zona más crítica frente a las inundaciones es el margen izquierdo del cauce, dicha zona coincidentemente es el área urbana en la zona analizada presentando un alto riesgo en su ocurrencia.

RECOMENDACIONES

En la estimación de las áreas de inundación se recomienda a investigaciones posteriores no solo caracterizar a la zona de manera hidráulica e hidrológica, sino que también se caracteriza a la población desde la perspectiva del riesgo, peligro y vulnerabilidad.

Para la obtención de un modelo de elevación digital para una determinada cuenca se recomienda que se tenga en cuenta la distancia de las curvas de nivel a fin de poder caracterizar de manera óptima cada uno de los cauces que lo componen.

Para el análisis estadístico de las precipitaciones máximas de una estación se recomienda tener un amplio registro histórico de precipitaciones a fin de mejorar los ajustes en la prueba de distribuciones.

En la estimación de caudales debido a la extensión de la cuenca también se pueden aplicar otras metodologías de estimación de caudales a fin de tener valores de comparación y poder identificar las zonas de inundación de manera óptima.

Se recomienda a las autoridades locales iniciar un plan de concientización frente a inundaciones en la zona a fin de mitigar los efectos adversos en la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente, M. d. (2008). *Manual de Gestión Ambiental para Proyectos de Infraestructura*. Lima: MINAM.
- Ambiente, M. d. (2010). *Guía para la gestión de riesgo de desastres en el Perú*. Lima: MINAM.
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). *Estudio de impacto de inundaciones en Huánuco*. Huánuco: ANA.
- Bolstad, P. (2005). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*. White Bear Lake, MN.: Eider Press.
- Burt, J. B. (2009). *Elementary Statistics for Geographers*. New York: The Guilford Press.
- Chow, V. M. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.
- Esquives Beltrán, K. J., & Velazco Fernández, A. R. (2023). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para sistema de alerta temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal, provincia de Huarney - 2021*. Nuevo Chimbote - Perú: Universidad Nacional Del Santa .
- Godoy, K. (2022). *Modelización hidrológica e hidráulica para establecer las zonas inundables en la cuenca del río Vizcarra, del área urbana de los distritos de La Unión y Ripán*. Universidad de Huánuco.
- Hernández Romero, P., & Patiño Gómez, C. (2018). *Manual para el uso de modelo hidrológico HEC-HMS*. Universidad de las Americas Puebla.
- Hernández Sampieri, R. F. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Informática, I. N. (2014). *Anuario Estadístico del Perú*. Lima: INEI.
- Informática, I. N. (2015). *Manual de Hidrología Básica y Aplicada*. Lima: INEI.
- Informática, I. N. (2018). *Guía Metodológica para la Elaboración del Plan de Gestión de Riesgo de Desastres*. Lima: INEI.
- Instituto Geológico, M. y. (2004). *Guía para la elaboración de estudios de peligros y riesgos geológicos*. Lima: INGEMMET.
- Instituto Geológico, M. y. (2015). *Manual de mapeo geomorfológico*. Lima: INGEMMET.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2021). *Análisis de riesgos de inundación en Perú*. Lima: INDECI.

- Méndez Palacios, C. D., & Vásquez Coronel, G. D. (2021). *Modelación hidrológica E hidráulica de la cuenca del Río Machángara para evaluar zonas de inundación*. Ecuador: Universidad Católica De Cuenca.
- Montgomery, D. B. (1997.). *Geomorphology of streams*. Washington: University of Washington Press.
- Nacional, I. G. (2017). *Manual de Cartografía*. Lima: Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Report on Natural Disasters and Climate Change*. New York: ONU.
- Perú, S. N. (2016). *Norma Técnica E.080 Diseño Sismo Resistente*. Lima: SENAMHI.
- Rojas Parra , H. M., & Jiménez Rivera , K. J. (2021). *Pronóstico de las áreas de inundación en el casco urbano del Municipio de Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la cuenca Quebrada Negra y Río Negro*. Bogota D.C.: Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales.
- Segura Gutiérrez , G. A., & Vargas García , J. A. (2022). *Determinación de las zonas de inundación del Caño Maizaro, en el tramo del Barrio La Vainilla, Villavicencio-meta. Por medio de los software HEC-RAS Y HEC-HMS*. . Bogotá D.C. : Universidad de La Salle.
- Singh, V. (1995). *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch, CO.: Water Resources Publications.
- Singh, V. (2006). *Hydrology: Principles, Analysis, and Design*. Lexington, MA.: Prentice Hall.
- Vargas Ñaupá, A. (2022). *Identificación de áreas en riesgo de inundación por el río Huanta, a un kilómetro aguas abajo del puente Huanta sector Accoscca - 2020*. Ayacucho – Perú: Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga.
- Viessman , J., Warren, G. L., & Lewis, J. W. (2013.). *Introduction to Hydrology*. Upper Saddle River, NJ.: Pearson Education.
- Viessman , J., Warren, G., & Lewis, J. W. (2013). *Introduction to Hydrology*. Upper Saddle River, NJ.: Pearson Education.
- Villalobos Granadino , P. O. (2021). *Estudio de inundación por efectos del desborde del Río Amojú, aplicando los modelos matemáticos HEC-*

RAS y HEC-HMS en la ciudad de Jaén, distrito de Jaén provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo.

Ward, R.C., R. M. (2000). *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill Education.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Marín Salinas, G. (2025). *Simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga para delimitar áreas de inundación utilizando el software Arcgis y Hec-Hms en la localidad de San Rafael – Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 19

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General ¿Cómo podemos determinar las áreas susceptibles a inundaciones a lo largo del río Huallaga en la localidad de San Rafael – Huánuco mediante la simulación hidráulica e hidrológica utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS? Problemas Específicos ¿Cuáles son los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huallaga mediante la aplicación del software ArcGIS? ¿Cuáles son las precipitaciones máximas en la cuenca del río Huallaga utilizando las herramientas de análisis de Hydroesta y Microsoft Excel?	Objetivo General Evaluar la simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga para la delimitación de áreas inundables utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS, en la localidad de San Rafael – Huánuco. Objetivos Específicos Analizar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Huallaga mediante la aplicación del software ArcGIS. Realizar una comparativa de las precipitaciones máximas en la cuenca del río Huallaga utilizando las herramientas de análisis de Hydroesta y Microsoft Excel. Calcular el caudal máximo instantáneo a través de la simulación hidrológica utilizando	Hipótesis General Ha: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024. Ho: La simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS no permite identificar las áreas propensas a inundaciones en la localidad de San Rafael – Huánuco - 2024. VARIABLES	Técnica Observación Estructurada. Instrumentos Mediciones de campo. Registros históricos.

¿Cuál es el caudal máximo instantáneo mediante la simulación hidrológica utilizando el software HEC-HMS para un período de retorno de 50 años en la cuenca del río Huallaga? ¿Como representar las áreas propensas a inundaciones en la región de estudio, teniendo en cuenta un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Huallaga?		el software HEC-HMS para un período de retorno de 50 años. Elaborar un mapa topográfico que muestre las áreas propensas a inundaciones en la región de estudio, considerando un periodo de retorno de 50 años.	Variable Independiente Simulación hidráulica e hidrológica del río Huallaga utilizando el software ArcGIS y HEC-HMS en la localidad de San Rafael - Huánuco. Variable Dependiente Identificación de áreas propensas a inundaciones.
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN		POBLACIÓN Y MUESTRA	
Tipo de Investigación: Aplicada.		Población: La población se compone de las residencias situadas en el lecho del río Huallaga en la región de San Rafael - Huánuco.	
Alcance de Investigación: Descriptivo.		Muestra: La selección de muestra va consistir en las viviendas localizadas en el Sector Pomabamba - San Rafael - Huánuco	
Diseño: No experimental.			

ANEXO 2

EVIDENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 23

Área de estudio



Tabla 20*Clasificación de áreas*

Min	Max	Promedio	Áreas (Km ²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)
2824	3236	3030	15.59	15.59	609.16	2.50	97.50
3236	3489	3362.5	26.90	42.48	582.26	4.31	93.20
3489	3700	3594.5	36.86	79.35	545.40	5.90	87.30
3700	3887	3793.5	48.57	127.91	496.83	7.77	79.53
3887	4049	3968	64.76	192.67	339.88	10.37	69.16
4049	4185	4117	92.19	284.87	339.88	14.76	54.40
4185	4306	4245.5	119.81	404.68	220.06	19.18	35.22
4306	4422	4364	138.72	543.40	81.34	22.20	13.02
4422	4738	4580	81.34	624.74	0.00	13.02	0.00

Tabla 21*Red hídrica*

Hidrografía de la cuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A * B
1	98	181.78	15030	17.792113	267415.458
2	17	69.99	5685	12.94267	73579.079
3	6	41.54	3343	11.127001	37197.5643
4	1	36.26	2938	9.82963	28879.4529
Longitud Total		329.56	26996		407071.555
Pendiente promedio				15.07895817	

Tabla 22*Clasificación de pendientes*

PENDIENTE DE LA CUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	2903555	14517775
10	20	15	1021672	15325080
20	30	25	60639	1515975
30	40	35	9332	326620
40	50	45	2276	102420
50	60	55	619	34045
60	70	65	212	13780
70	80	75	74	5550

80	90	85	25	2125
90	100	95	5	475
Total			3998409	31843845
Pendiente promedio de la Cuenca			7.964128982	

Tabla 23

Estaciones consideradas

ID	NOMBRE	ESTE	NORTE	COTA
1	CANCHAN	358797	8899963	1986
2	GORGOR	276790	8825154	3025
3	HUÁNUCO	364801.7	8899864	1919
4	OYON	306760.2	8820325	3652
5	RECUAY	231183.9	8924943	3431
6	SAN RAFAEL	371959	8858785	2699
7	TINGO MARÍA	390279	8973142	657
8	TULUMAYO	401068	8993936	612

Tabla 24

Registro SENAMHI – San Rafael

Máx. de - 99.9	Etiquetas de columna												Total general
Etiquetas de fila	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1965					-	-	-	-	-	-	-	-	-99.9
					99.	99.	99.	99.	99.	99.	99.	99.	
					9	9	9	9	9	9	9	9	
1966	-99.9	-	-	-	-	12.	0	4.2	14	12.	22.	17.	22.1
		99.	99.	99.	99.	1				3	1	5	
		9	9	9	9								
1967	16	14.	18.	11.	0.0	10						19.	104.4
		2	5	4	6.1	1	4.4	0	8	10	7.2	7	
1968	9.8	13.	7.5	0.0	3.4	2.1	5.2	12.	4.7	2	15	8.2	15
		7		1				5					
1969	22	15.	8.9	7.1	15.	4	0.0	0	6	4.2	8.5	10.	22
		1			5		1					2	
1970	14.4	4.1	10.	8	4.1	7.4	3.3	1.6	4.4	9	9.1	13.	14.4
			9									2	
1971	26.5	16	15.	4.7	2.2	4	12	1	1.4	15.	7.7	22.	26.5
			6							6		7	

1972	14	14.8	22.3	8.9	0	0	0.01	0	0	15	18.7	56	56
1973	34.5	20.2	10.9	2.5	2	12.9	4	10	6.4	23.5	15.5	26.2	34.5
1974	29.5	-99.9	24.2	10.2	0	19.2	12.6	6.5	6.2	2	5.4	5.4	29.5
1975	7	9	35	8	10.4	5.4	0.01	3	8	12	23	3.5	35
1976	8.6	10.8	71.4	15.3	2	3.6	0	0	8.9	14.0	19	13.5	140
1977	36	11.0	22.5	15.5	3.5	0	0	12.0	22.5	14.5	20	22	222.5
1978	12	10.5	11.5	20.6	8.8	3	0.01	0.01	12	25.3	22	17.2	25.3
1979	14.5	40	20.4	19.3	4.5	0	14.9	0.01	22	8	11	19.2	40
1980	8.8	12	24	19.6	0	0.01	0.01	0	0	0.01	8.4	10.0	100
1981	8	4.5	10.5	6.5	0	0	0	4	0.01	16	14	20.6	206
1982	234	56.0	13.0	19	9.3	6.8	5	8.5	6	14	18	10	560
1983	20	26	28.7	20.4	2	4	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	28.7
1984	-99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	-99.9
1985	-99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	-99.9
1986	-99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	-99.9
1987	32	98.8	17.3	10.0	22.6	6	-99.9	-99.9	11	10.7	6.8	30	173

1988	42.7	24. 5	16	14. 5	1.6	0	0	- 99.	- 99.	- 99.	- 99.	- 99.	42.7
1989	-99.9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	-99.9
1990	16.6	13	18	90	0	0	4.1	0	1.5	10. 7	6.8	5	90
1991	14	12	13	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	14
1992	-99.9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	99. 9	6.4	8	7	8
1993	8	10	12. 2	7	2	1	3.5	4.2	99. 9	99. 9	99. 9	40	40
1994	23.2	38. 5	20. 1	12. 8	5.4	0.8	0	2.1	11	15. 8	9.4	31. 2	38.5
1995	25.5	30	36. 8	16	18. 5	13	1.5	3.5	18	22	26. 3	31. 7	36.8
1996	18	17. 4	22. 8	22. 2	8	6	0.9	3.7	21. 1	3.5	19. 5	16	22.8
1997	13	18. 6	10. 2	12. 2	4.5	0	0	7	8.7	22. 4	14. 3	56. 7	56.7
1998	29.4	27. 5	22. 5	7.2	4.4	7.8	0	5.1	6.2	19. 8	19	24. 6	29.4
1999	17.3	21	21. 6	9	7.9	9.7	2.4	12. 8	14. 3	6.6	19. 2	14. 7	21.6
2000	15.9	19. 8	20. 7	12. 8	2.9	14. 5	3.5	12. 3	12. 2	9.4	5.9	25. 1	25.1
2001	24.4	18. 8	17. 6	16	5.1	5.6	5.3	7.9	9.2	16. 2	41. 8	26. 1	41.8
2002	10.2	16	20. 2	9.6	11. 4	2.7	17. 6	0.7	7	29. 9	12	25	29.9
2003	7.5	8.6	15. 2	52. 9	1.9	7.2	0	22. 8	9.4	6.7	27. 3	18. 6	52.9
2004	29.6	16. 3	20. 2	10. 8	15	8	3	4.3	27. 4	22. 8	24. 1	- 99. 9	29.6

2005	9.9	32	25. 9	- 99. 9	1.3	0	1.9	9.3	10. 6	13	16. 1	10. 1	32
2006	13.9	13. 7	12. 7	9	0.6	5.3	5.6	5.8	16. 3	16. 5	28. 8	15. 7	28.8
2007	22.5	11. 1	25. 8	6.8	6.8	0.7	31. 9	3.5	12	17. 1	12	22. 6	31.9
2008	17	28. 2	8.6	6.1	6.3	6.1	1.2	1.8	42. 1	15. 3	24. 5	17. 6	42.1
2009	16.1	17. 6	25. 5	14. 7	14. 7	3.6	7.1	4.9	9.3	12. 7	16. 3	22. 9	25.5
2010	25.1	19. 8	20. 9	20. 8	17. 5	4.4	7.7	5.4	3.9	11. 8	9	23	25.1
2011	16.4	18. 2	10. 4	21. 8	14. 4	0.8	1.4	4.5	10. 3	20. 1	12. 2	16. 1	21.8
2012	13.2	19. 5	15. 3	24. 3	5	6.1	1.7	6.4	1.9	14. 8	21. 3	33. 5	33.5
2013	15.6	24. 8	15. 9	12. 2	4.7	9.9	- 99. 9	- 99. 9	9.1	24. 6	27	41. 1	41.1
2014	18.5	16. 9	25. 7	10. 4	- 99. 9	2.7	- 99. 9	- 99. 9					25.7
Total general	234	56 0	17 3	10 0	22. 6	19. 2	10 4.4	12 0	22 2.5	14 0	41. 8	20 6	560

Tabla 25

Valores de Kriging

NOMB RE	CANCH AN	GORG OR	HUÁNU CO	OYON	RECUA Y	TINGO MARÍA	TULUM AYO	RICRA N
ESTE	358797. 00	276790. 00	364801. 71	306760. 23	231183. 88	390279.00	401068. 00	442502. 00
NORT E	889996 3.00	882515 4.00	889986 4.22	882032 5.43	892494 3.12	8973142.0 0	8993936 .00	872425 7.00
COTA	1986.00	3025.00	1919.00	3652.00	3431.00	657.00	612.00	3674.00
01/89	22.00	20.90	15.70	21.80	21.60	58.40	26.73	12.90
02/89	12.20	29.20	8.00	17.60	24.70	94.40	31.02	9.70
03/89	13.40	24.00	11.90	17.20	41.30	85.00	32.13	17.10
04/89	7.60	7.90	6.50	14.00	17.30	84.80	23.02	13.00
05/89	4.20	0.00	6.30	10.00	10.60	18.70	8.30	6.20
06/89	3.00	0.00	3.40	3.50	3.70	35.00	8.10	9.50

07/89	8.60	0.00	0.00	0.00	0.10	36.80	7.58	4.00
08/89	0.00	0.00	1.40	2.00	14.40	52.00	11.63	6.10
09/89	12.60	0.00	5.70	6.00	9.40	43.00	12.78	10.10
10/89	18.00	5.80	20.60	7.90	30.40	58.20	23.48	17.40
11/89	6.60	0.00	11.10	5.20	11.30	67.00	16.87	13.60
12/89	65.40	0.00	27.40	4.30	6.80	34.00	22.98	7.40
05/90	13.00	0.00	13.00	2.90	8.10	70.00	17.83	8.70
06/90	7.50	0.00	4.70	1.00	1.90	47.20	10.38	10.00
08/90	2.00	2.10	4.50	0.00	3.50	36.50	8.10	14.00
04/91	5.60	10.30	8.30	6.10	15.00	67.80	18.85	11.40
05/91	5.00	6.50	2.00	0.90	11.30	32.40	9.68	13.20
06/91	5.30	12.60	5.00	0.00	0.00	33.20	9.35	6.70
07/91	0.00	0.00	4.80	0.00	4.70	27.90	6.23	4.20
08/91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	2.75	3.50
09/91	7.00	0.00	2.20	0.00	0.10	20.50	4.97	12.20
10/91	15.00	0.00	11.40	0.00	19.40	42.70	14.75	8.90
11/91	12.70	0.00	15.00	4.70	29.40	68.80	21.77	3.20
12/91	17.50	0.00	20.40	5.20	10.50	72.50	21.02	9.90
01/92	8.70	0.00	8.50	10.50	2.30	49.60	13.27	12.90
02/92	12.00	7.50	29.60	6.20	30.80	79.30	27.57	10.50
03/92	12.10	10.60	15.60	9.60	34.00	55.20	22.85	13.10
04/92	7.50	9.50	5.40	12.50	12.10	90.00	22.83	8.30
05/92	3.00	6.40	0.00	1.80	10.40	77.70	16.55	2.50
06/92	2.60	3.20	3.60	2.20	7.70	56.80	12.68	5.60
07/92	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	4.00	3.40
08/92	21.00	0.00	25.00	0.40	7.40	58.00	18.63	9.80
09/92	3.30	3.50	2.00	6.60	14.80	56.20	14.40	4.30
09/93	9.10	0.00	6.00	5.40	7.90	55.90	14.05	7.00
10/93	9.40	0.00	7.60	8.30	24.80	90.50	23.43	5.50
11/93	15.40	0.00	16.40	11.60	19.50	80.70	23.93	21.10
07/94	0.70	0.00	0.00	1.90	0.60	67.40	11.77	2.40
06/97	9.50	0.00	1.90	0.00	0.00	33.70	40.50	2.40
07/97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.30	21.60	0.00
07/98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.40	23.20	0.00
07/03	0.00	0.00	0.10	0.00	3.60	23.50	23.00	1.30
12/04	18.20	9.90	17.60	10.10	27.00	46.10	45.70	12.80
04/05	7.00	8.80	2.40	1.80	20.40	23.30	24.80	9.80
06/05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	43.70	62.50	0.00
07/13	7.60	0.00	5.50	7.98	7.98	18.80	7.98	3.00

08/13	15.60	0.00	14.10	16.88	16.88	37.80	16.88	13.00
-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 26

Intensidades PR 50 años

MINUTOS	INTENSIDAD	PRECIPACUMULADA	CAMBIO	INTENSIDAD AD PARCIAL	BLOQUE ALTERNO	INTENSIDAD AD ALTERNA	LLUVIA ACUMULADA
20 min	35.76 mm	11.920	11.920	35.760	0.80 mm	2.409	0.803
40 min	23.29 mm	15.527	3.607	10.822	0.87 mm	2.609	1.673
60 min	18.12 mm	18.124	2.597	7.791	0.95 mm	2.860	2.626
80 min	15.17 mm	20.226	2.102	6.306	1.06 mm	3.186	3.688
100 min	13.21 mm	22.023	1.797	5.390	1.21 mm	3.632	4.899
120 min	11.80 mm	23.609	1.586	4.758	1.43 mm	4.289	6.328
140 min	10.73 mm	25.038	1.430	4.289	1.80 mm	5.390	8.125
160 min	9.88 mm	26.347	1.308	3.925	2.60 mm	7.791	10.722
180 min	9.19 mm	27.557	1.211	3.632	11.92 mm	35.760	22.642
200 min	8.61 mm	28.687	1.130	3.390	3.61 mm	10.822	26.249
220 min	8.11 mm	29.749	1.062	3.186	2.10 mm	6.306	28.351
240 min	7.69 mm	30.753	1.004	3.012	1.59 mm	4.758	29.937
260 min	7.32 mm	31.707	0.953	2.860	1.31 mm	3.925	31.245
280 min	6.99 mm	32.616	0.909	2.727	1.13 mm	3.390	32.375
300 min	6.70 mm	33.485	0.870	2.609	1.00 mm	3.012	33.379
320 min	6.43 mm	34.320	0.835	2.504	0.91 mm	2.727	34.288

340					0.83		
min	6.20 mm	35.123	0.803	2.409	mm	2.504	35.123
360					0.77		
min	5.98 mm	35.897	0.774	2.322	mm	2.322	35.897

Figura 24

Hidroesta – Distribución Normal

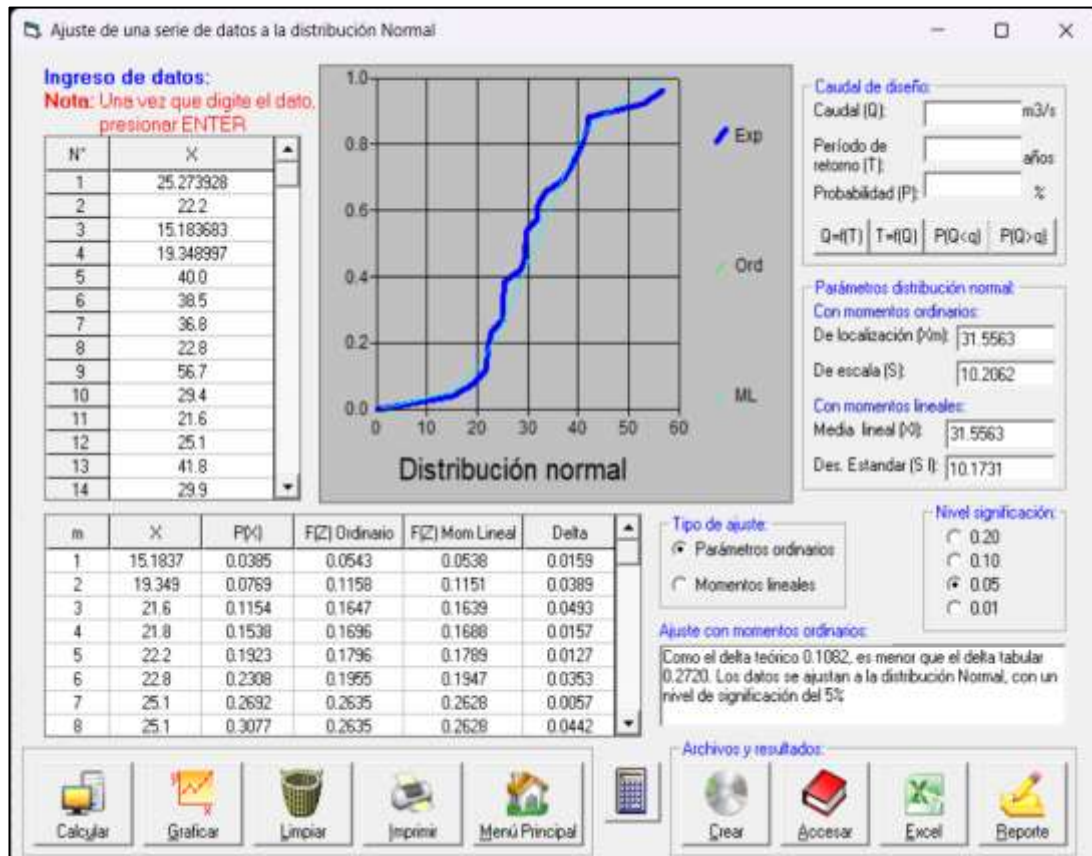


Figura 25

Hidroesta – Distribución Log Normal 2P

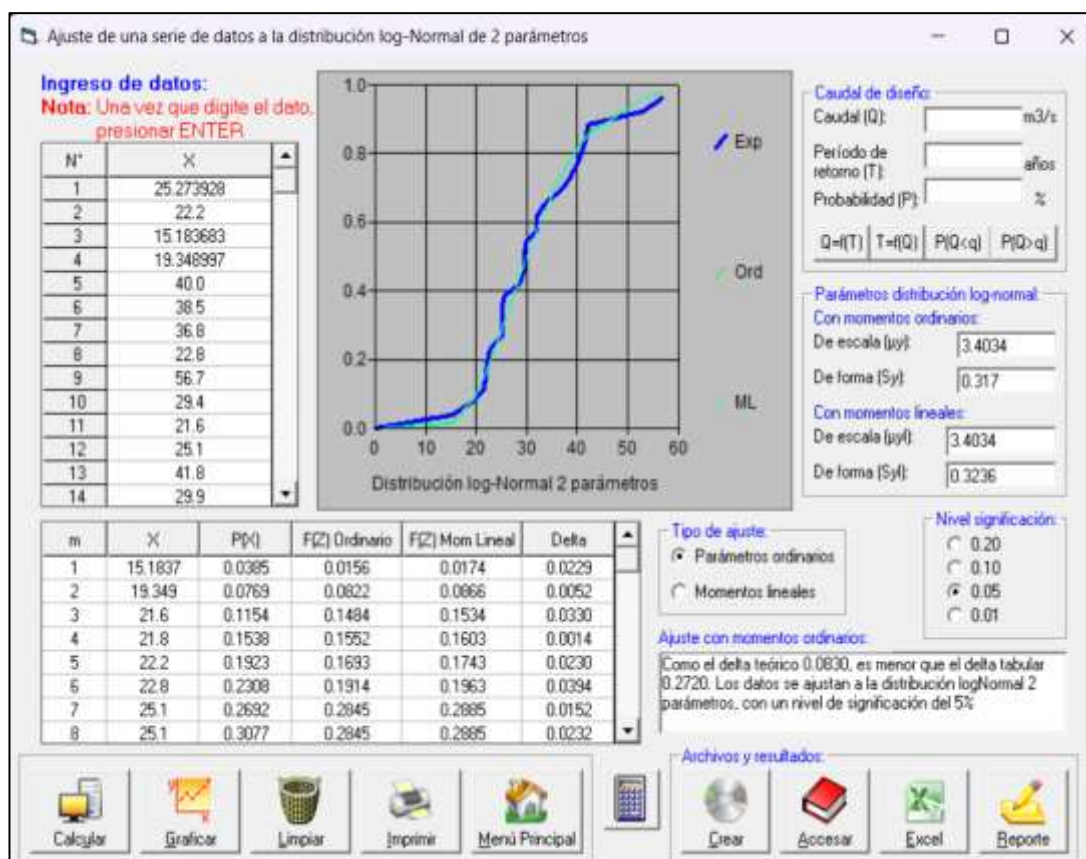


Figura 26

Hidroesta – Distribución Log Normal 3P

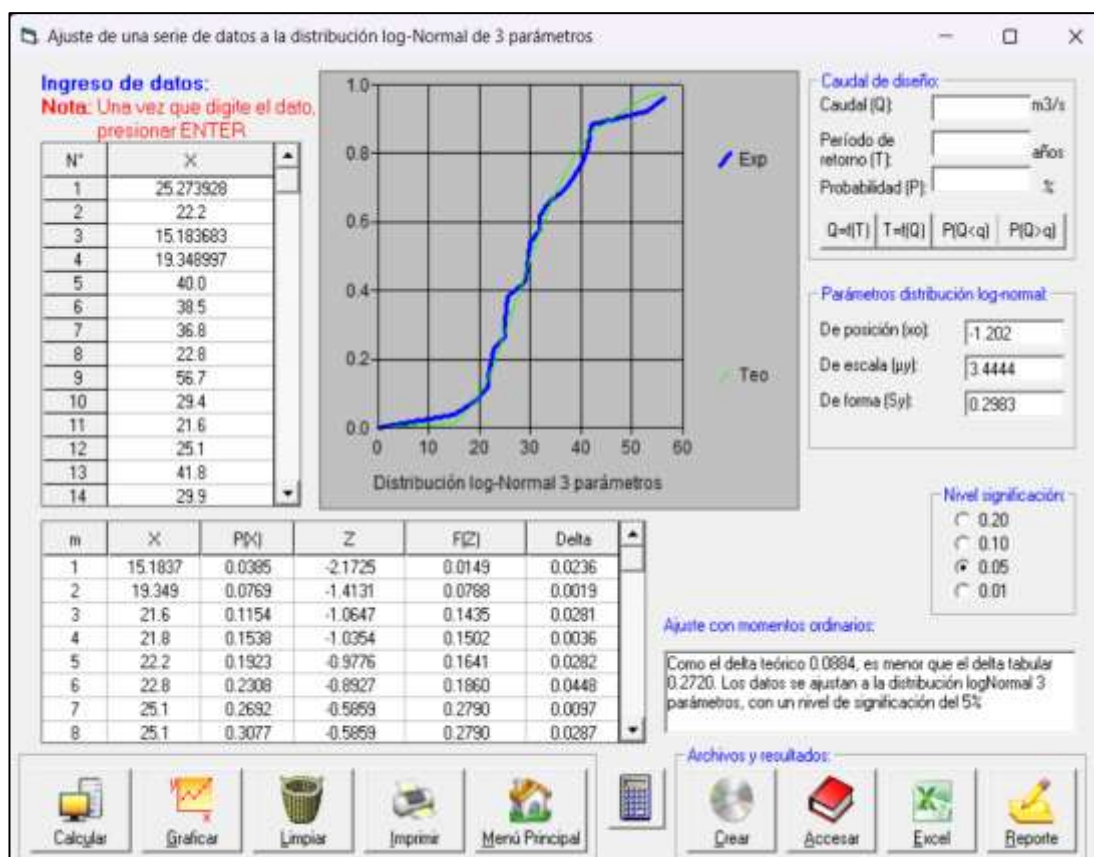


Figura 27

Hidroesta – Distribución Gamma 2P

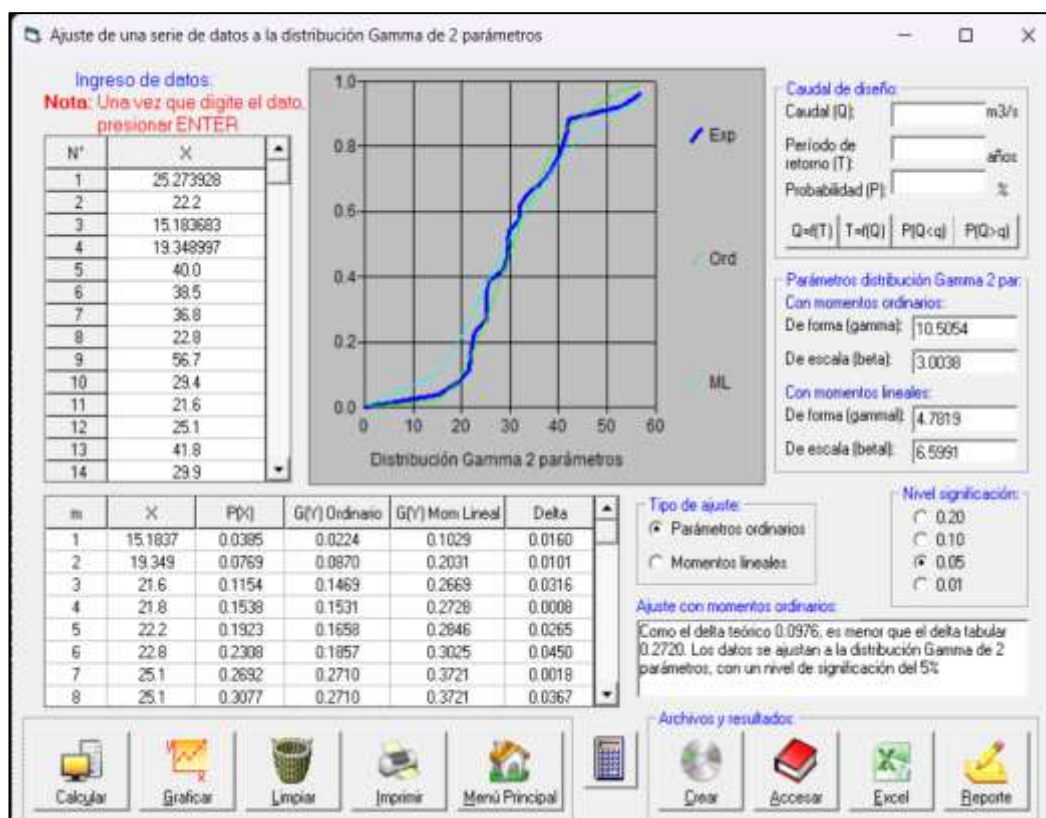


Figura 28

Hidroesta – Distribución Gamma 3P

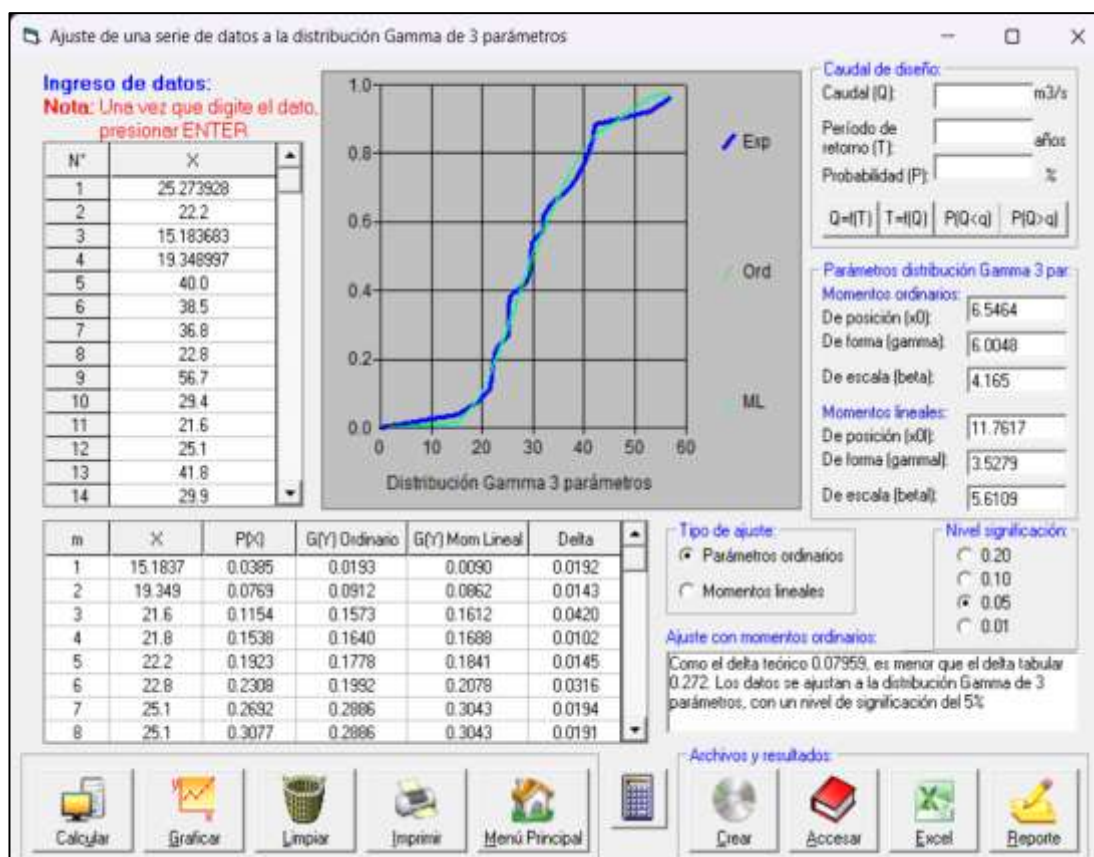


Figura 29

Hidroesta – Distribución Gumbel

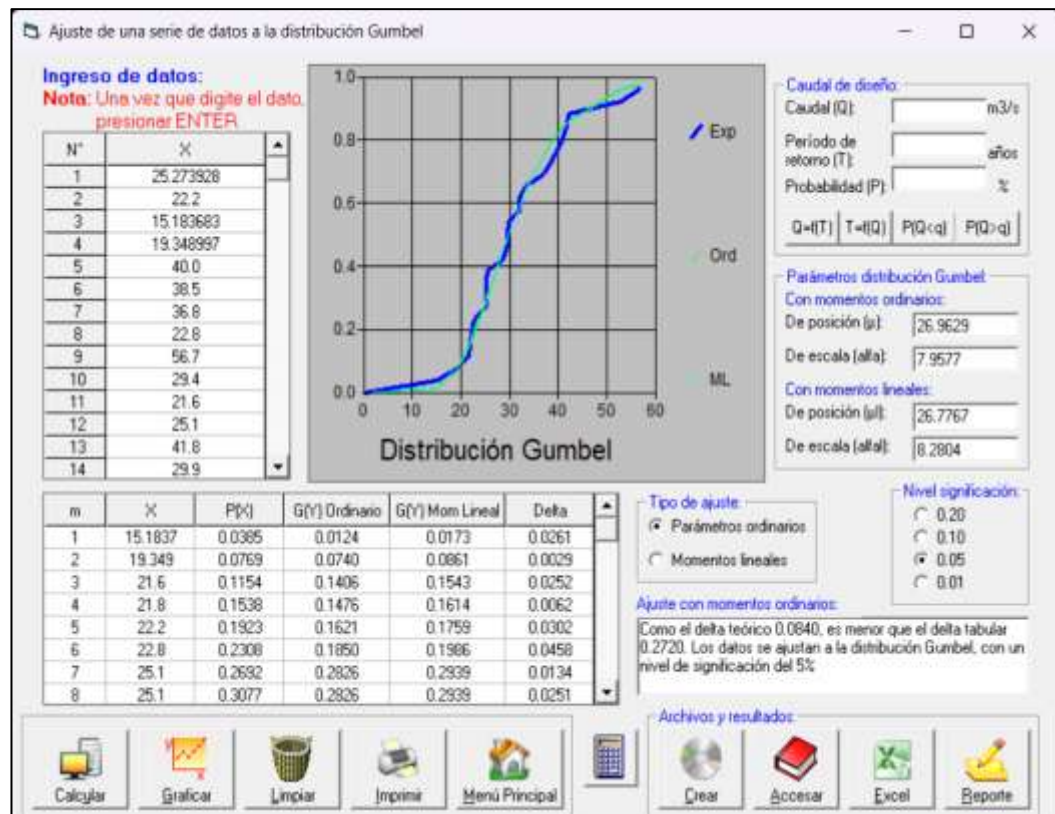


Figura 30

Hidroesta – Distribución Log-Gumbel

