

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

“Simulación hidrológica con sistemas de información geográfica para identificar las zonas vulnerables de inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco, 2024”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Díaz Silva, Deivy

ASESOR: Jacha Rojas, Johnny Prudencio

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Hidráulica

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería

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): 72505421

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40895876

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0001-7920-1304

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Rodriguez Ponce, Charly Fernando	Título oficial de máster universitario en ingeniería estructural y de la construcción	71944966	0000-0001-6984-8681
3	Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda	Máster en dirección de proyectos	73645168	0009-0001-0745-5433

D

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:30 horas del día miércoles 12 de marzo de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. CHARLY FERNANDO RODRÍGUEZ PONCE	SECRETARIO
❖ MG. INGRID DELIA DIGNARDA ARTEAGA ESPINOZA	VOCAL

Nombrados mediante RESOLUCIÓN No 0424-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUÁNUCO-2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Deivy DIAZ SILVA, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

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

Siendo las *16:15* horas del día 12 del mes de marzo del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA.
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
PRESIDENTE

MG. CHARLY FERNANDO RODRÍGUEZ PONCE
DNI: 71944966
ORCID: 0000-0001-6984-8681
SECRETARIO (A)

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



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: DEIVY DÍAZ SILVA , de la investigación titulada "Simulación hidrológica con sistemas de información geográfica para identificar las zonas vulnerables de inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco, 2024", con asesor(a) JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1287-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 20 % 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, 18 de diciembre de 2024



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



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

42. DÍAZ SILVA DEIVY.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	19%	4%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unheval.edu.pe	4%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.udh.edu.pe	3%
	Fuente de Internet	
3	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
4	distancia.udh.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	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

Dedico este trabajo a mis padres, cuya paciencia, sacrificio y amor incondicional han sido mi inspiración y fortaleza en cada paso; a mis amigos y compañeros, con quienes compartí momentos de ánimo y crecimiento durante esta travesía; y a mis profesores y mentores, quienes, con su guía y conocimientos, cultivaron en mí la pasión por aprender y superarme cada día. A todos ustedes, pilares fundamentales en mi vida y en la realización de este proyecto, les dedico con gratitud este logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mis padres, cuyo inquebrantable apoyo, paciencia y ejemplo de perseverancia me han inspirado a enfrentar cada desafío con dedicación; a mis amigos y compañeros de estudio, por su constante compañía y aliento, que hicieron de esta etapa una experiencia enriquecedora y motivadora; a mis profesores y mentores, por la guía y conocimiento compartidos a lo largo de mi formación, cuya influencia ha sido fundamental para mi crecimiento profesional; y a todas las instituciones y personas que, de alguna manera, contribuyeron al desarrollo de esta investigación, brindando recursos, orientación y respaldo en momentos clave. A todos, mi más sincero agradecimiento por ser parte de este logro.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
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. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL	15
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.2. BASES TEÓRICAS	22
2.2.1. HIDROLOGÍA	22
2.2.2. CUENCA HIDROLÓGICA	23
2.2.3. SUPERFICIE DE LA CUENCA	24
2.2.4. CURVA HIPSOMÉTRICA	24

2.2.5.	ÍNDICES REPRESENTATIVOS	26
2.2.6.	RECTÁNGULO EQUIVALENTE	27
2.2.7.	ÍNDICE DE PENDIENTE	28
2.2.8.	RED DE DRENAJE.....	28
2.2.9.	PRECIPITACIÓN	29
2.2.10.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	30
2.2.11.	PRUEBA DE DATOS DUDOSOS.....	30
2.2.12.	FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD.....	31
2.2.13.	CURVAS IDF	31
2.2.14.	HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN	32
2.2.15.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	33
2.2.16.	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	37
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	38
2.4.	HIPÓTESIS	40
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	40
2.4.2.	HIPÓTESIS NULA	40
2.4.3.	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	40
2.5.	VARIABLES	41
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	41
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE	41
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
CAPÍTULO III		43
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		43
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
3.1.1.	ENFOQUE	43
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	43
3.1.3.	DISEÑO	44
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA	44
3.2.1.	POBLACIÓN.....	44
3.2.2.	MUESTRA	45
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..	45
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.3.2.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS	53
3.3.3.	PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	55

CAPÍTULO IV.....	56
RESULTADOS.....	56
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	56
4.1.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN.....	56
4.1.2. LLUVIAS EXTREMAS MÁXIMAS PARA DISTINTOS LAPSOS DE OCURRENCIA	60
4.1.3. CARACTERIZACIÓN Y MODELO DEL ÁREA DRENAJE UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) ..	61
4.1.4. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA	66
4.1.5. PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA	68
4.1.6. MODELO HEC-HMS.....	75
4.1.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN.....	87
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	92
CAPÍTULO V.....	95
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	42
Tabla 2 Localización de las estaciones pluviométricas.....	46
Tabla 3 Precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones seleccionadas	48
Tabla 4 Datos de pluviometría – Estación Tingo María	50
Tabla 5 Análisis de doble masa y consistencia para las estaciones seleccionadas	57
Tabla 6 Prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov.....	60
Tabla 7 Precipitaciones para distintos periodos de retorno	60
Tabla 8 Áreas parciales acumuladas	64
Tabla 9 Categorización de la pendiente de la cuenca	66
Tabla 10 Datos de la red hídrica	66
Tabla 11 Máximas precipitaciones en 24 hrs	69
Tabla 12 Promedio de precipitaciones.....	69
Tabla 13 Datos de hietograma.....	72
Tabla 14 Tabla de valores del N de Manning	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo hidrológico	23
Figura 2 Cuenca hidrográfica.....	24
Figura 3 Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes	25
Figura 4 Rectángulo equivalente	27
Figura 5 Ejemplo de curva IDF	32
Figura 6 Hietograma de Precipitación.....	33
Figura 7 Modelo de elevación digital DEM.....	35
Figura 8 Modelo geométrico y estadístico	37
Figura 9 Ubicación de estaciones meteorológicas.....	46
Figura 10 Clasificación climática ONERN.....	47
Figura 11 Análisis Cluster de estaciones	49
Figura 12 Carta Nacional hoja 20k.....	52
Figura 13 Plantilla GIS para presentación de información geográfica	54
Figura 14 Plantilla Excel para el análisis hidrológico	54
Figura 15 Trazado de rectas de doble masa	59
Figura 16 Mapa de delimitación de la cuenca.....	62
Figura 17 Modelo de altitudes de la cuenca	62
Figura 18 Modelo de pendientes de la cuenca	63
Figura 19 Modelo de la red hídrica de la cuenca de aporte	63
Figura 20 Curva hipsométrica	64
Figura 21 Polígono de frecuencia de altitudes.....	65
Figura 22 Intervalo de altitudes para el polígono de frecuencias.....	65
Figura 23 Isoyetas de precipitación	68
Figura 24 Mapa de uso de suelo.....	73
Figura 25 Mapa de cobertura vegetal	74
Figura 26 Modelo digital de elevaciones.....	74
Figura 27 Diagrama de número de curva	75
Figura 28 Caracterización de la cuenca en HEC-HMS.....	76
Figura 29 Hidrograma de avenida para periodo de retorno 2 años.....	77
Figura 30 Hidrograma de avenida para periodo de retorno 5 años.....	77
Figura 31 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 10 años.....	78
Figura 32 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 20 años.....	78

Figura 33 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 25 años.....	79
Figura 34 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 50 años.....	79
Figura 35 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 100 años.....	80
Figura 36 Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 500 años.....	80
Figura 37 Seccionamiento del río para importación a HEC-RAS.....	81
Figura 38 Definición de la geometría del canal en HEC-RAS.....	82
Figura 39 Definición de condiciones de flujo.....	84
Figura 40 Configuración de la simulación	85
Figura 41 Perspectiva para un periodo de retorno de 5 años	85
Figura 42 Perspectiva para un periodo de retorno de 50 años	86
Figura 43 Perspectiva para un periodo de retorno de 500 años	86
Figura 44 Matriz de riesgo identificado de acuerdo con los tirantes	87
Figura 45 Zonas de inundación PR 2 años.....	87
Figura 46 Zonas de inundación PR 5 años.....	88
Figura 47 Zonas de inundación PR 10 años.....	88
Figura 48 Zonas de inundación PR 20 años.....	89
Figura 49 Zonas de inundación PR 25 años.....	89
Figura 50 Zonas de inundación PR 50 años.....	90
Figura 51 Zonas de inundación PR 100 años.....	90
Figura 52 Zonas de inundación PR 500 años.....	91
Figura 53 Perspectiva para un periodo de retorno de 500 años	93
Figura 54 Zonas de inundación PR 500 años.....	93
Figura 55 Áreas de inundación para diferentes periodos de retorno	96
Figura 56 Foto aérea de la quebrada Cascay.....	112
Figura 57 Foto aérea tomada desde el dron.....	112
Figura 58 Quebrada Cascay	113
Figura 59 Vegetación en la quebrada Cascay	113
Figura 60 Ensamblado de dron para fotogrametría	114
Figura 61 Inicio de vuelo para fotogrametría	114
Figura 62 Recorrido de la quebrada Cascay	115
Figura 63 Recorrido de la quebrada	115

RESUMEN

En esta investigación, se analizó cómo la simulación hidrológica combinada con sistemas de información geográfica (SIG) contribuyó a la identificación precisa y eficiente de zonas vulnerables a inundaciones en el distrito de Churubamba, provincia de Huánuco. Para ello, se establecieron parámetros hidrológicos de la cuenca mediante SIG, determinando que esta abarca un área de 213 km², con una pendiente media del 45.02% y una altitud promedio de 3515 m.s.n.m. Estos parámetros permitieron comprender las características físicas de la cuenca y reconocer las áreas expuestas a inundación. Se realizó un análisis detallado de la información pluviométrica, aplicando la metodología de isoyetas y utilizando estaciones seleccionadas, lo cual permitió calcular las intensidades máximas de precipitación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años, con valores que variaron entre 12.86 mm y 19.27 mm. Estos datos fueron clave para estimar el caudal asociado a cada periodo de retorno, alcanzando tirantes de hasta 6.50 m en eventos extremos. A través del desarrollo de un mapa de riesgos, se identificaron y delimitaron las áreas vulnerables a inundaciones, encontrándose que ambos márgenes del río presentan alta susceptibilidad ante el incremento de los caudales, afectando hasta 80 m desde el margen. Estos resultados subrayaron la necesidad de implementar medidas de gestión de riesgos y planificación adecuada para proteger a las comunidades ubicadas en áreas críticas.

Palabras Clave: cuenca, precipitación, ciclo hidrológico, análisis de riesgo, modelamiento hidrológico.

ABSTRACT

In this research, hydrological simulation combined with geographic information systems (GIS) was analyzed to determine its contribution to the precise and efficient identification of flood-prone areas in the district of Churubamba, Huánuco province. For this purpose, hydrological parameters of the basin were established using GIS, revealing that it covers an area of 213 km², with an average slope of 45.02% and a mean altitude of 3,515 meters above sea level. These parameters allowed for a comprehensive understanding of the basin's physical characteristics and the identification of areas exposed to flooding. A detailed analysis of rainfall data was conducted, applying the isohyetal method and using selected stations, which enabled the calculation of maximum precipitation intensities for return periods of 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, and 500 years, with values ranging from 12.86 mm to 19.27 mm. This data was essential for estimating the flow associated with each return period, with water depths reaching up to 6.50 m in extreme events. Through the development of a risk map, flood-prone areas were identified and delineated, showing that both riverbanks have high susceptibility to flow increases, affecting up to 80 meters from the river's edge. These findings underscore the need for risk management measures and proper planning to protect communities located in critical areas.

Keywords: basin, precipitation, hydrological cycle, risk analysis, hydrological modeling.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en la necesidad apremiante de identificar áreas vulnerables a inundaciones mediante la aplicación de simulación hidrológica con sistemas de información geográfica (SIG). El problema subyacente reside en la escasez de información detallada y registros históricos, lo que dificulta la precisión en la determinación de umbrales específicos para prevenir desastres naturales en el distrito de Churubamba, provincia de Huánuco. La formulación de este problema se orienta hacia la imperiosa necesidad de emplear herramientas especializadas como el software HEC-RAS para modelar el comportamiento hidrodinámico y analizar escenarios de precipitación que puedan incidir en zonas de riesgo. La justificación de esta investigación radica en su relevancia para la gestión de riesgos a nivel regional y en el potencial impacto positivo que podría tener en el desarrollo profesional del investigador y en la comunidad. Los objetivos del estudio se enfocan en adquirir nuevas habilidades en modelado hidrológico y análisis SIG, así como en contribuir a la comunidad académica y profesional con resultados confiables y precisos. En términos de métodos y técnicas, se empleará un enfoque cuantitativo para obtener una comprensión profunda de las áreas vulnerables a inundaciones. Las fuentes de información incluirán datos geospaciales, registros hidrometeorológicos, mediciones de campo e imágenes satelitales, garantizando la robustez del modelo construido. A pesar de las limitaciones inherentes, como la variabilidad climática y la falta de información detallada, se sostiene que esta investigación es viable y con un impacto significativo en el crecimiento profesional del investigador. En conclusión, se espera que los resultados obtenidos contribuyan a la gestión de riesgos y sean reconocidos en la comunidad académica y profesional como un aporte sustancial en la identificación y mitigación de las zonas vulnerables a inundaciones en el distrito de Churubamba.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el contexto de mi investigación titulada "Simulación Hidrológica con Sistemas de Información Geográfica para Identificar las Áreas de Inundación en el Distrito del Churubamba, Provincia de Huánuco", se plantea un problema de gran relevancia para la gestión de riesgos hidrológicos en esta región.

El área geográfica del Distrito del Churubamba en la Provincia de Huánuco enfrenta desafíos recurrentes relacionados con inundaciones, lo que genera riesgos para la población y la infraestructura. La falta de un análisis integral de las áreas propensas a inundaciones y la escasa disponibilidad de información actualizada y precisa han limitado la capacidad de tomar decisiones informadas y de implementar medidas preventivas y de mitigación.

Este problema plantea la necesidad de desarrollar una herramienta de simulación hidrológica respaldada por Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permita modelar el comportamiento de los ríos y arroyos en el Distrito del Churubamba ante diferentes escenarios de precipitación. Se busca obtener una visión más clara y precisa de las áreas que podrían verse afectadas por inundaciones en distintas condiciones climáticas, considerando diferentes niveles de retorno.

La integración de datos topográficos, climáticos y hidrológicos mediante Sistemas de Información Geográfica ofrece una oportunidad única para obtener una representación visual y cuantitativa de las áreas de inundación potencial. Sin embargo, hasta el momento, no se ha logrado un enfoque integral que aproveche al máximo estas herramientas para abordar los riesgos de inundación en el Distrito del Churubamba.

En esta tesis, se busca superar estas limitaciones al desarrollar un modelo hidrológico preciso y confiable utilizando SIG, que permita simular diferentes escenarios de inundación y evaluar los niveles de riesgo en el Distrito del Churubamba. Además, se considerará la calibración y validación

del modelo con datos de eventos de inundación previos y mediciones in situ para garantizar la precisión de los resultados.

La resolución de este problema no solo proporcionaría una mejor comprensión de las áreas vulnerables a inundaciones en el Distrito del Churubamba, sino que también sentaría las bases para la toma de decisiones informadas en términos de planificación urbana, gestión de riesgos y desarrollo sostenible en la región.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera la simulación hidrológica con sistemas de información geográfica contribuye a identificar las zonas vulnerables a inundación, en el distrito del Churubamba Provincia de Huánuco?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

¿Cuáles son los parámetros hidrológicos de la cuenca en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco?

¿Cómo realizar un análisis de la información pluviométrica de la zona en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco?

¿Cuáles serán las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar cómo la simulación hidrológica, en combinación con sistemas de información geográfica (SIG), contribuye a la identificación precisa y eficiente de las zonas vulnerables a inundaciones en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer los parámetros hidrológicos de la cuenca con los sistemas de información geográfica para determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

Realizar un análisis y procesamiento de la información pluviométrica para determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

Desarrollar un mapa de riesgos que identifique y delimite las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Las inundaciones no solo representan una amenaza física para las personas y sus hogares, sino que también afectan profundamente el tejido social de la comunidad. Las pérdidas económicas, la destrucción de infraestructura y el desplazamiento forzado pueden desencadenar consecuencias emocionales y económicas a largo plazo. Además, las inundaciones a menudo impactan de manera desproporcionada a aquellos que ya son vulnerables, como las familias de bajos ingresos y las comunidades marginadas.

Al desarrollar un modelo de simulación hidrológica respaldado por Sistemas de Información Geográfica, esta tesis busca proporcionar a la comunidad herramientas para anticipar y mitigar los riesgos de inundación. Al identificar las áreas propensas a inundaciones, las autoridades locales y los planificadores podrán tomar decisiones más informadas en cuanto a infraestructura, planificación urbana y gestión de emergencias. Esto puede resultar en una reducción significativa de los daños causados por inundaciones y, en última instancia, mejorar la seguridad y el bienestar de los residentes.

Además, esta tesis también puede fomentar la participación comunitaria y la conciencia sobre los riesgos hidrológicos. Al brindar información precisa y accesible sobre las áreas de inundación, se empodera a los residentes para tomar medidas proactivas para proteger sus hogares y familias. Esta involucración comunitaria fortalece los lazos sociales y promueve una cultura de preparación y resiliencia.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Aborda la necesidad urgente de abordar los riesgos de inundaciones en esta región. Las inundaciones recurrentes amenazan la seguridad y la infraestructura local, lo que demanda soluciones prácticas y efectivas. La falta de herramientas precisas para prever y mitigar estas situaciones ha dejado a la comunidad vulnerable.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la simulación hidrológica ofrece una oportunidad valiosa. La integración de datos topográficos y climáticos permitirá modelar con precisión el comportamiento de los cursos de agua y su potencial para causar inundaciones en diversos escenarios. Esto no solo identificará las áreas de riesgo, sino que también respaldará la toma de decisiones para la gestión de riesgos y la planificación urbana.

La relevancia de mi tesis radica en su enfoque práctico y orientado a la acción. Al desarrollar un modelo hidrológico sólido con tecnología SIG, proporcionaré información vital para la toma de decisiones informadas. Esto será beneficioso para autoridades locales, planificadores y gestores de emergencias, lo que permitirá reducir la vulnerabilidad ante inundaciones y promover un desarrollo más seguro y resiliente en el Distrito del Churubamba.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las restricciones en este estudio abarcan la inherente variabilidad en las condiciones climáticas y geológicas entre diversas regiones, lo que podría complicar la extrapolación de los hallazgos. Además, la ausencia de

información histórica minuciosa y registros detallados de sucesos previos podría restringir la exactitud al determinar umbrales específicos. Asimismo, se podrían encontrar dificultades en la recolección y análisis de datos hidrológicos y geotécnicos, así como en la precisa estimación de la relación causa-efecto entre la precipitación y el desencadenamiento de flujos. Estos factores limitativos podrían impactar la fiabilidad de los resultados y la aplicabilidad amplia de las conclusiones.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

En primer lugar, los métodos y técnicas necesarios para llevar a cabo esta investigación son viables y ampliamente aplicables en el campo de la hidrología y la tecnología SIG. Existen herramientas y software especializados que permiten modelar el comportamiento hidrológico y realizar análisis espaciales de manera precisa y eficiente.

Además, cuento con acceso a los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Se dispone de financiamiento para adquirir los equipos y software requeridos, así como para llevar a cabo levantamientos de campo si es necesario. También se cuenta con colaboradores y expertos en el área que pueden proporcionar asesoramiento y apoyo técnico.

La investigación puede tener un impacto significativo en mi crecimiento profesional. La adquisición de nuevas habilidades en modelado hidrológico y análisis SIG fortalecerá mi perfil como investigador en el campo de la hidrología. Además, la contribución a la gestión de riesgos en la región puede llevar al reconocimiento en la comunidad académica y profesional.

En cuanto a la obtención de una muestra representativa, se cuenta con acceso a datos geoespaciales y registros hidrometeorológicos que permitirán construir un modelo sólido. Se pueden realizar mediciones de campo y obtener imágenes satelitales para calibrar y validar el modelo, garantizando resultados confiables.

Las fuentes de datos disponibles son confiables y cumplen con los estándares requeridos en investigación hidrológica. Los datos históricos y

actuales proporcionan información sólida para la simulación y modelado, lo que respalda la calidad y precisión de los resultados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según Zambrana (2019) en su estudio “simulación hidrológica e hidráulica del río k’uchumuela para determinar áreas de riesgo de inundación.” El estudio se centró en calcular los caudales máximos para períodos de retorno de 25 y 50 años mediante los métodos "Racional" y "Número de Curva". El proceso incluyó la creación de un flujograma específico para cinco subcuencas en la zona de estudio. En la primera etapa, se recopilaron datos topográficos, detalles de cobertura del suelo y características del terreno utilizando herramientas de SIG y datos satelitales. En la segunda etapa, se determinó la longitud y desnivel del cauce principal en cada subcuenca para calcular los tiempos de concentración y estimar las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). En la tercera etapa, se calculó la intensidad de precipitación y, con parámetros morfométricos previos, se obtuvieron los caudales pico de crecida, validándolos y comparándolos con otros métodos para asegurar su precisión. En conclusión, el estudio logró determinar caudales pico para distintos períodos de retorno al combinar datos geoespaciales, cálculos de tiempo de concentración, curvas IDF y análisis de precipitación, asegurando su confiabilidad a través de la validación y comparación con otros enfoques.

Según Romero (2019) en su tesis “Simulación hidrológica con sistemas de información geográfica de la cuenca del río Alseseca” El trabajo se propone abordar los daños ocasionados por las lluvias en la población de Puebla debido al crecimiento desordenado de centros urbanos y al aumento de fenómenos hidrometeorológicos intensos y frecuentes. Se destaca la importancia de realizar estudios relacionados con la prevención de desastres naturales, especialmente en la cuenca del río Alseseca. El estudio utiliza una simulación hidrológica y se centra

en analizar los puntos críticos mencionados por CONAGUA en relación con las inundaciones en el río Alseseca. Se emplea un SIG junto con Watershed Modeling System para generar capas de información clave, como curvas de nivel, uso de suelo, tipo de suelo, hidrología superficial e isoyetas con diferentes periodos de retorno. La simulación implica el uso de varios programas y métodos, como TOPAZ para el flujo de dirección y acumulación, HEC-1 para calcular la avenida máxima y HEC-RAS para describir las llanuras de inundación. En conclusión, el estudio se centra en el análisis de puntos críticos de inundación en el río Alseseca en Puebla, utilizando una simulación hidrológica basada en SIG y modelos específicos para estimar avenidas máximas y niveles de inundación.

Coloma (2018) en su estudio en el río Tambo utilizó los modelos HEC-HMS y HEC-RAS para simular procesos hidrológicos e hidráulicos, enfocándose en caudales de máximas avenidas y niveles de inundación para diferentes períodos de retorno demostrando la relevancia del modelado para comprender los patrones de inundación y anticipar caudales y niveles en el río Tambo en diferentes escenarios de retorno. Este enfoque es comparable a nuestro análisis en Churubamba, subrayando la importancia del modelado hidrológico para comprender y anticipar patrones de inundación.

Velásquez (2022) en su estudio en el caserío Macuaco utilizó SIG y tecnología LIDAR para obtener mapas de inundación, con un enfoque en la delimitación de la cuenca y la creación de la red hídrica. La metodología empleada para generar hietogramas y simular caudales de diseño es similar a nuestra aplicación de HEC-HMS y HEC-RAS. Velásquez (2022) logro identificar zonas inundables durante avenidas máximas en situaciones extremas., demostrando la utilidad de estas herramientas en la gestión de riesgos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Según Mendoza (2017) en su tesis “Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del Río Huallaga” donde objetivo principal de esta tesis es proponer una metodología adecuada para aplicar la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica (SIG) con el fin de identificar las áreas de inundación en el tramo del río Huallaga entre Huaylla y Ambo. Dado que muchos ríos carecen de registros históricos de caudales, esta investigación se centra en utilizar herramientas como modelos matemáticos y SIG para superar este desafío. La metodología se basa en un análisis hidrológico y un análisis hidráulico que combina información meteorológica, cartográfica y topográfica para obtener caudales de máximas avenidas y áreas de inundación para diversos periodos de retorno. Los resultados demuestran que la aplicación correcta de esta metodología permite identificar las áreas de inundación en el río Huallaga, y se concluye que esta aproximación sencilla y automatizada ahorra tiempo y esfuerzo en comparación con enfoques tradicionales.

Según Ruiz (2022) en su tesis “Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante la modelación hidráulica e hidrológica planteada en el río Huallaga para el tramo del centro poblado de Huaracalla “donde se tuvo como objetivo principal identificar zonas de alto riesgo de inundación en el tramo del río Huallaga que abarca el centro poblado de Huaracalla en la región de Huánuco, a través de la aplicación de modelos hidráulicos e hidrológicos empleando los softwares HEC-RAS y HEC-HMS. La metodología incluyó la delimitación de la subcuenca mediante modelos de elevación digital y el uso de estaciones pluviométricas y registros históricos de precipitación. Tras un proceso de análisis de datos y cálculos estadísticos, se determinaron intensidades de precipitación y caudales de diseño para diferentes periodos de retorno. Estos resultados se aplicaron en el software HEC-RAS para simular inundaciones y obtener niveles de tirantes y mapas de

inundación. En conclusión, el estudio logró identificar zonas de riesgo de inundación en el área estudiada mediante la utilización de modelos hidráulicos e hidrológicos, demostrando la importancia de estos enfoques para la gestión y prevención de inundaciones.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. HIDROLOGÍA

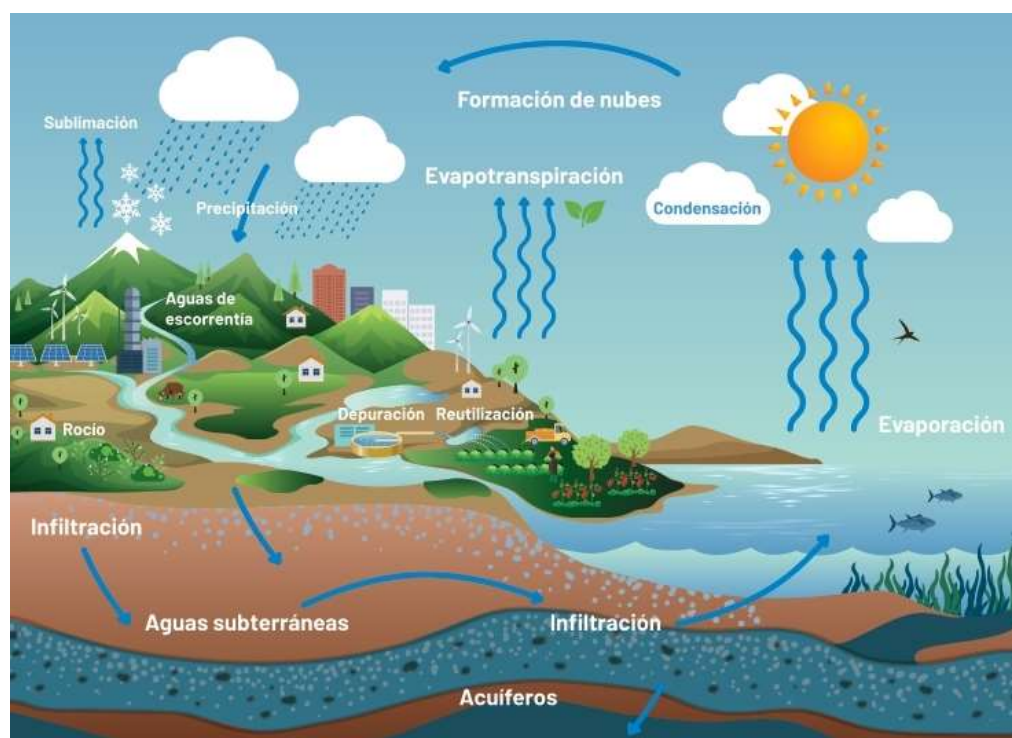
La hidrología es la rama de la ciencia que se dedica al estudio de las aguas en la Tierra, incluyendo su distribución, circulación, propiedades físicas y químicas, así como su interacción con el medio ambiente y los seres vivos. Esta disciplina abarca una amplia gama de aspectos relacionados con el ciclo del agua, que involucra la evaporación del agua de la superficie terrestre, su condensación en forma de nubes, la precipitación en forma de lluvia o nieve, la infiltración en el suelo, el flujo de agua en ríos, arroyos y lagos, la recarga de acuíferos subterráneos, y finalmente, su retorno a la atmósfera a través de la evaporación y la transpiración de las plantas (conjuntamente conocida como evapotranspiración). (Betanzos-Vega, 2019)

La hidrología es esencial para comprender y gestionar recursos hídricos de manera sostenible, incluyendo el suministro de agua potable, la irrigación agrícola, la generación de energía hidroeléctrica, la gestión de inundaciones y sequías, así como la protección de ecosistemas acuáticos y la conservación de la calidad del agua.

Los hidrólogos utilizan herramientas como modelos matemáticos, mediciones en campo, tecnología satelital y análisis de datos para entender y predecir los patrones y cambios en el ciclo hidrológico. (Betanzos-Vega, 2019)

Figura 1

Ciclo hidrológico



Nota. Modelo de ciclo hidrológico.

2.2.2. CUENCA HIDROLÓGICA

Es un área geográfica en la que todas las aguas de lluvia y flujo superficial se dirigen hacia un punto de salida común, generalmente un río, arroyo o lago. En otras palabras, es una región del terreno que recoge y drena agua hacia un único cuerpo de agua o salida. (Villon, 2000)

Las cuencas hidrográficas están delimitadas por características topográficas, como montañas o divisorias de aguas, que actúan como límites naturales para el flujo de agua. Todas las áreas dentro de una cuenca están conectadas por el sistema de drenaje, que incluye cursos de agua principales y sus afluentes, así como sistemas subterráneos de aguas subterráneas.

Las cuencas hidrográficas son unidades fundamentales en el estudio de la hidrología y la gestión de recursos hídricos, ya que permiten comprender cómo el agua fluye a través de un área específica y cómo

los diferentes elementos del ciclo hidrológico interactúan en ese lugar. La gestión adecuada de las cuencas es crucial para la conservación del agua, la prevención de inundaciones, la protección de la calidad del agua y la sostenibilidad de los recursos hídricos en una región determinada.

Figura 2

Cuenca hidrográfica



Nota. Conformación de una cuenca hidrográfica.

2.2.3. SUPERFICIE DE LA CUENCA

El área de una cuenca hidrográfica se refiere a la superficie total de terreno que está drenando agua hacia un punto de salida común, como un río, arroyo o lago. Esta área se encuentra delimitada por las características topográficas que definen los límites de la cuenca, como las montañas o las divisorias de aguas. (Segerer & Villodas, 2006)

2.2.4. CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica es una representación gráfica que muestra la distribución altitudinal de un área geográfica, como una cuenca hidrográfica o una región montañosa. En esta curva, el eje horizontal representa las altitudes o elevaciones, mientras que el eje vertical muestra la proporción o porcentaje del área total que se encuentra a esa altitud o por debajo de ella. (Segerer & Villodas, 2006)

La curva hipsométrica es útil para comprender la topografía y la altitud de un terreno en particular. A través de esta representación, se pueden obtener observaciones sobre cómo se distribuyen las elevaciones en una determinada región. Algunos de los datos que se pueden obtener de una curva hipsométrica incluyen:

Características del terreno: La forma de la curva puede proporcionar información sobre si el área es montañosa, ondulada, plana, etc.

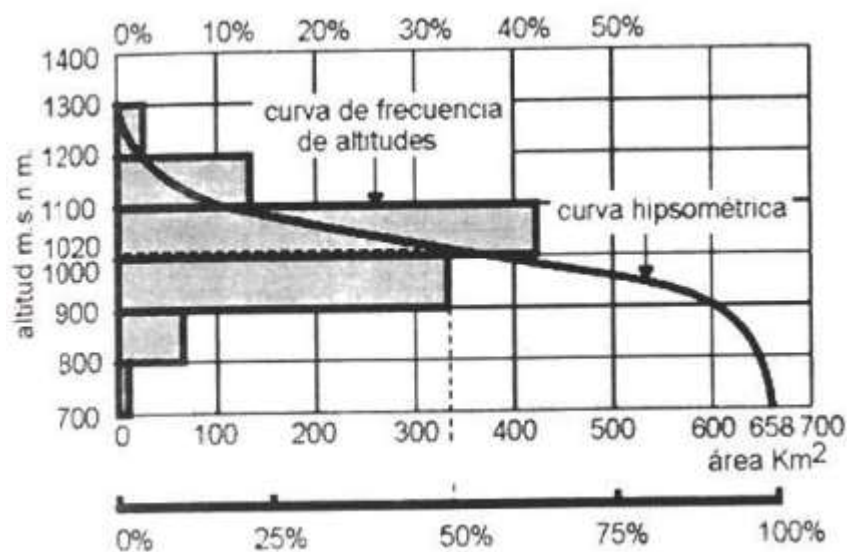
Altitud media: La altitud promedio de la región puede calcularse a partir de la curva hipsométrica.

Distribución de altitudes: Puede observarse si la mayor parte del área se encuentra en altitudes bajas, medias o altas.

Erosión y sedimentación: Cambios en la forma de la curva a lo largo del tiempo pueden indicar procesos de erosión y sedimentación.

Impacto humano: Actividades humanas como la deforestación o la urbanización pueden reflejarse en la curva hipsométrica.

Figura 3
Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes



Nota. Modelo idealizado de curva y frecuencia de altitudes.

2.2.5. ÍNDICES REPRESENTATIVOS

Los índices representativos de una cuenca hidrográfica son medidas numéricas que se utilizan para describir y caracterizar diferentes aspectos de la cuenca.

Estos índices proporcionan información valiosa para comprender la hidrología, la geomorfología y otros aspectos relacionados con el ciclo del agua y el entorno en una región determinada. Algunos de los índices representativos de una cuenca incluyen (campon, 2021)

Longitud del cauce principal (L): La longitud total del río o arroyo principal dentro de la cuenca, que influye en la velocidad y el tiempo de viaje del agua a través de la cuenca.

Período de concentración (tc): El tiempo que toma para que el agua fluya desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida, influyendo en la respuesta hidrológica ante lluvias intensas.

Coeficiente de forma (Kc): Relaciona la longitud del cauce principal con la longitud recta de la cuenca, proporcionando información sobre la forma de la cuenca y cómo afecta el tiempo de concentración.

Factor de forma (Ff): Relaciona el perímetro de la cuenca con su área, ofreciendo detalles sobre la forma de la cuenca y cómo influye en la escorrentía.

Relieve de la cuenca (Rc): Representa la diferencia de altitud entre el punto más alto y el más bajo de la cuenca, lo que afecta la velocidad de flujo y la erosión.

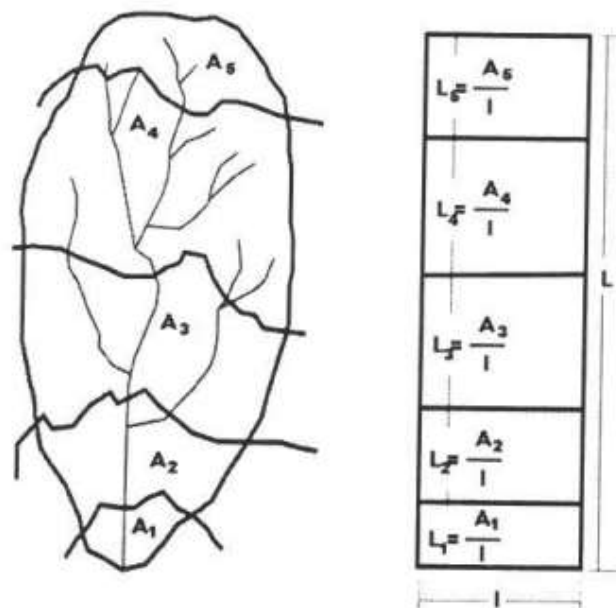
Coeficiente de compacidad (Cc): Relaciona el área de la cuenca con el cuadrado de la longitud de la cuenca, ofreciendo información sobre la forma de la cuenca y cómo afecta la escorrentía.

2.2.6. RECTÁNGULO EQUIVALENTE

Se utiliza para representar gráficamente la forma y características de una cuenca hidrográfica mediante un rectángulo imaginario. Este rectángulo tiene la misma área y el mismo centroide que la cuenca real, pero su forma es rectangular, lo que facilita el análisis y la comparación de cuencas de diferentes tamaños y formas. El rectángulo equivalente se obtiene determinando las dimensiones del rectángulo (ancho y largo) que tienen la misma área que la cuenca en cuestión. El ancho se define como la longitud de la divisoria de aguas de la cuenca y el largo se calcula dividiendo el área de la cuenca entre el ancho. (Villon, 2000) Esta técnica es útil para resumir las características de la cuenca en una forma simplificada y fácilmente comparable, lo que puede ser útil para análisis hidrológicos y modelado, especialmente cuando se trabaja con múltiples cuencas o para entender las relaciones entre las dimensiones de la cuenca y su respuesta ante eventos de precipitación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta simplificación ignora la verdadera topografía y las variaciones en la forma de la cuenca, por lo que sus resultados pueden no ser totalmente precisos en todos los contextos.

Figura 4

Rectángulo equivalente



Nota. Rectángulo equivalente idealizado.

2.2.7. ÍNDICE DE PENDIENTE

Se refiere a una medida que describe la inclinación o la pendiente del terreno en una cuenca hidrográfica específica. La pendiente es un factor importante en la hidrología, ya que influye en la velocidad de escurrimiento del agua, la erosión del suelo, la formación de cauces y otros procesos hidrológicos. (Segerer & Villodas, 2006)

El índice de pendiente se calcula generalmente como la relación entre la diferencia de altura entre dos puntos en el terreno y la distancia horizontal entre esos puntos. Puede expresarse en porcentaje, grados u otras unidades relacionadas con la inclinación. Un índice de pendiente más alto indica una inclinación más pronunciada, lo que generalmente resulta en un escurrimiento más rápido del agua y una mayor erosión. (Villon, 2000)

2.2.8. RED DE DRENAJE

Se refiere al patrón natural formado por los cursos de agua (ríos, arroyos y canales) en una cuenca hidrográfica específica. Estos cursos de agua se organizan en una jerarquía de cauces principales y sus afluentes, y juntos constituyen la red que recoge, transporta y drena el agua de lluvia y otros tipos de escorrentía hacia un punto de salida común, como un lago, un embalse, un océano o un mar. (campon, 2021)

Existen varios patrones de red de drenaje, cada uno de los cuales se desarrolla en función de la topografía, la geología y otros factores locales. Algunos de los patrones de red de drenaje más comunes son:

Patrón Dendrítico: Es el patrón más común, caracterizado por un cauce principal que se ramifica en una serie de afluentes más pequeños en forma de árbol.

Patrón Rectangular: Se forma cuando las fracturas en la roca subyacente influyen en la dirección de los cauces, generando ángulos rectos en su intersección.

Patrón Radial: Se origina en una elevación central, como una montaña, con los cauces radiando hacia afuera en diferentes direcciones.

Patrón Paralelo: Los cauces principales y sus afluentes corren en paralelo debido a la topografía de la cuenca.

Patrón Derivado: Presenta características de varios patrones combinados debido a la complejidad de la topografía y otros factores.

2.2.9. PRECIPITACIÓN

La precipitación es uno de los componentes clave en el ciclo hidrológico y desempeña un papel fundamental en la hidrología. Se refiere a la caída de agua, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o aguanieve, desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. La precipitación es un proceso fundamental que recarga los cuerpos de agua, los acuíferos subterráneos y los sistemas de drenaje de una cuenca hidrográfica. (campon, 2021)

En hidrología, la precipitación es un factor crucial por varias razones:

Recarga de agua: La precipitación es una fuente principal de recarga para ríos, arroyos, lagos y acuíferos subterráneos. La cantidad y la distribución temporal de la precipitación influyen directamente en los niveles de agua en estos sistemas. (campon, 2021)

Generación de escorrentía: Cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo, el exceso de agua se convierte en escorrentía, que fluye hacia arroyos y ríos, pudiendo causar inundaciones.

Balance hídrico: La precipitación es uno de los componentes clave en el balance hídrico de una cuenca hidrográfica, junto con la evapotranspiración y el flujo de salida.

Modelado hidrológico: La cantidad y distribución de la precipitación son datos esenciales para realizar modelos hidrológicos que predican cómo se comportará una cuenca ante eventos climáticos y cambios en el uso de la tierra.

Sequías e inundaciones: Las variaciones en los patrones de precipitación pueden dar lugar a sequías, cuando hay escasez de agua, o a inundaciones, cuando hay un exceso repentino de agua.

Calidad del agua: La precipitación puede llevar contaminantes atmosféricos y otros materiales a las fuentes de agua, afectando la calidad del agua.

2.2.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el ámbito de la hidrología, se parte de la premisa de que el comportamiento de la precipitación en una cuenca fluvial siempre está conectado con su historial. Por esta razón, en los estudios hidrológicos, se recopila una amplia gama de información hidrometeorológica, que abarca desde datos de precipitación y caudales hasta evaporación y temperatura. Esta información se somete a análisis y procesamiento con el propósito de estimar cómo estos factores se extenderán en un determinado período de tiempo, lo que se conoce como "período de retorno"

Al abordar el análisis de crecidas máximas, se recurre a las estadísticas a través del análisis de frecuencia. En el caso de la estimación de caudales mediante modelos hidrológicos, la variable principal de análisis es la precipitación. Por otro lado, cuando se utiliza el enfoque de métodos probabilísticos para la estimación, la variable que se examina es precisamente el caudal en sí.

2.2.11. PRUEBA DE DATOS DUDOSOS

La prueba de datos dudosos es una práctica común en la hidrología y en muchas otras disciplinas científicas para identificar y manejar valores atípicos o inconsistentes en un conjunto de datos. Estos datos

dudosos pueden ser errores de medición, anomalías temporales o espaciales, o incluso resultados que no encajan con las tendencias generales del conjunto de datos. La identificación y el tratamiento adecuado de estos datos son esenciales para garantizar la integridad y la calidad de los análisis y modelados hidrológicos.

2.2.12.FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Estas funciones representan la posibilidad de que ocurra una variable aleatoria, y muchas de estas son empleadas en el campo de la hidrología. Dado que los registros disponibles son una muestra de toda la población, tiene sentido probar distintas distribuciones para determinar cuál se adapta mejor a nuestra situación específica. No todas las distribuciones de probabilidad se ajustan de la misma manera a diversos ríos (cuando se analizan caudales) o a distintos tipos de precipitaciones (cuando se examina la lluvia).

2.2.13.CURVAS IDF

Las Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) son herramientas esenciales en hidrología utilizadas para analizar y estimar la intensidad de la lluvia en función de su duración y la frecuencia con la que se espera que ocurra. Estas curvas son fundamentales para el diseño de infraestructuras hidráulicas y sistemas de drenaje, ya que permiten estimar cuánta precipitación o lluvia intensa se puede esperar en un determinado período de tiempo y con qué probabilidad. (Barbosa, 2022)

En otras palabras, las Curvas IDF responden a preguntas como "¿cuánta lluvia podemos esperar durante una tormenta de una hora que ocurre una vez cada 10 años?" o "¿qué intensidad de lluvia deberíamos considerar para diseñar un sistema de drenaje que sea capaz de manejar el escurrimiento durante una tormenta de media hora que se presenta una vez cada 50 años?".

Estas curvas se construyen a partir de análisis estadísticos de registros de precipitación a lo largo de diferentes períodos de tiempo y regiones. Los parámetros clave en una Curva IDF incluyen:

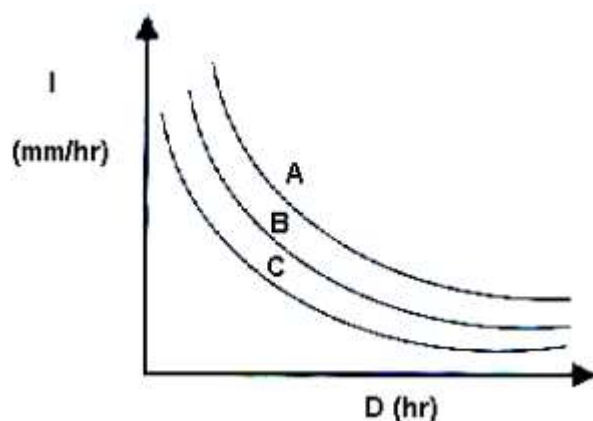
Intensidad: La cantidad de lluvia que cae en una unidad de tiempo (generalmente en milímetros por hora o pulgadas por hora).

Duración: El tiempo que dura una tormenta o evento de lluvia (en minutos u horas).

Frecuencia: La probabilidad de que un evento de lluvia de cierta duración e intensidad ocurra en un período determinado, generalmente expresado como un valor de retorno (por ejemplo, una tormenta de "10 años" o "50 años")

Figura 5

Ejemplo de curva IDF



Nota. Modelo simplificado de IDF.

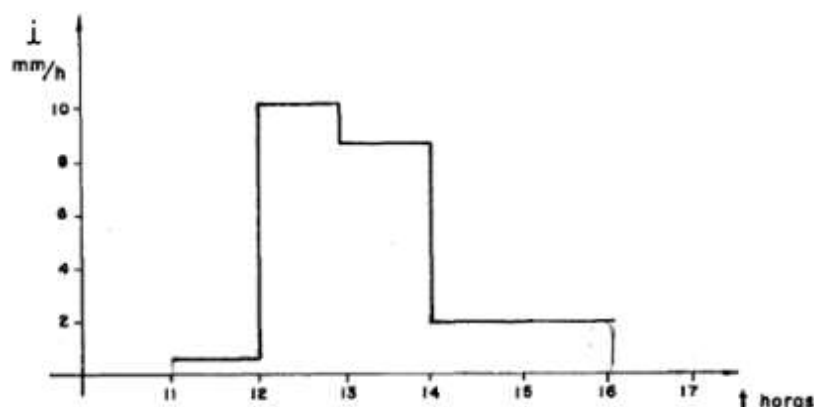
2.2.14. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN

Un hietograma de precipitación es una representación gráfica que muestra la distribución temporal de la intensidad de la lluvia durante un período específico de tiempo. Esta representación es esencial para analizar y comprender cómo la lluvia se distribuye en el tiempo y cómo afecta los procesos hidrológicos en una determinada área. (Barbosa, 2022)

Un hietograma generalmente se presenta como un gráfico de barras o líneas, donde el eje horizontal representa el tiempo en intervalos discretos (como minutos u horas), y el eje vertical muestra la intensidad de la lluvia en ese intervalo de tiempo. Cada barra o punto en el gráfico representa la cantidad de lluvia que cae durante el intervalo de tiempo correspondiente. (Barbosa, 2022)

Figura 6

Hietograma de Precipitación



Nota. Modelo de hietograma de diseño.

2.2.15. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) son herramientas tecnológicas que integran datos geográficos, información espacial y análisis geoespacial para gestionar, visualizar y analizar patrones y relaciones en el espacio geográfico. Estos sistemas permiten trabajar con datos que tienen componentes geográficos, como ubicaciones, coordenadas, límites y características topográficas, de manera más eficiente y efectiva. (campon, 2021)

Los SIG consisten en una combinación de software, hardware, datos geográficos y métodos analíticos que permiten realizar diversas tareas:

Captura de datos: Los SIG permiten recopilar, ingresar y digitalizar información geográfica desde diversas fuentes, como mapas impresos, imágenes satelitales, GPS.

Almacenamiento y organización: Los datos geográficos se almacenan en bases de datos geográficas que permiten una gestión eficiente y organizada de la información.

Análisis espacial: Los SIG ofrecen herramientas para realizar análisis geoespaciales complejos, como superposición de capas de datos, cálculos de distancias y áreas, y modelado de fenómenos geográficos.

Visualización y representación: Los mapas y gráficos son una parte central de los SIG, ya que permiten visualizar y comunicar información geográfica de manera efectiva.

Toma de decisiones: Los SIG proporcionan información valiosa para la toma de decisiones en una amplia gama de campos, desde planificación urbana y gestión de recursos naturales hasta respuesta a desastres y análisis de mercado.

Modelado y simulación: Los SIG se utilizan para crear modelos espaciales que simulan y predicen el comportamiento de fenómenos geográficos, como flujos de agua, propagación de enfermedades o crecimiento urbano.

Interoperabilidad: Los SIG permiten integrar datos de diferentes fuentes y formatos, lo que facilita la colaboración y el intercambio de información.

GEOMORFOMETRÍA E INVESTIGACIÓN DE UN TERRENO

Para la parametrización de un área determinada y la parametrización de cada una de sus características es necesaria para la caracterización de un terreno o área de interés, dicho proceso de parametrización se lleva a cabo a partir de un análisis de la disciplina de la morfometría la cual se define como el análisis cuantitativo de los relieves de un área. Dicha disciplina agrupa ciencias como la geología, geomorfología, topografía, matemática y otras relacionadas con la rama de la caracterización de los suelos. (Olaya, 2018) Un análisis

morfométrico se compone a partir de la aplicación de las siguientes etapas de procesamiento:

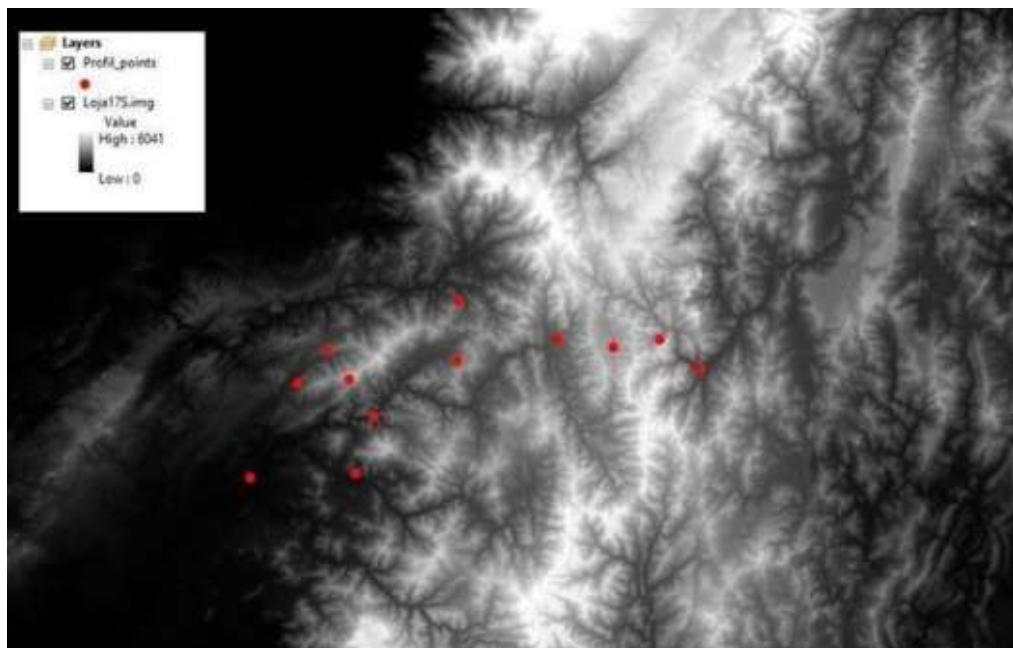
- ◆ Toma de datos de elevación en puntos determinados.
- ◆ Elaboración de un modelo de la topografía a partir de los puntos.
- ◆ Corrección de errores y descarte de la información errónea.
- ◆ Estimación de los parámetros y valores complementarios.
- ◆ Parametrización de los valores estimados.

MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Uno de los elementos principales para la elaboración de un análisis geomorfométrico es el denominado modelo digital de elevación (DEM), el cual se puede identificar como una modernización de los elementos cartográficos clásicos ya que incluyen parámetros de elevación. Para la elaboración de un DEM en la mayoría de los casos aplican metodologías de interpolación, habitualmente a partir de la obtención de curvas de nivel cuyas capas contengan información de las elevaciones de la zona de interés. (Olaya, 2018)

Figura 7

Modelo de elevación digital DEM



Nota. Modelo de elevación digital a partir de imágenes satelitales. (Olaya, 2018)

ANÁLISIS MORFOMÉTRICO

Un análisis morfométrico de una se da a partir de la interpretación de los relieves de la zona de interés, este procedimiento se logra a partir de la aplicación del algebra de mapas aplicando una caracterización tanto matemática como estadística aplicable, con ello se pudo distinguir 2 diferentes tipos de grupos:

- Medidas geométricas
- Medidas estadísticas

El Modelo Digital de Elevación (DEM) es esencial para obtener numerosos parámetros adicionales, siendo el formato ráster de malla regular el más adecuado, siempre que se ajuste correctamente para garantizar precisión en los análisis hidrológicos.

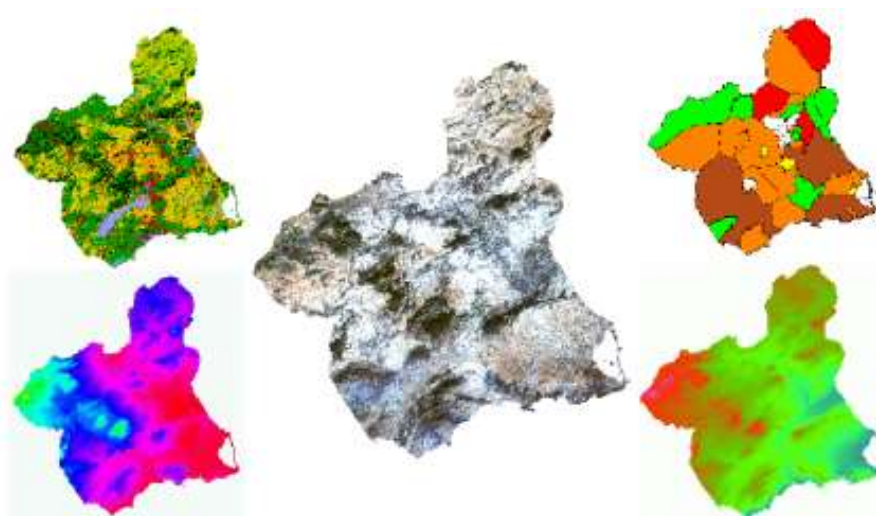
Mediante funciones focales, el DEM permite el análisis estadístico y geométrico del relieve, usando cálculos diferenciales. Los parámetros de primera derivada incluyen la pendiente y orientación, aplicables en estudios de insolación y visibilidad, mientras que los de segunda derivada abarcan curvaturas, como la horizontal y vertical. (Olaya, 2018)

En hidrología, los métodos de asignación de flujo, como el D8, permiten estudiar relaciones entre celdas y analizar el área aportante, clave para extraer redes de drenaje.

La combinación de área aportante y pendiente genera índices hidrológicos de gran relevancia para el análisis regional del recurso hídrico. (Olaya, 2018)

Figura 8

Modelo geométrico y estadístico



Nota. Modelo de estimación geométrico y estadístico de una cuenca por capas. (Olaya, 2018)

2.2.16.MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

A. Modelado de la cuenca

El modelo de cuenca representa la porción física de la cuenca y permite la descripción de los procesos físicos y los elementos hidrológicos que la componen (Pascual & Díaz, 2016). Estos elementos incluyen subcuencas, tramos de flujo en el río, conexiones, embalses o reservorios, fuentes, sumideros y derivaciones. Cada uno de estos elementos es considerado como una herramienta dentro del software HEC-HMS (Sarango, 2019)

B. Modelado de la Precipitación

El modelo de precipitación se refiere a la información derivada de las precipitaciones capturadas en hietogramas, así como la evapotranspiración (Aroca, 2014). Este último solo es necesario para los modelos con períodos de retorno prolongados (Sarango, 2019)

C. Especificaciones de Control

Las especificaciones de control son un componente esencial para la simulación, ya que se utilizan para introducir los datos y parámetros

obtenidos a partir del hidrograma. Se trata de un editor que permite ingresar detalles como la duración temporal, la fecha, el inicio, el final y el intervalo de tiempo en el que se llevará a cabo el modelo (Sarango, 2019)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Análisis de Riesgos: El análisis de riesgos es un proceso sistemático que involucra la identificación, evaluación y cuantificación de los riesgos potenciales que pueden afectar personas, propiedades, activos o el medio ambiente. Busca comprender la probabilidad y las posibles consecuencias de eventos adversos. (Sarango, 2019)

Caudal: El caudal se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de un punto específico en un río, arroyo o canal en un intervalo de tiempo determinado. Se mide generalmente en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo. (Villon, 2000)

Cuenca: Una cuenca es una región geográfica definida por su topografía y características hidrológicas, donde todas las aguas superficiales y subterráneas fluyen hacia un punto común, generalmente un río principal o un cuerpo de agua más grande, como un lago u océano. (Villon, 2000)

Datum: Datum que describe la relación de la altura relacionada con la gravedad o profundidad con la Tierra. (Olaya, 2018)

Erosión: La erosión es el proceso de desgaste y transporte de suelo, rocas u otros materiales superficiales debido a la acción del agua, el viento o el hielo. Puede tener un impacto significativo en la configuración del terreno y en la calidad del agua. (Villon, 2000)

Evaluación de Riesgos: La evaluación de riesgos implica el análisis detallado de los riesgos identificados en un contexto específico. Evalúa factores como la probabilidad de ocurrencia y las posibles consecuencias de eventos adversos para determinar su impacto potencial. (Zambrana, 2019)

Hidrología: La hidrología es la ciencia que se dedica al estudio de las aguas en la Tierra, incluyendo su distribución, movimiento y propiedades físicas. Analiza los procesos hidrológicos, como la precipitación, el escurrimiento, la evaporación y la transpiración. (Villon, 2000)

Inundación: Una inundación ocurre cuando un área se ve cubierta por agua que normalmente no está sumergida. Puede ser causada por lluvias intensas, desbordamiento de ríos, deshielo, marejadas, entre otros factores. (Villon, 2000)

Modelo de curva IDF: Representación gráfica y matemática de la relación entre la intensidad de la precipitación, la duración y la frecuencia, utilizada para estimar eventos de lluvia extrema y su impacto en la hidrología de una cuenca. (Segerer & Villodas, 2006).

Peligro: El peligro se refiere a la presencia o la probabilidad de un evento que puede causar daño, pérdida o perjuicio a personas, propiedades, activos o el medio ambiente. En el contexto de la hidrología, puede referirse a eventos como inundaciones, sequías, deslizamientos de tierra, entre otros. (Zambrana, 2019)

Periodo de Retorno: El periodo de retorno es un concepto estadístico utilizado en hidrología para indicar la probabilidad de que un evento, como una lluvia intensa o una crecida, ocurra en un determinado lapso. Por ejemplo, un periodo de retorno de 10 años implica que el evento tiene una probabilidad del 10% de ocurrir en un año dado. (Coloma Laimito, 2018)

Precipitación: La precipitación es el proceso mediante el cual el agua, en forma de lluvia, nieve, granizo o aguanieve, cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. (Villon, 2000)

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Conjunto de herramientas tecnológicas que permiten la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos, facilitando la integración de información espacial para la toma de decisiones y la comprensión de fenómenos geográficos. (Campon, 2021)

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica permitirá una identificación más precisa y detallada de las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

2.4.2. HIPÓTESIS NULA

La utilización de la simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica no tiene un impacto significativo en la identificación de las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco en comparación con la identificación basada únicamente en datos geográficos y topográficos estándar.

2.4.3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Los parámetros hidrológicos de la cuenca estimados con los sistemas de información geográfica mejoran la precisión en la identificación de las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

Al realizar un análisis y procesamiento de la información pluviométrica se pueden determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

Se puede desarrollar un mapa de riesgos que identifique y delimite las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Empleo de ArcGIS y datos topográficos de un Modelo Digital del Terreno para mapear áreas inundables. Utilizando mediciones de caudales y niveles de retorno, se simularán distintos escenarios de inundación. Las áreas se definirán según niveles de agua, considerando ríos y topografía. Validación con observaciones históricas e in situ.

La variable dependiente es:

Zonas vulnerables a inundación

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Utilización del software HEC-HMS para modelar el ciclo hidrológico en la cuenca, basándose en datos históricos de precipitación y temperatura. El objetivo es predecir caudales al considerar interacciones como infiltración, escurrimiento superficial y evapotranspiración.

La variable independiente 1 es:

Simulación hidrológica

Se define operacionalmente como la utilización de software especializado, como ArcGIS, QGIS, o similares, para realizar tareas relacionadas con la recopilación, procesamiento y análisis de datos geográficos.

La variable independiente 2 es:

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEF. OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Simulación hidrológica	Utilización del software HEC-HMS para modelar el ciclo hidrológico en la cuenca, basándose en datos históricos de precipitación y temperatura. El objetivo es predecir caudales al considerar interacciones como infiltración, escurrimiento superficial y evapotranspiración.	Independiente	Información pluviométrica Parámetros hidrológicos	Precipitación Caudal máximo Periodo de retorno Balance hídrico
Zonas vulnerables a inundación	Empleo de ArcGIS y datos topográficos de un Modelo Digital del Terreno para mapear áreas inundables. Utilizando mediciones de caudales y niveles de retorno, se simularán distintos escenarios de inundación. Las áreas se definirán según niveles de agua, considerando ríos y topografía. Validación con observaciones históricas e in situ.	Dependiente	Extensión Nivel de vulnerabilidad	Área Datos espaciales Historial de inundaciones Nivel de riesgo
Sistemas de información geográfica	Se define operacionalmente como la utilización de software especializado, como ArcGIS, QGIS, o similares, para realizar tareas relacionadas con la recopilación, procesamiento y análisis de datos geográficos.	Independiente	Análisis espaciales Mapas temáticos	Ráster Datos espaciales Zonas inundables Topografía

Nota. - Identificación de variables y operacionalización.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

El enfoque cuantitativo, se caracteriza por su carácter secuencial y demostrativo. Cada etapa se desarrolla de manera consecutiva y no es posible omitir ni saltar pasos. El orden es estricto, aunque existe la posibilidad de redefinir ciertas fases en el proceso. Inicia a partir de una idea que gradualmente se va delimitando, lo cual conduce a la formulación de objetivos e interrogantes de investigación. Luego, se procede a examinar la literatura y a construir un marco teórico o perspectiva conceptual. A partir de las interrogantes, se generan hipótesis y se determinan las variables pertinentes. A continuación, se traza un plan de acción para poner a prueba estas hipótesis (diseño), se procede a medir las variables en un contexto específico, y las mediciones resultantes se analizan empleando técnicas estadísticas. Finalmente, se derivan conclusiones significativas a partir de los resultados obtenidos. (Hernández Sampieri, 2014)

Puesto que esta investigación se centra en determinar las áreas vulnerables a inundación con la simulación hidrológica con sistemas de información geográfica. Dado que este tema implica aspectos cuantitativos, se optó por un enfoque cuantitativo. Esto permitirá obtener una comprensión más completa y profunda.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA

Ya que buscó analizar cómo la simulación hidrológica combinada con sistemas de información geográfica contribuyeron a identificar áreas vulnerables a inundaciones, lo que implicó una exploración profunda de causas y efectos. Sin embargo, también hay elementos de alcance

descriptivo y correlacional, pues se pretendió caracterizar y delimitar las zonas en riesgo mediante parámetros hidrológicos y datos pluviométricos, y relacionar estos parámetros con la ocurrencia de inundaciones. (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.3. DISEÑO

El diseño no experimental de tipo descriptivo, ya que describe relaciones entre dos o más categorías determinadas. En los diseños correlacionales-causales, se investiga y detalla la conexión entre variables en un instante específico, con el propósito de generar hipótesis que puedan someterse a pruebas en investigaciones posteriores. Además, posibilita realizar inferencias acerca de la población analizada y confirmar la existencia de conexiones entre variables en un entorno concreto (Hernández Sampieri, 2014).

Diagrama:

$X_1 \longrightarrow Y_1$

$X_2 \longrightarrow Y_2$

$X_k \longrightarrow Y_k$

Donde:

X: Variable 1

Y: Variable 2

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El proceso de investigación comienza con la identificación del objeto de estudio y luego se define la población, que consiste en el conjunto completo de elementos que comparten características específicas sobre las cuales se buscarán conclusiones. (Hernández Sampieri, 2014)

El trabajo de investigación consideró como su población a los cauces de la cuenca que se encuentra ubicado en el distrito de Santa

María del Churubamba perteneciente a la región de Huánuco provincia de Huánuco.

3.2.2. MUESTRA

La muestra es un grupo más pequeño de elementos extraídos de la población para representarla de manera precisa, ya que es difícil estudiar toda la población. Se busca que la muestra refleje adecuadamente las características de la población en su conjunto. (Hernández Sampieri, 2014)

En este estudio, se tomará como muestra a un tramo de cauce de 800 metros del río Chinobamba en la cual se estimaron los niveles de inundación por incremento de caudales en el distrito de Santa María del Churubamba perteneciente a la región de Huánuco provincia de Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Recolección de información meteorológica

La información meteorológica empleada en este estudio se basa en los registros de precipitaciones máximas en un período de 24 horas proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Estos datos fueron recopilados de cuatro estaciones ubicadas en las proximidades de la zona de estudio. La fuente de datos confiable, representada por las estaciones meteorológicas cercanas, garantiza la calidad y la relevancia de la información sobre las precipitaciones, lo que constituye una base sólida para el análisis meteorológico y la evaluación de posibles eventos hidrometeorológicos en la región bajo estudio.

Se utilizó información meteorológica recopilada de cuatro estaciones ubicadas en diferentes regiones, abarcando un período extenso desde 1995 hasta 2015. Las estaciones incluidas fueron

Huánuco, Tulumayo, Tingo María y Chaglla. La elección de este conjunto diverso de ubicaciones y el extenso período de estudio proporcionan una perspectiva integral de las condiciones meteorológicas a lo largo del tiempo y en diversas áreas geográficas.

Tabla 2

Localización de las estaciones pluviométricas

Estaciones	Latitud - sur	Latitud - oeste	Años de registro	Altitud(msnm)
E. Tingo María	9° 18' 36.6"	76° 0' 1.8"	1995-2015	657
E. Tulumayo	9° 8' 49.4"	76° 0' 33.97"	1995-2015	612
E. Huánuco	9° 57' 24"	76° 14' 54.8"	1995-2015	1919
E. Chaglla	9° 51' 3"	75° 54' 25.4"	1995-2015	3032

Nota. Adaptado del SENAMHI (2023).

Para la caracterización de lluvias se identificaron las estaciones con registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas, para la cuenca de interés se identificaron un total de 4 estaciones cercanas, de ella se identificaron a partir de la clasificación climática cuales son similares para la interpolación y relleno de datos de registro faltantes.

Figura 9

Ubicación de estaciones meteorológicas

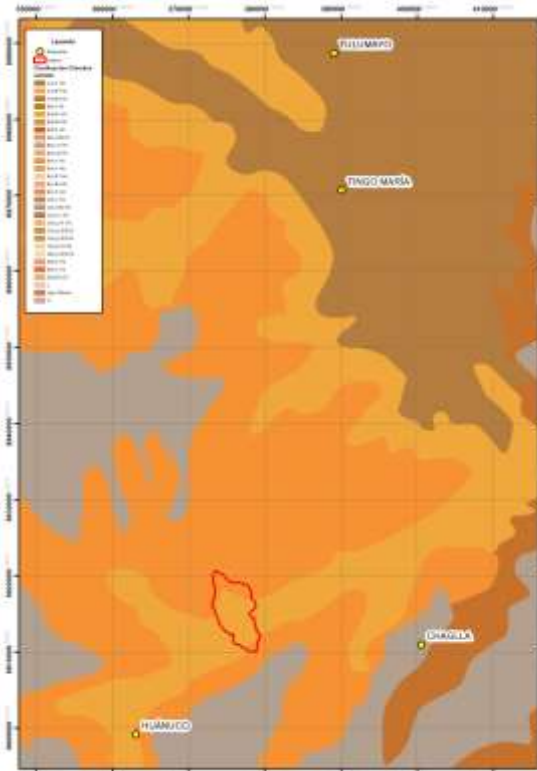


Nota. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

Con la ubicación de las estaciones meteorológicas se pudo identificar que las estaciones más cercanas a la cuenca de interés es son las de Chaglla y Huánuco, a ello adicionalmente para poder genera un polígono que encierre a la cuenca se tomaron en cuenta a las estaciones de Tingo María y Tulumayo.

Figura 10

Clasificación climática ONERN



Nota. Identificación de la clasificación climática para las estaciones y cuenca

Con la clasificación climática elaborada para el país se pudo determinar que las estaciones de Tulumayo y Tingo María presentan la misma clasificación climática de tipo A(r) B'2 H3 siendo homogéneos climáticamente, mientras que las estaciones de Huánuco y Chaglla presentan una clasificación climática diferente, sin embargo se pudo identificar que la cuenca y la estación de Huánuco si presentan una homogeneidad climática ya que presenta una distribución similar en su zona de influencia.

Tabla 3*Precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones seleccionadas*

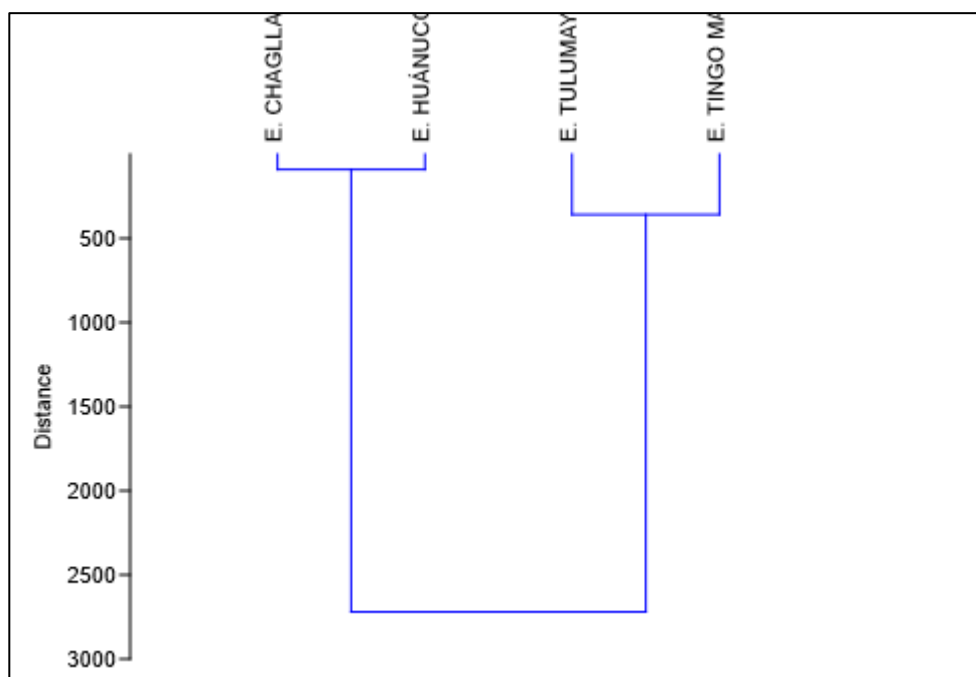
AÑO	E. CHAGLLA	E. HUÁNUCO	E. TULUMAYO	E. TINGO MARÍA
	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)	PP (mm)
1990	112.80	S/D	S/D	661.10
1991	86.10	117.60	609.08	560.40
1992	112.39	162.80	895.68	824.10
1993	142.57	118.00	773.30	711.50
1994	135.54	137.71	619.75	888.80
1995	96.10	95.50	744.61	685.10
1996	98.98	103.51	613.25	647.20
1997	101.80	82.00	698.20	642.40
1998	112.80	118.70	750.50	821.20
1999	119.70	147.30	551.80	737.90
2000	128.50	120.80	558.50	622.90
2001	147.50	144.40	562.10	645.60
2002	144.70	131.50	647.82	760.90
2003	141.40	111.10	777.50	929.90
2004	147.80	106.20	531.20	617.10
2005	146.10	102.61	650.00	681.10
2006	156.90	141.60	639.90	728.80
2007	126.60	112.70	541.80	530.90
2008	163.70	147.70	524.50	548.30
2009	171.30	120.00	611.20	582.90
2010	136.70	127.40	539.00	570.30
2011	134.60	169.60	536.90	676.00
2012	139.50	150.40	590.70	562.40
2013	156.30	123.00	672.24	818.90
2014	142.94	154.83	582.54	718.95

Nota. Se presenta las cantidades de precipitación registradas por cada estación meteorológica, identificando como "S/D" (sin datos) aquellas series anuales que presentan ausencia de información en algún mes.

La identificación de los valores de precipitación máxima sirvieron para la determinación de las relaciones a partir de la aplicación de la metodología Cluster, adicionalmente a ello esto sirvió para la identificación de las curvas de masa las cuales facilitaron la determinación del ajuste de cada una de las series de muestra.

Figura 11

Análisis Cluster de estaciones



Nota. Aplicación de análisis Cluster Software Past 4.x

Con la aplicación de la metodología Cluster para los valores de precipitación se pudo demostrar que las estaciones de Tingo María y Tulumayo son homogéneas como se muestra también en la clasificación climática, adicionalmente a ello de acuerdo a los registros de precipitación para las estaciones de Chaglla y Huánuco se pudo demostrar que los registros son similares y pueden ser agrupados para el relleno de valores faltantes en sus registros.

Tabla 4*Datos de pluviometría – Estación Tingo María*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmáx
1990	76.71	67.01	41.21	33.01	70.01	47.21	60.01	36.51	30.21	60.51	52.51	86.31	86.31
1991	98.41	21.31	58.41	67.81	32.41	33.21	27.91	16.51	20.51	42.71	68.81	72.51	98.41
1992	49.61	79.31	55.21	90.01	77.71	56.81	20.01	58.01	56.21	85.01	98.31	98.01	98.31
1993	104.01	25.01	27.51	62.01	43.41	36.31	48.31	40.51	55.91	90.51	80.71	97.41	104.01
1994	133.01	84.81	46.51	94.31	71.31	34.31	67.41	21.91	58.11	82.31	45.71	149.21	149.21
1995	82.31	98.41	83.71	36.21	36.31	45.31	44.21	16.91	44.51	75.31	51.31	70.71	98.41
1996	68.71	75.31	32.21	76.01	63.91	50.01	21.01	30.01	54.51	53.01	78.01	44.61	78.01
1997	55.01	39.71	60.41	51.01	50.01	33.71	51.31	23.71	76.21	33.61	68.01	99.81	99.81
1998	52.51	87.01	74.51	63.31	156.01	83.01	16.41	27.51	36.91	97.11	72.21	54.81	156.01
1999	57.11	78.31	82.61	66.31	116.51	52.21	48.01	22.31	22.71	26.11	71.81	94.01	116.51
2000	88.51	64.51	54.61	24.11	20.91	60.91	85.61	20.51	32.81	53.41	51.71	65.41	88.51
2001	95.91	45.81	71.81	38.71	67.71	28.31	43.31	7.41	88.31	35.51	79.01	43.91	95.91
2002	72.21	78.81	123.11	72.71	64.71	46.91	40.71	28.91	61.31	46.01	65.21	60.41	123.11
2003	33.81	106.01	51.71	54.61	149.71	94.61	23.51	57.11	58.41	111.21	86.01	103.31	149.71
2004	64.11	67.81	80.01	50.01	38.11	13.81	79.61	27.51	33.41	48.51	68.21	46.11	80.01
2005	48.81	92.61	94.71	23.31	37.51	43.71	37.51	25.71	54.31	58.71	66.81	97.51	97.51
2006	54.81	108.01	53.01	80.51	41.91	20.51	42.01	30.61	68.11	68.91	96.01	64.51	108.01
2007	70.51	35.01	69.81	51.51	35.81	4.91	35.51	29.11	27.81	48.31	61.81	60.91	70.51
2008	69.51	88.61	65.51	31.71	34.91	26.51	35.01	14.51	24.61	95.81	28.81	32.91	95.81
2009	78.21	53.01	48.51	55.51	65.61	27.41	35.51	34.81	51.51	34.41	41.81	56.71	78.21

2010	46.01	64.41	69.91	30.31	23.71	26.91	55.71	22.01	45.31	51.41	68.41	66.31	69.91
2011	105.01	66.31	85.31	64.01	44.01	37.61	21.71	26.01	79.61	47.21	60.51	38.81	105.01
2012	58.91	51.51	103.71	52.21	43.01	33.71	9.61	15.81	28.81	55.11	48.51	61.61	103.71
2013	98.01	104.51	65.31	115.01	32.41	59.71	18.81	37.81	121.01	69.21	44.21	53.01	121.01
2014	44.71	42.41	73.21	43.81	59.07	41.57	40.36	27.99	56.51	148.01	65.51	75.91	148.01

Nota. Adaptado del SENAMHI (2023).

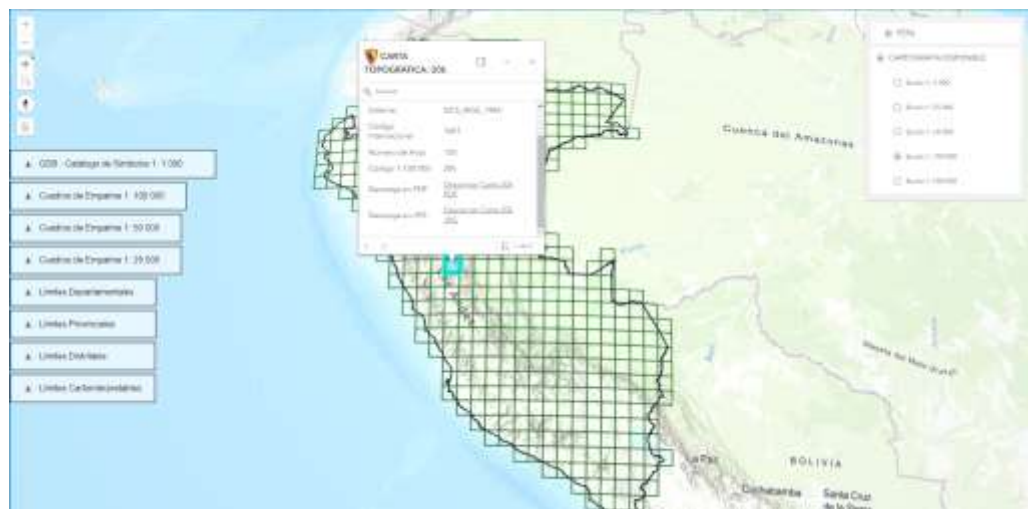
Los valores de precipitación fueron obtenidos de los registros históricos del SENAMHI, de ello en total se tuvieron en cuenta 24 años de registro, los valores no registrados fueron completados con valores interpolados de la estación Tulumayo siendo ambas de similares características hidrológicas.

Información cartográfica

La información cartográfica requerida para la investigación se obtuvo del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Este conjunto de datos geográficos fue esencial para el estudio en cuestión. Esta información incluyó una variedad de elementos cartográficos que fueron utilizados para llevar a cabo el análisis y la investigación. La recopilación de estos datos geoespaciales proporcionó la base necesaria para realizar un análisis exhaustivo y detallado de la región de interés. Gracias a esta información proporcionada por el IGN, se pudo llevar a cabo el trabajo de investigación de manera efectiva, permitiendo así obtener resultados significativos y relevantes para el estudio en curso.

Figura 12

Carta Nacional hoja 20k



Nota. Adaptado Infraestructura de Datos Espaciales del Perú IDEP (2023).

Para la obtención de las imágenes de elevación digital (DEM), se obtuvieron a partir de los datos liberados del estado peruano del GeoServidor perteneciente a los Datos Espaciales del Perú (IDEP).

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

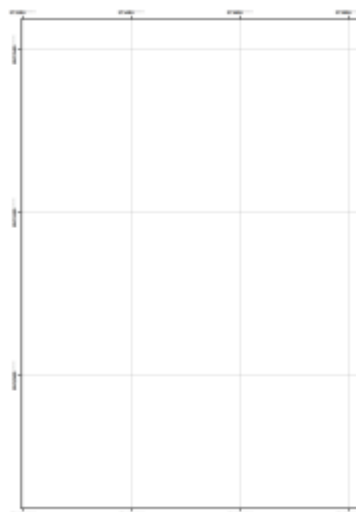
Una vez recopilada la información topográfica, se procede a identificar los puntos de aforo con el fin de establecer los límites de la cuenca. Utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM), se analiza la dirección y la acumulación del flujo en la cuenca de interés. Los resultados obtenidos se representan en un plano, que será utilizado para su interpretación y análisis.

Esta metodología se emplea en la investigación titulada "Simulación Hidrológica con Sistemas de Información Geográfica para Identificar las Zonas Vulnerables de Inundación en el Distrito del Churubamba, Provincia de Huánuco", donde se busca utilizar herramientas de SIG para prever y evaluar las áreas susceptibles a inundaciones en la región mencionada.

Este enfoque combina datos topográficos y análisis hidrológicos con tecnologías geoespaciales avanzadas, lo que permite una comprensión más precisa y detallada de los riesgos de inundación en el área de estudio. La información obtenida será crucial para la planificación y la toma de decisiones en materia de gestión de riesgos y desarrollo urbano en el distrito de Churubamba y sus alrededores.

Figura 13

Plantilla GIS para presentación de información geográfica



Nota. Plantilla de AutoCAD que contiene configuraciones y ajustes listos para usar al comenzar un dibujo.

Una vez recopilados los datos topográficos y establecidos los puntos de aforo para delimitar la cuenca, el siguiente paso es realizar una caracterización geomorfológica detallada de la misma. Este proceso implica el análisis de las formas y estructuras del relieve, así como de los procesos geológicos y geomorfológicos que han dado forma a la cuenca a lo largo del tiempo. Se examinan aspectos como la pendiente del terreno, la forma de los valles, la distribución de los cauces y la erosión del suelo, entre otros.

Figura 14

Plantilla Excel para el análisis hidrológico

RESUMEN: PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA				
PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA
Superficie total de la cuenca		Km ²	At	
Perimetro		Km.	P	
UBICACION	Zona de Proyeccion UTM		s/U	Zona
	X	m	Coord. X	
	Y	m	Coord. Y	
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coefficiente de Compacidad (Gravelius)	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$
		Longitud de la Cuenca	Km.	LB
	FACTOR DE FORMA	Ancho Medio de la Cuenca	Km.	AM = At / LB
		Factor de Forma	s/U	Kf = AM / LB
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km.	$Kc \cdot (pi \cdot A)^{1/2} / 2 \cdot (1 + \sqrt{1 - 4/pi \cdot Kc})$
		Lado Menor	Km.	$Kc \cdot (pi \cdot A)^{1/2} / 2 \cdot (1 - \sqrt{1 - 4/pi \cdot Kc})$
Densidad de drenaje		Km./Km ² .	Dd = Lt / At	
Desnivel total de la cuenca		Km.	Ht	
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	
Pendiente cuenca (Met. Rectangulo Equivalente)		%	Ht / Lms	
Tiempo de Concentracion Kirpich		min.	$0.0195(L^{1/3}/h)^{0.385}$	

Nota. Plantilla de Excel que contiene un formato y una estructura específica para facilitar la creación de documentos nuevos.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Se emplearán varios grupos de programas para procesar y analizar los datos recopilados. ArcGIS será utilizado para procesar los datos geomorfológicos de la cuenca. Con este software, se podrá crear y manipular modelos digitales del terreno, realizar análisis de pendientes, identificar patrones de flujo de agua y generar mapas temáticos que representen la información geográfica de manera clara y precisa.

Por otro lado, HEC-RAS y HEC-HMS se utilizarán para procesar los datos de pluviometría y realizar simulaciones hidrológicas. Estos programas permitirán modelar el comportamiento de los ríos y arroyos en respuesta a diferentes escenarios de precipitación, calcular caudales de inundación y prever el alcance y la intensidad de las inundaciones en la cuenca de estudio

PARA LAS ZONAS DE INUNDACIÓN

Finalmente, Google Earth, Global Mapper, Civil 3D y otros SIG (Sistemas de Información Geográfica) se emplearán para la identificación de zonas de inundación. Estos programas proporcionarán herramientas para visualizar datos geoespaciales, superponer capas de información, realizar análisis de riesgos y generar modelos de inundación en 3D. Con estos recursos, se podrán identificar áreas vulnerables a inundaciones, evaluar el impacto de diferentes escenarios y diseñar estrategias de mitigación de riesgos para el Distrito del Churubamba y sus alrededores.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN

El primer paso para iniciar el desarrollo de la metodología propuesta en la investigación consiste en realizar un análisis de consistencia de los datos pluviométricos recopilados del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). A menudo, estos datos pueden estar sujetos a influencias humanas o cambios inesperados en la naturaleza, lo que genera inconsistencias. Por lo tanto, es crucial llevar a cabo un análisis de consistencia antes de utilizar los datos. El método más confiable y ampliamente utilizado para determinar la consistencia de los datos es el análisis de doble masa. Este procedimiento implica evaluar la consistencia de los datos de precipitación de las estaciones pluviométricas disponibles mediante la identificación de quiebres en las rectas de doble masa. La presencia de estos quiebres puede indicar posibles errores en los datos, aunque su significancia se determina considerando si están dentro de los límites de confianza establecidos.

Tabla 5*Análisis de doble masa y consistencia para las estaciones seleccionadas*

AÑO	E. CHAGLLA		E. HUÁNUCO		E. TULUMAYO		E. TINGO MARÍA		E.FICTICIA	
	PP (mm)	PP acum	PP (mm)	PP acum	PP (mm)	PP acum	PP (mm)	PP acum	PP(mm)	PP acum
1990	112.80	112.80	130.40	130.40	718.52	718.52	400.20	400.20	340.48	340.48
1991	86.10	198.90	117.60	248.00	609.08	1327.60	560.40	960.60	343.29	683.78
1992	112.39	311.29	162.80	410.80	895.68	2223.28	824.10	1784.70	498.74	1182.52
1993	142.57	453.87	118.00	528.80	773.30	2996.59	711.50	2496.20	436.34	1618.86
1994	135.54	589.41	137.71	666.51	619.75	3616.34	888.80	3385.00	445.45	2064.31
1995	96.10	685.51	95.50	762.01	744.61	4360.95	685.10	4070.10	405.33	2469.64
1996	98.98	784.49	103.51	865.52	613.25	4974.19	647.20	4717.30	365.73	2835.38
1997	101.80	886.29	82.00	947.52	698.20	5672.39	642.40	5359.70	381.10	3216.48
1998	112.80	999.09	118.70	1066.22	750.50	6422.89	821.20	6180.90	450.80	3667.28
1999	119.70	1118.79	147.30	1213.52	551.80	6974.69	737.90	6918.80	389.18	4056.45
2000	128.50	1247.29	120.80	1334.32	558.50	7533.19	622.90	7541.70	357.68	4414.13
2001	147.50	1394.79	144.40	1478.72	562.10	8095.29	645.60	8187.30	374.90	4789.03
2002	144.70	1539.49	131.50	1610.22	647.82	8743.11	760.90	8948.20	421.23	5210.26
2003	141.40	1680.89	111.10	1721.32	777.50	9520.61	929.90	9878.10	489.98	5700.23
2004	147.80	1828.69	106.20	1827.52	531.20	10051.81	617.10	10495.20	350.58	6050.81
2005	146.10	1974.79	102.61	1930.13	650.00	10701.81	681.10	11176.30	394.95	6445.76
2006	156.90	2131.69	141.60	2071.73	639.90	11341.71	728.80	11905.10	416.80	6862.56
2007	126.60	2258.29	112.70	2184.43	541.80	11883.51	530.90	12436.00	328.00	7190.56
2008	163.70	2421.99	147.70	2332.13	524.50	12408.01	548.30	12984.30	346.05	7536.61

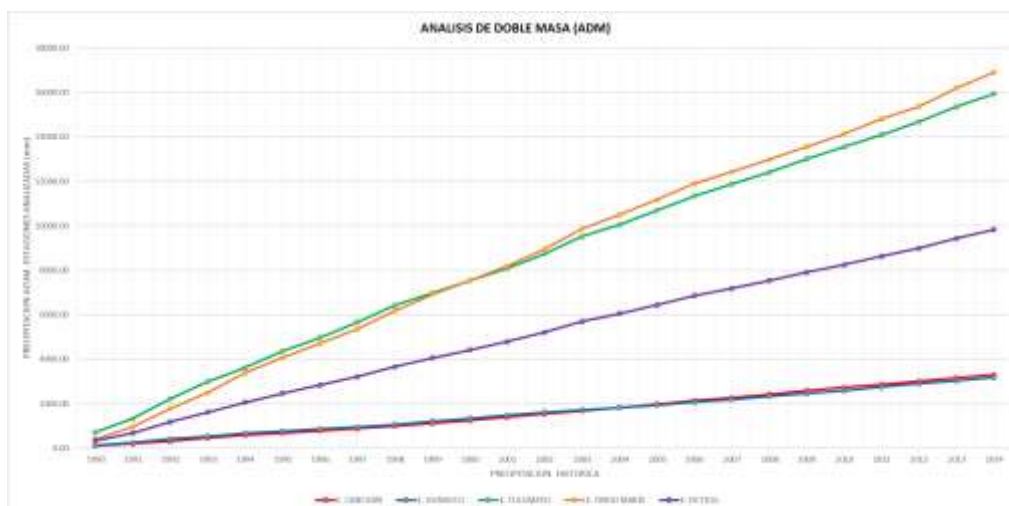
2009	171.30	2593.29	120.00	2452.13	611.20	13019.21	582.90	13567.20	371.35	7907.96
2010	136.70	2729.99	127.40	2579.53	539.00	13558.21	570.30	14137.50	343.35	8251.31
2011	134.60	2864.59	169.60	2749.13	536.90	14095.11	676.00	14813.50	379.28	8630.58
2012	139.50	3004.09	150.40	2899.53	590.70	14685.81	562.40	15375.90	360.75	8991.33
2013	156.30	3160.39	123.00	3022.53	672.24	15358.05	818.90	16194.80	442.61	9433.94
2014	142.94	3303.33	154.83	3177.35	582.54	15940.59	718.95	16913.75	399.81	9833.75

Nota. Comparando las estaciones meteorológicas aseguramos la precisión y fiabilidad de los datos recolectados.

Con los valores de precipitación máxima cada 24 horas en los periodos anuales que comprende los años de 1990 a 2014 teniendo un registro de 24 años, de los valores fueron calculados los valores acumulados para la verificación de la consistencia con los valores procesados del SENAMHI.

Figura 15

Trazado de rectas de doble masa



Nota. Comparando las acumulaciones de datos observados con las acumulaciones de datos estimados, se detectan desviaciones que pueden indicar inconsistencias en los datos recopilados.

En el marco de la metodología de investigación adoptada, se procedió con el análisis de frecuencias con el objetivo de estimar las precipitaciones para distintos períodos de retorno. En este estudio, se empleó el análisis de Distribución de Frecuencias mediante el programa Hidroesta, el cual simplifica el procesamiento y cálculo de datos, dada la laboriosidad de esta tarea.

Para determinar el modelo de distribución más adecuado para los datos de precipitación disponibles, se llevó a cabo una prueba de bondad de ajuste. En este contexto, se optó por la prueba de Kolmogorov-Smirnov, reconocida por su capacidad para verificar la idoneidad del ajuste de distribuciones y facilitar la elección del modelo más representativo, es decir, aquel que mejor se ajusta a los datos.

Tabla 6*Prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov*

DELTA TEÓRICO MAX	0.272	¡CUMPLE!
DISTRIBUCIÓN NORMAL	0.094519351	OK
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	0.103423089	OK
DISTRIBUCIÓN PERSON III	0.118924186	OK
DISTRIBUCIÓN LOG PERSON III	0.104589332	OK
DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL	0.10414226	OK
DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL	0.122809785	OK

Nota. al evaluar la adecuación de diferentes modelos de distribución a los datos observados de precipitación. Determinamos que la distribución se ajusta mejor a los datos es la distribución normal.

La evaluación de la bondad de ajuste se realizó mediante el programa Hydroesta, analizando el ajuste de seis modelos de distribución ampliamente utilizados en hidrología, seleccionados conforme al manual de Hidrología y Drenaje del MTC. Estos modelos se detallan en los cuadros siguientes.

4.1.2. LLUVIAS EXTREMAS MÁXIMAS PARA DISTINTOS LAPROS DE OCURRENCIA

Tabla 7*Precipitaciones para distintos periodos de retorno*

Periodo de frecuencia	Probabilidad	Probabilidad de no ocurrencia	Precipitación máxima
2	0.500	0.500	125.27
5	0.200	0.800	145.17
10	0.100	0.900	156.81
25	0.040	0.960	170.26
50	0.020	0.980	179.54
100	0.010	0.990	188.33
500	0.002	0.998	207.44

Nota. Conocer la precipitación máxima en 24 horas es crucial para evaluar riesgos de inundaciones y modelar el comportamiento de los sistemas fluviales en análisis hidrológicos.

Con la identificación de los valores de precipitación para cada una de las estaciones pluviométricas se pudo determinar los valores de precipitación en diferentes periodos de retorno para la cuenca de interés

teniendo por ejemplo que para 50 y 100 años los valores de precipitación estimados son de 179.54 mm y 188.33 mm respectivamente.

4.1.3. CARACTERIZACIÓN Y MODELO DEL ÁREA DRENAJE UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Para realizar la caracterización de la cuenca de aporte, se recurre al uso de sistemas de información geográfica (SIG) debido a su capacidad para gestionar y analizar eficientemente datos espaciales, lo que resulta fundamental dada la complejidad del proceso si se llevara a cabo de manera manual. La aplicación de un SIG, como ArcGIS 10.3 en este caso, simplifica significativamente la tarea de determinar las características de la cuenca de estudio, aprovechando los datos disponibles en las cartas nacionales digitales proporcionadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

El procedimiento se divide en cinco modelos principales:

Delimitación de la cuenca de aporte: Este paso proporciona información básica sobre la cuenca, como su área, perímetro y longitud, a partir de la cual se establecen los límites geográficos del área de estudio.

Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) de la cuenca: Esto implica la creación de un modelo digital que representa la topografía del área, incluyendo datos como la elevación máxima y mínima, así como perfiles de relieve detallados.

Creación del Modelo de Altitudes de la cuenca: Este modelo proporciona información sobre la distribución de altitudes dentro de la cuenca, incluyendo la curva hipsométrica, el polígono de frecuencia de altitudes y altitudes características.

Generación del modelo de Pendientes de la cuenca: Aquí se determinan las pendientes del terreno, lo que permite comprender mejor la configuración del relieve y su influencia en los procesos hidrológicos.

Creación del modelo de la Red Hídrica: Este paso implica la representación de la red de drenaje dentro de la cuenca, proporcionando información sobre la jerarquía de los ríos, la densidad de drenaje, la densidad de corriente, entre otros parámetros importantes para comprender la dinámica hidrológica del área.

Figura 16

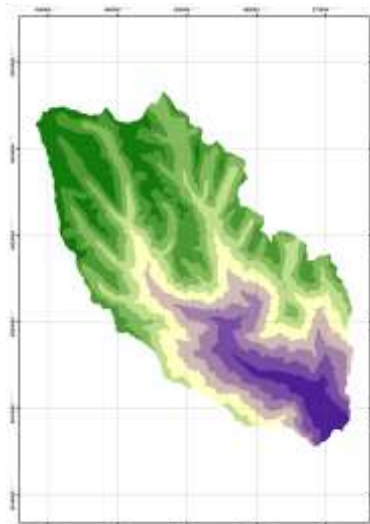
Mapa de delimitación de la cuenca



Con la identificación de los límites de la cuenca teniendo en cuenta como punto de aforo al inicio del tramo del río que se hizo el levantamiento topográfico, se pudo determinar que la cuenca presente un área aproximada de 213 km².

Figura 17

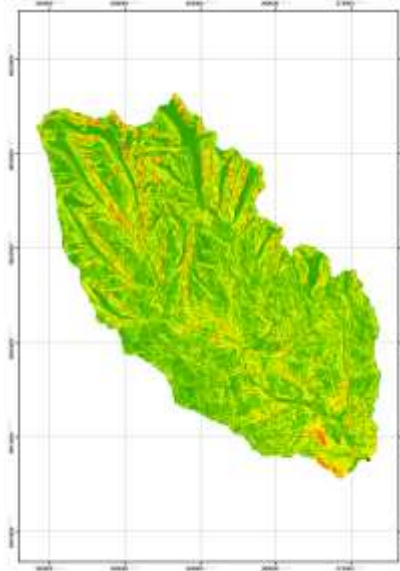
Modelo de altitudes de la cuenca



Con la identificación de los límites de la cuenca se pudo recortar el modelo de elevación correspondiente para la cuenca obteniendo que la cuenca se encuentra entre las cotas de 1898 msnm a 4289 msnm.

Figura 18

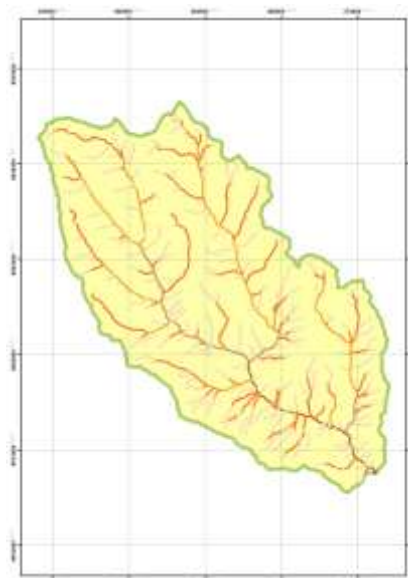
Modelo de pendientes de la cuenca



De la delimitación e identificación de las cotas de la cuenca se pudo determinar las variaciones de las pendientes de la cuenca, de ella se pudo identificar que las pendientes críticas se dan generalmente en las quebradas que componen la cuenca.

Figura 19

Modelo de la red hídrica de la cuenca de aporte



Con la determinación de las pendientes se pudo caracterizar los cauces que componen la cuenca obteniendo así la caracterización de la cuenca de 5to grado.

Tabla 8

Áreas parciales acumuladas

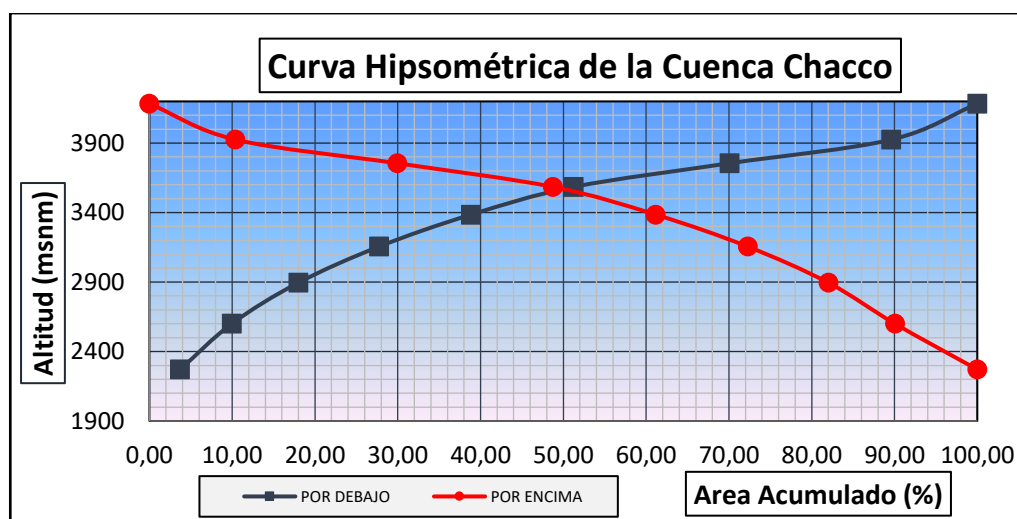
ALTITUD m.s.n.m.	ÁREAS PARCIALES		ÁREAS ACUMULADAS			
	Km2	(%)	POR DEBAJO		POR ENCIMA	
			(KM2)	(%)	KM2	(%)
2270	7.91	3.71	7.91	3.71	213.41	100.00
2600	13.32	6.24	21.23	9.95	192.18	90.05
2895	17.15	8.04	38.38	17.98	175.03	82.02
3155	20.79	9.74	59.17	27.73	154.24	72.27
3385	23.71	11.11	82.88	38.84	130.53	61.16
3585	26.49	12.41	109.37	51.25	104.04	48.75
3755	40.16	18.82	149.53	70.07	63.88	29.93
3925	41.69	19.54	191.22	89.60	22.19	10.40
4184	22.19	10.40	213.41	100.00	0.00	0.00
TOTAL	213.41	100.00				

Nota. Tabla de áreas parciales con datos elaborado con software ArcGis.

Con la caracterización de la cuenca se pudo estimar que en promedio en la cuenca predomina la altura de 3925 msnm con un área de 41.69 km2 el cual representa el 19.54% del área de la cuenca.

Figura 20

Curva hipsométrica

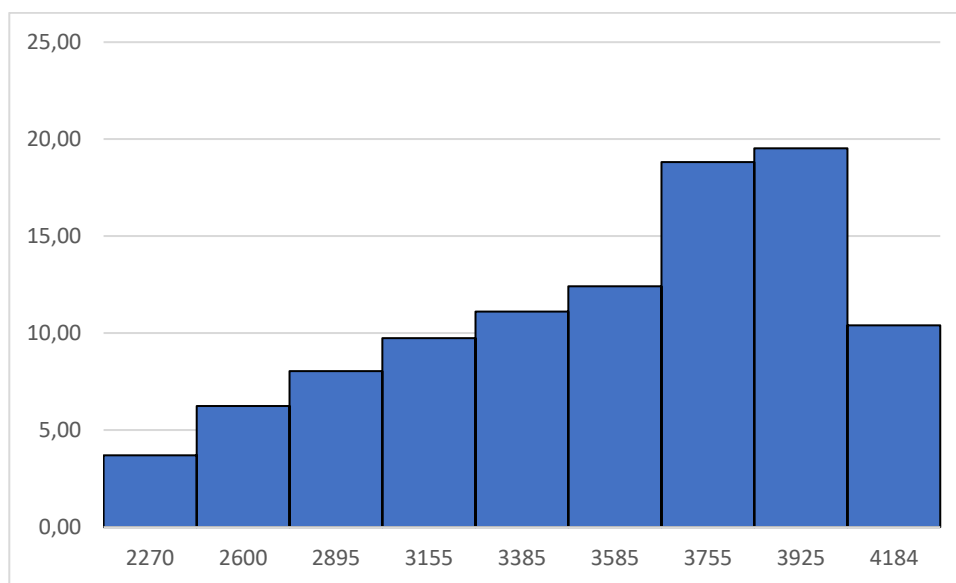


Nota. Se puede visualizar la distribución altimétrica del terreno dentro de la cuenca hidrográfica, mostrando la proporción de área de la cuenca que se encuentra a diferentes altitudes.

Con las curvas hipsométricas de la cuenca evidencia que la cuenca se encuentra en un estado maduro el cual tiene un cauce principal constante.

Figura 21

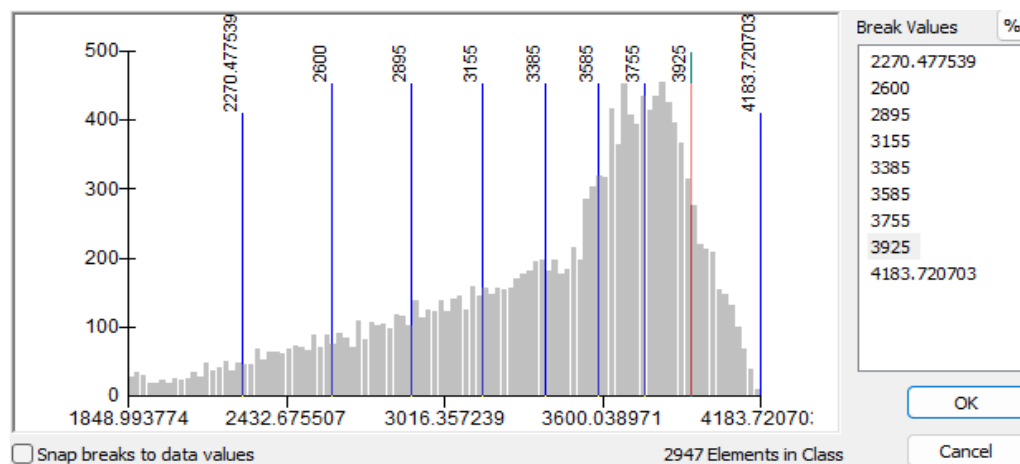
Polígono de frecuencia de altitudes



Se evidencia que la cuenca se encuentra entre las altitudes de 2270 a 4184 msnm, de ella también se puede identificar que las alturas más recurrentes en promedio son de 3755 y 3925 msnm.

Figura 22

Intervalo de altitudes para el polígono de frecuencias



La reclasificación de las altitudes se facilitó con la reclasificación de alturas en el software ArcGIS teniendo 09 límites característicos.

Tabla 9*Categorización de la pendiente de la cuenca*

DESCRIPCIÓN	VALOR DE PENDIENTE	SUPERFICIE	PORCENTAJE
PLANO	00 HASTA 03	0.94	0.44
LIGERAMENTE ONDULADO	03 HASTA 06	2.32	1.09
ONDULADO	06 HASTA 12	8.01	3.75
MUY ONDULADO	12 HASTA 25	32.86	15.39
LIGERAMENTE ESCARPADO	25 HASTA 40	86.88	40.69
ESCARPADO	40 HASTA 60	72.14	33.79
MUY ESCARPADO	60 HASTA 75	8.20	3.84
MONTAÑOSO	MAS DE 75	2.18	1.02
TOTAL		213.53	100

Con la determinación del modelo de pendientes de la cuenca se pudo caracterizar que la cuenca presenta una pendiente predominante de entre 40 a 60% el cual presenta un área de 72.14 km².

Tabla 10*Datos de la red hídrica*

ORDEN DE CAUCES	LONGITUD
ORDEN 1	170.82
ORDEN 2	90.94
ORDEN 3	39.65
ORDEN 4	14.68
ORDEN 5	10.27

Con la identificación de la red hídrica de la cuenca se estimaron las longitudes de los cauces obteniendo así las longitudes de 170.82, 90.94, 39.65, 14.68 y 10.27 km para las ordenes de los cauces 1, 2, 3, 4 y 5to grado.

4.1.4. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA

Factor de forma

Para la estimación del factor de forma se aplicó la metodología de Horton la cual se define a partir de la siguiente ecuación $F = \frac{\text{ÁREA}}{La^2}$, teniendo para la cuenca un área de 213 km² y una longitud axial de 24.74 km, con ello se determinó que el factor de forma es de 0.35

caracterizando a la cuenca como ligeramente achatada. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma, sin descartar así que la cuenca de interés presente crecidas anómalas frente a lluvias intensas.

Índice de Gravelious

Tenemos una cuenca hidrográfica con un área de 213 km y una longitud de 71 km de perímetro. Calculamos el índice de Gravelious utilizando la fórmula: $Kc = \frac{Perimetro}{2\pi\left(\frac{AREA}{\pi}\right)^{1/2}}$ Entonces, el índice de Gravelious para esta cuenca hidrográfica sería 1.37. Dicho valor caracteriza que la cuenca presenta forma Oval-Oblonga caracterizando que al presentar una forma oval tiene altas posibilidades de producir avenidas superiores por si simetría.

Rectángulo Equivalente

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

Entonces, el rectángulo equivalente tendría una longitud de 25.35 km y un ancho de 5.33 km cada uno.

Densidad de Drenaje

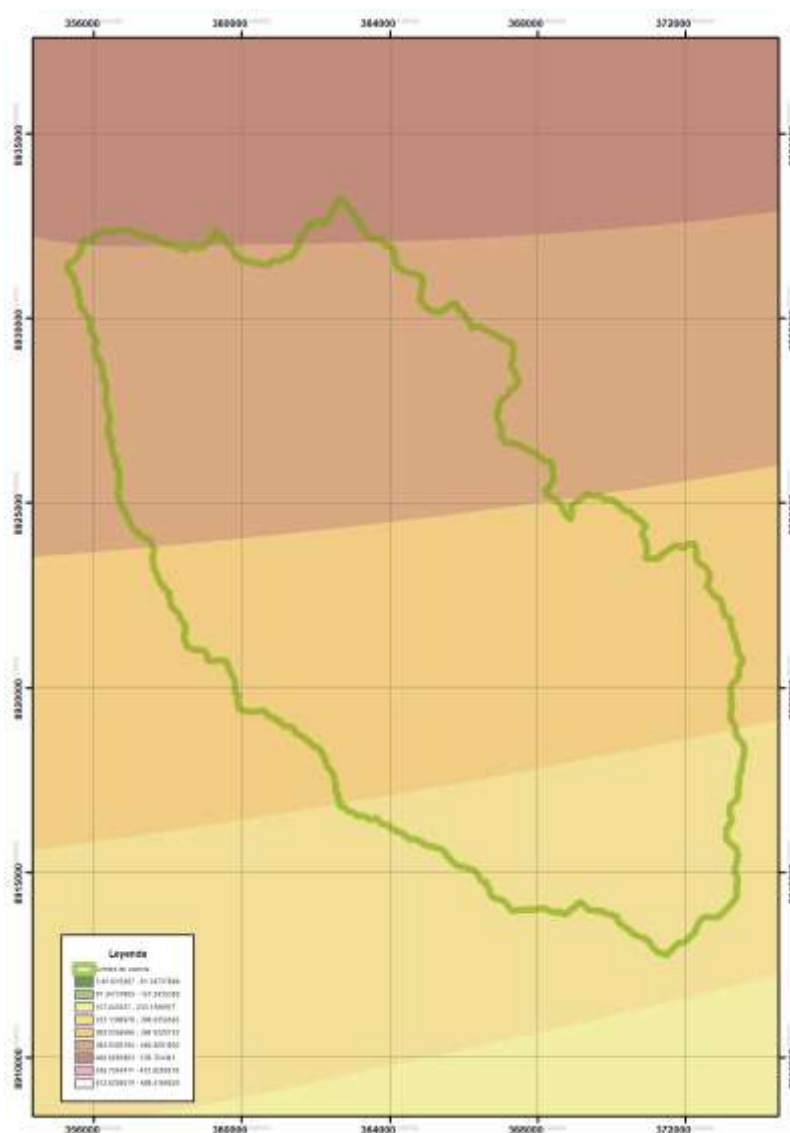
La densidad de drenaje para esta cuenca hidrográfica sería de 1.53 km⁻¹. Este valor nos indica la cantidad de longitud de los cursos de agua por unidad de área de la cuenca, lo que proporciona información sobre la capacidad de drenaje y la influencia del relieve en la hidrología de la cuenca.

4.1.5. PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA

Para estimar las precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas en la cuenca de interés, se emplea la técnica de las isoyetas. Esta metodología se basa en la ubicación de las estaciones pluviométricas más cercanas a la cuenca, junto con los datos obtenidos de la caracterización y modelado de la cuenca utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Las isoyetas se generan a partir de esta información de precipitaciones e interpretadas como curvas de nivel teniendo en cuenta las precipitaciones de los registros históricos.

Figura 23

Isoyetas de precipitación



Con los límites de la cuenca y con la interpolación a partir de las isoyetas identificadas a partir de las estaciones cercanas se pudo determinar que la cuenca de interés se encuentra entre tres rangos promedio de la cuenca, con lo cual se identificó que el valor promedio de ella fueron aplicadas para la estimación de las precipitaciones en diferentes periodos de retorno.

Tabla 11

Máximas precipitaciones en 24 hrs

		Estación			
		Huánuco	Chaglla	Tulumayo	Tingo María
Periodo de retorno	2 años	48.7	60.5	142	156
	5 años	59.48	73.41	180.91	180.07
	10 años	64.70	80.37	201.78	190.52
	25 años	71.43	89.67	229.40	204.19
	50 años	75.11	95.47	246.68	210.75
	100 años	78.41	101.02	263.16	216.43
	200 años	81.39	106.37	278.95	221.35
	500 años	85.87	114.19	301.90	229.58

Con la caracterización de cada una de las estaciones de registro se pudo determinar por ejemplo para un periodo de retorno de 500 años el valore de precipitación es de 85.87, 114.19, 301.90 y 229.58 mm para las estaciones de Huánuco, Chaglla, Tulumayo y Tingo María.

Tabla 12

Promedio de precipitaciones

PERIODO DE RETORNO	PRECIPITACIONES MÁXIMAS		
	PP	PROBABILIDAD DE NO EXCEDENCIA	PP AJUSTADA (1.13)
2	125.27	0.50000	141.56
5	145.17	0.80000	164.04
10	156.81	0.90000	177.20
25	170.26	0.96000	192.39
50	179.54	0.98000	202.88
100	188.33	0.99000	212.81
105	188.93	0.99048	213.49
500	207.44	0.99800	234.41
1000	215.29	0.99900	243.28
10000	240.36	0.99990	271.61

Los valores promedios estimados para la cuenca fueron afectados por un factor de 1.13 al ser lecturados 1 vez al día es recomendado que se le aplique ese factor de incertidumbre.

Estimación de IDF

En la continuación del análisis hidrológico de la cuenca, se procede a calcular las intensidades máximas y a obtener las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Estas curvas son representaciones gráficas que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración del evento y su frecuencia de ocurrencia. Para lograr esto, se realiza un proceso matemático utilizando regresiones lineales múltiples para diferentes períodos de retorno y una regresión potencial para el conjunto de ellos.

El resultado de este análisis es una ecuación que describe el comportamiento de las intensidades en función del período de retorno y la duración del evento lluvioso, lo que permite definir las curvas IDF. Este enfoque proporciona información valiosa para la gestión del agua y la planificación de infraestructuras, al permitir estimar la magnitud y la frecuencia de las lluvias intensas en la cuenca de interés.

$$I = \frac{110.8888 * T^{0.142494}}{t^{0.61481}}$$

Utilizando la ecuación provista, se representan gráficamente las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca hidrográfica, donde la intensidad de la lluvia (I) se relaciona con el período de retorno (T) y el tiempo de duración de la precipitación (t), expresado en minutos.

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, un parámetro hidrológico de suma importancia en la cuenca desempeña un papel fundamental en los

cálculos subsiguientes según la metodología planteada en el estudio. Se establece que la duración de la máxima precipitación coincide con el tiempo de concentración de la cuenca, ya que durante este período toda la cuenca contribuye al escurrimiento. Aunque existen diversas fórmulas para calcular el tiempo de concentración, se sugiere el método de Kirpich por proporcionar resultados más conservadores en comparación con otros métodos, lo que aporta un mayor grado de seguridad al análisis hidrológico.

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

En la ecuación proporcionada:

L representa la extensión del curso principal del río en metros.

S indica la pendiente media del curso principal del río en metros por metro.

El tiempo de concentración de la cuenca de drenaje es de 0.78808 horas, sin embargo, para simplificar los cálculos futuros, se adopta un valor aproximado de 60 minutos. El tiempo de retardo se calcula como el 60% del tiempo de concentración, lo que en este caso equivale a 36 minutos.

Hietogramas de Diseño de la cuenca de Aporte

Un hietograma representa la distribución temporal de la intensidad o la cantidad de precipitación a lo largo de la duración de un evento lluvioso. En la actualidad, los modelos hidrológicos requieren más que simplemente conocer la máxima precipitación de una tormenta; es crucial comprender cómo varía esa precipitación en el tiempo. Esto implica distribuir las diferentes intensidades o cantidades de precipitación a lo largo de la duración del evento. La intensidad se refiere a la cantidad de precipitación en milímetros por hora, mientras que la profundidad se refiere al volumen total de precipitación en milímetros.

Tabla 13*Datos de hietograma*

DURACIÓN DE LA TORMENTA	PRECIPITACIÓN ALTERNADA MM							
	PR 2 AÑOS	PR 5 AÑOS	PR 10 AÑOS	PR 20 AÑOS	PR 25 AÑOS	PR 50 AÑOS	PR 100 AÑOS	PR 500 AÑOS
2	0.62	0.66	0.70	0.73	0.74	0.78	0.82	0.93
4	0.65	0.69	0.73	0.76	0.78	0.82	0.86	0.97
6	0.68	0.73	0.76	0.80	0.82	0.86	0.90	1.02
8	0.72	0.76	0.80	0.85	0.86	0.91	0.95	1.07
10	0.76	0.81	0.85	0.90	0.91	0.96	1.01	1.13
12	0.81	0.86	0.91	0.96	0.97	1.02	1.07	1.21
14	0.87	0.93	0.97	1.03	1.04	1.10	1.15	1.30
16	0.94	1.00	1.06	1.11	1.13	1.19	1.25	1.41
18	1.03	1.10	1.16	1.22	1.24	1.30	1.37	1.54
20	1.15	1.23	1.29	1.36	1.38	1.45	1.53	1.72
22	1.31	1.40	1.47	1.55	1.57	1.65	1.74	1.96
24	1.54	1.65	1.74	1.83	1.86	1.95	2.05	2.31
26	1.94	2.07	2.18	2.30	2.33	2.45	2.58	2.90
28	2.80	3.00	3.15	3.32	3.37	3.55	3.73	4.20
30	12.86	13.76	14.47	15.23	15.48	16.28	17.13	19.27
32	3.89	4.16	4.38	4.61	4.68	4.93	5.18	5.83
34	2.27	2.43	2.55	2.68	2.73	2.87	3.02	3.40
36	1.71	1.83	1.93	2.03	2.06	2.17	2.28	2.56
38	1.41	1.51	1.59	1.67	1.70	1.79	1.88	2.11
40	1.22	1.30	1.37	1.44	1.47	1.54	1.62	1.83
42	1.08	1.16	1.22	1.28	1.30	1.37	1.44	1.62
44	0.98	1.05	1.10	1.16	1.18	1.24	1.31	1.47
46	0.90	0.96	1.01	1.07	1.08	1.14	1.20	1.35
48	0.84	0.89	0.94	0.99	1.01	1.06	1.11	1.25
50	0.78	0.84	0.88	0.92	0.94	0.99	1.04	1.17
52	0.74	0.79	0.83	0.87	0.88	0.93	0.98	1.10
54	0.70	0.74	0.78	0.82	0.84	0.88	0.93	1.04
56	0.66	0.71	0.74	0.78	0.80	0.84	0.88	0.99
58	0.63	0.68	0.71	0.75	0.76	0.80	0.84	0.95
60	0.60	0.65	0.68	0.72	0.73	0.77	0.81	0.91

La estimación de la precipitaciones en diferentes periodos de retorno y la estimación de las curvas IDF facilitaron el proceso de estimación de los hietogramas de diseño para la estimación de los caudales para el cual se pudo determinar que 12.86, 13.76, 14.47, 15.23, 15.48, 16.28, 17.13 y 19.27 mm para los 30 minutos de la duración de la tormenta para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

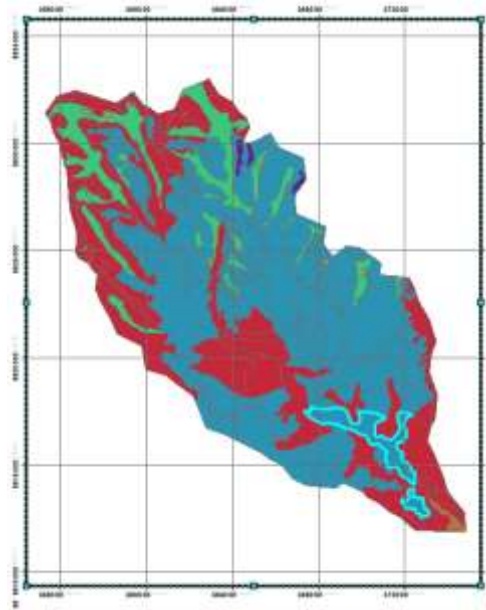
Coeficiente de escorrentía

El número de curva CN, un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, establece un umbral de escorrentía mediante un número hidrológico. Este número varía de 0 a 100, reflejando la capacidad de la superficie para generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 indican alta permeabilidad, mientras que valores cercanos a 100 sugieren impermeabilidad.

Se asignan valores de CN para diferentes áreas de la cuenca, considerando la cobertura del suelo y las condiciones hidrológicas, basándose en imágenes satelitales recientes.

Figura 24

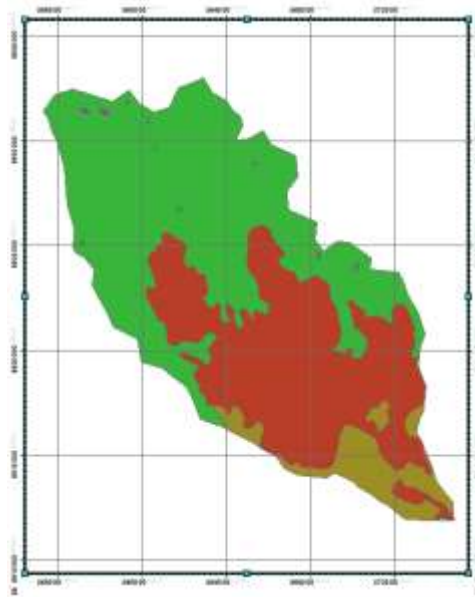
Mapa de uso de suelo



En la caracterización de los tipos de uso de suelo de la cuenca se pudo identificar un total de 04 tipos de usos, los cuales fueron interpolados con las pendientes identificadas en la cuenca.

Figura 25

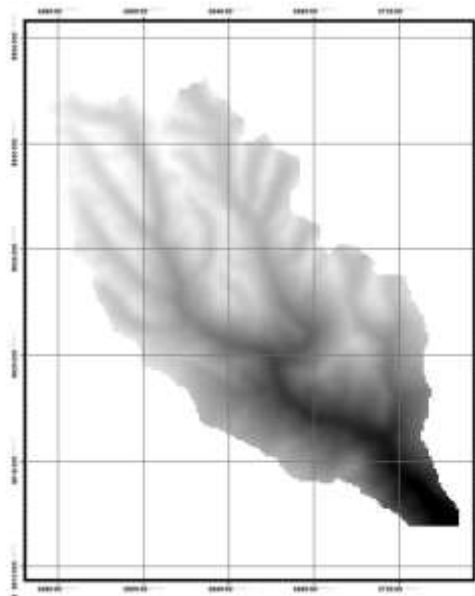
Mapa de cobertura vegetal



Con la caracterización de las coberturas de suelo se identificaron que para la cuenca analizada se identificaron 03 tipos diferentes teniendo en cuenta también los cuerpos de acumulación de agua que la componen.

Figura 26

Modelo digital de elevaciones



El modelo de elevaciones sirvió de base para la interpolación de estimación de número de curva para la cuenca teniendo en cuenta una caracterización principal para la estimación del número de curva.

Figura 27

Diagrama de número de curva



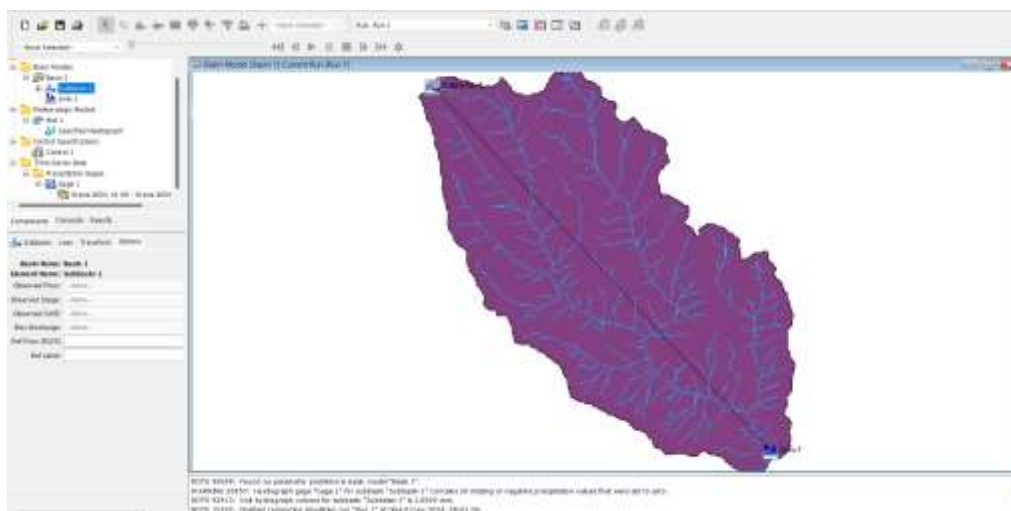
La cuenca está mayormente cubierta por áreas de agricultura costera (38.6%), seguida de pajonales andinos (53.7%), con pequeñas porciones de lagunas, lagos y cochas (0.1%), así como matorral arbustivo (7.5%). En cuanto a la condición hidrológica, se considera buena, siendo el grupo hidrológico de la cuenca B. Según el cálculo, el número de curva para esta cuenca es de 73.

4.1.6. MODELO HEC-HMS

El siguiente paso implica llevar a cabo el cálculo y análisis de las máximas avenidas en la cuenca de aporte del río Huallaga hasta el tramo de estudio. Este procedimiento se realizó utilizando el modelo hidrológico de la cuenca, el Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Para ello, se aprovecha la caracterización previamente realizada de la cuenca en el software ArcGIS.

Figura 28

Caracterización de la cuenca en HEC-HMS

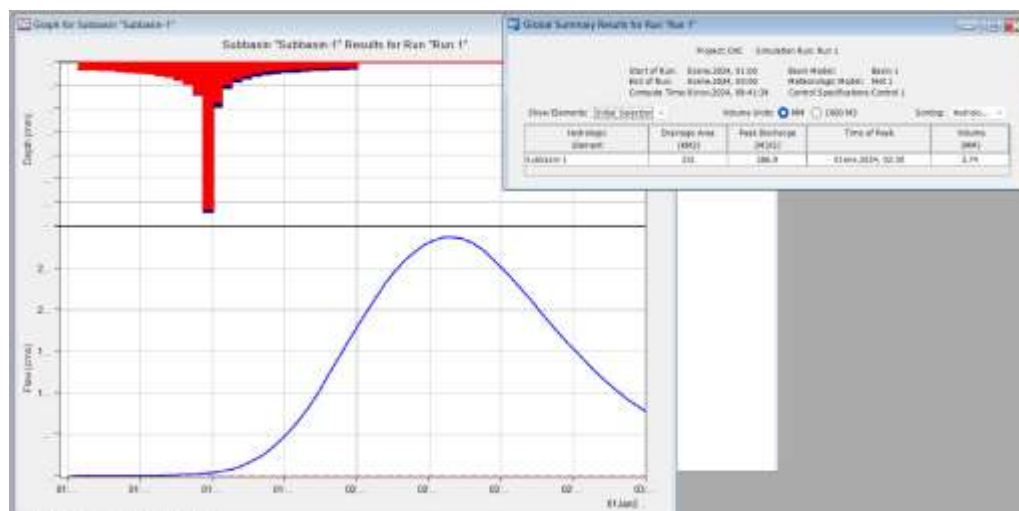


Nota. La caracterización de la cuenca en HEC-HMS implica definir la topografía, hidrología y eventos de precipitación, y luego simular el comportamiento hidrológico para entender mejor el flujo de agua en la cuenca.

Para la simulación en el HEC-HMS, se necesitan definir ciertas condiciones y datos de entrada, como el área de la cuenca (213.53 km²), el método de pérdidas de lluvia (SCS Curve Number), el método de transformación de lluvia en escorrentía (SCS Hydrograph Unit), el número de curva de la cuenca (CN) establecido en 75 y el tiempo de retardo de la cuenca (36 minutos). Durante la verificación de los resultados del modelo, se destacó la importancia del número de curva, que depende de la clasificación de suelos y cobertura vegetal para cada unidad de drenaje. Se propuso un escenario para evaluar los resultados, centrado en calcular el número de curva considerando únicamente la condición de humedad antecedente tipo II para todas las zonas de vida identificadas en el modelo. En cuanto a la calibración del modelo, se basa en estimar un caudal máximo utilizando datos de campo, como secciones de levantamiento batimétrico y el nivel de agua durante eventos de avenidas, ingresados en el HEC-RAS para obtener el caudal máximo estimado.

Figura 29

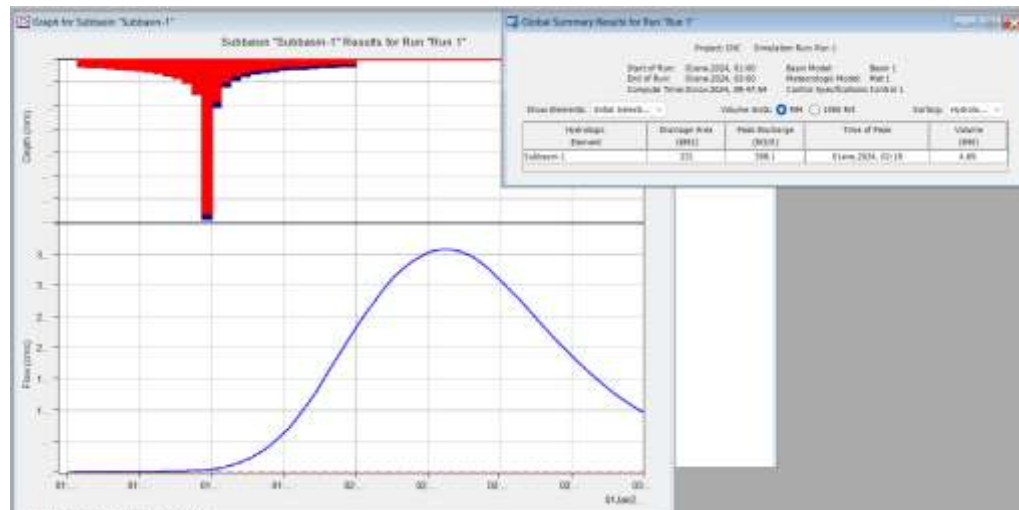
Hidrograma de avenida para periodo de retorno 2 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 2 años se estimó un caudal de 286.90 m³/s.

Figura 30

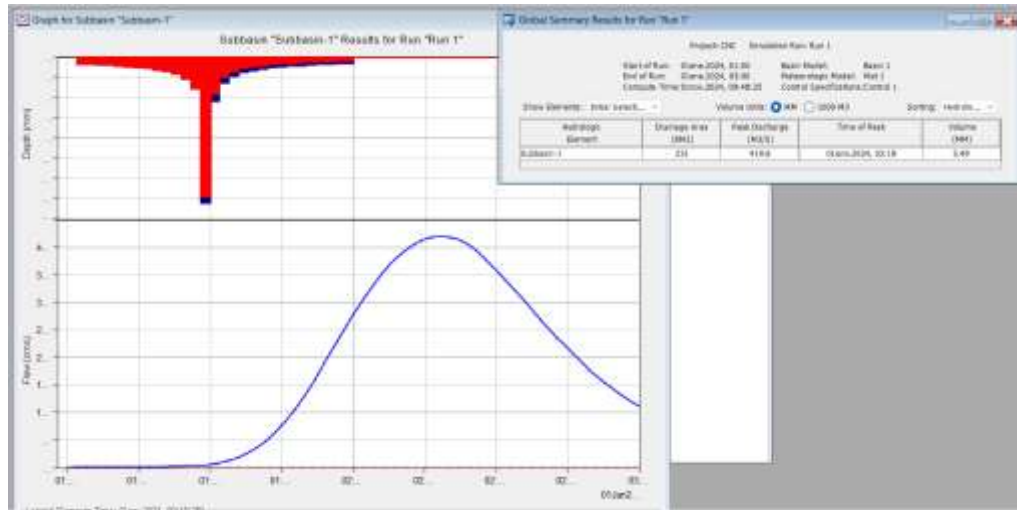
Hidrograma de avenida para periodo de retorno 5 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 5 años se estimó un caudal de 358.10 m³/s.

Figura 31

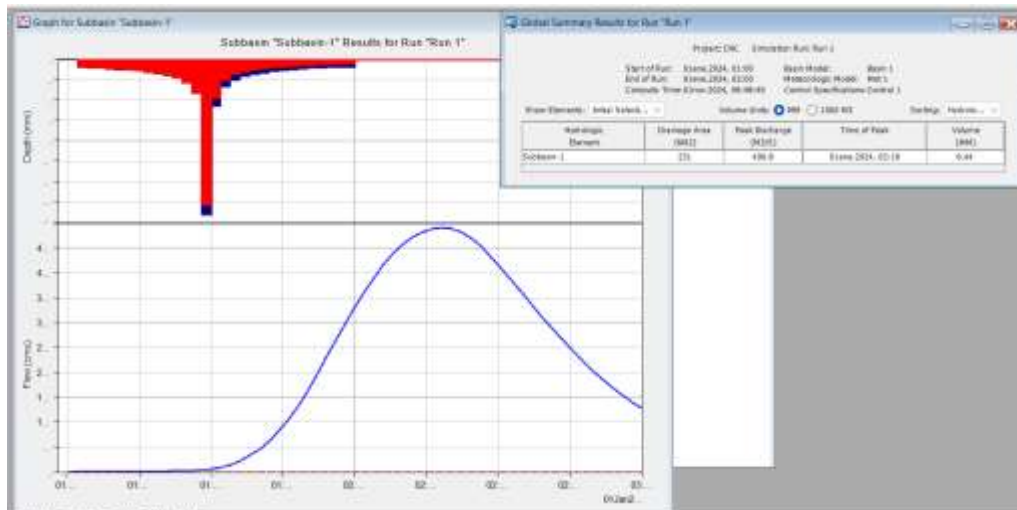
Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 10 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 10 años se estimó un caudal de 419.60 m³/s.

Figura 32

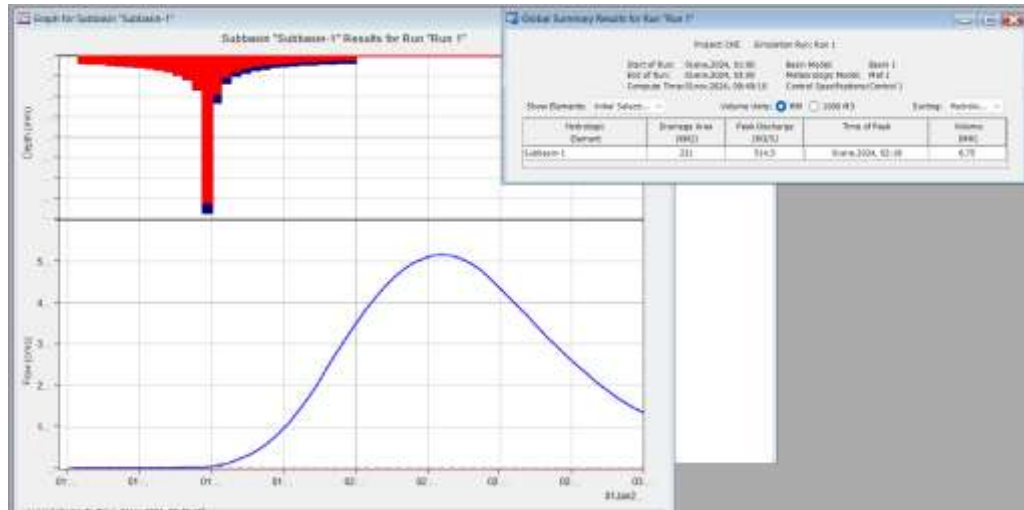
Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 20 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 20 años se estimó un caudal de 490.80 m³/s.

Figura 33

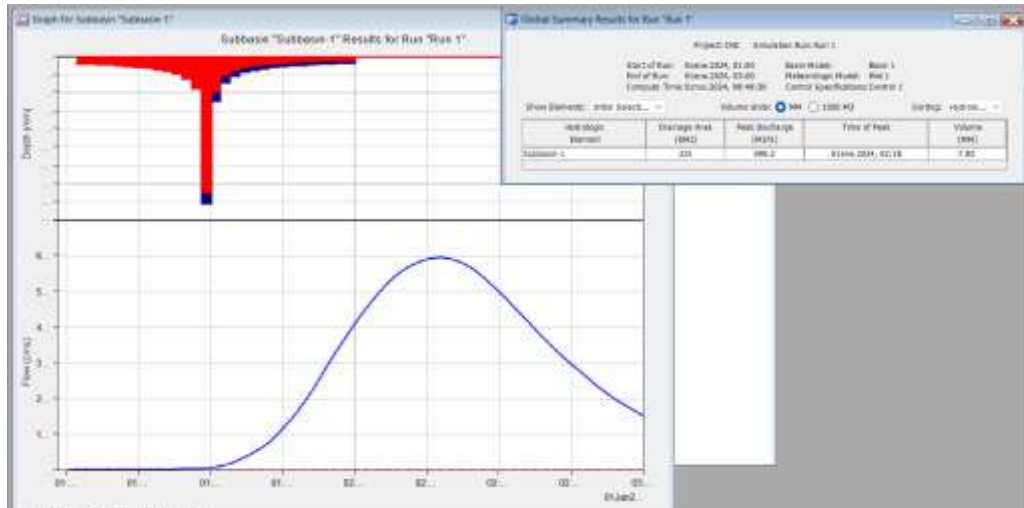
Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 25 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 25 años se estimó un caudal de 514.50 m³/s.

Figura 34

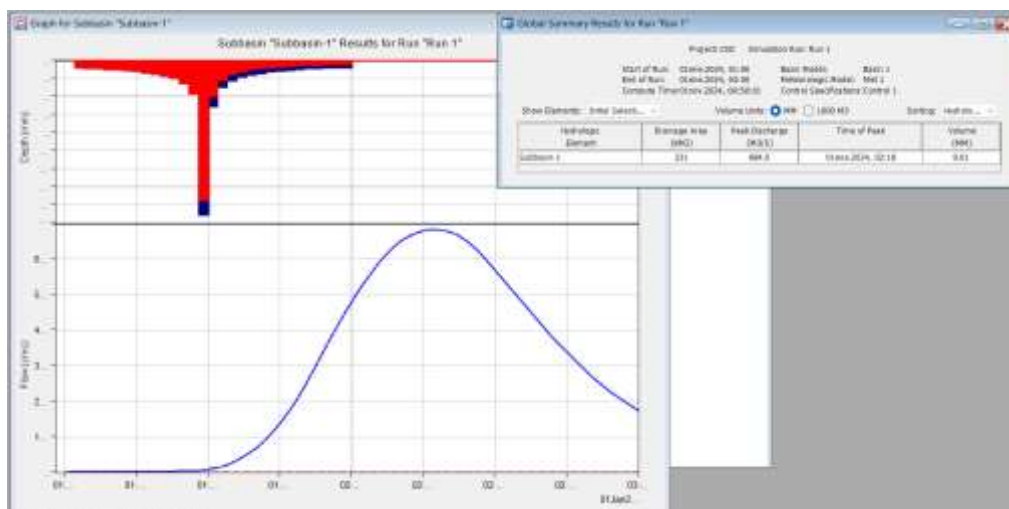
Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 50 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 50 años se estimó un caudal de 595.30 m³/s.

Figura 35

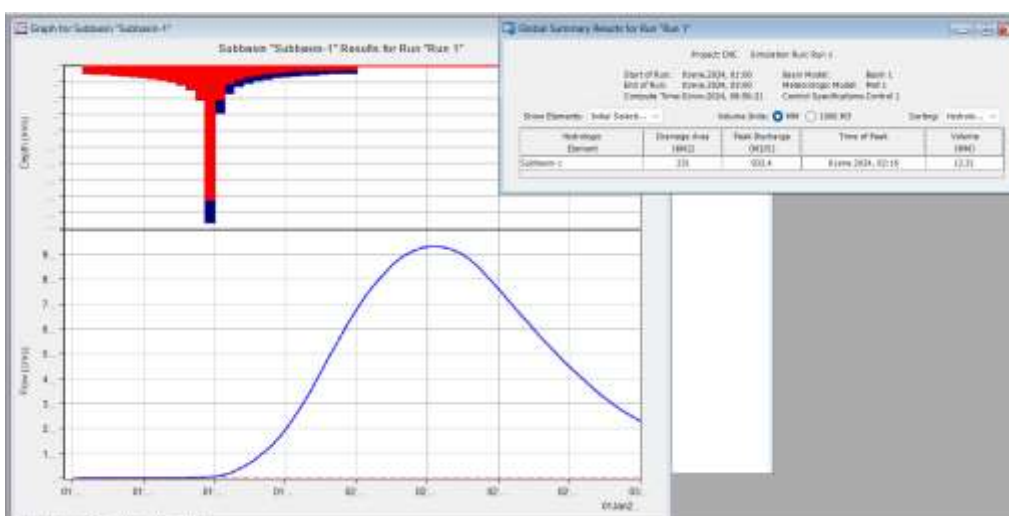
Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 100 años



Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 100 años se estimó un caudal de 684.00 m³/s.

Figura 36

Hidrograma de avenida para periodo de retorno de 500 años



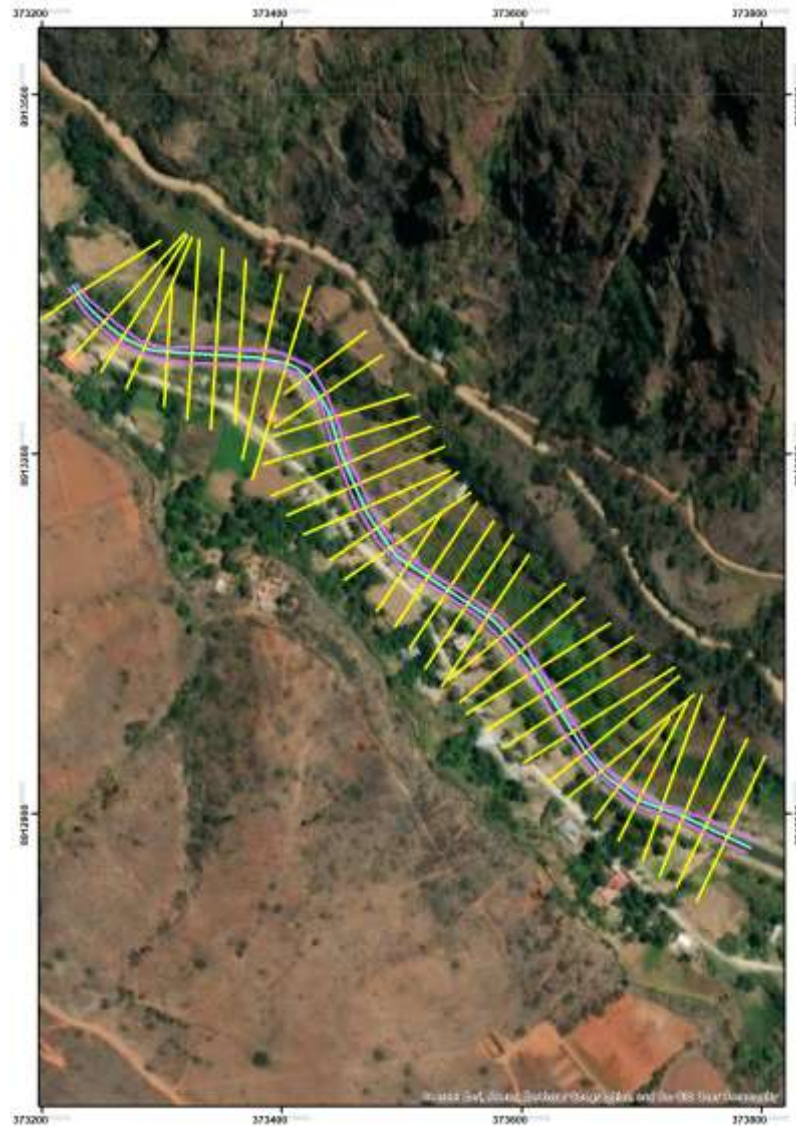
Estimación de valores e hidrograma de diseño en el software Hec-HMS, con ello para un periodo de retorno de 100 años se estimó un caudal de 932.40 m³/s.

Primero, se importó el Modelo Digital de Elevación (DEM) en ArcGIS y se aseguró de que esté en la proyección correcta para el área de estudio en Cascay-Churubamba. Luego, verifíco que el DEM esté

libre de errores y vacíos. Si detecto algún error o vacío, procedo a rellenarlo o eliminarlo para garantizar la calidad de los datos. Posteriormente, determino el área de estudio para mis análisis de inundación y defino los límites espaciales en ArcGIS, recortando el DEM para enfocar en la región con mayor riesgo a inundación.

Figura 37

Seccionamiento del río para importación a HEC-RAS

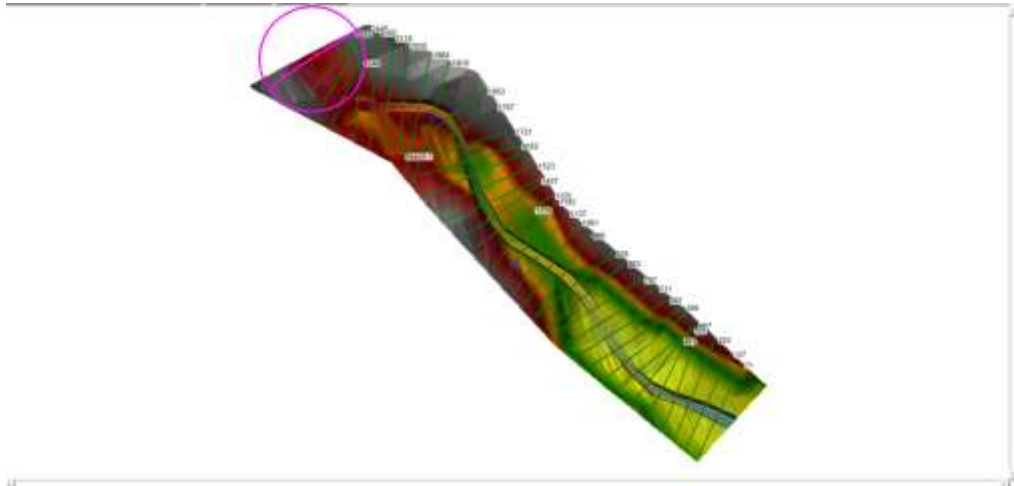


Proceso, exporto tanto el Modelo Digital de Elevación (DEM) como las secciones transversales que he definido en ArcGIS a un formato compatible con HEC-RAS, como un archivo de texto o un Shapefile. Luego, al abrir HEC-RAS, inicio un nuevo proyecto e importo los datos del DEM y las secciones transversales. A continuación, procedo a definir

los parámetros del modelo, tales como la fecha y el tipo de evento de inundación que estoy investigando, lo que me permite configurar adecuadamente el escenario de análisis dentro del software.

Figura 38

Definición de la geometría del canal en HEC-RAS



Nota. Se define la geometría del canal, incluyendo los cauces de ríos, arroyos, y cualquier otra estructura hidráulica relevante.

Determinar el coeficiente de rugosidad de Manning para las secciones del cauce es esencial en el proceso. Para ello, se recurrió a fotografías de ríos con características similares a las secciones en estudio. La U.S. Geological Survey ofrece una sección dedicada al agua donde se pueden encontrar documentos e informes relacionados con la selección del coeficiente de rugosidad de Manning, con valores verificados y comprobados para diferentes características de cauces. Tras consideraciones hidráulicas realizadas en el campo, se determinó que el coeficiente de Manning más apropiado para la zona de estudio es de 0.025 para la zona central del río y de 0.035 para los márgenes y llanuras de inundación.

Tabla 14

Tabla de valores del N de Manning

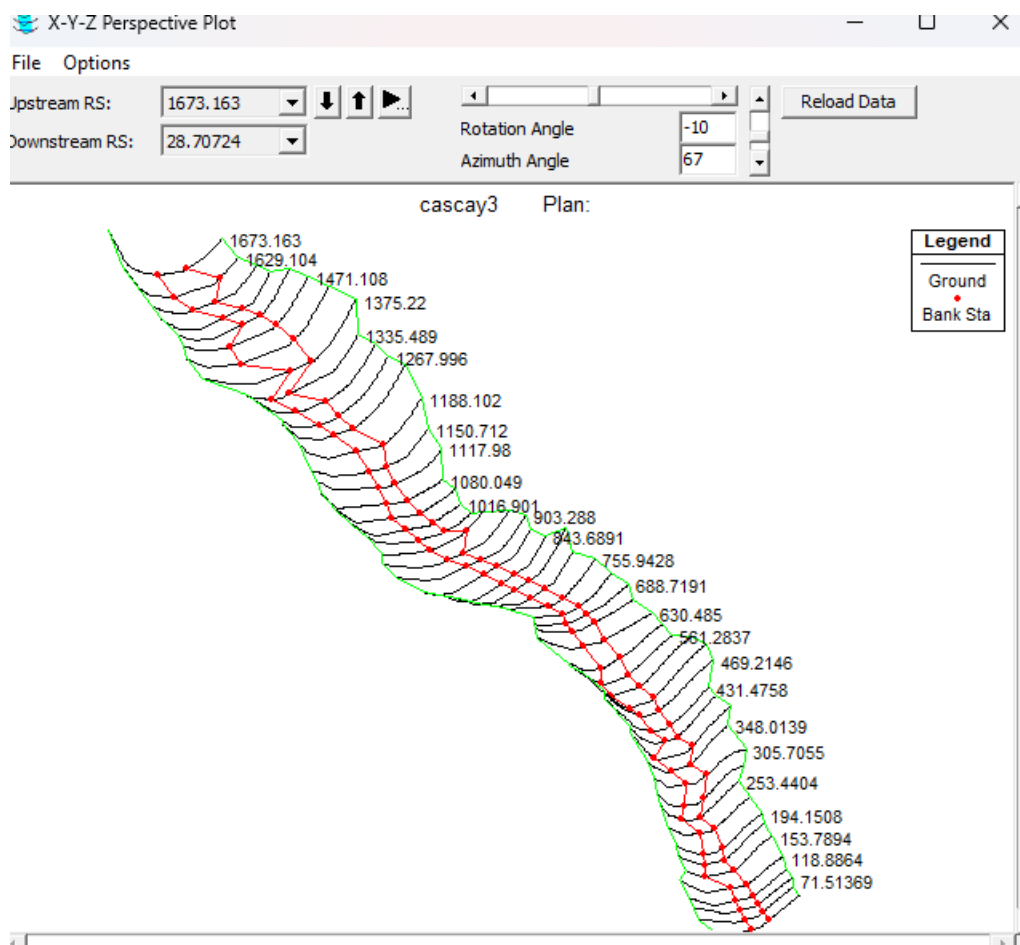
Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Panto corto	0,025	0,030	0,035
- Panto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente n son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Fuente. Manual del HEC RAS

En esta etapa, utilizo las secciones transversales que he creado en ArcGIS para definir la geometría del canal dentro de HEC-RAS. Ajusto estas secciones transversales según sea necesario para reflejar con precisión las características topográficas del terreno en el área de estudio, lo que garantiza que el modelo tenga en cuenta los detalles importantes del flujo de agua. Además, defino las condiciones de flujo iniciales y las condiciones de contorno para mi modelo, incluyendo el caudal y los niveles de agua iniciales.

Figura 39

Definición de condiciones de flujo

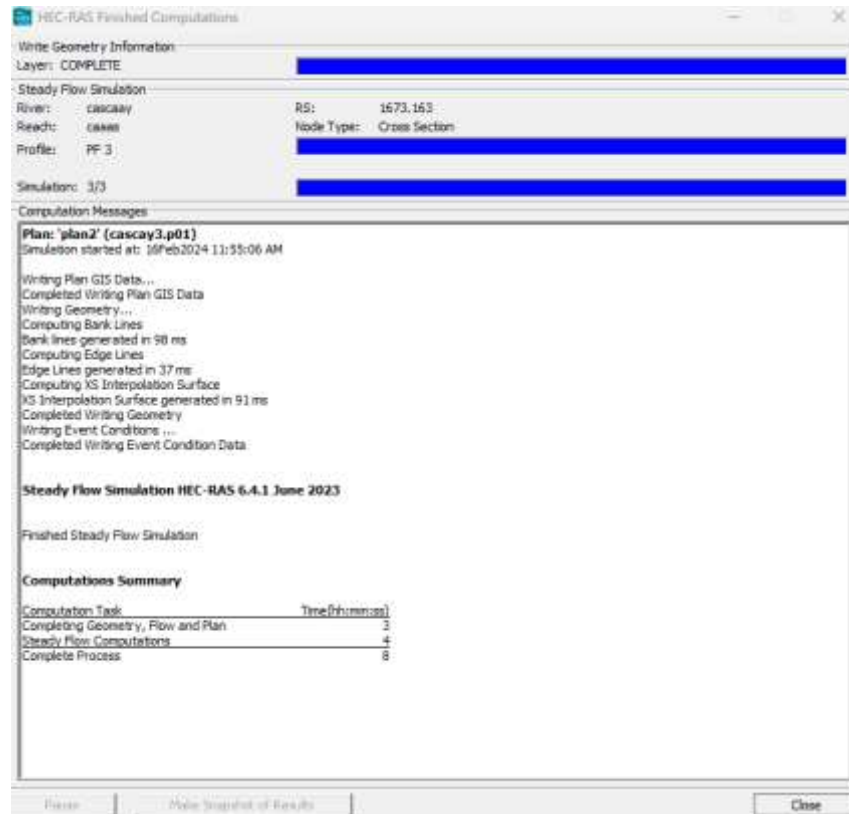


Nota. Se define las condiciones de flujo iniciales y boundary conditions para el modelo, como caudal y niveles de agua iniciales.

El software HEC-RAS se utiliza con un modelo topográfico de la zona para determinar la dirección del río y la pendiente del terreno. Con los caudales de diseño previamente calculados, se puede realizar un modelo hidráulico de simulación. Este modelo permite identificar áreas con alto riesgo de inundación y determinar los niveles de agua presentes. Una ventaja del software es que los resultados pueden exportarse en formato SHP, lo que facilita su análisis y presentación en software como ArcGIS para la creación de mapas temáticos. Los resultados de la investigación revelaron las zonas de riesgo y los tirantes de agua correspondientes.

Figura 40

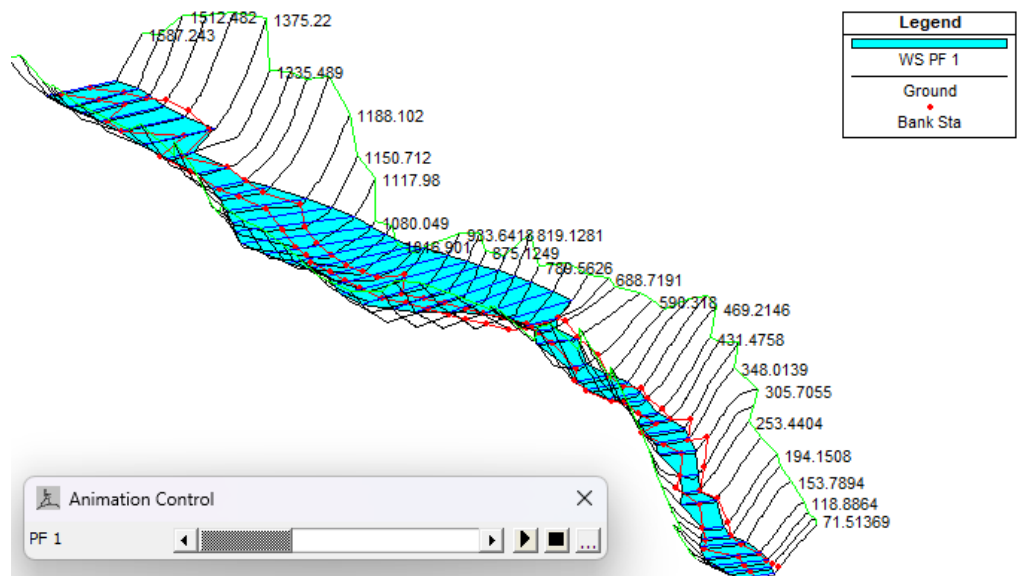
Configuración de la simulación



Simulación del modelo HEC-RAS evidencia que no se presenta errores en el modelo ejecutado teniendo un éxito adecuado en la simulación.

Figura 41

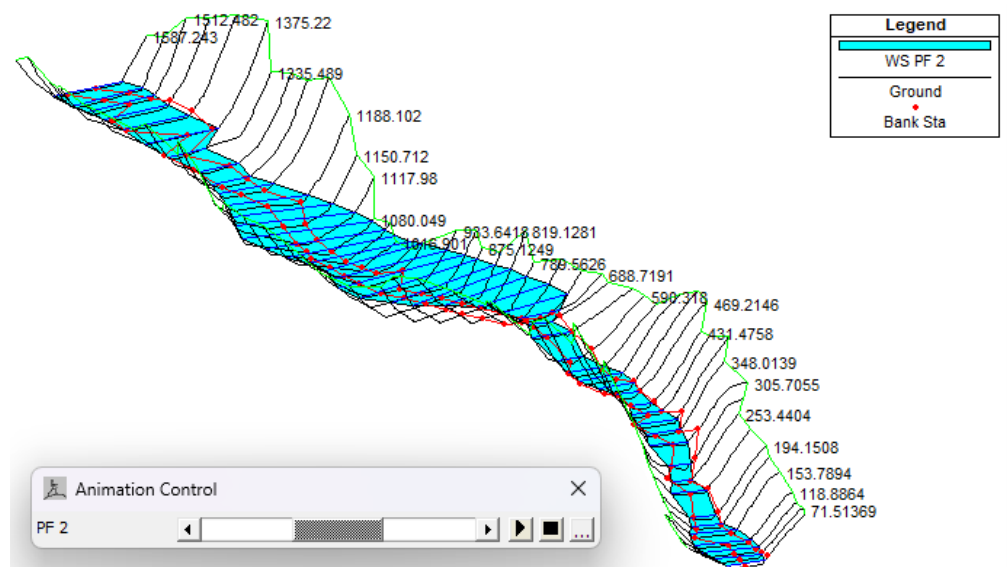
Perspectiva para un periodo de retorno de 5 años



El modelo de simulación se pudo identificar que el tirante de inundación es de aproximadamente 3.92 m en el cauce del río.

Figura 42

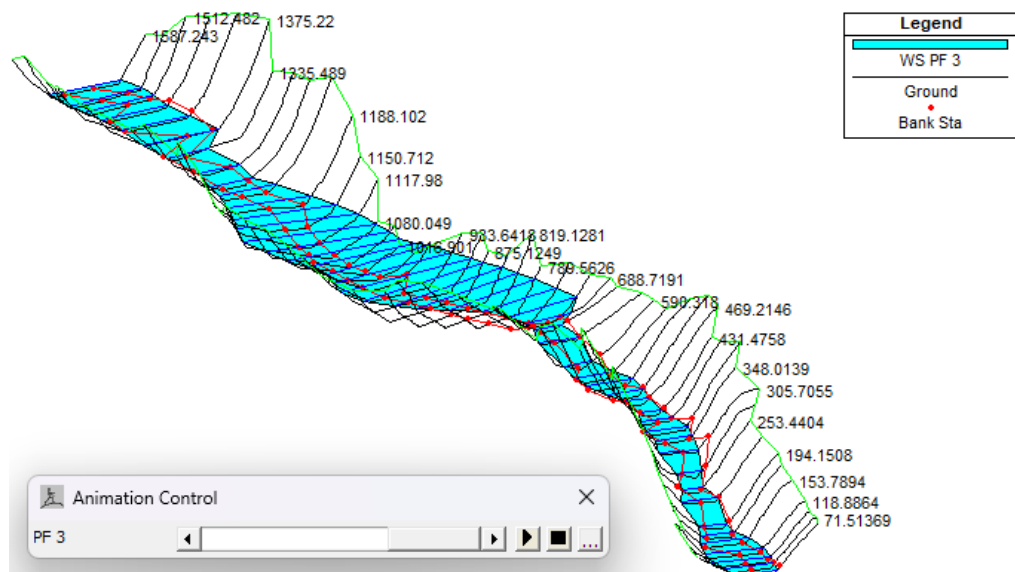
Perspectiva para un periodo de retorno de 50 años



Modelo bidimensional para un periodo de reotorno de 50 años, en el modelo se pudo determinar que el valor del tirante crítico es de 5.89 m.

Figura 43

Perspectiva para un periodo de retorno de 500 años



Después del análisis, se concluyó que el margen derecho del río es el más susceptible a inundaciones, especialmente para un período de

retorno de 5 años. En el mapa generado, se observó que los niveles de agua variaban entre 0 y 6.5 metros.

4.1.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN

Figura 44

Matriz de riesgo identificado de acuerdo con los tirantes

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Muy Alta	0.90	0.045	0.090	0.180	0.360	0.720
	Alta	0.70	0.035	0.070	0.140	0.280	0.560
	Moderada	0.50	0.025	0.050	0.100	0.200	0.400
	Baja	0.30	0.015	0.030	0.060	0.120	0.240
	Muy Baja	0.10	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080
2. IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA			0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
			Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
3. PRIORIDAD DEL RIESGO				Baja	Moderada	Alta	

Nota. Determinación de matriz de riesgo a partir de tirantes.

Con la estimación de los valores de tirantes se pudo parametrizar los valores bajos, moderados y críticos teniendo en cuenta cada una de las fajas de inundación en ambos márgenes del río.

Figura 45

Zonas de inundación PR 2 años



Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 2 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 3.86 m.

Figura 46

Zonas de inundación PR 5 años



Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 5 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 3.92 m.

Figura 47

Zonas de inundación PR 10 años



Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 10 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 4.65 m.

Figura 48

Zonas de inundación PR 20 años

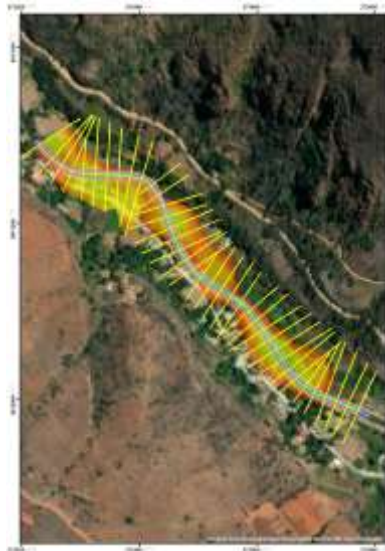


Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 20 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 5.40 m.

Figura 49

Zonas de inundación PR 25 años

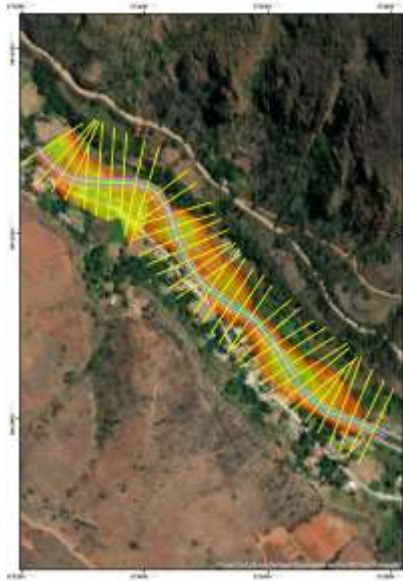


Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 25 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 5.64 m.

Figura 50

Zonas de inundación PR 50 años

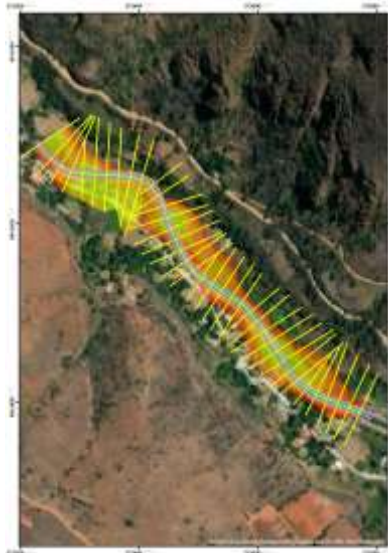


Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 50 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 5.89 m.

Figura 51

Zonas de inundación PR 100 años

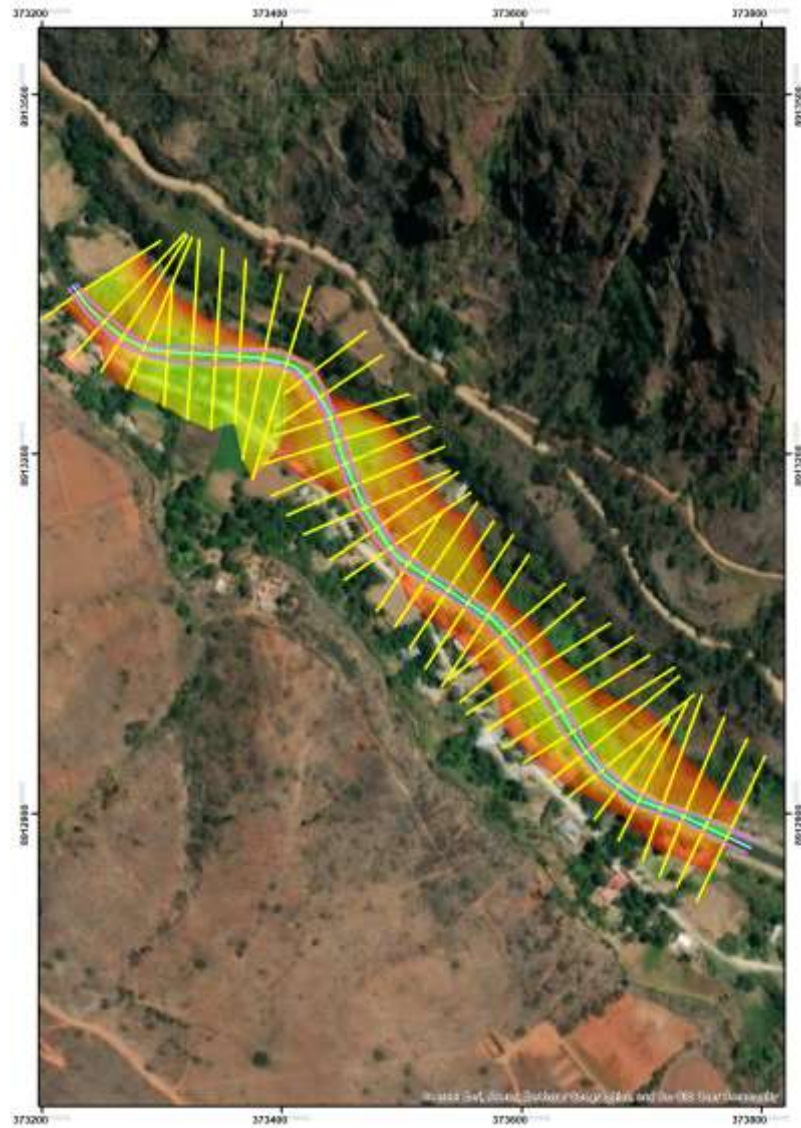


Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 100 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 6.10 m.

Figura 52

Zonas de inundación PR 500 años



Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Teniendo el valor de caudal para un periodo de retorno de 500 años se pudo identificar que las zonas de inundación se generan en ambos márgenes del río, llegando a tirantes de 6.50 m.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Hg: La simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica permitirá una identificación más precisa y detallada de las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

He: Los parámetros hidrológicos de la cuenca estimados con los sistemas de información geográfica mejoran la precisión en la identificación de las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

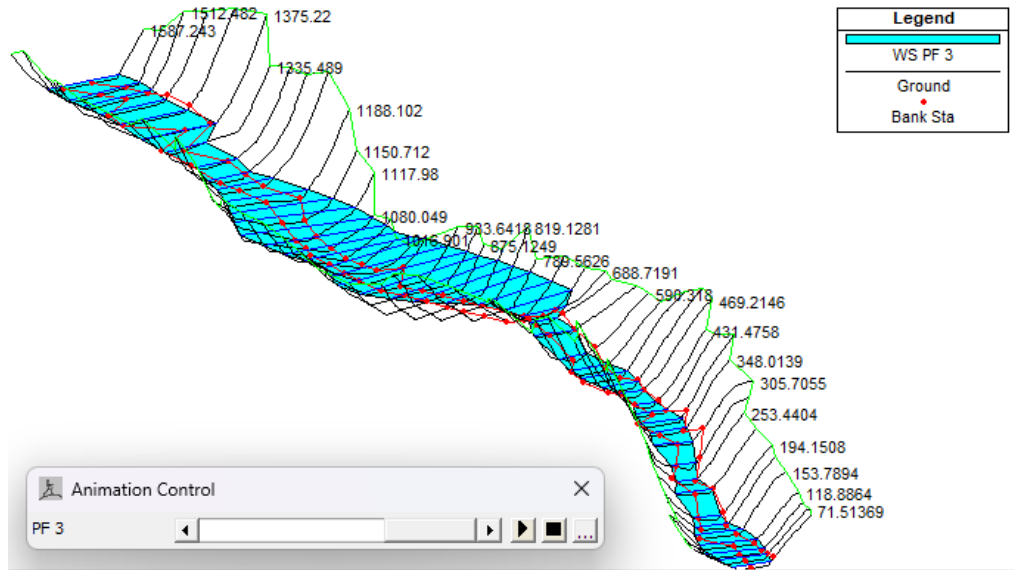
He: Al realizar un análisis y procesamiento de la información pluviométrica se pueden determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.

He: Se puede desarrollar un mapa de riesgos que identifique y delimite las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.

La identificación de los valores de los parámetros hidrológicos identificados para la cuenca de interés se determinó que el factor de forma es de 0.35 caracterizando a la cuenca como ligeramente achatada. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma, sin descartar así que la cuenca de interés presente crecidas anómalas frente a lluvias intensas. El índice de Gravelious para esta cuenca hidrográfica sería 1.37. Dicho valor caracteriza que la cuenca presenta forma Oval-Oblonga caracterizando que al presentar una forma oval tiene altas posibilidades de producir avenidas superiores por su simetría. Con la identificación de las características de la cuenca se pudo determinar que esta presenta características probables de inundación frente a precipitaciones intensas que se puedan suscitar en la cuenca. Mejorando así una caracterización de la cuenca validando la primera hipótesis específica planteada en la investigación.

Figura 53

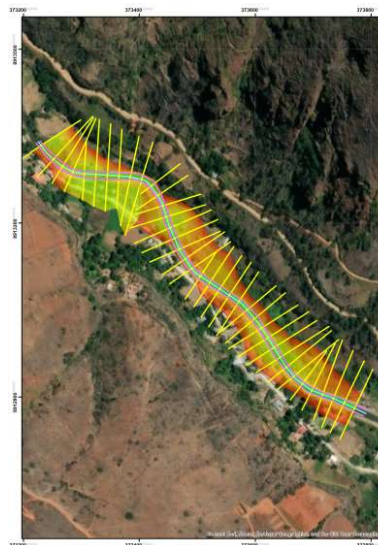
Perspectiva para un periodo de retorno de 500 años



Analizando los valores pluviométricos identificados a partir de las estaciones cercanas y aplicando la metodología de las isoyetas se pudo determinar los valores del hietograma de diseño, con ello a su vez se pudo elaborar un modelo de simulación de inundación en el software Hec-RAS, evidenciando así que se pueden identificar las zonas de inundación en el tramo de interés. Validando así la segunda hipótesis específica planteada en la investigación.

Figura 54

Zonas de inundación PR 500 años



Nota. Identificación de las zonas de inundación.

Con los valores de caudal y el modelo HEC-RAS elaborado para la zona de interés se logró extraer una capa de información de inundaciones en el software ArcGIS obteniendo de manera visual las zona de inundación evidenciando que ambos márgenes del río serian afectados por inundaciones frente a un incremento de sus caudales causado por las precipitaciones que se pueden originar en la zona de interés. Obteniendo así los mapas de riesgos validando así la tercera hipótesis específica de la investigación.

Con ello se pudo demostrar que la simulación hidrológica con la aplicación de los sistemas de información geográfica permitieron la identificación precisa de las zonas de inundación en el distrito de Churubamba. Dando así como afirmativa la hipótesis general y rechazando la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Zambrana (2019) en su estudio sobre la simulación hidrológica e hidráulica del río K'uchumuela también empleó herramientas SIG y datos satelitales para determinar caudales máximos en diferentes períodos de retorno, utilizando métodos como "Racional" y "Número de Curva" logró determinar caudales pico para distintos períodos de retorno al combinar datos geoespaciales. Similar a nuestro enfoque, Zambrana destacó la importancia de la precisión en los datos topográficos y de precipitación para la validación de los caudales pico, lo cual es consistente con nuestras observaciones sobre la variabilidad en los puntos de aforo.

Romero (2019) en su simulación hidrológica del río Alseseca se centró en los puntos críticos de inundación y utilizó SIG junto con el Watershed Modeling System para generar capas de información cruciales, similares a nuestra metodología. La importancia de estudios preventivos de desastres naturales y el uso de varios programas y métodos para simular inundaciones se alinean con nuestras prácticas y conclusiones.

Coloma (2018) en su estudio en el río Tambo utilizó los modelos HEC-HMS y HEC-RAS para simular procesos hidrológicos e hidráulicos, enfocándose en caudales de máximas avenidas y niveles de inundación para diferentes períodos de retorno demostrando la relevancia del modelado para comprender los patrones de inundación y anticipar caudales y niveles en el río Tambo en diferentes escenarios de retorno. Este enfoque es comparable a nuestro análisis en Churubamba, subrayando la importancia del modelado hidrológico para comprender y anticipar patrones de inundación.

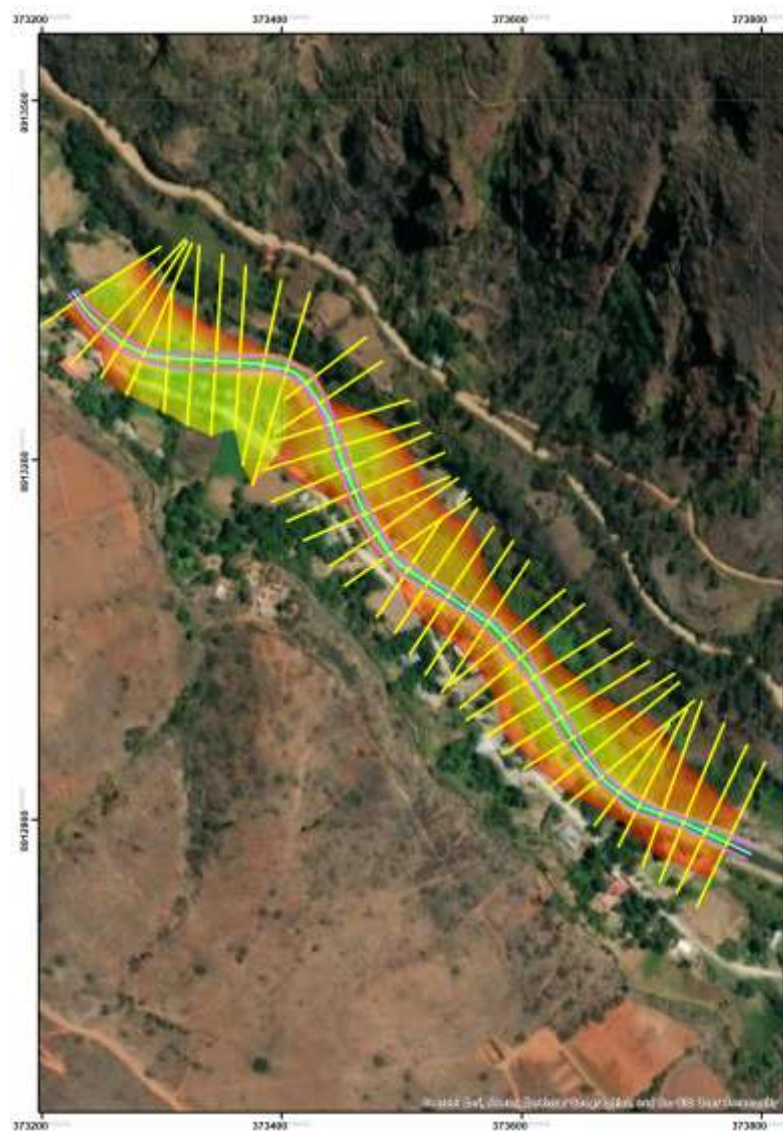
Velásquez (2022) en su estudio en el caserío Macuaco utilizó SIG y tecnología LIDAR para obtener mapas de inundación, con un enfoque en la delimitación de la cuenca y la creación de la red hídrica. La metodología empleada para generar hietogramas y simular caudales de diseño es similar a nuestra aplicación de HEC-HMS y HEC-RAS Velásquez (2022) logro identificar zonas inundables durante avenidas máximas en situaciones

extremas., demostrando la utilidad de estas herramientas en la gestión de riesgos.

Mendoza (2017) en su trabajo en el río Huallaga aplicó simulación hidrológica e hidráulica utilizando SIG para identificar áreas de inundación, resaltando la necesidad de metodologías adecuadas para superar la falta de registros históricos de caudales. La combinación de análisis hidrológico y herramientas SIG es congruente con nuestro enfoque en Churubamba.

Figura 55

Áreas de inundación para diferentes periodos de retorno



Nota. Los resultados de las áreas inundadas nos permiten visualizar de manera clara en los mapas las crecidas máximas del río para distintos periodos de retorno. Esta información proporciona un valioso aporte al ingeniero, ofreciendo datos cruciales para el diseño, la planificación y cualquier otro propósito que considere adecuado.

CONCLUSIONES

Del análisis de simulación hidrológica aplicado en la zona del distrito de Churubamba se pudo determinar que los valores de tirantes para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 años son de 3.86m, 3.92m, 4.65m, 5.40m, 5.64m, 5.89m, 6.10m y 6.50m respectivamente contribuyendo así en la identificación de las zonas vulnerables a inundación.

Del establecimiento de los parámetros hidrológicos de la cuenca del distrito de Churubamba, Provincia de Huánuco. Se determinó que la cuenca hidrográfica abarca un área de 213 km² con una pendiente media del 45.02% y una altitud media de 3515 metros sobre el nivel del mar. La obtención de estos parámetros es crucial para comprender las características físicas y topográficas de la cuenca y, por ende, identificar las zonas vulnerables a inundación.

A partir de la aplicación de la metodología de las isoyetas para la cuenca de interés y con la identificación de las estaciones más idóneas para el modelo pluviométrico se pudo determinar que los picos de las intensidades son de 12.86 mm, 13.76 mm, 14.47 mm, 15.23 mm, 15.48 mm, 16.28 mm, 17.13 mm y 19.27 mm para los años de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 500 respectivamente logrando así poder determinar los valores de caudal respectivo para cada periodo de retorno.

Del desarrollo de los mapas de inundación se pudo determinar que ambas márgenes del río se ven comprometidas frente a un incremento de los caudales, generando así una alta vulnerabilidad en la población que habita las fajas marginales hasta en aproximadamente 80 m de largo a partir del margen del río.

RECOMENDACIONES

Con relación a la determinación de los tirantes de inundación se recomienda tener en cuenta un estudio detallado de batimetría el cual genere de mejor manera las curvas de nivel en la zona del cauce de interés orientando así la mejora con relación a la capacidad de transporte natural del cauce investigado.

Para la identificación de los parámetros hidrológicos de la cuenca se recomienda tener en cuenta una imagen DEM de alta calidad, esto con la finalidad de identificar de manera más precisa los parámetros de interés, a ello también se evita la pérdida de información como el detalles de los cauces que conformen la cuenca.

Para la aplicación de la metodología de las isoyetas se recomienda tener en cuenta una triangulación de estaciones con la finalidad de abarcar toda la cuenca y poder tener valores más aproximados a un hipotética estación de registro en la zona o en su defecto procesar la información de la base de datos PISCO a fin de estimar valores en diferentes partes de la cuenca.

Se sugiere a la Municipalidad de Churubamba y otras entidades estatales considerar los hallazgos de esta investigación en la gestión de riesgos de inundación y en el desarrollo de planes reguladores territoriales. Estos resultados proporcionan una herramienta integral para establecer un ordenamiento adecuado del crecimiento de proyectos futuros en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. LIMUSA.
- Aragón, J. (2019). *Distribución espacial de variables hidrológicas. Implementación y evaluación de métodos de interpolación*. Ingeniería Investigación y Tecnología.
- Barbosa, A. R. (2022). *Elementos de Hidrología aplicada*. Editora Blucher,.
- Betanzos-Vega, A. (2019). Parámetros meteorológicos, represamiento fluvial y huracanes. Variaciones en la hidrología del golfo de Batabanó, Cuba. *Revista de biología marina y oceanografía*,.
- Campon, L. (2021). Aplicaciones de la teledetección en la modelización hidrológica. *Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura*.
- Cano, L. (2020). *Estudio Hidrológico Cuenca Altavista*. Universidad de Antioquia.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. CONCYTEC.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica Aplicada*. Colombia: Mc GRAW HILL.
- Chow, V. T. (1995). *Hidráulica de canales abiertos*. McGRAW-HILL.
- Coloma Laimito, A. P. (2018). Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo. *repositorio institucional*.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología Básica y Aplicada*. Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología De La Investigación*. México.
- Herrera, J. (2018). *Niveles de precipitaciones proyectadas en la cuenca del valle de Cajamarca para un horizonte de 10 años, que permita identificar zonas de riesgo*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.
- Huaracc, R. (2018). *Nivel de riesgo a inundaciones en la quebrada Tarahuayco en el distrito de Ayacucho*. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Hurtado, N., & Caqui, J. (2019). *Focalización de áreas vulnerables y análisis hidráulicos para reducir riesgo por inundación en el río Pendencia, en el caserío Manju, distrito de Pueblo Nuevo - provincia Leoncio Prado - región de Huánuco*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

- Ibarra, A. (2022). *Propuesta de diseño de infraestructura hidráulica y sistemas de alerta temprana para reducir los registros por inundaciones en la zona El Saltadero, provincia de Los Ríos*. Universidad de Guayaquil.
- Instituto Geográfico Nacional. (2015). *NORMA TÉCNICA GEODÉSICA*. Lima: Diario el Peruano.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2016). *Manual básico para la estimación del riesgo*. INDECI.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). *Plan de contingencia ante el periodo de lluvias intensas 2017*. INDECI.
- Lazaro, J. (2020). *Análisis de riesgo de desastre originado por los fenómenos hidrometeorológicos a fin de reducir la vulnerabilidad frente a la inundación del río Huallaga en el poblado de Colpa Alta, distrito de Amarilis - Huánuco*. Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- López, J. (2017). *Análisis comparativo de métodos tradicionales y un método geoestadístico tipo Kriging para la estimación de precipitación areal y sus implicaciones en la modelación hidrológica: Cuenca del río Ayuquila*. Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático.
- Madrid, H. (2019). *Estimación de precipitación superficial utilizando 5 métodos como base para la determinación del balance hídrico en la cuenca media y alta del Mantaro*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Mendoza, C. (2017). *Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del Río Huallaga*. repositorio unheval.
- Ministerio de Agricultura y Ambiente. (2022). *GeoServidoPerú*. Obtenido de GeoServidoPerú:
https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. MTC.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Alfaomega.
- Moreno, P., & Oliva, D. (2018). *Evaluación de la inundación por desborde del río Chilca y de la quebrada Chutana, distrito de Pucusana, Lima, 2017*. Universidad Privada Antenor Orrego.

- Olaya, V. (2018). *Sistemas de Información Geográfica*. Creative Common Atribución.
- Ordoñez, J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima.
- Peña, J., & Nuñez, D. (2020). *Áreas de inundación de la quebrada Pindo, al centro poblado Perico, distrito de Chirinos, provincia San Ignacio-Cajamarca*. Universidad Nacional de Jaén.
- Rojas, H., & Jiménez, K. (2021). *Pronóstico de las áreas de inundación en el caso urbano del municipio de Útica (Cundinamarca) para diferentes periodos de retorno en la cuenca Quebrada Negra y Río Negro*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Romero, C. (2019). Simulacion hidrológica con sistemas de informacion geografica de la cuenca del rio alseseca. *REPOSITORIO INSTITUCIONAL*.
- Ruiz, L. M. (2022). Determinación de zonas de riesgo por inundación mediante la modelación hidráulica e hidrológica planteada en el río Huallaga para el tramo del centro poblado de Huaracalla. *repositorio UDH*.
- Santos, I. (2021). *Modelo hidráulico para delimitación de faja marginal río Caplina sector río Seco, Distrito G. Albarracín, Tacna*. Universidad Privada de Tacna.
- Sarango, D. (2019). Evaluación del sistema de modelamiento hidrológico HEC-HMS para la simulación hidrológica de una microcuenca andina tropical. *Información tecnológica*.
- Segerer, C., & Villodas, R. (2006). Hidrología I. *Universidad Nacional de Cuyo*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2022). *Datos / Descarga de datos Meteorológicos*. Obtenido de Datos / Descarga de datos Meteorológicos: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Velásquez, C. V. (2022). Estudio hidrológico e Hidráulico para el análisis de inundaciones en el Caserío Macuaco-Distrito de Oyotun. *repositorio institucional*.
- Villon, M. (2000). Hidrologia general. *instituto tecnologico costa rica*.

Zambrana, R. (2019). SIMULACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO K'UCHUMUELA PARA DETERMINAR ÁREAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN. *repositorio institucional*.

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Díaz Silva, D. (2025). *Simulación hidrológica con sistemas de información geográfica para identificar las zonas vulnerables de inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. RepositorioInstitucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 0451-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 06 de marzo de 2024

Visto, el Oficio N° 294-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Deivy DIAZ SILVA**.

CONSIDERANDO:

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

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

Que, mediante Resolución N° 1287-2023-D-FI-UDH, de fecha 21 de setiembre de 2023, perteneciente al Bach. **Deivy DIAZ SILVA** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Johnny Prudencio Jacha Rojas, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 294-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Deivy DIAZ SILVA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Presidente), Mg. Charles Jiammy Alcedo Diaz (Secretario) e Ing. Percy Mello Davila Herrera (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

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

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO-2024", presentado por el (la) Bach. **Deivy DIAZ SILVA** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

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

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Esp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/ata.

ANEXO 2

MATRIZ DE CONSISTENCIA

	Problema General	Objetivo general	Variable Independiente	Hip. General
SIMULACIÓN HIDROLÓGICA CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACIÓN EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUÁNUCO, 2024	¿De qué manera la simulación hidrológica con sistemas de información geográfica contribuye a identificar las zonas vulnerables a inundación, en el distrito del valle Provincia de Huánuco?	Analizar cómo la simulación hidrológica, en combinación con sistemas de información geográfica (SIG), contribuye a la identificación precisa y eficiente de las zonas vulnerables a inundaciones en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.	Simulación Hidrológica	La simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica permitirá una identificación más precisa y detallada de las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco
	Problema específico	Objetivo Específico	Variable Dependiente	Hip. Nula
	¿Cuáles son los parámetros hidrológicos de la cuenca en el distrito de Churubamba provincia de Huánuco?	Establecer los parámetros hidrológicos de la cuenca con los sistemas de información geográfica para determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba provincia de Huánuco	Zonas Vulnerables A Inundación	La utilización de la simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica no tiene un impacto significativo en la identificación de las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco en comparación con la identificación basada únicamente en datos geográficos y topográficos estándar.
	¿Cómo realizar un análisis de la información pluviométrica de la zona en el distrito de	Realizar un análisis y procesamiento de la información pluviométrica para determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito de		Hip. Específicas
				Los parámetros hidrológicos de la cuenca estimados con los sistemas de información geográfica mejoran la precisión en la identificación

Churubamba provincia de Huánuco	Churubamba provincia de Huánuco	de las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.
¿Cuáles serán las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba provincia de Huánuco?	Desarrollar un mapa de riesgos que identifique y delimite las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco	<p>Al realizar un análisis y procesamiento de la información pluviométrica se pueden determinar las zonas vulnerables a inundación en el distrito del Churubamba provincia de Huánuco.</p> <p>Se puede desarrollar un mapa de riesgos que identifique y delimite las zonas vulnerables a inundación en el distrito de Churubamba de la Provincia de Huánuco.</p>

ANEXO 3

EVIDENCIAS DE INVESTIGACIÓN

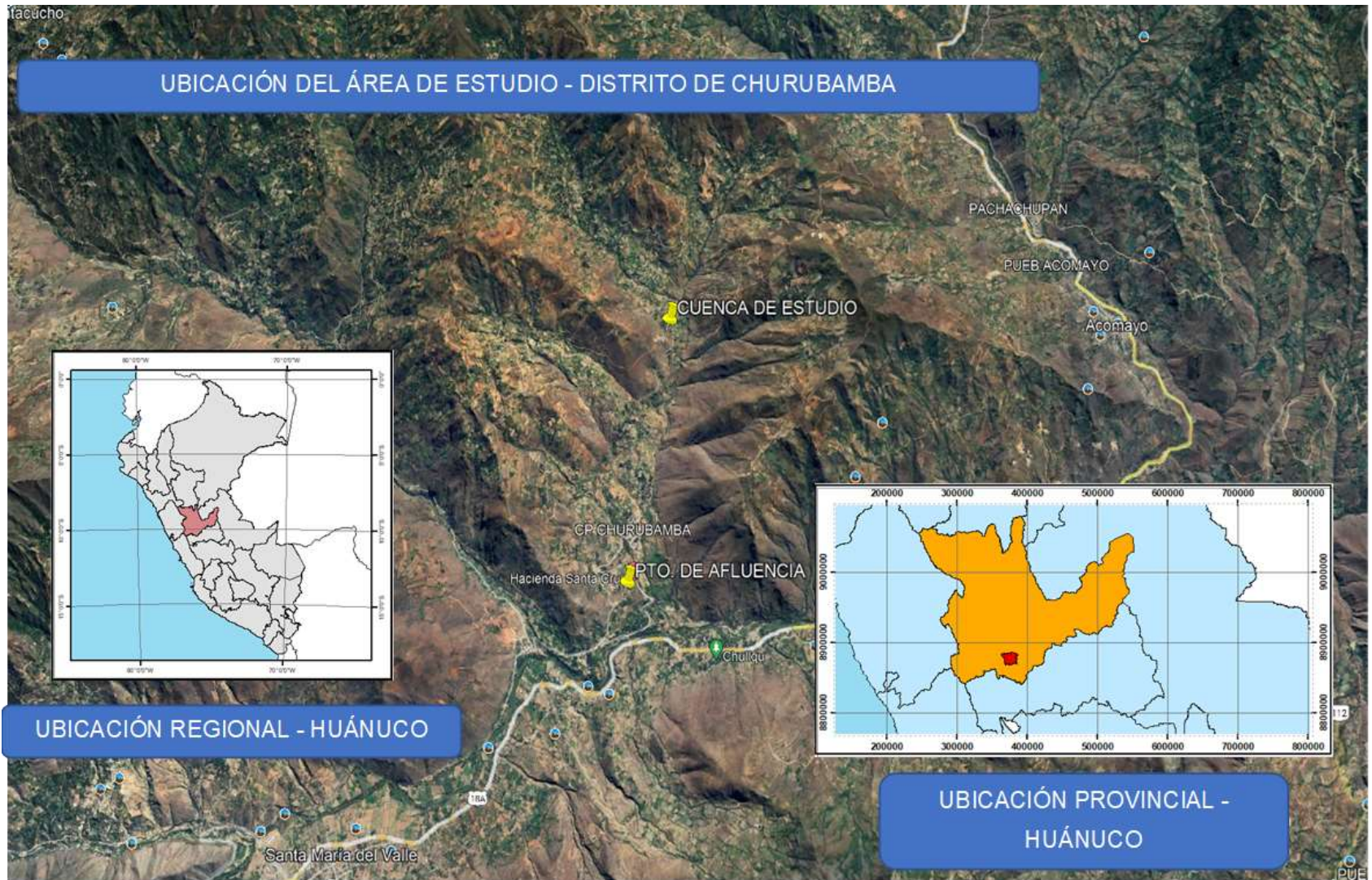
Anexo N° 01							
Formato para identificar, analizar y dar respuesta a riesgos							
1	NÚMERO Y FECHA DEL DOCUMENTO	Número	R01-2024-CHURUBAMBA				
		Fecha	20/05/2024				
2	DATOS GENERALES DEL PROYECTO	Nombre del Proyecto	SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO				
		Ubicación Geográfica	CHURUBAMBA - HUANUCO - HUANUCO				
3 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS							
3.1	CÓDIGO DE RIESGO	R001-CHURUBAMBA					
3.2	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	Erosión Riveraña					
3.3	CAUSA(S) GENERADORA(S)	Causa N° 1	Construcción de infraestructuras ribereñas no planificadas.				
		Causa N° 2	Aumento del nivel del río.				
		Causa N° 3	Deforestación y pérdida de cobertura vegetal.				
4 ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS							
4.1	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			4.2	IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA POBLACION		
	Muy baja	0.10			Muy bajo	0.05	
	Baja	0.30	x		Bajo	0.10	
	Moderada	0.50			Moderado	0.20	x
	Alta	0.70			Alto	0.40	
	Muy alta	0.90			Muy alto	0.80	
	Baja		0.300		Moderado		0.200
4.3 PRIORIZACIÓN DEL RIESGO							
Puntuación del Riesgo =Probabilidad x Impacto		0.060	Prioridad del Riesgo	Prioridad Moderada			
5 RESPUESTA A LOS RIESGOS							
5.1	ESTRATEGIA	Mitigar Riesgo		Evitar Riesgo	X		
		Aceptar Riesgo		Transferir Riesgo			
5.2	DISPARADOR DE RIESGO	Gestión sostenible de recursos ribereños.					
5.3	ACCIONES PARA DAR RESPUESTA AL RIESGO	La preparación incluye educar a la comunidad, desarrollar planes de emergencia y sistemas de alerta temprana. La respuesta abarca la protección de infraestructuras críticas, evacuación de poblaciones en riesgo y asistencia humanitaria.					

Anexo N° 01					
Formato para identificar, analizar y dar respuesta a riesgos					
1	NÚMERO Y FECHA DEL DOCUMENTO	Número	R01-2024-CHURUBAMBA		
		Fecha	20/05/2024		
2	DATOS GENERALES DEL PROYECTO	Nombre del Proyecto	SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO		
		Ubicación Geográfica	CHURUBAMBA - HUANUCO - HUANUCO		
3 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS					
	3.1	CÓDIGO DE RIESGO	R001-CHURUBAMBA		
	3.2	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	Inundaciones		
	3.3	CAUSA(S) GENERADORA(S)	Causa N° 1	Precipitaciones intensas y prolongadas.	
Causa N° 2			Desbordamiento de ríos y quebradas.		
Causa N° 3			Deforestación y pérdida de cobertura vegetal.		
4 ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS					
	4.1 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			4.2 IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA	
	Muy baja	0.10		Muy bajo	0.05
	Baja	0.30		Bajo	0.10
	Moderada	0.50		Moderado	0.20
	Alta	0.70	X	Alto	0.40
	Muy alta	0.90		Muy alto	0.80
	Alta		0.700	Alto	
				0.400	
	4.3 PRIORIZACIÓN DEL RIESGO				
	Puntuación del Riesgo =Probabilidad x Impacto		0.280	Prioridad del Riesgo	Alta Prioridad
5 RESPUESTA A LOS RIESGOS					
	5.1	ESTRATEGIA	Mitigar Riesgo		Evitar Riesgo
			Aceptar Riesgo		Transferir Riesgo
	5.2	DISPARADOR DE RIESGO	Sistemas de drenaje eficientes e Infraestructuras de contención y protección.		
	5.3	ACCIONES PARA DAR RESPUESTA AL RIESGO	Se deben implementar sistemas de alerta temprana, reforestar áreas verdes, planificar urbanamente con gestión de riesgos y mantener infraestructuras de drenaje. La preparación incluye capacitar a la población, desarrollar planes de evacuación y construir refugios seguros		

Anexo N° 01					
Formato para identificar, analizar y dar respuesta a riesgos					
1	NÚMERO Y FECHA DEL DOCUMENTO	Número	R01-2024-CHURUBAMBA		
		Fecha	20/05/2024		
2	DATOS GENERALES DEL PROYECTO	Nombre del Proyecto	SIMULACION HIDROLOGICA CON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBA PROVINCIA DE HUANUCO		
		Ubicación Geográfica	CHURUBAMBA - HUANUCO - HUANUCO		
3 IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS					
	3.1	CÓDIGO DE RIESGO	R001-CHURUBAMBA		
	3.2	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	Derrumbes en Zonas Inundadas		
	3.3	CAUSA(S) GENERADORA(S)	Causa N° 1	Saturación del suelo debido a lluvias intensas	
			Causa N° 2	Construcción inadecuada en áreas de riesgo.	
			Causa N° 3	Falta de vegetación que estabilice el suelo.	
4 ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS					
	4.1 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA			4.2 IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA POBLACION	
	Muy baja	0.10		Muy bajo	0.05
	Baja	0.30	x	Bajo	0.10
	Moderada	0.50		Moderado	0.20
	Alta	0.70		Alto	0.40
	Muy alta	0.90		Muy alto	0.80
	Baja		0.300	Moderado	
				0.200	
	4.3 PRIORIZACIÓN DEL RIESGO				
	Puntuación del Riesgo =Probabilidad x Impacto		0.060	Prioridad del Riesgo	Prioridad Moderada
5 RESPUESTA A LOS RIESGOS					
	5.1	ESTRATEGIA	Mitigar Riesgo		Evitar Riesgo
			Aceptar Riesgo		Transferir Riesgo
	5.2	DISPARADOR DE RIESGO	Zonificación de áreas de riesgo para evitar construcciones.		
	5.3	ACCIONES PARA DAR RESPUESTA AL RIESGO	se deben reforestar áreas vulnerables, monitorear pendientes y mejorar el drenaje. La recuperación implica evaluar la estabilidad del suelo, reconstruir de manera segura, ofrecer apoyo financiero a las familias y rehabilitar la infraestructura y el entorno natural.		

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA.	Muy Alta	0.90	0.045	0.090	0.180	0.090	0.720
	Alta	0.70	0.035	0.070	0.140	0.280	0.560
	Moderada	0.50	0.025	0.050	0.100	0.200	0.400
	Baja	0.30	0.015	0.030	0.060	0.120	0.240
	Muy Baja	0.10	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080
2. IMPACTO EN LA EJECUCIÓN DE LA OBRA			0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
			Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
3. PRIORIDAD DEL RIESGO					Baja	Moderada	Alta

Anexo N° 03									
Formato para asignar los riesgos									
1. NÚMERO Y FECHA DEL DOCUMENTO		Número	RD-2024-CHURUBAMBÁ		2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO				
		Fecha	20/03/2024						
				Título del Proyecto		ORULACION HIDROLÓGICA CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS VULNERABLES DE INUNDACION EN EL DISTRITO DEL CHURUBAMBÁ, PROVINCIA DE HUÁNUCO			
				Ubicación Geográfica		CHURUBAMBÁ - HUÁNUCO - HUÁNUCO			
3. INFORMACIÓN DEL RIESGO				4. PLAN DE RESPUESTA A LOS RIESGOS					
3.1 CÓDIGO DE RIESGO	3.2 DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	3.3 PRIORIDAD DEL RIESGO	4.1 ESTRATEGIA SELECCIONADA				4.2 ACCIONES A REALIZAR EN EL MARCO DEL PLAN		
			Minimizar el riesgo	Evitar el riesgo	Aceptar el riesgo	Transferir el riesgo	Estado	Contratista	
	inocion ribereña	Prioridad Moderada	x				La preparación incluye educar a la comunidad, desarrollar planes de emergencia y sistema de alerta temprana. La respuesta abarca la protección de infraestructura crítica, evacuación de poblaciones en riesgo y asistencia humanitaria.		
	Inundaciones	Alta prioridad		x			Se deben implementar sistemas de alerta temprana, refinar áreas verdes, planificar urbanamiento con gestión de riesgos y mantener infraestructura de drenaje.		
	Deslizamientos en Zonas Inundadas	Prioridad Moderada			x		Se deben reforzar áreas subterráneas, monitorear pendientes y mayor el drenaje. La recuperación implica evaluar la estabilidad del suelo, reconstruir de manera segura, ofrecer apoyo financiero a las familias y rehabilitar la infraestructura y el entorno natural.		



ANEXO 4

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 56

Foto aérea de la quebrada Cascay



Figura 57

Foto aérea tomada desde el dron



Figura 58

Quebrada Cascay



Figura 59

Vegetación en la quebrada Cascay



Figura 60

Ensamblado de dron para fotogrametría



Figura 61

Inicio de vuelo para fotogrametría



Figura 62

Recorrido de la quebrada Cascay



Figura 63

Recorrido de la quebrada

