

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Efecto de las precipitaciones máximas en el nivel de peligro generado por flujos de detritos en la zona de Masupampa, distrito de Tapairihua, Aymaraes, 2024

Asesor:

Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Cuipa Perez, George

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 074

En la ciudad de Abancay, a los diecisiete días del mes de diciembre del 2025, siendo las 6:00 pm horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1052-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 10 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquillo, Luis
Dictaminante :	Mag. Roldan Juárez, Américo
Replicante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Efecto de las precipitaciones máximas en el nivel de peligro generado por flujos de detritos en la zona de Masupampa, distrito de Tapairihua, Aymaraes, 2024

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

Br: Cuija Perez, George

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Cuija Perez, George	Aprobado

Siendo las 19:30pm horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquillo, Luis

Dictaminante: Mag. Roldan Juárez, Américo

Replicante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Abancay 22 de diciembre del 2025

Se expide la presente
constante al libro de
Actas de Sustentación de
Tesis, consignado en las
folios N° 384

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Treles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban. (Art. 18 RUGAT).
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RUGAT.

Escaneado con CamScanner

Reporte de similitud






17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Cuipa Perez George
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	71737914
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0001-8843-9290
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que realizó la investigación	:	Febrero 2025 – Junio 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciada
Porcentaje de similitud	:	17 %
URL OCDE	:	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Esta tesis, dedico de todo corazón a mis padres; Justino Cuipa y Maria Perez, porque me mostraron la importancia del trabajo duro y la constancia, siendo los principales en la formación de mi vida profesional.

A mi hermano y abuelo quienes fueron los motivadores en culminar con mi carrera profesional y por sus palabras y apoyo moral.

Agradecimientos

A quienes contribuyeron a hacer realidad este sueño, aquellos que durante todo el proceso caminaron a mi lado y que, con su inspiración, apoyo y fortaleza, fueron fundamentales en mi camino. Deseo expresar una mención especial a Dios, quien me ha colmado de salud y fuerza para alcanzar mis metas.

Asimismo, agradezco profundamente a mi asesor Ph.D. Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su dedicación y por brindarme la oportunidad de aprender de su experiencia. Su paciencia, comprensión y respaldo fueron esenciales para el desarrollo y culminación de esta tesis.

Resumen

Durante años, los movimientos de detritos en Perú, causados por lluvias intensas en diferentes zonas, han provocado deslizamientos, daños a infraestructuras y pérdida de vidas humanas, afectando la salud y generando daños económicos en todo el territorio peruano. El objetivo principal es determinar y analizar cómo las precipitaciones extremas influyen en el nivel de peligro vinculado a los flujos de detritos en Masupampa. Con el fin de llevar a cabo este análisis, se empleó el modelo hidráulico FLO-2D, el cual fue enriquecido con información hidrometeorológica, datos geológicos y un Modelo Digital de Elevación. La determinación de las precipitaciones máximas en un lapso de 24 horas se realizó mediante la aplicación de una distribución Log Pearson Tipo III, lo que facilitó la creación de las gráficas Intensidad - Duración - Frecuencia, y los hietogramas de precipitación utilizados como parámetros de diseño en el análisis. Además, se calcularon máximos caudales líquidos tomando en cuenta un número de curva (CN=78), para diversos períodos de retorno desde 2 hasta 1000 años, estos resultados indicaron caudales máximos provocados por estos flujos altamente concentrados, alcanzando el valor de 17.56 m³/s; áreas de amenaza hasta 49.42% con velocidades máximas hasta 8.4 m/s para CN=78. El análisis mediante la correlación de Pearson manifestó una relación estadísticamente importante entre las lluvias más intensas y el peligro en el área de estudio. Además, tanto las velocidades como los caudales máximos mostraron coeficientes de correlación cercanos a uno, lo que indica una fuerte y positiva asociación.

Palabras claves: flujo de detritos, precipitaciones máximas, FLO-2D, peligro, velocidad.

Abstract

For years, debris flows in Peru, caused by intense rainfall in different areas, have led to landslides, infrastructure damage, and loss of human lives, affecting public health and generating economic damages throughout the Peruvian territory. The main objective is to determine and analyze how extreme precipitation influences the level of danger associated with debris flows in Masupampa. To carry out this analysis, the hydraulic model FLO-2D was employed, which was enhanced with hydrometeorological data, geological information, and a Digital Elevation Model. The determination of maximum 24-hour rainfall was performed using a Log Pearson Type III distribution, facilitating the creation of Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves and rainfall hyetographs used as design parameters in the analysis. Additionally, maximum flood discharges were calculated considering a curve number (CN=78) for various return periods ranging from 2 to 1000 years. These results indicated maximum discharges caused by these highly concentrated flows, reaching up to 17.56 m³/s; hazard areas covered up to 49.42%, with maximum velocities reaching 8.4 m/s for CN=78. The analysis using Pearson correlation demonstrated a statistically significant relationship between the most intense rainfall and the danger in the study area. Furthermore, both velocities and maximum discharges showed correlation coefficients close to one, indicating a strong and positive association.

Keywords: debris flow, maximum rainfall, FLO-2D, danger, velocity.

Índice General

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud.....	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice General	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xv
I. Introducción	16
II. Planteamiento del problema	18
2.1. Descripción y formulación del problema.....	18
2.2. Objetivos.....	21
2.2.1. Objetivo general	21
2.2.2. Objetivos específicos.....	21
2.3. Justificación e importancia	22
2.4. Hipótesis	22

2.5. Variables.....	23
III. Marco Teórico.....	25
3.1. Antecedentes.....	25
3.2. Bases teóricas	33
3.3. Definición de términos.....	45
IV. Metodología.....	47
4.1. Tipo y nivel de investigación	47
4.2. Ámbito temporal y espacial	48
4.3. Población y muestra.....	48
4.4. Instrumentos	49
4.5. Procedimientos	51
4.6. Análisis de datos.....	51
V. Resultados y discusión	53
5.1. Resultados.....	53
5.2. Discusión de resultados	86
5.3. Prueba de Hipótesis.....	88
VI. Conclusiones.....	95
VII. Recomendaciones.....	97
VIII. Referencias bibliográficas	99
IX. Anexos	106

Índice de tablas

Tabla 1 Estructurado que detalla la operacionalización de variables	24
Tabla 2 Propiedades de las matrices utilizadas en flujos de detritos (sólo limo y arcilla) .	41
Tabla 3 Datos de esfuerzo de cedencia y viscosidad dependientes de Cv	41
Tabla 4 Clasificación del nivel de amenaza	43
Tabla 5 Intensidad de inundación de agua (Water flood).....	45
Tabla 6 Intensidad de inundación de flujos de lodo y escombros (Mud and debris flow) .	45
Tabla 7 Valores r para los distintos grados de correlación.....	53
Tabla 8 Precipitaciones máximas de 24 h de Masupampa	55
Tabla 9 Manejo de datos estadísticos	57
Tabla 10 Resultados de los deltas teóricos y tabular	58
Tabla 11 Precipitación máxima para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson Tipo III	59
Tabla 12 Las precipitaciones máximas ajustadas para diversos períodos de retorno, empleando la distribución Log Pearson Tipo III.....	59
Tabla 13 Hietogramas de precipitación conforme al Modelo de Dick - Peschke	62
Tabla 14 Topografía digital DEM – zona de Masupampa	68
Tabla 15 Cálculo de numero de curva de Masupampa.....	68
Tabla 16 Valores del coeficiente de rugosidad n	71
Tabla 17 Resultados de la granulometría en la zona de Masupampa.....	73
Tabla 18 Resultados del valor de gravedad específica.....	73
Tabla 19 Propiedades de las matrices de flujo de detritos (sólo limo y arcilla) de Masupampa.....	74
Tabla 20 Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función de Cv de Masupampa	75
Tabla 21 Parámetros de resistencia para flujo laminar	75

Tabla 22 Áreas de amenaza por flujos de detritos, para TR desde 2 a 1000 años (CN = 78)	81
Tabla 23 Resultados de velocidades máximas (m/s) CN = 78 de Masupampa	82
Tabla 24 Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la magnitud del peligro asociado a flujos de detritos	86
Tabla 25 Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la extensión de la zona de amenaza provocada por los flujos de detritos	86
Tabla 26 Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la velocidad máxima inducida por flujos de detritos	87
Tabla 27 Estudio comparativo del impacto de las precipitaciones extremas y el caudal máximo producido por los flujos de detritos	87
Tabla 28 Valores de precipitaciones máximas y área de amenaza en diferentes periodos de retorno	89
Tabla 29 Valores de precipitaciones máximas y la velocidad máxima en diferentes periodos de retorno	91
Tabla 30 Valores de precipitaciones máximas y el caudal máximo en diferentes periodos de retorno	93

Índice de figuras

Figura 1 Ocurrencia de eventos de diseño previstas durante la vida útil	34
Figura 2 Gráfica de intensidad – duración – frecuencia para lluvias máximas.....	35
Figura 3 Ejemplo de hietograma de diseño	38
Figura 4 Diagrama de flujo del FLO-2D.....	40
Figura 5 Niveles de peligro de asociados a las inundaciones considerando la frecuencia y la magnitud de su intensidad	43
Figura 6 Intensidad de las crecidas de detritos calculada a partir de la profundidad y la velocidad	44
Figura 7 Ubicación del estudio de Masupampa.....	48
Figura 8 Histograma de precipitación zona de estudio Masupampa.....	56
Figura 9 Prueba de bondad de ajuste Smirnov- Kolmogorov	58
Figura 10 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia.....	61
Figura 11 Gráfica de hietograma de precipitación T = 2 años	63
Figura 12 Gráfica de hietograma de precipitación T = 5 años	63
Figura 13 Gráfica de hietograma de precipitación T = 10 años	64
Figura 14 Gráfica de hietograma de precipitación T = 25 años	64
Figura 15 Gráfica de hietograma de precipitación T = 50 años	65
Figura 16 Gráfica de hietograma de precipitación T = 100 años	65
Figura 17 Gráfica de hietograma de precipitación T = 200 años	66
Figura 18 Gráfica de hietograma de precipitación T = 500 años	66
Figura 19 Gráfica de hietograma de precipitación T = 1000 años	67
Figura 20 Datos de ingreso del transporte de lodos y sedimentos de Masupampa	76
Figura 21 Grillas de 5 x 5m De Masupampa	77
Figura 22 Hidrogramas sólidos y líquidos para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN=78)	79

Figura 23 Mapas de Nivel de peligros para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN = 78)	80
Figura 24 Velocidades máximas para TR desde 2 a 1000 años (CN=78) de Masupampa	83
Figura 25 Hidrogramas del flujo de detritos para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN=78)	85
Figura 26 Correlación lineal entre el área de amenaza (m ²) y las precipitaciones máximas (mm)	90
Figura 27 Correlación polinómica entre velocidad máxima (m/s) y precipitaciones máximas (mm)	92
Figura 28 Correlación lineal entre las precipitaciones máximas (mm) y el caudal máximo (m ³ /s)	94

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	107
Anexo 2 Matriz de operacionalización de variables.....	108
Anexo 3 Instrumento N° 01: Precipitaciones máximas por año	109
Anexo 4 Instrumento N° 02: Curva Intensidad, duración y frecuencia (IDF)	110
Anexo 5 Instrumento N° 03: Hietogramas de precipitación de diseño (mm) por el método de bloque alterno – Modelo Dick Peschke	110
Anexo 6 Instrumento N° 04: Determinación del caudal liquido con el HEC-HMS	111
Anexo 7 Parámetros y/o factores que generan el peligro	116
Anexo 8 Solicitud de datos al SENAMHI	117
Anexo 9 Respuesta del SENAMHI	120
Anexo 10 Respuesta a la solicitud del Software FLO-2D	121
Anexo 11 Evidencias fotográficas	123
Anexo 12 Mecánica de suelos resultados por Lunix Ingenieros S.R.L.	127

I. Introducción

Esta investigación analiza cómo las precipitaciones extremas influyen en el nivel de peligro asociado en flujos de detritos en Masupampa. La tesis revela que las precipitaciones máximas tienen un impacto directo en el incremento del nivel de peligro, ya que crean condiciones favorables para la movilización de materiales sueltos y el desplazamiento de laderas. Estos movimientos, provocados por lluvias frecuentes y fuertes, se manifiestan en las partes altas, medias y bajas de las regiones de captación de agua de un sistema hidrográfico, teniendo un gran potencial destructivo. En Perú, tales eventos han provocado la pérdida de vidas humanas, daños a la salud, perjuicios en infraestructuras públicas y privadas, entre otros efectos adversos (Sánchez Meza, 2018). Por ello, es necesario adoptar medidas preventivas y administración de riesgos para proteger y resguardar a la comunidad y sus instalaciones en Masupampa.

En el **planeamiento del problema**, se abordó de manera integral la situación problemática a nivel global, nacional y local, estableciendo claramente la formulación del problema, su justificación, objetivos y limitaciones que condicionaron en el proceso de realización de la investigación.

Para el **marco teórico**; se desarrolló un sustento conceptual que recopiló información relevante sobre las variables principales: precipitaciones máximas y el nivel de peligro asociado a los flujos de detritos, destacando los temas más relevantes relacionados con la investigación y se incluyeron antecedentes empíricos que aportaron antecedentes y contexto a los objetivos del estudio.

En cuanto a la **metodología**, se detallaron las hipótesis y las variables involucradas, así como la operacionalización de las mismas, especificando sus dimensiones e indicadores. Se definieron también la población, muestra y técnicas de muestreo, junto con los instrumentos empleadas para recopilar la información. Además, se consideraron aspectos éticos y se describieron los procedimientos para el análisis estadístico, con el fin

de evaluar el impacto de las precipitaciones máximas y el nivel de peligro generado por los flujos de detritos en Masupampa.

Los **resultados y discusión**, contienen la presentación de los datos obtenidos, acompañada de análisis estadísticos que permitieron realizar comparaciones entre los parámetros hidrológicos. También se llevaron a cabo pruebas de hipótesis y análisis de correlación entre variables, con la finalidad de determinar la relación de las precipitaciones máximas y el nivel de peligro derivado de los flujos de detritos en dicha localidad.

Finalmente, se dio a conocer las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo del estudio, así como la bibliografía empleada y los anexos que avalan la investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La problemática de los flujos de detritos en zonas montañosas de Italia se centró en el impacto de las precipitaciones intensas y la falta de vegetación en las pendientes. La combinación de lluvias extremas y pendientes pronunciadas en suelos con baja capacidad de retención provocó la inestabilidad del terreno, lo que aumentó el riesgo de deslizamientos y flujos de detritos, esto generó obstrucciones en las vías de comunicación, afectando la conectividad y la seguridad de las comunidades locales, lo cual subrayó la necesidad de implementar sistemas de alerta temprana y reforzar las medidas de mitigación en áreas críticas (Marchi et al., 2021).

En la región montañosa de Yunnan, China, un estudio analiza cómo las condiciones meteorológicas extremas y la deforestación aceleran la incidencia de flujos de detritos, evidenciando que la pérdida de cobertura vegetal y el uso inadecuado del suelo debilitan la estabilidad del terreno, lo que, en combinación con lluvias torrenciales, incrementa considerablemente la probabilidad de eventos de este tipo, estos flujos bloquean vías de comunicación y dañan infraestructuras, generando impactos negativos en las economías locales; por ello, se recomienda implementar estrategias de reforestación en áreas vulnerables y establecer barreras físicas para reducir estos riesgos y promover la resiliencia de las comunidades afectadas (J. Zhou et al., 2024).

Se aborda además la problemática de los deslizamientos y flujos de detritos en la quebrada Pusmalca, ubicada en la región de Piura, Perú, donde las intensas precipitaciones y la activa geodinámica de la zona propiciaron la movilización de grandes volúmenes de material, originando flujos de detritos que descendieron por la quebrada y afectaron sus márgenes, evidenciando una dinámica geológica

sumamente intensa que pone en riesgo tanto las infraestructuras como las comunidades cercanas (Chiroque y Núñez, 2021).

La problemática de la quebrada Chinchiña, de la localidad de Pacsica, distrito de Justo Apu Sahuaraura provincia de Aymaraes, Apurímac muestra un nivel elevado de vulnerabilidad ante flujos de detritos provocados por lluvias intensas representa un peligro importante para la infraestructura y la población local; las lluvias torrenciales, combinadas con la pendiente pronunciada y la inestabilidad del suelo en la región, favorecen la acumulación y movilización de sedimentos y rocas, incrementando la probabilidad de flujos de detritos que obstruyen rutas de transporte, afectando la movilidad y seguridad, además de generar aislamientos temporales que impactan las actividades diarias, económicas y el acceso a servicios esenciales; la carencia de infraestructura adecuada para gestionar estos eventos geodinámicos agrava el riesgo, evidenciando la necesidad de incorporar mecanismos de drenaje adecuados y acciones de reforestación en zonas susceptibles resulta fundamental para reducir el impacto de la erosión y las inundaciones como medidas preventivas para reducir la exposición y proteger a la comunidad (Villasante Escalante, 2022).

Masupampa está ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, enfrenta de manera recurrente eventos de flujo de detritos que amenazan la infraestructura vial que conecta Santa Rosa con Antabamba, situación agravada por las intensas precipitaciones continuas, la pronunciada pendiente del terreno, la inestabilidad de los suelos y la escasa vegetación en determinadas áreas, factores que facilitan el desplazamiento de material hacia las vías, obstruyendo las rutas de comunicación, dificultando el acceso a recursos básicos y servicios de emergencia, y afectando tanto la movilidad como la economía local, además de incrementar la vulnerabilidad de la comunidad ante escenarios de emergencia; por ello, resulta urgente realizar una evaluación integral del riesgo de obstrucción vial para implementar medidas de

mitigación que aseguren la continuidad de la conectividad vial y protejan a los habitantes frente a posibles incidentes relacionados a flujo de detritos (Municipalidad Distrital de Tapairihua, 2017).

Se tiene hechos, donde “el 23 de abril de 2019, a las 11:00 horas aproximadamente, a consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales se produjo un huaico que afectó a la vía de comunicación del sector de Masupampa, distrito de Tapairihua, provincia de Aymaraes”(COEN, 2019, p. 1). Se manifiesta también que la “quebrada Masupampa a 20 km de Santa Rosa, en ruta a Antabamba. Los huaycos llegan a embalsar el río del mismo nombre” (Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC- Perú, 2012, p. 91).

Asi mismo, el “14 de enero de 2024, a las 17:30 horas, se “registró un huaico que causó daños a la infraestructura de transporte (vía Santa Rosa - Antabamba), localidad de Masopampa, distrito de Tapairihua, provincia de Aymaraes” (INDECI-COEN, 2024, p. 1).

Tras identificar la problemática relacionada con los flujos de detritos en la localidad de Masupampa, situada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, esta investigación se orienta a examinar la correlación existente entre las precipitaciones máximas registradas y el grado de riesgo asociado a estos flujos representan, específicamente en cuanto a la obstrucción vial en la zona, considerando los factores geográficos y ambientales que influyen en su ocurrencia. Asimismo, se examina cómo aspectos como la pendiente del terreno, las propiedades del suelo y la intensidad de las precipitaciones afectan la susceptibilidad a estos fenómenos, elementos clave para entender la dinámica de los deslizamientos en esta área vulnerable. La proyección del estudio busca que, mediante la identificación y análisis de estos factores, se puedan diseñar medidas preventivas, como sistemas de drenaje y barreras físicas, que reduzcan el riesgo de obstrucción vial y fortalezcan la seguridad en la infraestructura

vial de Masupampa. La investigación se apoya en metodologías de análisis geoespacial y modelamiento numérico, con el propósito de ofrecer soluciones que garanticen la durabilidad y operatividad de las rutas de comunicación en zonas propensas a desastres naturales en el lugar de estudio.

Considerando la problemática específica de la región previamente expuesta, esta tesis tiene como objetivo primordial de establecer la relación entre las precipitaciones máximas registradas y el nivel de peligro asociado a los flujos de detritos en la zona de Masupampa. En virtud de ello, se formulan las siguientes interrogantes:

2.1.1. Problema general

¿Cuál es la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el nivel de peligro que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024?
- ¿Cuál es la correlación existente entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024?
- ¿Cuál es la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el nivel de peligro que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Establecer la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.

- Identificar la correlación existente entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.
- Determinar la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.

2.3. Justificación e importancia

Esta tesis se justifica socialmente por su impacto en la seguridad y bienestar de los habitantes de Masupampa y los usuarios de las vías en Tapairihua, protegiendo la movilidad y evitando accidentes. Desde la perspectiva teórica, aporta conocimientos sobre el nivel de peligro vial por flujos de detritos en zonas vulnerables, mejorando la gestión de riesgos naturales y fortaleciendo la resiliencia de la infraestructura. Profesionalmente, es útil para los ingenieros y planificadores en áreas montañosas, facilitando acciones preventivas como la puesta en marcha de sistemas de evacuación de aguas adecuados y barreras de contención. La investigación se delimita a la zona de Masupampa, en Aymaraes, Perú, evaluando las precipitaciones máximas hasta el año 2024 y proyectando en diferentes escenarios desde 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 1000 años. Beneficia a los habitantes, transportistas y comerciantes que dependen de la vía para sus actividades. Conceptualmente, aborda conceptos como flujo de detritos, hidrológicos, topográficos y mecánica de suelos, y medidas de mitigación para reducir el peligro. En resumen, el estudio busca proteger la infraestructura vial y promover el desarrollo socioeconómico local.

2.4. Hipótesis

Las hipótesis de la presente tesis son las siguientes:

2.4.1. Hipótesis general

Existe correlación significativa entre la precipitación máxima y el nivel de peligro que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.
- Existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.
- Existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024.

2.5. Variables

Se identificaron las siguientes variables:

VI: Precipitaciones máximas

VD: Nivel de peligro generado por flujos de detritos

2.5.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Estructurado que detalla la operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Precipitaciones máximas	La generación de ciertos fenómenos en los ríos se encuentra estrechamente relacionada con las características de sus cuencas hidrográficas, "las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo" (CENEPRED, 2014, p. 74).	Se mide a partir de datos meteorológicos recolectados en estaciones cercanas, incluyendo parámetros de intensidad y duración de lluvias máximas.	- Precipitación máxima mensual - Tiempo de la lluvia máxima - Frecuencia de lluvia máxima	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación máxima durante 24 h (mm) • Duración del evento máximo de lluvia (horas) • Número de días con eventos de lluvias extremas 	- mm - horas o min -frecuencia
Variable dependiente: Nivel de peligro generado por flujos de detritos	El nivel de peligro generado por flujos de detritos se refiere flujo característico que causa daño a lo largo de todo su recorrido considerando como el área de amenaza, la velocidad del flujo y el volumen de material transportado en movimiento es decir el caudal máximo del flujo (Castillo, 2006).	Se evalúa en términos de áreas afectadas, velocidad y volumen de material en movimiento del flujo de detritos, usando el modelo predictivo como FLO-2D.	- Extensión del área afectada - Velocidad máxima del flujo - Caudal máximo del flujo	Área de amenaza (m ²) Velocidad máxima del flujo de detritos (m/s) Volumen máximo de material en movimiento (m ³ /s)	m ² m/s m ³ /s

Nota. Esta tabla se detalla el estructurado de la operacionalización de variables de la presente tesis.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

Antecedentes internacionales

Zhou et al. (2022), en su artículo titulado “*Risk Assessment of Debris Flow in a Mountain-Basin Area, Western China*” [Evaluación de riesgos del flujo de detritos en una zona de cuenca montañosa, China Occidental], presenta un análisis de riesgo por flujo de detritos en una cuenca montañosa en el oeste de China, plantea como objetivo, evaluar el peligro y la vulnerabilidad de áreas propensas a flujos de detritos mediante el uso de modelos geoespaciales y análisis estadísticos. En cuanto a la metodología, emplea un nivel descriptivo, diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Utilizando técnicas de teledetección, modelos digitales de elevación y el índice de peligrosidad para caracterizar las áreas de riesgo. Muestra resultados, donde se identificaron zonas de alto riesgo donde los factores topográficos y las lluvias intensas incrementan la probabilidad de flujos de detritos, el autor sugiere la implementación de estrategias de mitigación como barreras estructurales y sistemas de monitoreo para reducir el impacto de futuros eventos.

Kumar y Sarkar (2023), en su artículo titulado “*Debris Flow Susceptibility Evaluation—A Review*” [Evaluación de la susceptibilidad al flujo de escombros], objetivo: revisar los avances en la evaluación de la susceptibilidad a flujos de detritos para mejorar la mitigación y gestión en terrenos escarpados. Metodología: diseño no experimental, nivel descriptivo. El estudio analizó publicaciones científicas sobre modelos de susceptibilidad y factores causales, identificando tendencias en el uso de enfoques y tecnologías. Resultados: China lidera en número de estudios sobre flujos de escombros, con la pendiente siendo identificada como el principal factor causal en el 14.5% de las publicaciones, y el método de máquina de vectores de soporte (SVM) como el más utilizado en un 8.5% de los estudios. Concluyen que los avances en SIG, teleobservación y computación, junto con un mayor acceso a datos, han incrementado

el interés en la investigación de susceptibilidad a flujos de escombros, facilitando una mejor comprensión y gestión de este peligro geológico.

Khan et al. (2022), en su artículo titulado “*Assessment of Physical Vulnerability and Uncertainties for Debris Flow Hazard: A Review concerning Climate Change*” [Evaluación de la vulnerabilidad física y las incertidumbres ante el peligro de flujos de escombros: una revisión sobre el cambio climático], plantearon como objetivo general revisar las metodologías para evaluar la vulnerabilidad física de infraestructuras ante flujos de escombros y analizar las incertidumbres asociadas en el contexto del cambio climático. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la bibliografía de los últimos veinte años, utilizando un enfoque de revisión cualitativa no experimental. Los resultados dan a conocer que los enfoques de evaluación de vulnerabilidad física se dividen en tres categorías principales: matrices, curvas e indicadores, y resaltan la importancia de cuantificar las incertidumbres, tanto aleatorias como epistémicas, para mejorar la fiabilidad de estas evaluaciones. Además, se detallaron las necesidades de datos y las limitaciones de cada método, apoyándose en estudios de caso. En conclusión, el estudio destaca que la incorporación de las incertidumbres es fundamental para desarrollar sistemas efectivos de reducción de riesgos en infraestructuras y destaca la importancia de mejorar las metodologías de evaluación en el contexto del cambio climático, proporcionando recomendaciones para futuras investigaciones.

Chang et al. (2020), en su artículo titulado “*Hazard assessment of a catastrophic mine waste debris flow of Hou Gully, Shimian, China*” [Evaluación de riesgos de un flujo catastrófico de detritos de desechos mineros de Hou Gully, Shimian, China] plantearon como objetivo general evaluar el riesgo de un flujo de detritos catastrófico derivado de desechos mineros en el barranco Hou en Shimian, China. Se empleó un enfoque cuantitativo con modelos de simulación para estimar la magnitud y el alcance del flujo de escombros, utilizando datos topográficos y características de los depósitos de

desechos mineros. Este tipo de estudios se usaron herramientas como RAMMS, FLO-2D, D-Claw o DAN3D. Los hallazgos mostraron que la corriente de escombros poseía una alta capacidad destructiva debido a la topografía empinada y a las condiciones de los desechos mineros en el área, estimándose la velocidad y profundidad del flujo en diferentes puntos críticos del recorrido. En conclusión, se determinó que el área de Hou Gully presenta un riesgo significativo de flujo de escombros, siendo necesarias acciones de reducción de riesgos para salvaguardar a las comunidades locales, recomendándose un monitoreo constante y la creación de barreras físicas para minimizar el impacto potencial de futuros flujos de escombros.

Zegers et al. (2020), en su artículo titulado "*Sensitivity and identifiability of rheological parameters in debris flow modeling*" [Sensibilidad e identificabilidad de los parámetros reológicos en el modelado de flujos de escombros], plantearon como objetivo general evaluar la sensibilidad e identificabilidad de los parámetros reológicos clave en la modelización de flujos de escombros. Se empleó una metodología enfoque cuantitativo de nivel descriptivo para ello, utilizaron el modelo FLO-2D y aplicaron el método de análisis de sensibilidad DELSA en dos quebradas del norte de Chile que experimentaron flujos de escombros en marzo de 2015. Los resultados indicaron que los parámetros de detención superficial (SD) y el parámetro β_1 , relacionado con la viscosidad, son los más influyentes en las simulaciones, y también observaron la presencia de equifinalidad en el modelo, lo que implica que diferentes combinaciones de parámetros pueden producir resultados similares. Además, concluyeron que las mediciones post-evento, tales como el volumen depositado y el área máxima inundada, son efectivas para identificar parámetros del modelo y mejorar la precisión de las simulaciones en futuros eventos. En conclusión, el estudio subraya la importancia de estos parámetros en la precisión de los modelos de flujo de escombros

y resalta la necesidad de realizar mediciones detalladas post-evento para optimizar la identificación de parámetros reológicos en eventos similares.

Antecedentes nacionales

Chacon et al. (2025) en su artículo titulado *“Hydraulic Modeling of Newtonian and Non-Newtonian Debris Flows in Alluvial Fans: A Case Study in the Peruvian Andes”* [Modelado hidráulico de flujos de escombros newtonianos y no newtonianos en abanicos aluviales: un estudio de caso en los Andes peruanos], tienen como objetivo, que el estudio compara el comportamiento hidráulico de flujos de escombros Newtonianos y no Newtonianos en el Arroyo Amoray, Perú, para mejorar el diseño de infraestructura en zonas montañosas. Utiliza metodologías con análisis hidrográfico, levantamiento topográfico, modelación hidrológica e hidráulica, considerando propiedades reológicas del flujo de escombros. Los resultados evidencian que los modelos Newtonianos subestiman la profundidad y sobrestiman la velocidad del flujo, comprometiendo la seguridad. La incorporación de propiedades no Newtonianas proporciona simulaciones más precisas, favoreciendo soluciones de diseño más seguras. Concluyen que considerar estos flujos es clave para una gestión y protección eficiente en áreas propensas a debris flows.

Farfán y Morales (2024) en su tesis titulada *“Evaluación del peligro y vulnerabilidad para determinar el nivel de riesgo por movimientos en masa de la quebrada Kuychihuaycco, distrito de San Sebastián, Cusco - 2023”*, plantearon como objetivo general evaluar los niveles de peligro y vulnerabilidad en la quebrada Kuychihuaycco para determinar los niveles de riesgo por movimientos en masa. Su metodología adopta un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, consideraron factores geológicos, geomorfológicos y de pendiente, junto con datos de precipitación y retorno para estimar los niveles de peligro, clasificándolos desde bajo hasta muy alto. La vulnerabilidad de las 1560 viviendas se evaluó en dimensiones social, económica y ambiental mediante encuestas, estableciendo rangos de vulnerabilidad de bajo a muy

alto. Los resultados que obtuvieron fue que el riesgo de flujo de detritos en las viviendas varía de bajo a muy alto, siendo 28 las viviendas más críticas, especialmente en las APV Bella Vista y San Ignacio Sucso Ayccaylle. Concluyendo que, se identificaron viviendas con un riesgo muy alto de sufrir daños, lo que destaca la importancia de poner en práctica acciones de mitigación para reducir el impacto en estas áreas vulnerables.

De la Cruz (2021), en su tesis titulada *“Estimación de riesgos por flujos de detritos en la quebrada San Jerónimo Lunahuana - Cañete”*, planteó como objetivo principal conocer la estimación de riesgos por flujos de detritos en la quebrada San Jerónimo con la finalidad de proponer medidas de control para reducción o disminución de riesgos existentes. Su metodología es con un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se empleó el manual del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), incluyendo el análisis jerárquico para integrar criterios cuantitativos y cualitativos en la gestión de riesgo. En sus resultados se identificaron zonas de riesgo utilizando imágenes raster y simulaciones de flujos mediante modelamiento numérico, determinando niveles de peligrosidad y análisis de vulnerabilidad. Además, se propusieron medidas estructurales y no estructurales como alternativas de mitigación. La investigación concluyó con un diagnóstico situacional que muestra un alto nivel de riesgo en el área de estudio, sugiriendo la implementación de estas medidas para reducir el impacto de futuros eventos.

Luque y Catacora (2021), en su tesis titulada *“Evaluación de riesgos por flujo de detritos en las asociaciones Nueva Barranquilla y Wari del Distrito ciudad Nueva - Tacna 2021”*, plantearon como propósito principal fue evaluar el grado de peligro causado por el movimiento de materiales en las comunidades de vivienda Nueva Barranquilla y Wari, ubicadas en el distrito de Ciudad Nueva en la ciudad de Tacna. Su

metodología es de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se utilizó el análisis de matrices Saaty y el programa ArcGIS para identificar el nivel de peligro y vulnerabilidad de las viviendas afectadas en la zona. Como resultados se determinó un nivel de vulnerabilidad muy alto para las edificaciones debido a su estado de conservación deficiente y falta de cumplimiento de normativas. El nivel de riesgo en el área fue marcado como muy alto, lo cual se visualizó en los mapas de riesgo generados. La investigación concluye que las asociaciones presentan un riesgo significativo ante flujos de detritos, recomendándose la capacitación sobre la población y la adopción de medidas de carácter estructural para mejorar su capacidad de respuesta.

Santuyo y Zambrano (2019), en su tesis titulada “Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la Quebrada Quirio – Chosica – Perú - 2019”, plantearon como objetivo general proponer alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la Quebrada Quirio – Chosica - Perú. Tiene una estrategia metodológica basada en un enfoque cuantitativo y con un diseño experimental, se empleó el software RAMMS para simular las condiciones de flujo y estimar la altura, velocidad y presión de los detritos en el cauce principal. Como resultados se tiene que los cálculos indicaron niveles críticos de altura y presión que sustentan la necesidad de barreras geodinámicas. La implementación de cinco barreras propuestas podría retener un volumen de hasta 7,568.81 m³ de material sólido, mitigando los riesgos en un área de aproximadamente 140 hectáreas. El estudio concluye que las barreras geodinámicas son una medida eficaz para disminuir considerablemente los riesgos de los flujos de detritos en la Quebrada Quirio, recomendando su implementación junto con capacitaciones comunitarias para optimizar la gestión de riesgos.

Antecedentes regionales o locales

Paredes (2024) en su tesis denominada “Efecto de las precipitaciones máximas en el nivel de peligro generado por flujos hiperconcentrados aplicando el modelo FLO-2D en la quebrada de Sahuanay, distrito de Tamburco, Abancay, Apurímac, 2021”, el objetivo principal de este estudio es establecer una relación entre las precipitaciones máximas y el nivel de riesgo que estos eventos generan en función de los flujos hiperconcentrados. De este modo, adoptó una metodología de carácter aplicado, con un enfoque cuantitativo y de nivel correlacional, empleando un método hipotético-deductivo. En la investigación se utilizó el modelo hidrológico FLO-2D para simular las condiciones de flujo. Los resultados obtenidos señalaron los caudales máximos derivados de los flujos hiperconcentrados de hasta 130 m³/s y 168 m³/s, respectivamente. Asimismo, se identificaron áreas de amenaza que alcanzaron hasta el 58.33% y el 60.13%, con velocidades máximas de 9.13 m/s y 9.83 m/s para los coeficientes de curvas de flujo CN=71 y CN=75, en ese orden. El análisis estadístico mediante la correlación de Pearson evidenció una relación significativa entre las precipitaciones máximas y los niveles de peligro en las zonas de amenaza. Los coeficientes de correlación para velocidades y caudales máximos se aproximaron a 1, alcanzando valores de $r = 0.988$ y $r = 0.994$ en distintas mediciones, lo que indica una correlación positiva muy fuerte. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de realizar análisis hidrometeorológicos detallados para la adecuada gestión de peligros naturales en la región de Sahuanay.

Yucra (2023) en su tesis titulada “Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco, Apurímac”, tuvo como objetivo determinar los niveles de riesgo por flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022, considerando el impacto en infraestructura y población. La metodología empleada fue de diseño no experimental con un enfoque cuantitativo y nivel descriptivo-aplicativo,

utilizando los programas HEC-HMS v4.10 para calcular el caudal máximo, que alcanzó 24.3 m³/s, y HEC-RAS v6.1 para modelar el flujo de detritos, obteniendo velocidades máximas de 8 m/s. Los resultados revelaron que la microcuenca presenta áreas de riesgo muy alto y alto, con valores de peligrosidad entre 0.0263 y 0.486 y niveles de vulnerabilidad entre 0.227 y 0.491, afectando potencialmente a 382 habitantes y 191 viviendas cercanas al cauce. En conclusión, la microcuenca Sahuanay es altamente susceptible a eventos de flujo de detritos, representando un riesgo considerable para la población y la infraestructura; por ello, se recomienda implementar medidas de mitigación como la reforestación en áreas vulnerables y la construcción de barreras físicas para reducir la exposición y proteger a la comunidad de futuros desastres naturales de esta índole.

Villasante (2022) en su estudio titulado “Evaluación de niveles de riesgos por flujo de detritos en la quebrada Chinchña, localidad Pacsica, distrito Justo Apu Sahuaraura, Aymaraes, Apurímac 2021” tuvo como objetivo evaluar el nivel de riesgos por flujos de detritos en la quebrada Chinchña localidad Pacsica distrito de Justo Apu Sahuaraura Aymaraes-Apurímac 2021. Su metodología utilizada fue diseño no experimental con un enfoque cuantitativo y nivel descriptivo-aplicativo, utilizando modelamiento numérico para simular diferentes escenarios de flujo de detritos. Mostrando resultados, para un período de retorno de 50 años, se obtuvo profundidades de flujo entre 0.5 m y 2.6 m y velocidades de hasta 2.2 m/s; mientras que, para un período de retorno de 100 años, se alcanzaron profundidades de hasta 5.0 m y velocidades de hasta 4.0 m/s. En conclusión, se identificaron áreas de riesgo alto en la quebrada Chinchña, lo que representa un riesgo considerable para la población y la infraestructura; por ello, se recomienda implementar medidas de mitigación, como la construcción de sistemas de drenaje y reforestación, para reducir la exposición y proteger a la comunidad de estos flujos ante eventos futuros.

Al no contar con estudios previos en la zona de Masupampa sobre el flujo de detritos, la presente investigación será un valioso aporte para futuras investigaciones. Así mismo, la investigación se formuló en referencia a la problemática local descrita.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Precipitaciones máximas

La variable está referida a los caudales máximos generados a partir de las precipitaciones máximas y datos geomorfológicos de la cuenca, dichos caudales también son conocido como hidrogramas líquidos el cual son fundamental para los datos de entrada al modelo FLO-2D (Vivas, 2015). De este modo, la variable precipitaciones máximas requiere las siguientes teorías:

Identificación de la tormenta de diseño

Una tormenta de diseño es un modelo hidrológico específico que simula eventos de precipitación con el objetivo de dimensionar y evaluar sistemas de drenaje y obras hidráulicas, considerando una entrada de lluvia en el sistema en la cual se estiman los caudales generados mediante técnicas de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales, permitiendo así determinar las respuestas del sistema ante eventos extremos; además, estas tormentas pueden caracterizarse tanto por la cantidad de lluvia en un punto determinado como por un hietograma, que representa la distribución temporal de la precipitación durante el evento, facilitando una evaluación precisa de su impacto en las infraestructuras hidrológicas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

Obtención del período de retorno

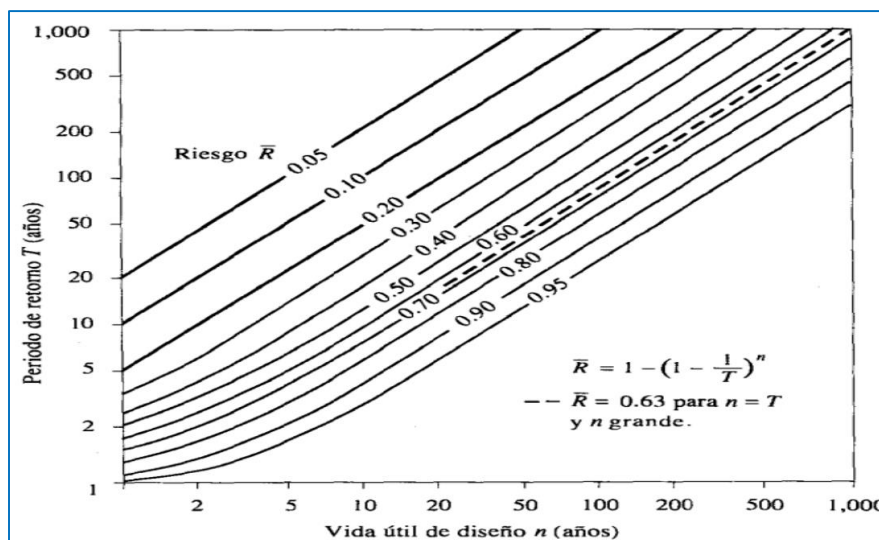
Definido como el período medio en años durante el cual el caudal máximo de una determinada creciente alcanza o supera un valor específico, correspondiente a una avenida que se presenta en promedio una vez cada T años, representa una medida estadística clave en hidrología. Su cálculo asume que los eventos anuales son independientes entre sí, lo que permite determinar la probabilidad de que ocurra al menos una falla durante una vida útil de n años, facilitando así la evaluación del riesgo

asociado a eventos extremos y la planificación de medidas de protección y gestión de recursos hídricos (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots \dots \dots (1)$$

Figura 1

Ocurrencia de eventos de diseño previstas durante la vida útil



Nota. Esta figura muestra la relación entre periodo de retorno, vida útil y riesgo. Adaptada de “Hidrología Aplicada” (Chow et al., 1994).

3.2.2. Análisis estadísticos de los datos hidrológicos.

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008), el estudio de frecuencias busca predecir precipitaciones, niveles de intensidad o máximos caudales, en función de distintos TR. Esto se realiza utilizando modelos probabilísticos, que pueden ser de carácter discreto o de carácter continuo. Se sugiere emplear las funciones estadísticas mencionadas a continuación para el análisis: la Distribución Normal, la Distribución Log-Normal de dos y tres parámetros, la Distribución Gamma también en versiones de dos y tres parámetros, la Distribución Log-Pearson tipo III, así como las distribuciones de Gumbel y Log-Gumbel (Villón Béjar, 2005, como se citó en Paredes, 2024).

3.2.3. Curvas intensidad duración período de retorno.

La intensidad meteorológica de la precipitación equivale a la velocidad con la que se acumula la precipitación a lo largo del tiempo, expresada en milímetros por hora; puede ser un valor puntual o un promedio a lo largo de toda la lluvia (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

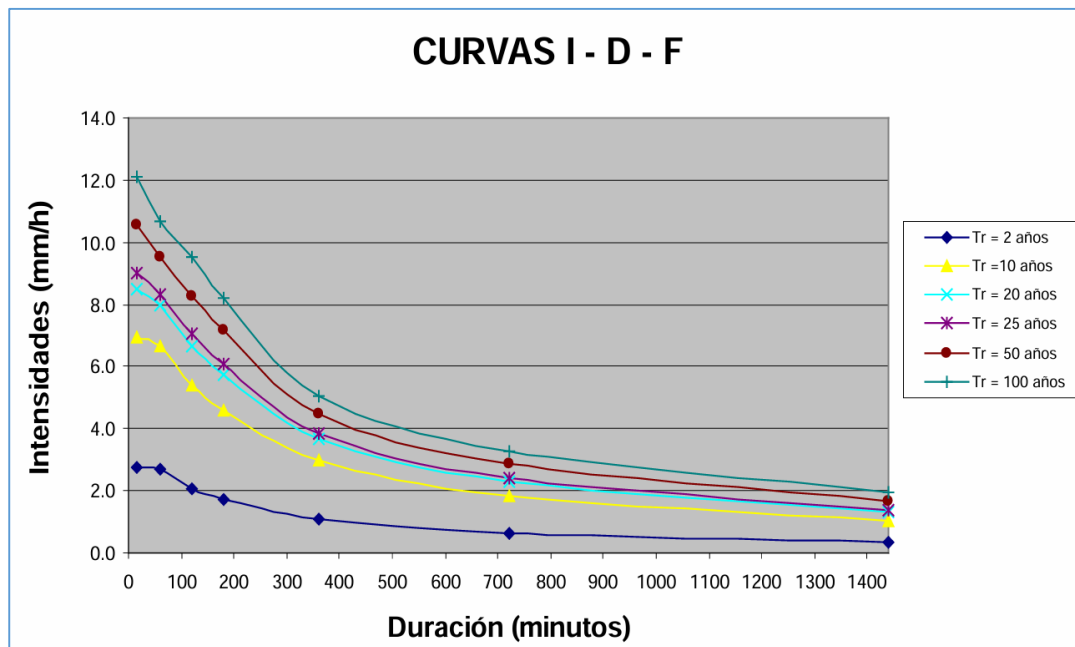
$$i = \frac{P}{Td} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- P = Profundidad de lluvia (mm)
- Td = Tiempo de duración (hr)

Figura 2

Gráfica de intensidad – duración – frecuencia para lluvias máximas



Nota. La figura da a conocer la relación entre intensidad, duración y frecuencia para lluvias máximas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

3.2.4. *Tiempo de concentración*

Considerado como el período que transcurre desde que comienza la lluvia hasta que se alcanza el gasto de equilibrio se conoce como tiempo de concentración, este tiempo corresponde al lapso que tarda el agua en desplazarse desde el punto más alejado en la cuenca hasta su punto de salida; en otras palabras, tiempo que tarda en formarse una gota de agua y recorra desde la ubicación más remota hidráulicamente hasta la desembocadura de la cuenca (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008; Aparicio Mijares, 1999).

El tiempo de concentración es:

$$t_c = t_o + t_f \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- t_c : Tiempo de concentración (hr)
- t_o : Tiempo de entrada
- t_f : Tiempo de flujo

Para la investigación se utilizará la ecuación de California Culverts Practice (1942). En el marco de la investigación, se recurrirá a la fórmula establecida en California Culverts Practice (1942).

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- t_c : Tiempo de concentración (hr)
- L: Longitud del curso de agua más largo (m)
- H: Diferencia de desnivel entre la divisoria de aguas y salidas (m)

3.2.5. *Tiempo de retraso*

El tiempo de retraso “se define como el tiempo que transcurre entre el centroide del hietograma de lluvia efectiva y el tiempo pico del hidrograma de escurrimiento directo” (Breña y Jacobo, 2006, p. 221).

$$t_r = 0.6t_c \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

- t_r : Tiempo de retraso (hr)
- t_c : Tiempo de concentración (hr)

3.2.6. *Hietograma*

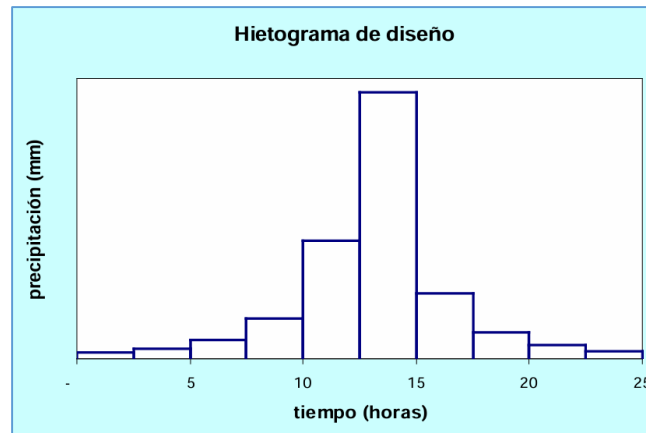
Según Vásquez et al. (2016) es un gráfico con escalones que describe la fluctuación de la intensidad de la tormenta (mm/h) durante su duración, ya sea en minutos o en horas.

3.2.7. *Método del bloqueo alterno*

Este hietograma de diseño obtenido mediante dicho método indica la intensidad de precipitación en intervalos de tiempo consecutivos de duración Δt , abarcando un período total de duración T_d , que corresponde a n veces Δt . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

Figura 3

Ejemplo de hietograma de diseño



Nota. Esta figura se muestra un ejemplo de hietograma que muestra la distribución temporal de la precipitación. Tomado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008, p. 41).

3.2.8. Nivel de peligro generado por flujos de detritos

Respecto a la teoría de la segunda variable, se entiende como el nivel de peligro o amenaza que producen los flujo de detritos, cuando al aplicar el modelo FLO-2D se obtiene resultados para las zonas de amenaza, conocidas como inundaciones, y las velocidades del flujo de detritos y otros datos de resultados que deban ser evaluados, además de emplear las fórmulas sugeridas por Takahashi (1991, como se citó en Ordoñez y Ruiz, 2019) el caudal máximo del flujo de detritos “se estima a partir del hidrograma de flujo de agua multiplicado por un factor que es una función de la concentración volumétrica de detritos” (Castillo, 2006, p. 58). Por lo que, la ecuación utilizada por O'Brien es la siguiente:

$$Q_t = Q_l * BF \dots (6)$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v} \dots (7)$$

$$Q_t = Q_l * \frac{1}{1 - C_v} \dots (8)$$

Donde:

Qt: Caudal total del flujo hiperconcentrado (m³/s)

Ql: Caudal líquido (m^3/s)

BF: Factor de volumen (Bulking factor)

Cv: Concentración volumétrica de flujo de detritos

Según los datos presentados por O'Brien, la proporción volumétrica de residuos en los flujos oscila entre 0.20 en aquellos casos donde la densidad es baja, y 0.55 en situaciones caracterizadas por una mayor densidad.

En los flujos de detritos, los sedimentos ejercen un control absoluto sobre el comportamiento del flujo, que generalmente se asocia con un "flujo turbulento de granos"; este mecanismo de movimiento se origina a partir de la transferencia de momentum durante las colisiones entre las partículas o bloques en desplazamiento, permitiendo que el flujo se mantenga y se propague a través de estas interacciones dinámicas. (Castillo, 2006).

Por ende, es necesario conocer las siguientes teorías relacionadas a la segunda variable:

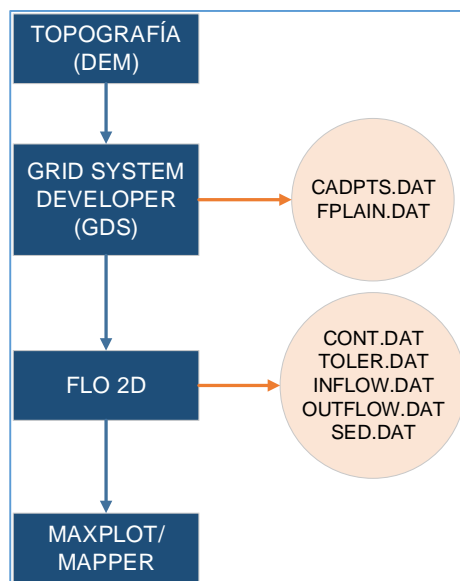
Diagrama de flujo para la simulación con el FLO-2D

El esquema (ver Figura 4) para simular flujos de detritos con el software FLO-2D comienza con el procesamiento de la topografía existente para obtener el Modelo Digital de Elevaciones (DEM). Luego, esta topografía se exporta al preprocesador System Developer Grid (GDS), donde se definen las cuadrículas que se utilizarán en la simulación, estableciendo el Manning y ubicando el (INFLOW) hidrograma de entrada en la malla adecuada. Se crea una malla de celdas cuadradas, cada una con una cota y un coeficiente de Manning asignados, además de definir las grillas de salida de flujo (OUTFLOW) en la parte baja de la quebrada, permitiendo así modelar el comportamiento de los flujos de detritos (Castillo, 2006).

Se muestran los pasos a seguir en la simulación de flujo de detritos con el FLO-2D (Figura 4).

Figura 4

Diagrama de flujo del FLO-2D



Nota. La figura muestra el diagrama de flujo del FLO-2D. Adaptado de Villasante Escalante, 2022.

Medición de los parámetros reológicos

Para la medición de los parámetros reológicos Celi y Tanta (2019) la viscosidad (η) y el esfuerzo de cedencia (τ_y) e las mezclas agua-sedimento son parámetros reológicos clave para la aplicación de los modelos de cálculo de flujos con altas concentraciones de sedimentos.

O'Brien y Julien (1988, como se citó en Celi y Tanta, 2019) afirma que se llevó a cabo un examen de laboratorio en muestras tomadas de acumulaciones naturales de flujos de barro en las Montañas Rocosas de Colorado, en las cercanías de Aspen y Glenwood Springs, ver Tabla 2.

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \dots (9)$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \dots (10)$$

En este contexto α_i y β_i s e presentan coeficientes empíricos determinados mediante pruebas de laboratorio, mientras que C_v corresponde a la concentración volumétrica de sedimentos (Ver Tabla 3).

Tabla 2

Propiedades de las matrices utilizadas en flujos de detritos (sólo limo y arcilla)

Sample	Distribución del tamaño de sedimento				Limite líquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	D_{16} (mm)	D_{50} (mm)	D_{84} (mm)		
Glenwood original	4.8	0.010	0.034	0.062	-	-
Glenwood sample 1	6.8	0.009	0.023	0.050	-	-
Glenwood sample 2	3.0	0.016	0.035	0.061	-	-
Glenwood sample 3	4.8	0.011	0.025	0.053	-	-
Glenwood sample 4	7.6	0.001	0.018	0.032	-	-
Aspen Pit 1	31.3	0.001	0.011	0.032	0.32	0.11
Aspen natural soil	27.0	0.001	0.012	0.028	0.25	0.06
Aspen mine fill	27.8	0.001	0.013	0.030	0.24	0.06
Aspen natural soil source	31.6	0.001	0.016	0.039	-	-
Aspen mine fill source	25.2	0.001	0.018	0.061	-	-

Nota. La tabla muestra las propiedades de los flujos hiperconcentrados en cuanto al tamaño del sedimento, el límite líquido e índice plástico. Adaptado de O'Brien y Julien, 1988, como se citó en Castillo, 2006.

Tabla 3

Datos de esfuerzo de cedencia y viscosidad dependientes de C_v

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en Campo:				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0,0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0,0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0,0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Correlaciones disponibles de la literatura:				
lida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al.(1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1 – 32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

Nota. La tabla presenta los valores correspondientes a los coeficientes α y β , los cuales están relacionados con el esfuerzo de cedencia y la viscosidad. Estos coeficientes varían

en función de la concentración volumétrica, denotada como C_v . Adaptado de por O'Brien y Julien, 1988, como se citó en Castillo, 2006.

Concentración de sedimentos C_v

Durante un evento de flujo de detritos, se observa una variación en la concentración volumétrica (C_v) a lo largo del tiempo, iniciando en aproximadamente 0.35 y aumentando progresivamente hasta valores comprendidos entre 0.38 y 0.55, dependiendo de la naturaleza del material sedimentario en la zona, en situaciones de flujo de barro y escombros, el valor de C_v puede acercarse a 0.55; además, se ha identificado que el pico máximo de C_v generalmente ocurre unos minutos antes del punto culminante del hidrograma líquido, sugiriendo una dinámica en la que la concentración de sedimentos alcanza su punto más alto antes del máximo caudal de agua en el evento (Celi y Tanta, 2019).

Mapa de Amenaza o Nivel de peligro

Las representaciones de los peligros naturales en mapas son utilizadas en todo el mundo como herramienta de regulación para prevenir desastres causados por inundaciones y proteger la vida de las personas; el riesgo de inundación en un área determinada depende de la intensidad y la posibilidad de que ocurra, la intensidad se mide por la velocidad del flujo del agua, mientras que la probabilidad está asociada con la intensidad de las inundaciones: los eventos de inundación de mayor magnitud ocurren con menor frecuencia (Huaman y Tito, 2020).

Huamán y Tito (2020) menciona que la definición del riesgo de inundación incluye la combinación de la gravedad del evento y la frecuencia del mismo, siendo esta una función discreta; cada país tiene sus propios criterios para determinar el nivel de peligrosidad de una intensidad de inundación, algunas de ellas son: USA: $f(h)$;

Austria: $f(h, \frac{v^2}{2g})$ y Switzerland: $f(h, v, h)$.

A partir de estos elementos, se puede apreciar que la cartografía de riesgo de inundación está influenciada por la altura del agua, la rapidez del flujo y la frecuencia de eventos extremos (Huaman y Tito, 2020), tal como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Niveles de peligro de asociados a las inundaciones considerando la frecuencia y la magnitud de su intensidad

Intensidad	Alta				
	Media				
	Baja				
Frecuencia		Alta	Media	Baja	Muy baja
Periodo de retorno		10	100	500	>> 500
Probabilidad de excedencia		10 %	1 %	0.20 %	<< 0.20 %

Nota. En la figura muestra los niveles de peligro de acuerdo a la intensidad alta, media y baja, así como la frecuencia y la probabilidad de excedencia al periodo de retorno. Adaptado de Office Federal de i OEconomie Des Aux (OFEE), como se citó en Huamán y Tito, 2020. La fuerza de una crecida se calcula mediante la unión entre la altura y la rapidez del agua, al mismo tiempo que la posibilidad de que suceda está ligada de manera contraria al tamaño de la inundación; por lo tanto, los eventos de gran magnitud son menos frecuentes, pero más destructivos en comparación con los eventos de menor magnitud, que son más comunes, pero menos perjudiciales; los mapas de peligrosidad muestran áreas con diferentes niveles de amenaza potencial (Huaman y Tito, 2020), como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación del nivel de amenaza

Nivel de amenaza	Color en el mapa	Descripción
Alto	Rojo	Las personas se encuentran en un nivel de amenaza alta, tanto en el interior como en el exterior de sus viviendas. Las estructuras pueden sufrir daños significativos.
Medio	Naranja	Las personas se encuentran en una situación de riesgo al estar fuera de sus hogares. Las estructuras pueden experimentar deterioro e incluso destrucción, dependiendo de los materiales empleados en su construcción.

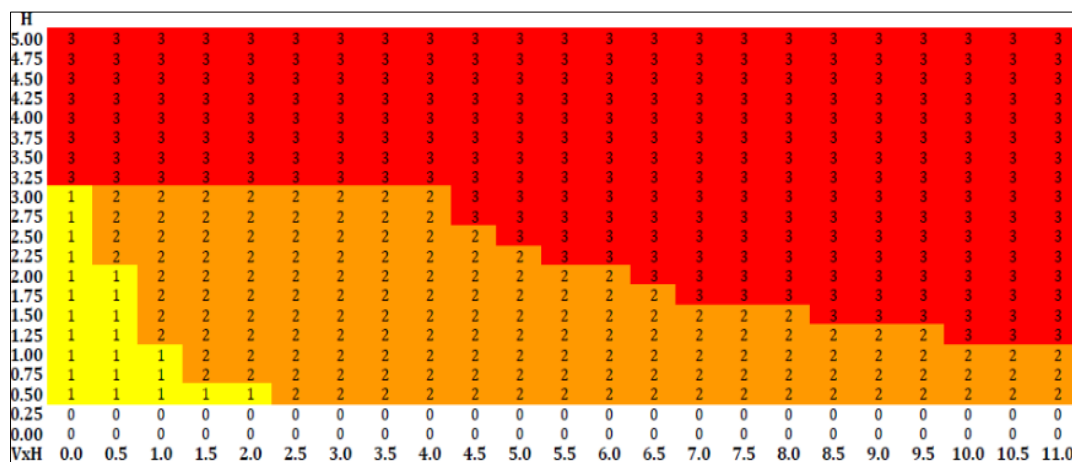
Bajo	Amarillo	El riesgo para la población es mínimo o nulo. Las estructuras pueden experimentar daños leves, aunque los sedimentos podrían impactar en el interior.
------	----------	---

Nota. La tabla muestra de nivel de amenaza. Adaptado de Office Federal de i OEconomie Des Aux (OFEE), como se citó en Huamán y Tito, 2020.

Las intensidades de inundación se definen en función de la profundidad máxima del agua y la multiplicación de la velocidad máxima por la profundidad máxima, como se muestra en la Figura 6 de la hoja de cálculo; se comparan los umbrales de intensidad que distinguen los niveles alto, medio y bajo con los impactos observados durante la inundación de diciembre de 1999 en Venezuela (Huaman y Tito, 2020).

Figura 6

Intensidad de las crecidas de detritos calculada a partir de la profundidad y la velocidad



Nota. En la figura se muestra los valores de intensidad de inundación basado en profundidades h (m) y velocidades del flujo v (m/s) de los flujos detritos. Tomado de Office Federal de i OEconomie Des Aux (OFEE), como se citó en Huamán y Tito, 2020.

Los umbrales de intensidad calibrados que se muestran en las Tablas 5 y 6 fueron conseguidos al comparar las predicciones de riesgo generadas por este enfoque con las áreas reales afectadas en más de 30 zonas de llanuras aluviales. Dentro del software avanzado FLO - 2D (MAPPER), se realiza una distinción entre las

inundaciones provocadas por agua, como se especifica en la Tabla 5, y las inundaciones causadas por flujos de lodo y escombros ver Tabla 6 (Huaman y Tito, 2020).

Tabla 5

Intensidad de inundación de agua (Water flood)

Intensidad de inundación	Profundidad máxima H (m)	Operación lógica	El producto de la profundidad máxima h por la velocidad máxima v (m ² /s)
Alto	$H > 1.0\text{m}$	OR	$V \times H > 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Medio	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	OR	$0.2 \text{ m}^2/\text{s} < V \times H < 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Bajo	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	AND	$V \times H < 0.2\text{m}^2/\text{s}$

Nota. La tabla muestra los valores de profundidad máxima en función a la intensidad de inundación de agua. Adaptado Office Federal de i OEconomie Des Aux (OFEE), como se citó en Huaman y Tito, 2020.

Tabla 6

Intensidad de inundación de flujos de lodo y escombros (Mud and debris flow)

Intensidad de inundación	Profundidad máxima H (m)	Operación lógica	El producto de la profundidad máxima h por la velocidad máxima v (m ² /s)
Alto	$H > 1.0\text{m}$	OR	$V \times H > 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Medio	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	OR	$0.2 \text{ m}^2/\text{s} < V \times H < 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Bajo	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	AND	$V \times H < 0.2\text{m}^2/\text{s}$

Nota. La tabla muestra los valores de profundidad máxima en función a la intensidad de inundación del flujo de lodo y escombros. Adaptado de Office Federal de i OEconomie Des Aux (OFEE), como se citó en por Huaman y Tito, 2020.

3.3. Definición de términos

3.3.1. Amenaza

“En otros países los documentos técnicos referidos al estudio de los fenómenos de origen natural utilizan el término amenaza, para referirse al peligro” (CENEPRED, 2014, p. 20).

3.3.2. Caudal

El caudal se define como la cantidad de líquido que circula por un punto determinado en un sistema de agua en un instante o periodo dado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

3.3.3. Flujo de detritos

Se trata de una masa en movimiento que presenta saturación en agua, compuesta por una combinación de rocas, sedimentos, agua, en su totalidad, entre el 50 % y el 80 % del volumen está conformado por material sólido, el cual se encuentra en estado de suspensión dentro del medio acuoso. Se desplaza pendiente abajo por influencia de la gravedad, posee un rápido avance, gran movilidad y gran capacidad destructiva (SERNAGEOMIN, 2017, como se citó en Villasante, 2022).

3.3.4. FLO-2D

“El modelo bidimensional de diferencias finitas FLO-2D (O’Brien) simula flujo de fluidos no newtonianos, como flujos de huaycos y aludes torrenciales en ríos y quebradas, y en conos de deyección” (Castillo y Quisca, 2007, p. 1).

3.3.5. Intensidad Máxima

“Es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo” (Vásquez et al., 2016, p. 208).

3.3.6. Tiempo de concentración

Es el intervalo requerido para que una gota de líquido recorra la distancia total desde el extremo más alejado de la zona de recolección hasta llegar a su destino final (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

3.3.7. Peligro

Se describe que el peligro es la posibilidad de que un evento perjudicial de origen natural ocurra en una ubicación determinada, con cierta magnitud y dentro de un período y frecuencia establecidos (CENEPRED, 2014).

3.3.8. Precipitación máxima

Se define como la noción de un límite estimado de valor se encuentra implícita en las precipitaciones máximas probables (PMP) comúnmente utilizadas y en la corriente máxima probable (CMP) correspondiente (Chow et al., 1994).

3.3.9. *Velocidad*

La velocidad se refiere a la relación entre la cantidad de agua que fluye y la superficie perpendicular al movimiento del agua (Chow, 2004).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Es de **enfoque cuantitativo**, puesto que consiste en la recopilación de datos e información con el fin de responder a nuestras preguntas de investigación, objetivos e hipótesis previamente formulados. Este enfoque se fundamenta en la utilización de mediciones numéricas para alcanzar dichos fines, complementándose con el análisis estadístico de los datos recabados (Hernández et al., 2014).

En cuanto al nivel o alcance de esta tesis es **correlacional**, ya que su objetivo principal es analizar la relación entre dos o más variables, conceptos o factores dentro de un contexto. En este caso, se busca examinar la relación entre las precipitaciones máximas y el nivel de peligro ocasionado por los flujos de detritos (Hernández et al., 2014).

Con respecto al **tipo de investigación**, corresponde al **tipo aplicada** ya que se emplearán teorías científicas, esto permitirá una aplicación inmediata en la resolución de problemas prácticos (Arias, 2012).

Sobre el **diseño**, de acuerdo a Hernández et al. (2014), corresponde al **no experimental**, puesto que durante el estudio no se pretende manipular ninguna de las variables: precipitaciones máximas y el nivel de peligro generado por los flujos de detritos, ya que solamente vamos a observar y analizar los hechos de los distintos escenarios de simulación en diferentes periodos de retorno aplicando el software FLO-2D.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

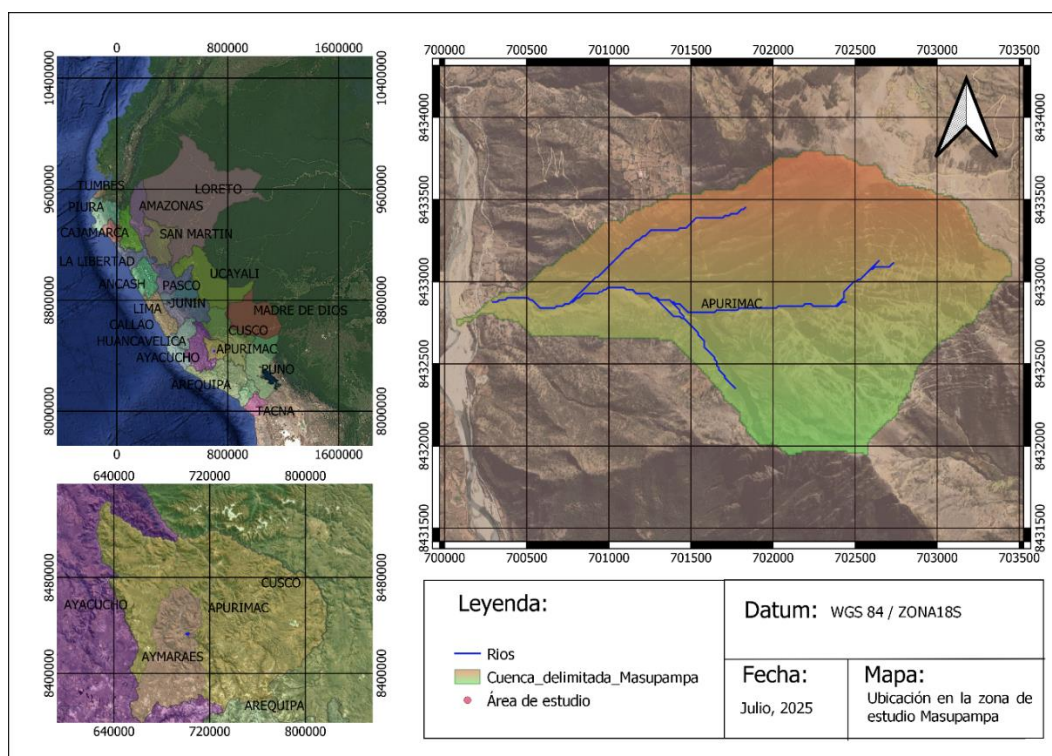
Se desarrolló con datos históricos de precipitaciones máximas en 24 h (mm) de diferentes estaciones hidrometeorológicas: Aymaraes, Andahuaylas, Granja San Antonio – Abancay y la Estación Paucaray, desde el año 1964 hasta el año 2024.

4.2.2. Espacial

El desarrollo de la presente tesis se realizó en la zona de Masupampa (ver Figura 7), distrito de Tapairihua, provincia de Aymaraes, del departamento Apurímac ya que en tiempos de alta precipitación de lluvias los niveles de esta alcanzan índices elevados lo que causa serios problemas afectando a la carretera de la vía Abancay - Antabamba.

Figura 7

Ubicación del estudio de Masupampa



Nota. La figura muestra la ubicación de la zona de estudio de Masupampa.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Tiene como población de estudio los datos de las máximas precipitaciones en 24 h (mm) de 04 estaciones hidrometeorológicas tomados mensualmente desde el año 1964 al 2024 de la Estación Aymaraes (Lat: 14° 17' 26.02" S, Long: 73° 15' 6.05" W), la Estación Andahuaylas (Lat: 13° 38' 55.1" S, Long: 73° 22' 0.4" W), la Estación Granja San Antonio – Abancay (Lat: 13°36' 17.7" S, Long: 72°51'24.95" W) y la Estación Paucaray (Lat: 14°2'38.03" S, Long: 73°38'19.03" W). Estas estaciones ayudaron a determinar las precipitaciones máximas de la estación virtual para el lugar de estudio de la zona de Masupampa.

4.3.2. Muestra

La muestra utilizada en este estudio comprende un total de 61 registros de lluvias máximas ocurridas en un lapso de un día completo, medidos en milímetros. La elección de estos datos se llevó a cabo mediante una selección de muestra no probabilística, ya que se eligió el dato máximo de precipitación registrada en cada mes durante cada año, desde 1964 hasta 2024. Estos datos correspondieron a la estación virtual situada dentro de la zona destinada al estudio de Masupampa y fueron suministrados por el SENAMHI.

4.4. Instrumentos

La observación se define como una percepción enfocada y sistemática de hechos o fenómenos; en los estudios de ingeniería, resulta esencial que la información recopilada mediante la observación se registre de manera exacta utilizando los formatos de recolección de datos previamente establecidos (Borja, 2016).

Los instrumentos utilizados por el investigador son para anotar datos o información sobre las variables que se están investigando (Hernández et al., 2014).

Los instrumentos a utilizar en esta Tesis son: las precipitaciones máximas por año, obtenidas de registros históricos y estaciones meteorológicas para analizar la

recurrencia de eventos extremos; la curva de Intensidad, Duración y Frecuencia es una herramienta fundamental en la ingeniería civil. Este gráfico resulta esencial para el diseño de estructuras hidráulicas y sistemas de drenaje, ya que facilita la estimación de eventos pluviales extremos en función de parámetros estadísticos.

Asimismo, los hietogramas de diseño de precipitación, expresados en milímetros, se han elaborado aplicando el método de bloque alterno, utilizando el modelo de Dick Peschke. Esta técnica permite determinar perfiles de distribución de lluvia que representan eventos de intensidad variable a lo largo del tiempo, optimizando así la planificación y dimensionamiento de proyectos de infraestructura ante escenarios de lluvias intensas; y la valoración de los principales parámetros geomorfológicos de la zona de Masupampa, utilizando el software QGIS y un DEM para delimitar la cuenca hidrográfica. Además, se incluyen la determinación del caudal líquido a partir de datos hidrográficos y geomorfológicos, el cálculo de Manning para describir la oposición al flujo, la evaluación de parámetros reológicos que afectan el comportamiento del flujo, y los datos de salida del modelo hidrodinámico FLO2D obtenidos mediante simulaciones de inundaciones. Así mismo en esta investigación se emplearán formatos estandarizados de ensayos de laboratorio destinados a documentar de manera precisa la información recabada en el análisis de mecánica de suelos. Para simplificar la organización y la interpretación de los datos, se utilizarán herramientas informáticas como Excel y Word, las cuales permitirán una gestión eficiente y estructurada de la información. Asimismo, las fotografías capturadas durante las distintas etapas del proceso serán fundamentales para corroborar el trabajo realizado y brindar un respaldo visual a los datos recopilados, contribuyendo así a la validez y reproducibilidad del estudio.

4.5. Procedimientos

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico para validar los registros de precipitaciones máximas mensuales, asegurando su conformidad con los límites establecidos; así mismo, se aplicó la prueba de Smirnov-Kolmogorov para seleccionar una distribución teórica comúnmente utilizada en hidrología, utilizando datos históricos de precipitaciones máximas de 24h (Paredes, 2024).

Para el análisis estadístico del impacto de las precipitaciones máximas, en esta tesis se adoptó la metodología estadística propuesta por el autor (Villón, s. f.), que incluye medidas de dispersión y tendencia central, tales como la media aritmética, la mediana, la moda, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación, el sesgo y la curtosis.

4.6. Análisis de datos

Las pruebas de hipótesis, también denominadas pruebas de significación, tienen como propósito analizar y verificar las afirmaciones relativas a los parámetros estadísticos de una población; es fundamental que las hipótesis se redacten de forma precisa y adecuada, ya que su aceptación o rechazo dependerá del resultado obtenido en el análisis estadístico correspondiente (Martínez, 2012).

En el presente estudio, se abordaron tanto hipótesis nulas como alternativas, siendo la selección de una u otra dependiente del propósito particular de la prueba estadística. A continuación, se detallará la distinción fundamental entre ambas, con el fin de clarificar su función y aplicación dentro del análisis.

-Hipótesis nula: “es aquella por medio de la cual se hace una afirmación sobre un parámetro que se va a constatar con el resultado muestral” (Martínez, 2012, p. 328).

-Hipótesis alterna: “es toda aquella hipótesis que difiere de la hipótesis nula, es decir, ofrece una alternativa, afirmando que la hipótesis nula es falsa” (Martínez, 2012, p. 328).

De hecho existe una conexión o correlación entre dos variables cuando una de ellas guarda cierta relación con la otra (Tupac, 2018).

Tupac (2018) define que: el coeficiente de correlación lineal r mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados x y y en una muestra.

El valor de r debe mantenerse dentro del rango de -1 a +1.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} * \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \dots (11)$$

4.6.1. Prueba de hipótesis de correlación

La hipótesis nula $H_0: \rho = 0$ (No existe una correlación lineal).

La hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$ (Existe una correlación lineal).

4.6.2. Cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r” para la Prueba para la hipótesis específica 1

Aplicando el cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r”:

$$r = \frac{cov(x, y)}{S_x S_y} \dots (12)$$

Donde:

r : Coeficiente de correlación de Pearson

$cov(x, y)$: Covarianza entre X e Y

S_x : Desviación estándar de X

S_y : Desviación estándar de Y

De acuerdo al valor del coeficiente de r de Pearson se determinará el grado de correlación entre nuestras variables, es por ello que se utilizó la siguiente escala (ver Tabla 7) para conocer el grado de correlación entre nuestras variables (Hernández et al., 2014, p. 305).

Tabla 7*Valores r para los distintos grados de correlación*

Valores r	Correlación
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.25	Correlación negativa débil
-0.10	Correlación negativa muy débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
+0.10	Correlación positiva muy débil
+0.25	Correlación positiva débil
+0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1.00	Correlación positiva perfecta

Nota. La tabla muestra valores del grado de relación que se da entre dos variables.

Adaptado de por Hernández et al., 2014, p. 305.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Se trabajó con registros de las precipitaciones máximas en un intervalo de 24 h (mm) de 04 estaciones hidrometeorológicas tomados mensualmente desde el año 1964 al 2024 de la Estación Aymaraes (Lat: 14° 17' 26.02" S, Long: 73° 15' 6.05" W), la Estación Andahuaylas (Lat: 13° 38' 55.1" S, Long: 73° 22' 0.4" W), la Estación Granja San Antonio – Abancay (Lat: 13°36' 17.7" S, Long: 72°51'24.95" W) y la Estación Paucaray (Lat: 14°2'38.03" S, Long: 73°38'19.03" W), estos datos fueron solicitados y recopilados del SENAMHI. Se toma en consideración que dichas estaciones hidrometeorológicas existía falta de información en ciertos años, por lo que la concretización estos datos, y se aplicaron el método aritmético consiste en estimar los valores que falten en una serie de datos

históricos mediante la utilización de promedios simples o ponderados de los valores existentes. Este método asume que las precipitaciones en años o períodos con datos ausentes pueden aproximarse a la media de los valores observados en otros años similares, permitiendo así completar la secuencia de datos para análisis posteriores para la misma estación hidrometeorológica. Luego, en el lugar de estudio, se aplicó el método del U.S. Weather Bureau, que es un enfoque estadístico diseñado para determinar precipitaciones máximas anuales o en períodos específicos, el cual se basan que mediante el registro de estaciones cercanas, para ello se utilizan de estaciones con los datos de los registros completos utilizados por el método anterior, ahora para la zona de estudio con el método Weather Bureau o también conocido como U.S. National Weather Service (Gallegos-Cedillo et al., 2016) permite generar los datos faltantes utilizando los registros de las estaciones auxiliares respectivas a cada estación analizada, representado en la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{\sum(P_i w_i)}{\sum w_i} \dots \dots \dots (13)$$

Donde:

P_i : Es la precipitación observada para la fecha faltante, en las estaciones auxiliares circundantes (pueden ser como mínimo 2 estaciones), en milímetros.

$w_i = \frac{1}{D_i^2}$: La variable D_i representa la distancia en kilómetros que separa cada estación circundante de aquella en estado incompleto.

Estas estaciones y los métodos antes mencionados ayudaron a determinar los valores de precipitaciones máximas de la estación virtual para el lugar de estudio de la zona de Masupampa, así mismo se procedió a corregir los datos dudosos, para identificar los datos atípicos y de esta manera se determinó cuáles serán utilizados en base a los años de la estación virtual en el área de "Masupampa", dichos resultados se muestran en la Tabla 8.

5.1.1. Resultados del objetivo general

Tabla 8

Precipitaciones máximas de 24 h de Masupampa

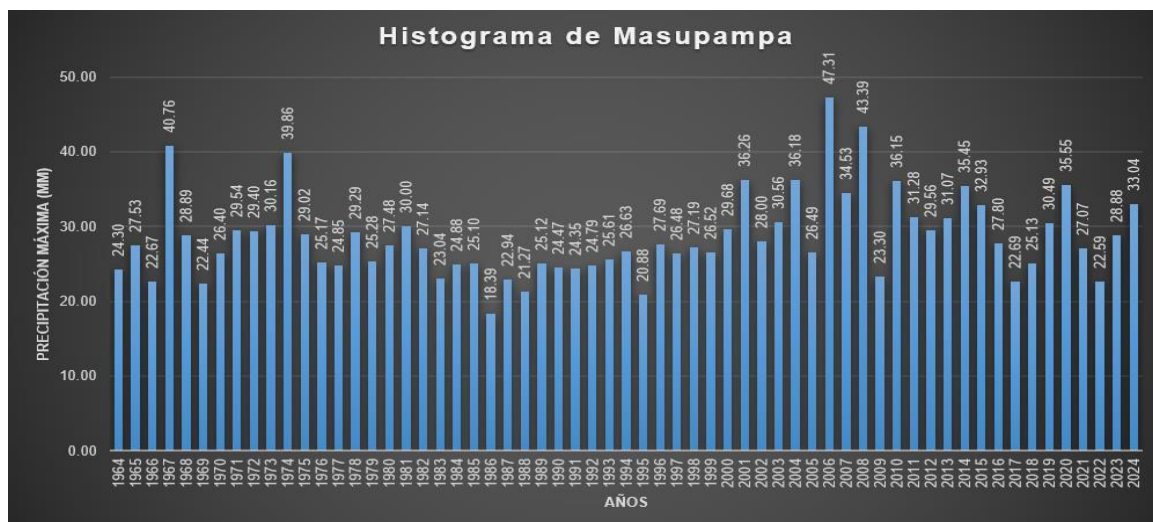
Precipitación máxima 24 h		
N°	Año	Ppmax (mm)
1	1964	24.30
2	1965	27.53
3	1966	22.67
4	1967	40.76
5	1968	28.89
6	1969	22.44
7	1970	26.40
8	1971	29.54
9	1972	29.40
10	1973	30.16
11	1974	39.86
12	1975	29.02
13	1976	25.17
14	1977	24.85
15	1978	29.29
16	1979	25.28
17	1980	27.48
18	1981	30.00
19	1982	27.14
20	1983	23.04
21	1984	24.88
22	1985	25.10
23	1986	18.39
24	1987	22.94
25	1988	21.27
26	1989	25.12
27	1990	24.47
28	1991	24.35
29	1992	24.79
30	1993	25.61
31	1994	26.63
32	1995	20.88
33	1996	27.69
34	1997	26.48
35	1998	27.19
36	1999	26.52
37	2000	29.68
38	2001	36.26
39	2002	28.00
40	2003	30.56
41	2004	36.18
42	2005	26.49

43	2006	47.31
44	2007	34.53
45	2008	43.39
46	2009	23.30
47	2010	36.15
48	2011	31.28
49	2012	29.56
50	2013	31.07
51	2014	35.45
52	2015	32.93
53	2016	27.80
54	2017	22.69
55	2018	25.13
56	2019	30.49
57	2020	35.55
58	2021	27.07
59	2022	22.59
60	2023	28.88
61	2024	33.04

Nota. En la tabla se presenta la precipitación máxima de 24 h, abarcando desde el año 1964 hasta el 2024.

Figura 8

Histograma de precipitación zona de estudio Masupampa



Nota. En la figura se presenta el histograma que representa el registro histórico de precipitaciones máximas de 24 horas (medidas en milímetros) de Masupampa, abarcando el período comprendido entre 1964 y 2024.

Tabla 9*Manejo de datos estadísticos*

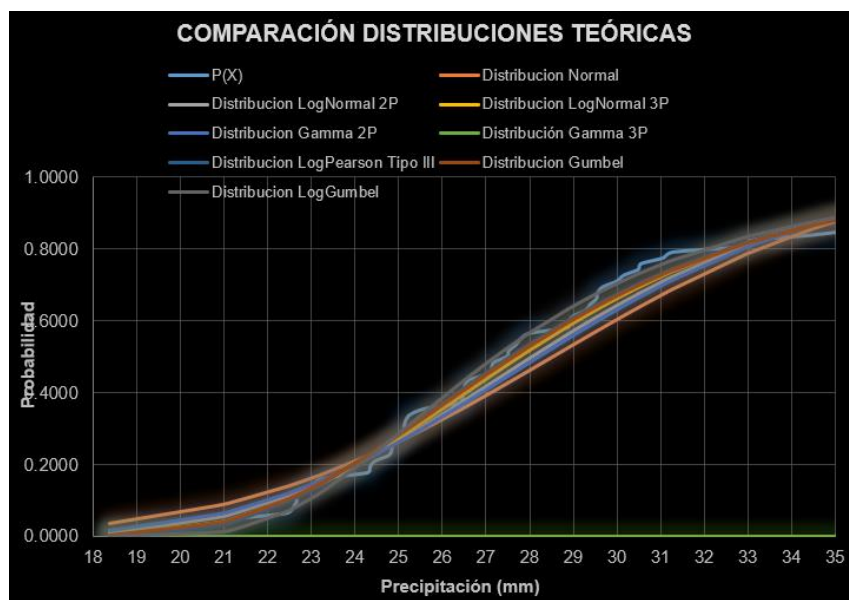
Parámetros Estadísticos	P24h	Log(P24h)
Número de datos (N)	61	61
Sumatoria	1740.94	88.327
Valor Máximo	47.31	1.67
Valor Mínimo	18.39	1.26
Media:	28.5400	1.4480
Varianza:	31.0727	0.0064
Desviación Estándar:	5.5743	0.0798
Coefficiente Variación:	0.1953	0.0551
Coefficiente de Sesgo:	1.1735	0.5907
Coefficiente de Curtosis:	4.7962	3.6458

Nota. En la tabla se presentan los resultados de los parámetros estadísticos de las precipitaciones en 24 horas, así como su valor logarítmico (LogP24h).

Para llevar a cabo este análisis, se emplearán todas las distribuciones teóricas de probabilidad presentes en el modelo HidroEsta 2 (Villón, 2005). Entre ellas se encuentran la Distribución Normal, la Log Normal de dos parámetros, la Log Normal de tres parámetros, la Gamma de dos parámetros, la Gamma de tres parámetros, la Log Pearson Tipo III, así como las distribuciones de Gumbel y Log Gumbel.

Figura 9

Prueba de bondad de ajuste Smirnov- Kolmogorov



Nota. En la figura presentada, se ilustran el contraste entre las distribuciones teóricas y los datos observados en la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov. Los resultados indican que la distribución teórica del Log Pearson Tipo III presenta un ajuste adecuado a los datos, evidenciado por la cercanía entre ambas curvas.

Tabla 10

Resultados de los deltas teóricos y tabular

		Δ teórico de las Distribuciones						
Δ Tabular	Normal	Log normal 2 Parámetros	Log normal 3 Parámetros	Gamma 2 Parámetros	Gamma 3 Parámetros	log Pearson Tipo III	Gumbel	Log Gumbel
	0.1741	0.1167	0.0788	0.0611	0.0897	1	0.05145	0.0554
MIN Δ		0.05145						

Nota. La tabla presenta una comparación entre los valores de los deltas teóricos y los valores tabulados correspondientes a diversas distribuciones de probabilidad.

Analizando las distribuciones y considerando su mínimo valor se observa que la Distribución Log Pearson Tipo III presenta un valor de 0.05145. Este resultado la

posiciona como la opción más apta para modelar el conjunto de datos en cuestión, como se ilustra en la Figura 9.

Tabla 11

Precipitación máxima para diferentes períodos de retorno con la distribución Log Pearson

Tipo III

Precipitación máxima para diferentes periodos de retorno		
T (años)	P	Distribución Log Pearson Tipo III X^t
2	0.500	31.13
5	0.200	36.73
10	0.100	40.45
25	0.040	45.23
50	0.020	48.85
100	0.010	52.50
200	0.005	56.22
500	0.002	61.25
1000	0.001	65.12
Δ	0.1741	0.05145

Nota. La tabla presenta precipitación máxima correspondientes a distintos periodos de retorno, calculados mediante la distribución Log Pearson Tipo III.

Tabla 12

Las precipitaciones máximas ajustadas para diversos períodos de retorno, empleando la distribución Log Pearson Tipo III

Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno para una distribución Log Pearson Tipo III			
T (años)	Probabilidad de Excedencia P = F(x)	Probabilidad de no Excedencia 1-F(x)	Z
2	0.500	0.500	31.13
5	0.200	0.800	36.73
10	0.100	0.900	40.45
25	0.040	0.960	45.23
50	0.020	0.980	48.85
100	0.010	0.990	52.50
200	0.005	0.995	56.22
500	0.002	0.998	61.25
1000	0.001	0.999	65.12
Δ	0.1741		0.05145

Nota. La tabla presenta los niveles de precipitación máxima estimados para diversos intervalos, aplicando la distribución Log Pearson Tipo III. En este análisis, se ha considerado un valor teórico de delta igual a 0.05145, en contraste con el valor tabulado de 0.1741, lo que permite evaluar la adecuación del ajuste estadístico y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Una vez recopilados los datos de precipitación, se procede a calcular la intensidad y a definir las curvas IDF correspondientes. Para ello, se emplea una fórmula que consiste en dividir la precipitación total en segmentos de tiempo específicos, expresados en horas. Este método se aplica de manera iterativa para cada intervalo de interés, comenzando con periodos de cinco minutos y continuando con intervalos de una hora. Al obtener las intensidades en cada intervalo, se construye la curva IDF, que relaciona la intensidad con la duración y la frecuencia de ocurrencia. Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 10.

$$I = \frac{P_D}{D} \dots \dots \dots (14)$$

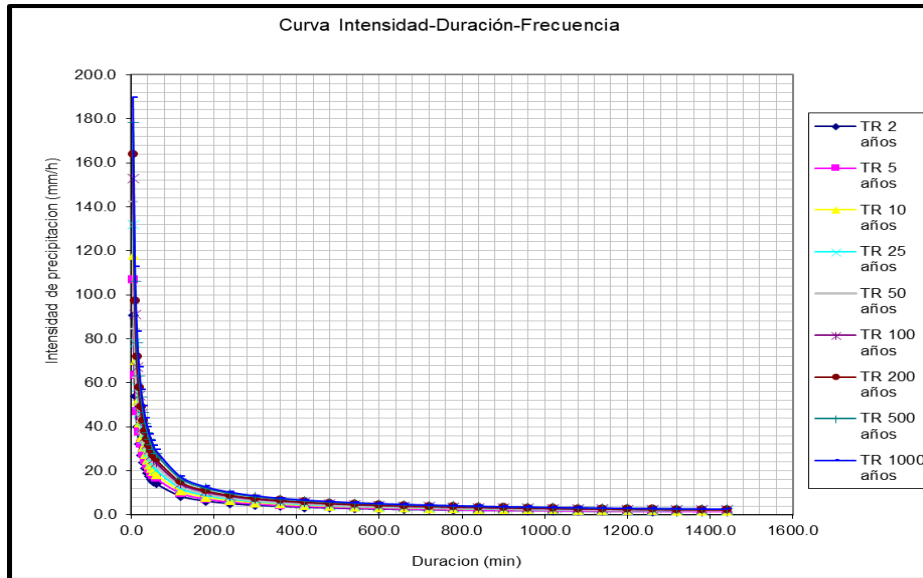
Donde:

P_D = precipitación máxima de duración D , en mm

D = duración de la precipitación, en horas

Figura 10

Curva Intensidad – Duración – Frecuencia



Nota. Se muestra en la figura los niveles de precipitación en intensidad, expresados mm/h, en función de la duración del evento, medida en minutos. Además, se incluyen diferentes períodos de retorno, específicamente desde 2 y 1000 años, permitiendo así una comparación detallada de cómo varía la intensidad con respecto a ambos parámetros.

Cuando se muestra y describe la metodología para obtener la curva de intensidad, la duración y la frecuencia, que no es más que la manera de evaluar el evento en cuestión, el periodo de retorno de la estructura en estudio y observar la manera de construir el hietograma de bloques alternos, se debe considerar una serie de periodos de retorno de lluvia, en este caso de 2 a 1000 años. Los hietogramas de cada periodo de retorno están reflejados en la Tabla 13, donde resaltamos el hietograma de precipitaciones de diseño conforme a los diferentes periodos de retorno TR que se han presentado. Esta información permite la posterior modelación del flujo de detritos en la zona de Masupampa.

Por tanto, la información también es muy adecuada para la interpretación de sucesos extremos en la planificación de las estructuras hidráulicas y de estabilización de la zona.

Tabla 13

Hietogramas de precipitación conforme al Modelo de Dick - Peschke

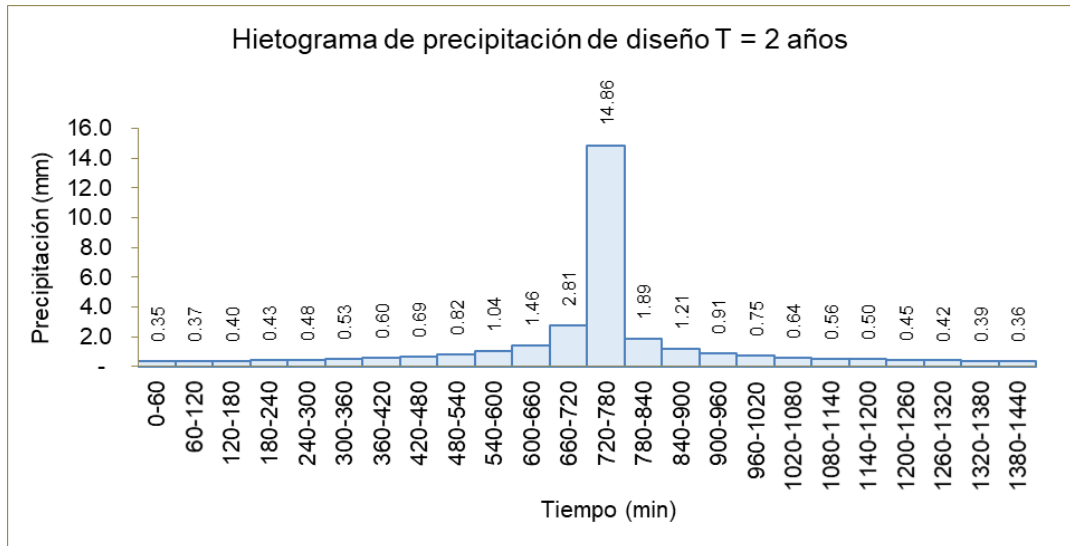
Duración (min)	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años	Tr = 500 años	Tr = 1000 años
60	0.35	0.39	0.42	0.47	0.50	0.55	0.59	0.66	0.71
120	0.37	0.41	0.45	0.50	0.54	0.58	0.63	0.70	0.76
180	0.40	0.44	0.48	0.54	0.58	0.63	0.68	0.76	0.82
240	0.43	0.48	0.52	0.58	0.63	0.68	0.74	0.82	0.89
300	0.48	0.53	0.57	0.64	0.69	0.75	0.81	0.90	0.97
360	0.53	0.59	0.64	0.71	0.76	0.83	0.90	1.00	1.08
420	0.60	0.66	0.72	0.80	0.86	0.93	1.01	1.12	1.22
480	0.69	0.76	0.83	0.92	1.00	1.08	1.17	1.30	1.41
540	0.82	0.91	0.99	1.10	1.19	1.29	1.39	1.55	1.68
600	1.04	1.15	1.25	1.39	1.50	1.63	1.76	1.96	2.12
660	1.46	1.62	1.76	1.95	2.11	2.29	2.48	2.75	2.98
720	2.81	3.12	3.38	3.76	4.07	4.41	4.78	5.31	5.75
780	14.86	16.51	17.89	19.88	21.53	23.32	25.26	28.07	30.40
840	1.89	2.09	2.27	2.52	2.73	2.96	3.20	3.56	3.86
900	1.21	1.34	1.45	1.61	1.75	1.89	2.05	2.28	2.47
960	0.91	1.02	1.10	1.22	1.32	1.43	1.55	1.73	1.87
1020	0.75	0.83	0.90	1.00	1.08	1.17	1.27	1.41	1.53
1080	0.64	0.71	0.77	0.85	0.92	1.00	1.08	1.20	1.30
1140	0.56	0.62	0.67	0.75	0.81	0.88	0.95	1.06	1.14
1200	0.50	0.56	0.60	0.67	0.72	0.78	0.85	0.94	1.02
1260	0.45	0.50	0.55	0.61	0.66	0.71	0.77	0.86	0.93
1320	0.42	0.46	0.50	0.56	0.60	0.65	0.71	0.79	0.85
1380	0.39	0.43	0.46	0.52	0.56	0.61	0.66	0.73	0.79
1440	0.36	0.40	0.43	0.48	0.52	0.56	0.61	0.68	0.74

Nota. La tabla presentada proporciona valores correspondientes a los hietogramas de precipitación de diseño, abarcando diferentes duraciones que

van desde 60 minutos hasta 1440 minutos.

Figura 11

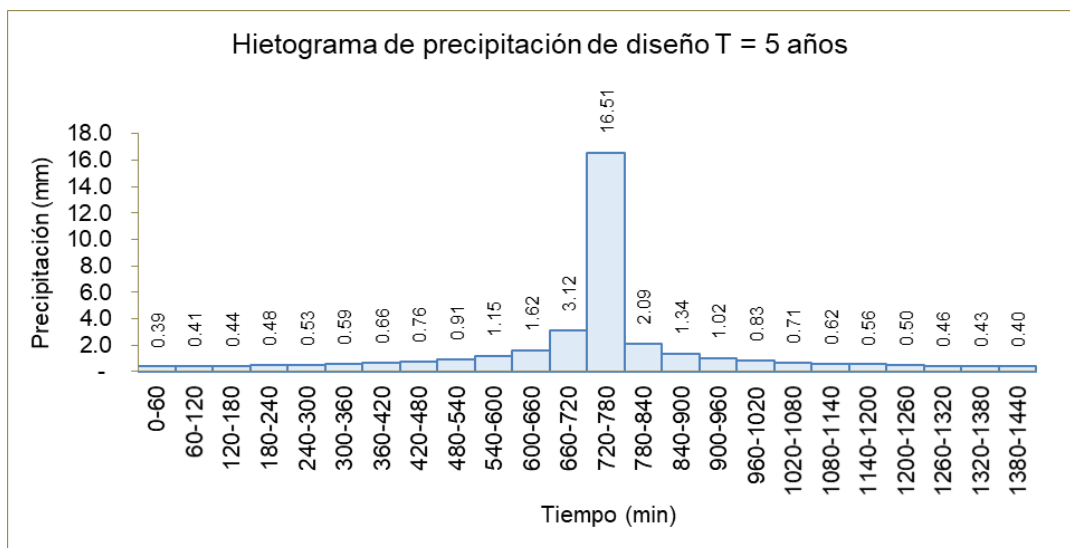
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 2$ años



Nota. La figura muestra presenta el tiempo vs precipitación correspondiente a un TR = 2 años.

Figura 12

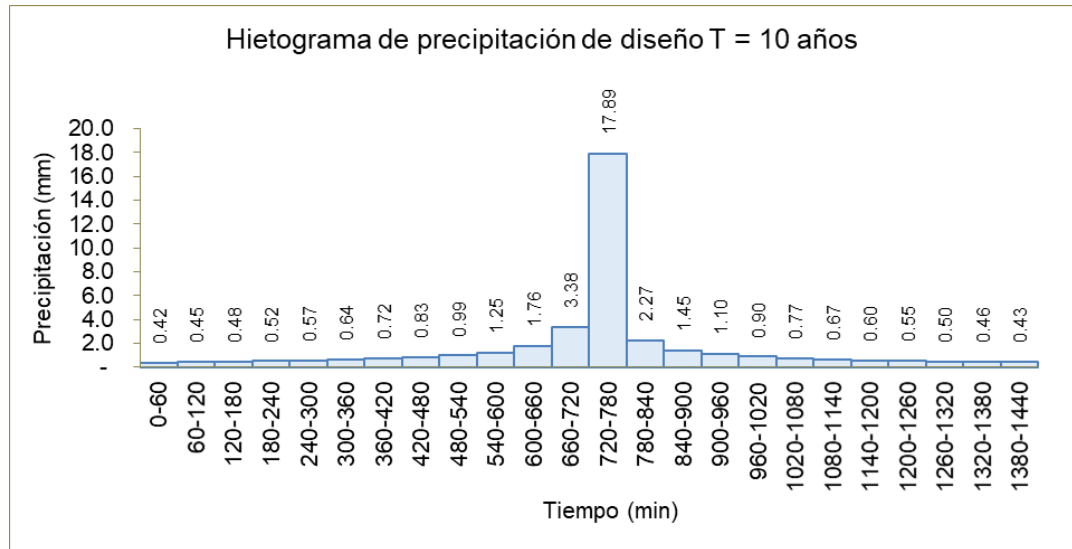
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 5$ años



Nota. La figura muestra presenta el tiempo vs precipitación correspondiente a un TR = 5 años.

Figura 13

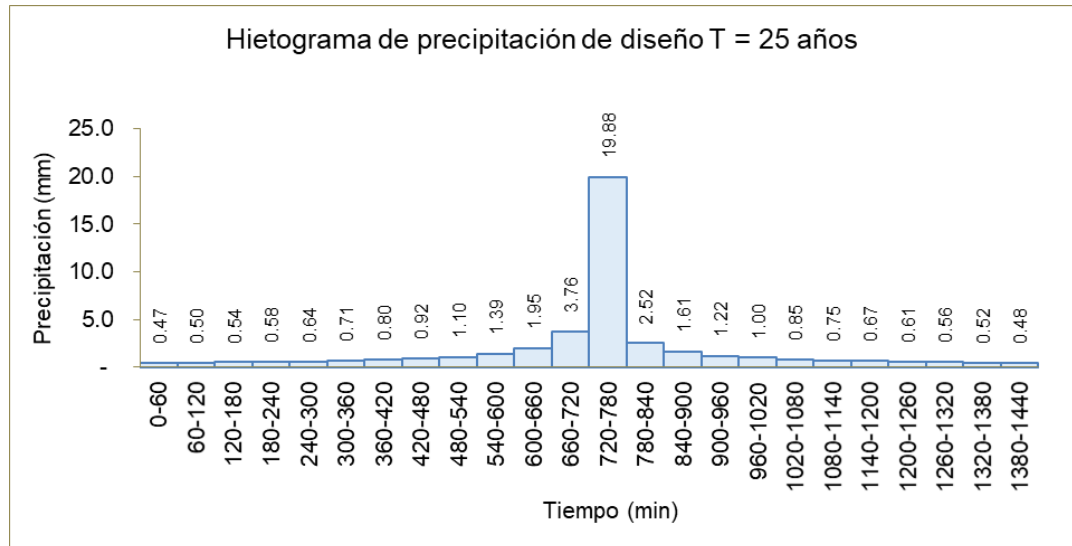
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 10$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un TR = 10 años.

Figura 14

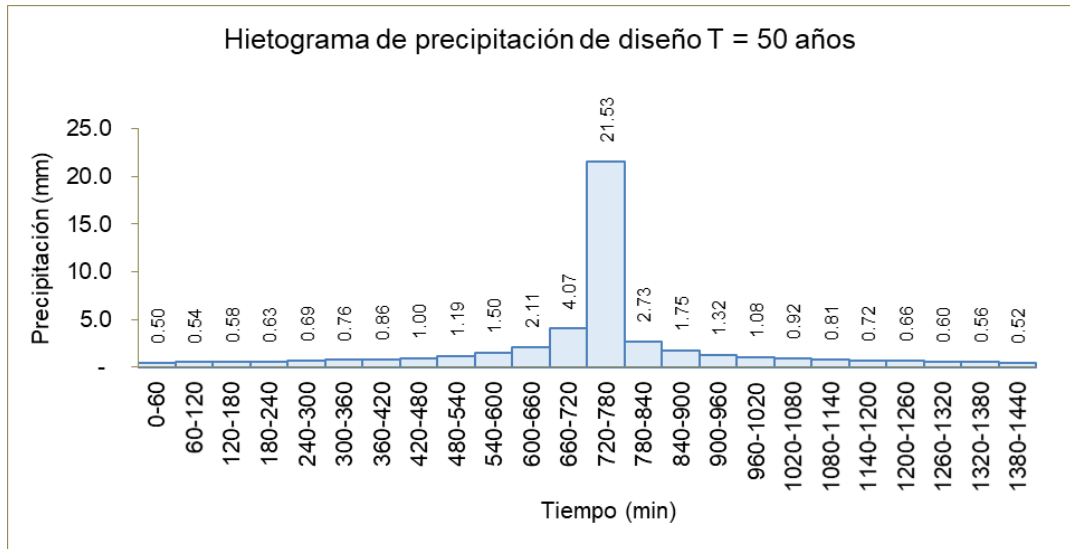
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 25$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un TR = 25 años.

Figura 15

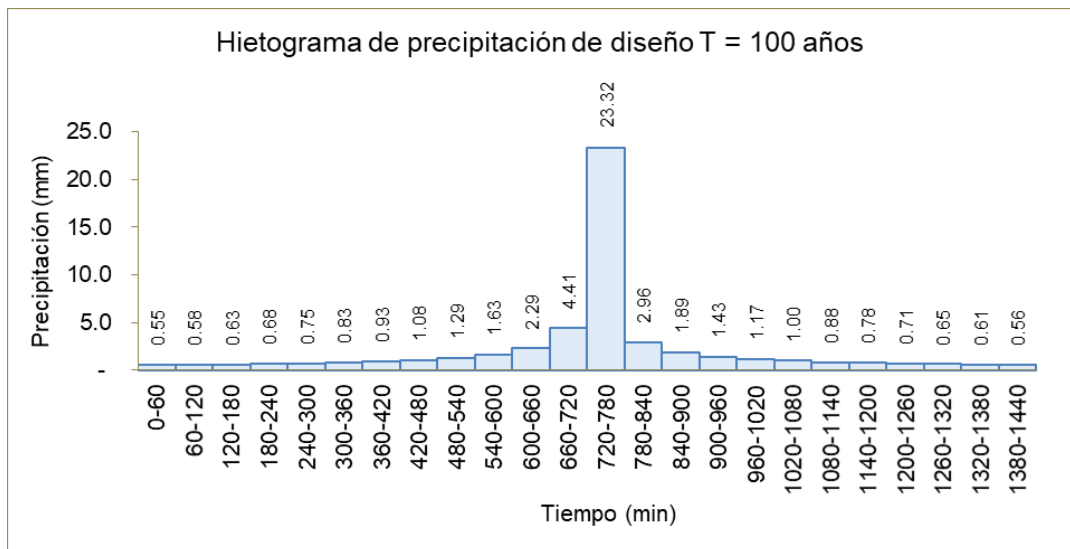
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 50$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un período de retorno de 50 años.

Figura 16

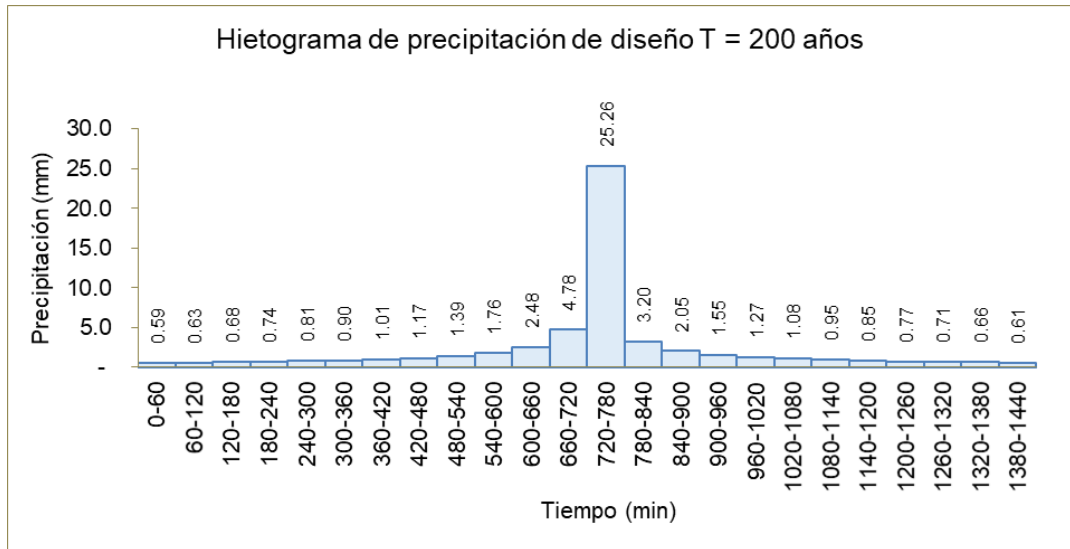
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 100$ años



Nota. La figura el tiempo vs precipitación correspondiente a un período de retorno de 100 años.

Figura 17

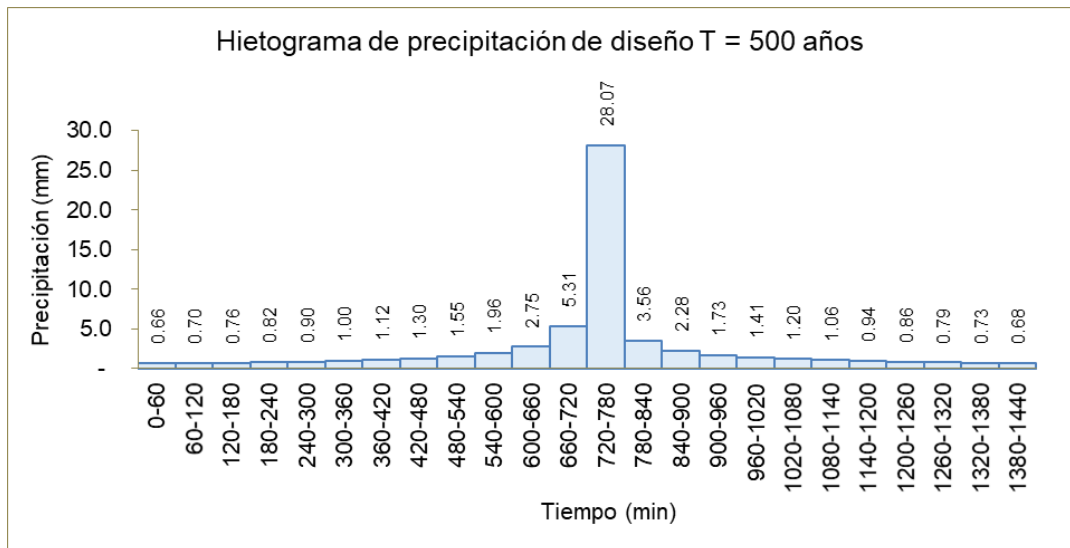
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 200$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un período de retorno de 200 años.

Figura 18

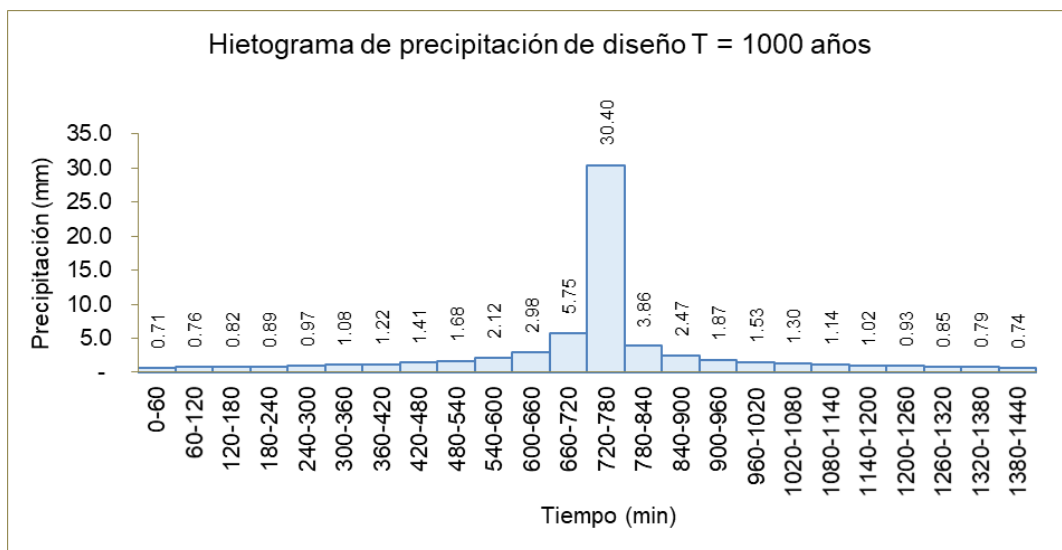
Gráfica de hietograma de precipitación $T = 500$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un período de retorno de 500 años.

Figura 19

Gráfica de hietograma de precipitación $T = 1000$ años



Nota. La figura muestra el tiempo vs precipitación correspondiente a un período de retorno de 1000 años.

Simulación utilizando el modelo numérico hidráulico

Datos básicos

Se recopiló topografía digital archivos DEM tanto del satélite ALOS PALSAR de ASF Data Search, así mismo se recopiló los mayores valores de precipitación máxima de 24 h reportada por el SENAMHI, se analizaron los registros de precipitación y caudal de agua, con el objetivo de compilar los datos esenciales necesarios para este estudio en particular.

Topografía digital

Para el estudio de la zona de Masupampa se obtuvo la topografía digital del satélite ALOS PALSAR que se muestra a continuación:

Tabla 14
Topografía digital DEM – zona de Masupampa

Año	DEM	Procedencia
2011	AP_24419_FBD_F6900_RT1	ALOS PALSAR

Nota. La tabla muestra el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) obtenido a partir de los datos del satélite ALOS PALSAR, cuenta con resolución de 12.5 metros. Esta resolución se considera la más adecuada para representar con precisión las circunstancias del campo de estudio.

Cálculo del número de curva de Masupampa

Tabla 15
Cálculo de número de curva de Masupampa

CN	Área (km ²)	Cni*Ai
73	0.068	4.964
77	1.61	123.97
73	0.163	11.899
86	0.057	4.902
83	0.005	0.415
73	0.004	0.292
72	0.014	1.008
81	0.983	79.623
77	0.21	16.17
81	0.104	8.424
77.60	3.218	251.667

Nota. La tabla presenta los cálculos efectuados para establecer la cantidad de curvas necesarias en Masupampa.

$$CN = \frac{\sum(Nci * Ai)}{\sum Ai} \dots \dots \dots (15)$$

$$CN = \frac{251.667}{3.218} = 78.21 \cong 78$$

Al asignar un tipo de suelo hidrológico específico y al multiplicar los % de uso de suelo por el número de curva respectivo, obteniéndose un valor promedio para CN de 78. En el análisis del hidrograma líquido se empleará el CN de 78 como referencia, denominándolo "curva calculada", este cálculo realizado se dió con la ayuda del QGIS.

Se menciona un CN, para la asignación con la precipitación obtenida, la información topográfica y cartográfica, la asignación de Número de Curva según el uso de suelo de la cuenca (CN=78) según el método de número de curva de en cuadrículas globales para modelado y diseño hidrológico GCN250 (Jaafar et al., 2019).

Por lo tanto, se tiene un valor de CN=78, de este modo la determinación de los métodos de cálculo y el empleo de la herramienta del HEC-HMS se realiza la modelación Hidrológica, obteniendo diferentes valores de caudales máximos diversos periodos de retorno en nuestra área de Masupampa.

Volúmenes de escombros depositados

Un método inicial utilizado por la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA) en 1988, consistió en calcular el volumen de escombros producidos por el Fenómeno del Niño en marzo de 1987 de la Cuenca del río Rímac; para ello, se tomó en cuenta el valor de producción de sedimento de 14,800 m³/km² como característico de eventos de flujo de escombros grandes generados por precipitaciones de baja probabilidad en la quebrada de Pedregal (Chosica), la cual carece principalmente de vegetación; este valor se extrapoló a otras quebradas en la cuenca del río Rímac, considerando un coeficiente de corrección basado en el grado de cobertura vegetal en cada quebrada; JICA sugirió un coeficiente de corrección de 0.4 para áreas con una cobertura vegetal superior al 60% pero inferior al 90% (Castillo, 2006). La ecuación utilizada en este proceso fue:

$$V = 14,800 * 1.2 * F * A \dots \dots (16)$$

Donde:

F= 0.4 (coeficiente de corrección asumido para coberturas vegetales mayor a 60% y menor que 90%, el cual asumiremos para la zona de Masupampa).

A= 3.218 Km² (Área de la zona de Masupampa).

Reemplazando dichos valores se obtiene un volumen de:

$$V = 14,800 * 1.2 * 0.4 * 3.218$$

$$V = 22,860.672 \cong 22,861 \text{ m}^3$$

Así pues, el volumen calculado por la metodología JICA que da para la zona Masupampa es de 22,861 m³.

Otra forma el cálculo de la cantidad de escombros depositados en la zona de Masupampa está de acuerdo a lo dejado por los sucesos y estimaciones con las visitas de campo donde se pudo visualizar la caída paredes de tierra de 283 metros de extensión, desplazando cerca de 76,270.63 metros cúbicos de material de la quebrada Masupampa, la avalancha de escombros iba incorporando más material a través de erosiones laterales que provocaban deslizamientos menores que alimentaban el lecho de Masupampa.

De ambas metodologías anteriormente vistas tanto por JICA y Valderrama et al. (2012), el análisis realizado por Valderrama indica que el volumen de escombros es más elevado, por lo que se seleccionará el valor menos favorable.

Por lo tanto, un valor del volumen de escombros calculado para el área de Masupampa sería 51,753.53 +/- 50,000 m³ con valor máximo de 92,027.13 m³, considerado este valor para eventos extremos de TR entre 100 a 200 años.

Coefficiente de rugosidad de Manning

Como índice de rugosidad “n” de Manning, se ha asumido un valor de **0.050** conforme a las particularidades del área y en la información obtenida en el trabajo de campo, así de los valores promedios considerados de la bibliografía de (Chow, 2004), tal como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 16
Valores del coeficiente de rugosidad n

Descripción	n
Canal revestido	
Cemento / mortero	0.015
Recubrimiento vegetal	0.050
Corrientes montañosas, sin vegetación en el río usualmente empinadas, árboles y matorrales	
Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.050
Fondo: gravas, cantos rodados con rocas grandes	0.070
Planicies de inundación	
Pastizales sin matorrales	
Pasto corto	0.035
Pasto alto	0.050
Áreas cultivadas	
Sin cultivo	0.040
Campos cultivados	0.050
Matorrales	
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.070
Pocos matorrales y arboles	0.065

Nota. La tabla muestra valores de coeficiente de Manning n , para la zona de estudio.

Adaptada de (Chow, 2004).

Resultados del estudio de mecánica de suelos

Conforme al estudio relacionado a la mecánica de suelos realizados por el Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos Lunix Ingenieros S.R.L dirigido por el Ing. José A. Quispe Munares, se tiene 3 muestras de suelos (Muestra M1 - Calicata C1, Muestra M2 - Calicata C2, y Muestra M3 - Calicata C3) que conforman parte del deslizamiento de la zona de Masupampa, siendo los siguientes:

- **Muestra M1 - Calicata C1:** Grava bien gradada con arcilla y limo con arena GW GC de mediana plasticidad, color marrón claro, con una topografía de 33.00% de pendiente transversal aproximadamente, presenta una distribución de tamaños de partículas que se identifica como un suelo GW GC según la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) o un A-2-4(0), donde la fracción de material fino muestra un límite líquido igual a 22.9%, un límite plástico igual a 16.3% y un índice de plasticidad de 6.6%. La cantidad de material que pasa por la malla número 200 es del 9.2%.

- **Muestra M2 - Calicata C2:** Arena mal gradada con grava SP de baja plasticidad, color gris claro, con una topografía de 33.30% de pendiente transversal aproximadamente, presenta una distribución de las dimensiones de las partículas que se identifica como un suelo SP según SUCS o un A-1-a(0), donde la fracción de material fino muestra un límite líquido igual a 18.7%, un límite plástico igual a 16.2% y un índice de plasticidad de 2.5%. La cantidad de material que pasa por la malla número 200 es del 3.0%.

- **Muestra M3 - Calicata C3:** Grava arcillosa con arena GC de baja plasticidad, color café claro, con una topografía de 19.7% de pendiente transversal aproximadamente, presenta una distribución de tamaños de partículas que se identifica como un suelo GC según SUCS o un A-1-b(0), donde la fracción de material fino muestra un límite líquido igual a 19.2%, un límite plástico igual a 16.2% y un índice de plasticidad de 3.0%. La cantidad de material que pasa por la malla número 200 es del 18.5%.

En la presente tesis, el estudio de mecánica suelos de la zona de Masupampa se ha realizado tomando muestras de la matriz del flujo de escombros en el abanico de la salida del cauce (M3) y la cabecera del cauce principal (M1) y la parte media del cauce principal (M2). Se realizó estudio de suelos mediante el Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos Lunix Ingenieros S.R.L dirigido por el Ing. José A. Quispe Munares, se tiene 3 muestras de suelos (Muestra M1 – Calicata C1, Muestra M2 - Calicata C2, y Muestra M3 - Calicata C3) con base en las muestras analizadas se llevaron a cabo pruebas de tamaño de partículas y se determinaron los límites de plasticidad. De los resultados indican que contienen plasticidad, siendo clasificadas como GP-GM (grava limosa mal gradada con arena) según SUCS. Cabe destacar que los resultados de granulometría se refieren a material de tamaño menor a las 3 pulgadas tal como se detalla en la Tabla siguiente.

Tabla 17

Resultados de la granulometría en la zona de Masupampa

Muestra	Diámetro (d)		Límites de Consistencia			SUCS
	3" < d < N.º 200 %	D < N.º 200 %	%LL	%LP	%IP	
M1	90.8	9.2	22.9	16.3	6.6	GW GC
M2	97.0	3.0	18.7	16.2	2.5	SP
M3	81.5	18.5	19.2	16.2	3.0	GC

Nota. Esta tabla muestra el estudio de mecánica de suelos con sus respectivos límites de consistencia y clasificación SUCS.

Para adquirir más detalles acerca de las pruebas de laboratorio, revisar los Anexos. De la Tabla 17 las muestras presentan tienen plasticidad. Además, tiene Límites Líquidos (LL) de 22.9, 18.7 y 19.2 % y con un Índice Plástico (IP) de 6.6, 2.5 y 3.0%, presenta poco material fino el cual se caracteriza por poseer mayor porcentaje de arenas y gravas. Es por ello, que contiene alto de gravas, arenas y de poco material fino, de la Tabla 17 se puede observar el promedio del LL de 20.3%.

Así mismo se tiene los resultados de la determinación para la gravedad específica, siendo las siguientes, ver Tabla 18.

Tabla 18

Resultados del valor de gravedad específica

Calicata N°	C1	C2	C3
Gravedad específica (G _{20°C}) de las partículas sólidas del suelo a 20°C en g/cm ³	2.20	2.10	2.12
Promedio gravedad específica (g/ cm ³)	2.14		

Nota. Esta tabla muestra el promedio de la gravedad específica en un promedio con respecto a las calicatas C1, C2 y C3.

Considerando los resultados de mecánica de suelos, se realiza el análisis para la determinación de los parámetros reológicos, considerando la siguiente teoría como se describe a continuación:

Cálculo de los parámetros reológicos

Para la simulación, se emplean características específicas como el FLO-2D, que considera el flujo de detritos y escombros con ecuaciones completas para el movimiento. El fluido se considera homogéneo con concentración variable, sin hacer distinción de tamaños de sedimento internamente.

Los parámetros de entrada incluyen una distribución de C_v en el tiempo, con un aumento gradual según el tipo de sedimento. El hidrograma líquido se utiliza como condición de borde en la quebrada, con una rugosidad de Manning de 0.050 y parámetros reológicos basados en muestras de campo y literatura. Las muestras tipo de la literatura provienen de depósitos naturales en Colorado y se asemejan a un material conservador con baja proporción de finos y sin plasticidad. Las ecuaciones utilizadas en el modelo están basadas en estudios previos de O'Brien y Julien:

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \dots (17)$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \dots (18)$$

Donde α_i y β_i son coeficientes empíricos determinados mediante ensayos en laboratorio y C_v es la concentración de sedimentos en términos de volumen (Ver Tabla 19 y 20).

Tabla 19

Propiedades de las matrices de flujo de detritos (sólo limo y arcilla) de Masupampa

Sample	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Índice plástico o
	Arcilla (%)	D_{16} (mm)	D_{50} (mm)	D_{84} (mm)		
Aspen mine fill	27.8	0.001	0.013	0.030	0.24	0.06

Nota. La tabla muestra las propiedades de los flujos de detritos en cuanto al tamaño del sedimento, el límite líquido e índice plástico. Tomado de O'Brien y Julien, 1988, como se citó en Castillo, 2006.

Tabla 20

Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función de C_v de Masupampa

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0

Nota. Los valores de la Tabla muestran los coeficientes α y β del esfuerzo de cedencia y viscosidad en función a la concentración volumétrica C_v de Masupampa. Tomado de O'Brien y Julien, 1988, como se citó en Castillo, 2006.

Para la estimación del valor de la resistencia de la planicie al flujo laminar se ha considerado los parámetros de resistencia para flujo laminar, bajo los rangos de K (Castillo Navarro, 2006):

Tabla 21

Parámetros de resistencia para flujo laminar

Parámetros de resistencia para flujo laminar	
Superficie	Rango de K
Concreto/asfalto	24 –108
Arena escasa	30 – 120
Superficie gradual	90 – 400
Arcilla escasa – suelo de marga erosionada	100 - 500
Poca vegetación	1,000 - 4,000
Hierba corta de pradera	3,000 - 10,000
Césped de hierba añil	7,000 - 50,000

Nota. Los valores de los parámetros de resistencia para flujo laminar se presentan en la Tabla. Adaptado de Woolhiser, 1975, como se citó en Castillo, 2006.

Visto la Tabla 21 se considera un valor promedio equivalente de $k=6,000$ considerando que la zona de Masupampa tiene poca vegetación y hierba corta de pradera.

Conforme al estudio de mecánica de suelos se ha determinado los parámetros reológicos utilizando las Tablas 19 y 20 el cual nos da un **Aspen Mine Fill** con valores de $\alpha = 0.0473$ y $\beta = 21.1$ para el esfuerzo de cedencia (τ_y), y valores de $\alpha = 0.128$ y $\beta = 12.0$ para la viscosidad del flujo de detritos (η). La gravedad específica del sedimento se ha determinado como **2.14**, basado en el promedio máximo de muestras de campo analizadas en el laboratorio. Se ha predeterminado una resistencia de la planicie al flujo laminar de 6000, en relación con trabajos previos de flujos de escombros o detritos. La simulación se realizará durante un intervalo temporal de 24 horas.

Figura 20

Datos de ingreso del transporte de lodos y sedimentos de Masupampa

The screenshot shows a software window titled 'Mud and Sediment Transport' with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar, there are three radio buttons: 'Mud / Debris Transport' (selected), 'Sediment Transport', and 'None'. The main area is divided into two sections:

- Hyperconcentrated Sediment Flow Parameters:**
 - Mudflow specific gravity: 2.14
 - Laminar flow resistance: 6000.00
- Debris Basin Parameters (checked):**
 - Debris basin cell: 0
 - Debris basin volume: 0.00

Below these sections are three input fields for coefficients and exponents:

- Viscosity vs Sediment Concentration:** Coefficient: 0.12800, Exponent: 12.00000
- Yield Stress vs Sediment Concentration:** Coefficient: 0.04730, Exponent: 21.10000

At the bottom right, there are two buttons: 'Aceptar' and 'Cancelar'.

Nota. La figura muestra datos de entrada como son los coeficientes del esfuerzo de cedencia y la viscosidad del fluido, la gravedad específica y la resistencia laminar del flujo.

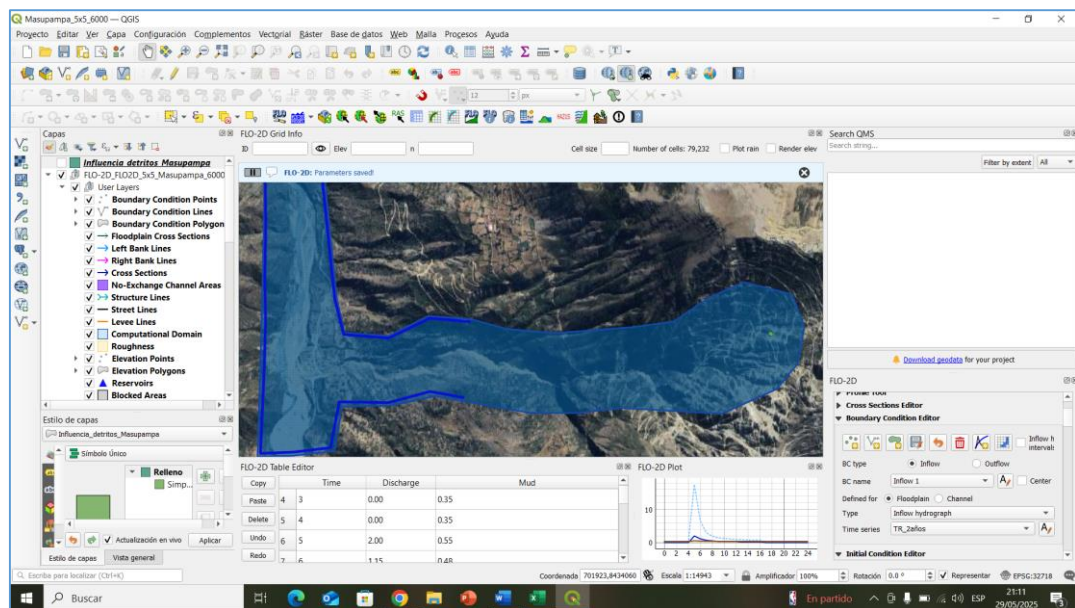
Definición de parámetros

El plano topográfico inicial que se utilizará para llevar a cabo un análisis y evaluación de sensibilidad del programa será la topografía digital indicado en el ítem 5.1.1.1.2. El tramo simulado es de longitud aproximada de 2.71 km desde aguas arriba (garganta) hasta la confluencia con la quebrada Masupampa (ver Figura 21).

En relación al plano previamente mencionado, se elaboró una malla compuesta por 79,232 celdas, cada una con dimensiones de 5 x 5 m, abarcando una sección de la garganta y la unión con la zona de Masupampa. Asimismo, se estableció la cuadrícula del hidrograma de entrada (INFLOW) y las cuadrículas correspondientes al flujo de salida (OUTFLOW) (ver Figura 20).

Figura 21

Grillas de 5 x 5m De Masupampa



Nota. La figura muestra el grillado de celdas de 5m x 5m en la zona de Masupampa.

Los parámetros reológicos o del sedimento se basan en experiencias de otros países donde han sido calibrados con cuencas experimentales.

5.1.2. Resultados del objetivo específico 1

Escenarios de peligros generados en áreas de amenaza por flujos de detritos para diferentes periodos de retornos para CN = 78 curva calculada

Se analizaron varios escenarios enfocados solamente en la zona de Masupampa; para un hidrograma líquido de curva 78 (curva calculada). Cuya concentración volumétrica de sedimentos (C_v) es variable desde 35% a 55%. Los otros parámetros de entrada para modelar fueron mencionados en el ítem 5.1.1.

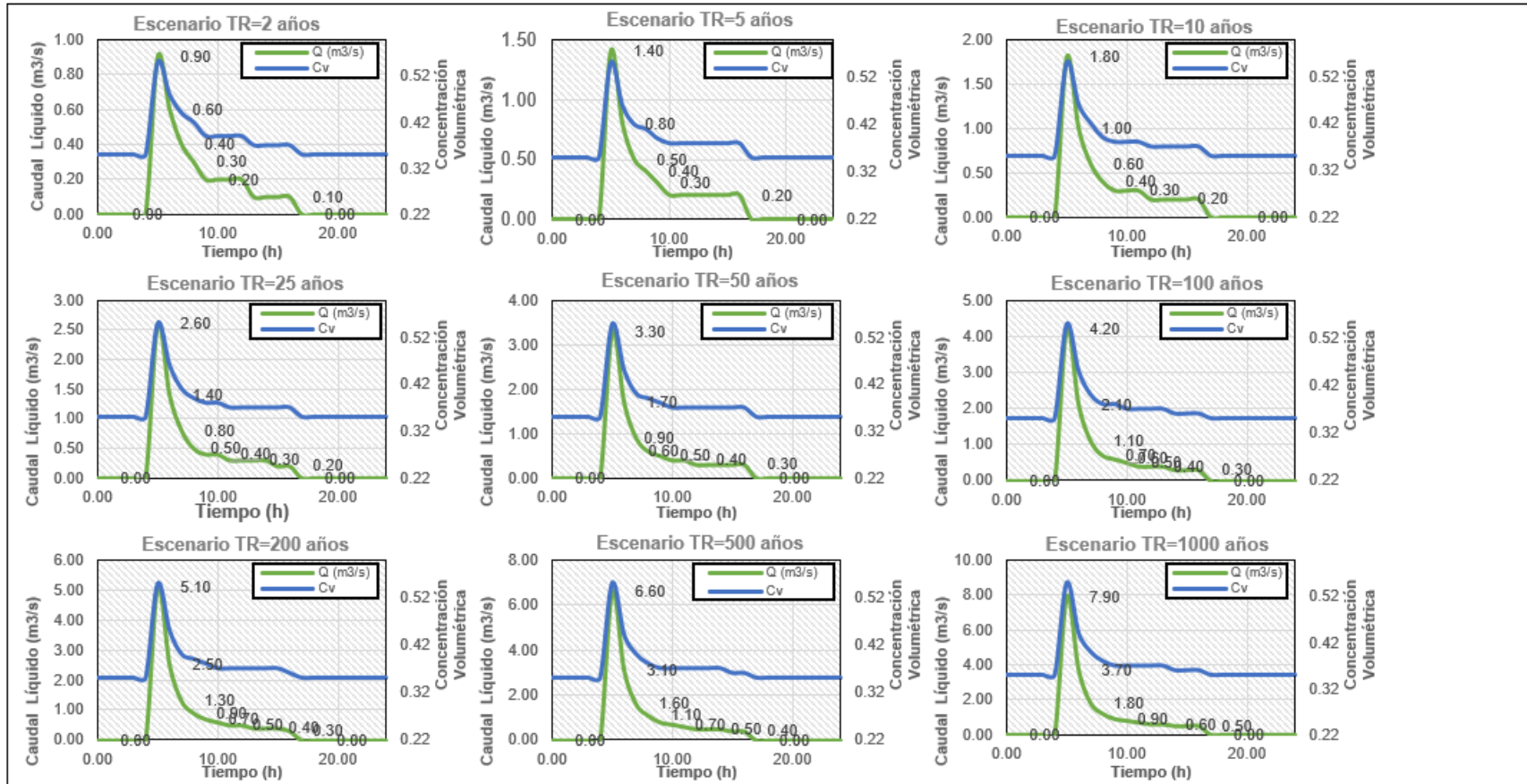
Análisis para TR desde 2 a 1000 años (CN=78)

Se estudió para un TR desde 2 a 1000 años (CN = 78) una creciente con un caudal líquido máximo de 0.90, 1.40, 1.80, 2.60, 3.30, 4.20, 5.10, 6.60, y 7.90 m^3/s respectivamente, cuyo C_v es variable de 35 % a 55 % en el segmento ascendente del hidrograma y de mayor valor de 55 %, disminuyendo a 48 % y finalmente a 35 % manteniéndose invariable hasta el final del hidrograma, tal como se observa la Figura 22.

Los hallazgos de la modelización utilizando el FLO-2D se obtuvo los mapas de nivel de peligros (Hazard Map) generado por los flujos de detritos, para caudales líquidos de: $Q_l = 0.90, 1.40, 1.80, 2.60, 3.30, 4.20, 5.10, 6.60, y 7.90 m^3/s$ (CN = 78), en diferentes TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, como se muestra en la Figura 23.

Figura 22

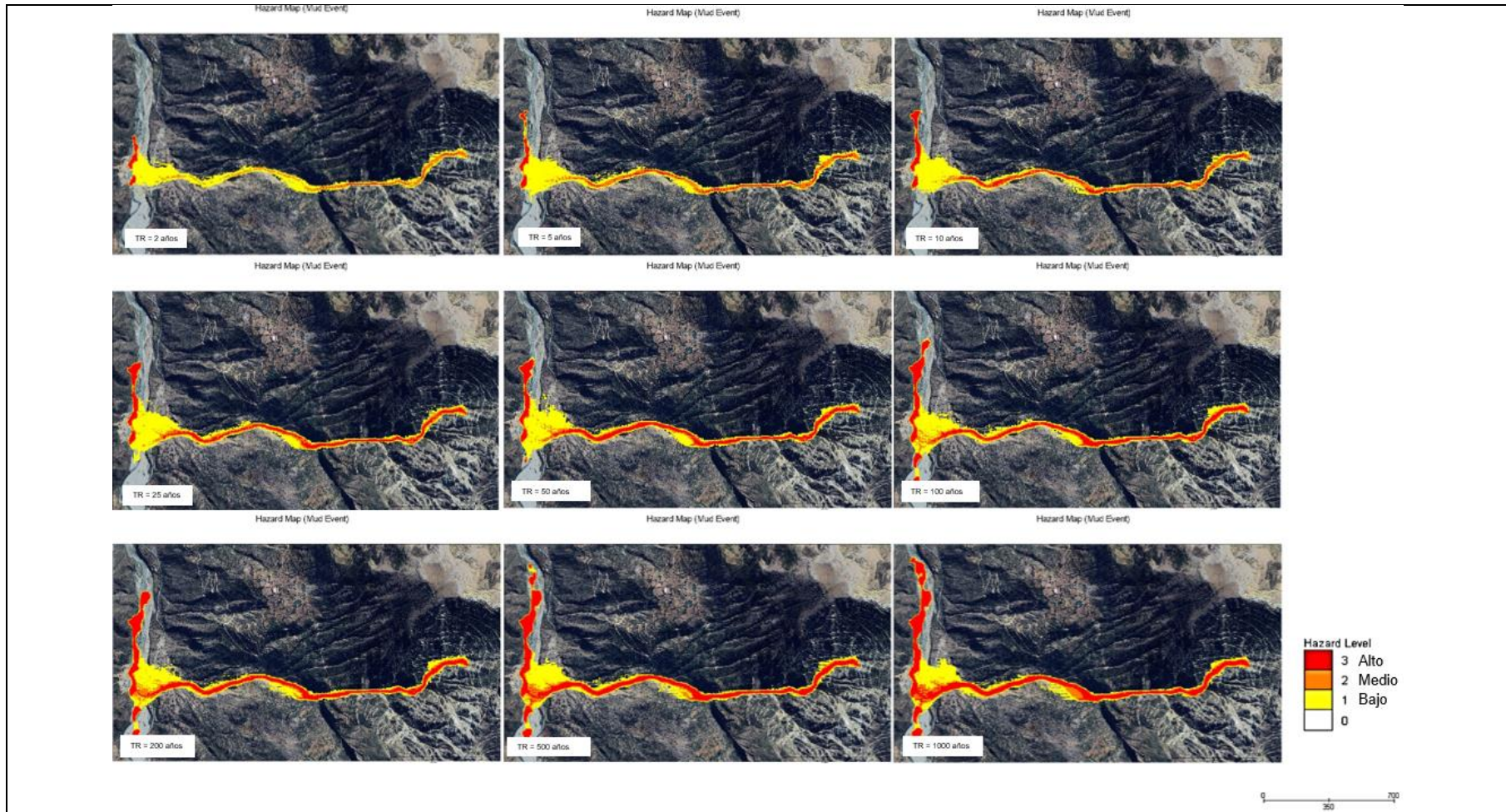
Hidrogramas sólidos y líquidos para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN=78)



Nota. La figura muestra los diferentes escenarios de los hidrogramas líquidos y sólidos para un CN=78 y una Cv de 0.35 a 0.55.

Figura 23

Mapas de Nivel de peligros para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN = 78)



Nota. La figura muestra los diferentes escenarios de CN = 78 para los niveles de peligro bajo, medio y alto de Masupampa.

De lo mostrado en la Figura 23 se obtuvo los resultados por nivel de peligro generado por los flujos de detritos representados en áreas de amenaza para los diferentes niveles de peligro dados en niveles bajo, medio y alto, donde el modelo pronostica una zona completa de inundación de 158,000; 190,525; 206,150; 235,150; 252,450; 266,525; 283,400; 308,050 y 324,025 m² para diferentes periodos de retorno TR desde 2 a 1000 años respectivamente dentro del área simulada tal como se muestra en la Tabla 22:

Tabla 22

Áreas de amenaza por flujos de detritos, para TR desde 2 a 1000 años (CN = 78)

Área de amenaza para diferentes TR		Niveles de peligro			Total
		Nivel 1 (bajo)	Nivel 2 (medio)	Nivel 3 (alto)	
Área de Amenaza, TR 2 años	(m2) (%)	120,475 76.25%	20,225 12.80%	17,300 10.95%	158,000 100.00%
Área de Amenaza, TR 5 años	(m2) (%)	127,275 66.80%	33,075 17.36%	30,175 15.84%	190,525 100.00%
Área de Amenaza, TR 10 años	(m2) (%)	125,025 60.65%	36,375 17.64%	44,750 21.71%	206,150 100.00%
Área de Amenaza, TR 25 años	(m2) (%)	137,550 58.49%	38,425 16.34%	59,175 25.16%	235,150 100.00%
Área de Amenaza, TR 50 años	(m2) (%)	138,975 55.05%	38,800 15.37%	74,675 29.58%	252,450 100.00%
Área de Amenaza, TR 100 años	(m2) (%)	134,200 50.35%	40,775 15.30%	91,550 34.35%	266,525 100.00%
Área de Amenaza, TR 200 años	(m2) (%)	134,275 47.38%	40,925 14.44%	108,200 38.18%	283,400 100.00%
Área de Amenaza, TR 500 años	(m2) (%)	128,975 41.87%	36,650 11.90%	142,425 46.23%	308,050 100.00%
Área de Amenaza, TR 1000 años	(m2) (%)	127,025 39.20%	36,875 11.38%	160,125 49.42%	324,025 100.00%

Nota. Esta tabla muestra valores de los niveles de peligro para áreas de amenaza.

5.1.3. Resultados del objetivo específico 2

Resultados de las velocidades máximas generadas por los flujos de detritos con la aplicación del modelo FLO-2D en la zona de Masupampa para escenarios 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, CN = 78

Con la simulación realizada en el ítem 5.1.1.1 se obtienen resultados de velocidades máximas en diferentes niveles de peligro, teniendo el siguiente resumen, ver Tabla 23:

Tabla 23

Resultados de velocidades máximas (m/s) CN = 78 de Masupampa

Nivel de Peligro	TR=2 años	TR=5 años	TR=10 años	TR=25 años	TR=50 años	TR=100 años	TR=200 años	TR=500 años	TR=1000 años
Nivel 1 (bajo)	3.2	5.1	5.5	5.9	6.2	6.2	6.3	6.6	6.4
Nivel 2 (medio)	3.6	5.9	6.3	6.8	7.1	7.1	7.2	7.5	7.3
Nivel 3 (alto)	4.1	6.6	7.1	7.6	8.0	8.0	8.1	8.4	8.2

Nota. Esta tabla muestra cómo cambia las velocidades máximas de acuerdo a los niveles

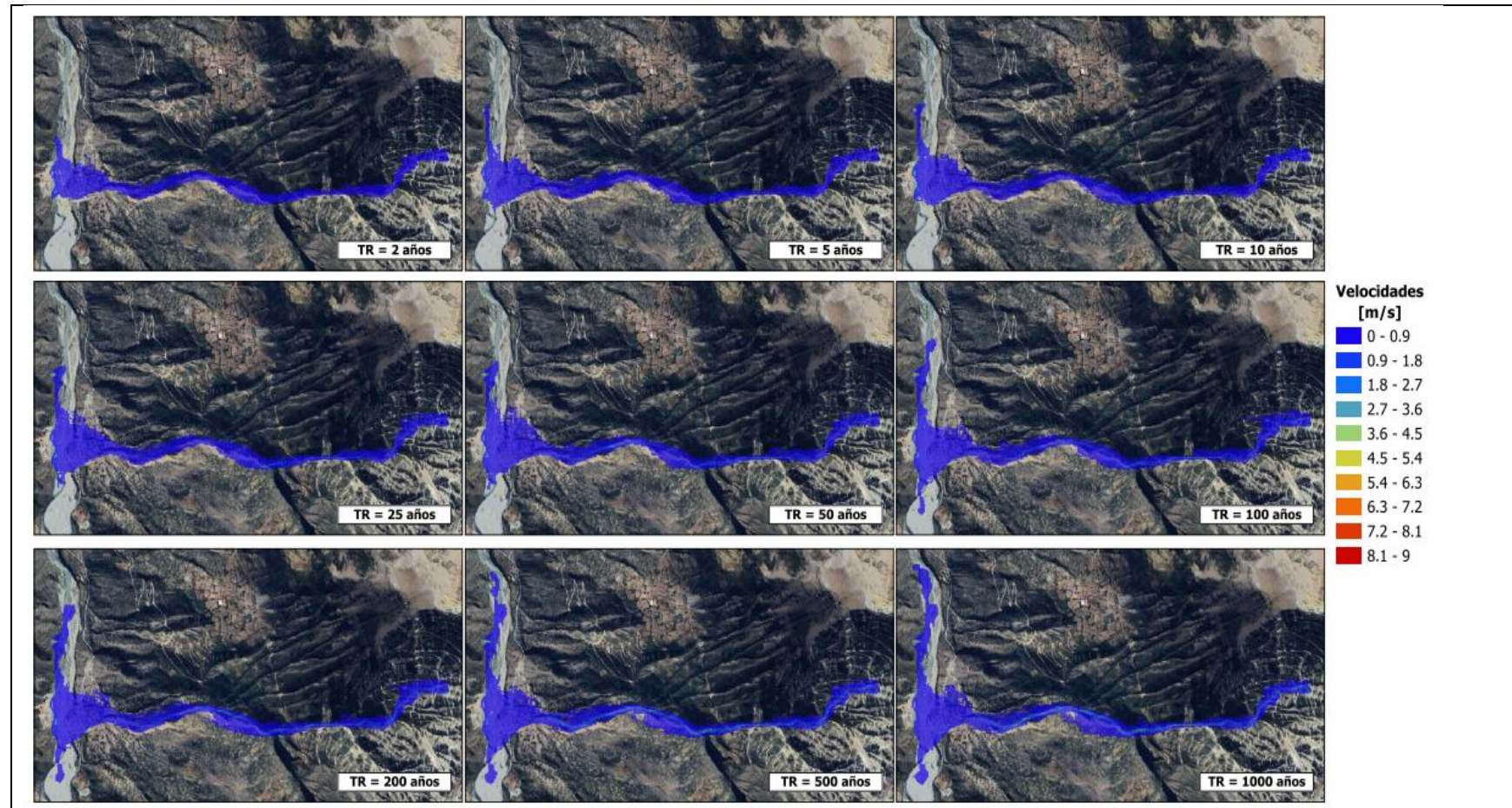
de peligro bajo, medio y alto para los diferentes periodos de retorno.

**Análisis para QI = 0.90, 1.40, 1.80, 2.60, 3.30, 4.20, 5.10, 6.60, y 7.90 m³/s (CN=78)
para diferentes TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, y 1000 años respectivamente**

La simulación muestra velocidades máximas generadas por los flujos de detritos de hasta 4.1, 6.6, 7.1, 7.6, 8.0, 8.0, 8.1, 8.4 y 8.2 m/s (ver Figura 24) en la confluencia de la zona de Masupampa; y velocidades de hasta 3.6, 5.9, 6.3, 6.8, 7.1, 7.1, 7.2, 7.5 y 7.3 m/s en la garganta de la quebrada, para diferentes niveles de peligros generado por los flujos de detritos tal como se mostró en la Tabla 23.

Figura 24

Velocidades máximas para TR desde 2 a 1000 años (CN=78) de Masupampa



Nota. La figura muestra los diferentes escenarios de CN = 78 para las velocidades de los niveles de peligro bajo, medio y alto en Masupampa.

5.1.4. **Resultados del objetivo específico 3**

Aplicaremos la fórmula propuesta por Takahashi (1991, como se citó en Ordoñez y Ruiz, 2019) donde la cantidad máxima del flujo de detritos se establece a través del caudal de agua y el material suspendido, teniéndose la siguiente ecuación, ya planteada anteriormente:

$$Q = Ql * BF$$

$$BF = \frac{1}{1 - Cv}$$

$$Q = Ql * \frac{1}{1 - Cv}$$

Donde:

Q: Caudal total del flujo de detritos (m³/s)

Ql: Caudal líquido (m³/s)

BF: Factor de volumen (Bulking factor)

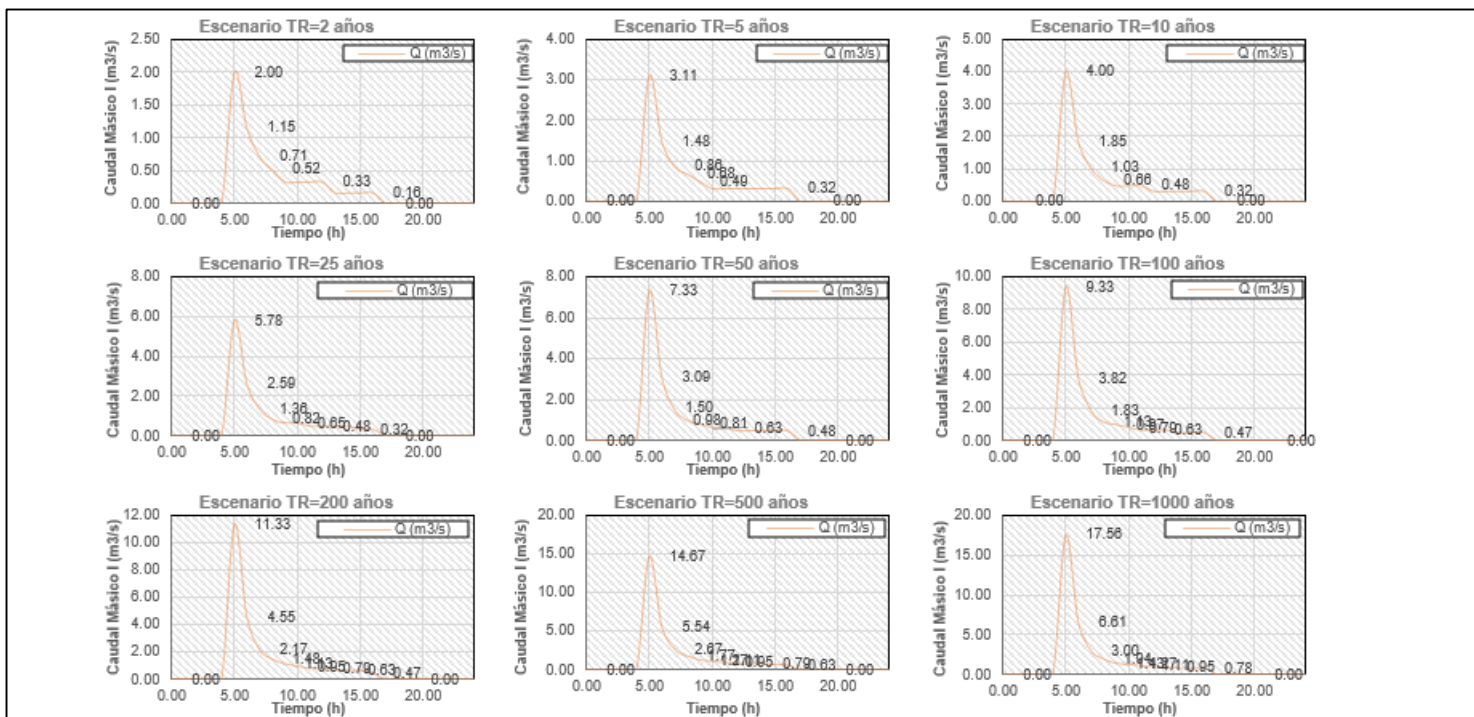
Cv: Concentración volumétrica de detritos

La concentración volumétrica (Cv) se empleó en la Tesis una variación en el rango de 0.35 a 0.55, dependiendo de la magnitud del flujo que se esté analizando, siendo este caso flujo de detritos.

Resultados de caudales máximos generados por los flujos de detritos con la aplicación del modelo FLO-2D en la zona de Masupampa para escenarios 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, CN = 78

Figura 25

Hidrogramas del flujo de detritos para diferentes TR desde 2 a 1000 años (CN=78)



Nota. La figura muestra los diferentes escenarios de CN = 78 para los caudales del flujo de detritos.

5.2. Discusión de resultados

El debate de los resultados logrados de Masupampa del distrito de Tapairihua provincia de Aymaraes por flujos de detritos, se tienen los siguientes:

5.2.1. *Discusión de Resultados del objetivo general*

Tabla 24

Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la magnitud del peligro asociado a flujos de detritos

Zona de Estudio	Para determinar el efecto de las precipitaciones máximas, se emplearon 61 datos históricos recopilados desde 1964 hasta 2024. Durante la prueba de datos dudosos, se utilizó exactamente esa misma cantidad de registros. Con un nivel de confianza del 5%, se logró un buen ajuste de la distribución mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, basándose en la información hidrológica y meteorológica proveniente de cuatro estaciones: Aymaraes, Andahuaylas, Granja San Antonio en Abancay y Paucaray. Estas estaciones son consideradas confiables y están ubicadas cerca del campo de estudio, lo cual respalda la exactitud de los resultados alcanzados. Además, se aplicó el modelo FLO-2D para diferentes periodos de retorno, el cual permitió generar los niveles de peligros vinculados a flujos de detritos.
Khan et al. (2022)	La información hidrológica y meteorológica recopilada durante los últimos 20 años. Este análisis asegura la precisión de los resultados logrados, confirmando la fiabilidad de la estación y su cercanía al área de estudio. Utilizó técnicas de teledetección, DEM y el índice de peligrosidad para caracterizar las áreas de riesgo, en cuencas montañosas se identificaron zonas de alto riesgo donde los factores topográficos y las lluvias intensas incrementan la probabilidad de flujos de detritos.
Análisis comparativo	Ambos estudios sostienen que se dispone de información hidrológica y meteorológica confiable cuando las estaciones están ubicadas cerca de la zona de análisis y disponen los últimos o más de 20 años de datos o registros históricos. Además, en cuencas montañosas, y el uso de modelos digitales y el software FLO-2D muestra una adecuada capacidad de simulación en distintos periodos de retorno para evaluar los niveles de peligro ocasionados por los flujos de detritos.

5.2.2. *Discusión de Resultados del objetivo específico 1*

Tabla 25

Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la extensión de la zona de amenaza provocada por los flujos de detritos

Zona de Estudio	En la presente tesis se aplica el modelo FLO-2D para la determinación de áreas de amenaza por flujos de detritos, para diferentes TR obteniendo resultados: Para CN=78 (curva calculada) se tiene áreas de amenaza generado por los flujos de detritos de A = 10.95, 15.84, 21.71, 25.16, 29.58, 34.35, 38.18, 46.23 y 49.42% en escenarios de TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años respectivamente. Ya que se piensa correlacional las precipitaciones máximas generadas en diferentes periodos de retorno, con las áreas de amenaza generado por los flujos de detritos siendo este último valor relacionado a la concentración volumétrica Cv variable del sedimento.
Chacon et al. (2025)	Menciona que los flujos de escombros no newtonianos, donde realizó un modelado de lluvia-escorrentía en HEC-HMS utilizando 25 años de datos de precipitación, y se ejecutaron simulaciones hidráulicas en HEC-RAS 6.6, incorporando parámetros

Villasante (2022)	reológicos, donde la metodología propuesta y los hallazgos ofrecen una guía práctica para el diseño hidráulico en terrenos montañosos afectados por flujos de escombros. Se emplea el modelo FLO-2D para simular el desplazamiento de detritos en la quebrada de Chinchíña, ubicada en Pacsica. Como resultado, se identifica una zona de riesgo que abarca el 40.85 % del área, considerando un período de retorno de 100 años, clasificándola como una región con un nivel de peligrosidad muy alto.
Análisis comparativo	La presente investigación y de Chacon et al. (2025), coinciden en incorporar un modelado de lluvia – escorrentía en HEC – HMS utilizando 25 años de datos de precipitación, así como los parámetros reológicos para el modelado hidráulico en terrenos montañosos afectados por flujos de escombros o detritos. La presente investigación y de Villasante (2022), coinciden en el uso del modelo FLO-2D para determinar el área de amenaza generada por los flujos hiperconcentrados, habiendo una ligera aproximación en la determinación del área de amenaza en % para el periodo de retorno superiores a 100 años, esta comparación es de aporte ya que ayuda a determinar que, valores cercanos al 40% es considerado como zona de nivel de nivel de peligrosidad de alto riesgo.

5.2.3. *Discusión de Resultados del objetivo específico 2*

Tabla 26

Estudio comparativo sobre el impacto de las precipitaciones extremas y la velocidad máxima inducida por flujos de detritos

Zona de Estudio	El análisis se realizó por medio de la aplicación del Modelo FLO-2D, permitiendo determinar la velocidad máxima del flujo de detritos para distintos periodos de retorno. Los hallazgos que se han conseguido en esta investigación reflejan los valores específicos correspondientes a cada intervalo de recurrencia. Para CN=78 (curva calculada) se tiene velocidades máximas generada por los flujos de detritos de V = 4.10, 6.60, 7.10, 7.60, 8.00, 8.00, 8.10, 8.40 y 8.20 m/s en escenarios de TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años respectivamente. Ya que se piensa correlacional las precipitaciones máximas generadas en diferentes periodos de retorno, con la velocidad máxima generado por los flujos de detritos siendo este último valor relacionado a la concentración volumétrica Cv variable del sedimento.
Paredes (2024)	Aplica el enfoque de simulación numérica a través del software FLO-2D para modelar flujos hiperconcentrados, obtiene como resultados las velocidades más altas de 9.83 m/s y 9.13 m/s para CN=75 y CN=71, respectivamente a diferentes periodos de retorno.
Análisis comparativo	Ambos estudios presentan una aproximación similar en los resultados relacionados con la velocidad máxima producida por los flujos de detritos o hiperconcentrados a partir de periodos de retorno mayores a 100 años. Es importante señalar que esta velocidad está influenciada por la concentración volumétrica del sedimento, Cv, por lo que en la presente investigación se consideró un valor variable de Cv, que oscila entre 0.35 y 0.55 como valor máximo.

5.2.4. *Discusión de Resultados del objetivo específico 3*

Tabla 27

Estudio comparativo del impacto de las precipitaciones extremas y el caudal máximo producido por los flujos de detritos

Zona de Estudio	Considerando que área de cuenca es 3.218 km ² , se realiza el estudio con apoyo del Modelo FLO-2D para el cálculo del caudal del flujo de detritos, con previa determinación del caudal líquido para diferentes periodos de retorno, utilizando caudales líquidos para
-----------------	---

	<p>CN=78 (curva calculada) de QI = 0.90, 1.40, 1.80, 2.60, 3.30, 4.20, 5.10, 6.60, y 7.90 m³/s; en escenarios de TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años respectivamente. Dichos caudales líquidos ayudaron a determinar el caudal del flujo de detritos considerando una concentración volumétrica Cv del sedimento variable de 0.35 a 0.55 como valor máximo, el cual se obtuvieron aplicando la fórmula propuesta por Takahashi (1991, (Ordoñez Castro de Gabrielli & Ruiz Zelada, 2019) donde el caudal máximo del flujo de detrito se determina mediante el caudal de agua y material en suspensión, obteniéndose los siguientes resultados:</p> <p>Para CN=78 (curva calculada) se tiene caudales máximos generado por los flujos de detritos de Q = 2.00, 3.11, 4.00, 5.78, 7.33, 9.33, 11.33, 14.67 y 17.56 m³/s en escenarios de TR = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años respectivamente.</p> <p>Ya que se piensa correlacional as precipitaciones más altas junto con el caudal de los flujos de detritos dados en diferentes periodos de retorno.</p>
Villasante (2022)	Tiene como resultado un caudal máximo de 62.53 m ³ /s de flujo de detritos mediante el programa FLO-2D, considerando un escenario de 100 años. Considerando que la quebrada en estudio es Chinchña ubicado en Aymaraes con un área de cuenca de 49.99 km ²
Análisis comparativo	Ambas investigaciones coinciden en el uso del modelo FLO-2D para determinar el caudal máximo del flujo de detrito para cuencas ubicadas en Aymaraes habiendo una ligera proporción en el establecimiento del caudal máximo para el tiempo de retorno de 100 años. Por lo que la aproximación en dichos resultados dependerá del área de la cuenca y el número de curva, puesto que en esta investigación actual se empleó escenarios de CN = 78 curva calculada.

5.3. Prueba de Hipótesis

Tras haber llevado a cabo el análisis descriptivo, se continúa con el análisis inferencial, cuyo propósito es determinar si existe una relación significativa entre las precipitaciones máximas registradas y el nivel de peligro asociado a los flujos de detritos en la zona de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, en el año 2024.

5.3.1. Hipótesis general

Se proponen las siguientes hipótesis: la hipótesis alternativa y la hipótesis nula.

La hipótesis nula $H_0: \rho = 0$

H_0 : No existe correlación significativa entre la precipitación máxima y el nivel de peligro que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024. Para distintos TR con CN = 78.

La hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$

H_1 : Existe correlación significativa entre la precipitación máxima y el nivel de peligro que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024. Para distintos TR con CN = 78.

5.3.2. Hipótesis específicas

En la presente Tesis se determinaron las siguientes hipótesis específicas:

Hipótesis específica 1

- La hipótesis nula $H_0: \rho = 0$

H_0 : No existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024, para los distintos TR con CN = 78.

- La hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$

H_1 : Existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024, para los distintos TR con CN = 78.

Tabla 28

Valores de precipitaciones máximas y área de amenaza en diferentes periodos de retorno

Periodos de retorno	PP max (mm)	Área de amenaza (m ²)
TR-2 años	14.86	10.95%
TR-5 años	16.51	15.84%
TR-10 años	17.89	21.71%
TR-25 años	19.88	25.16%
TR-50 años	21.53	29.58%
TR-100 años	23.32	34.35%
TR-200 años	25.26	38.18%
TR-500 años	28.07	46.23%
TR-1000 años	30.4	49.42%

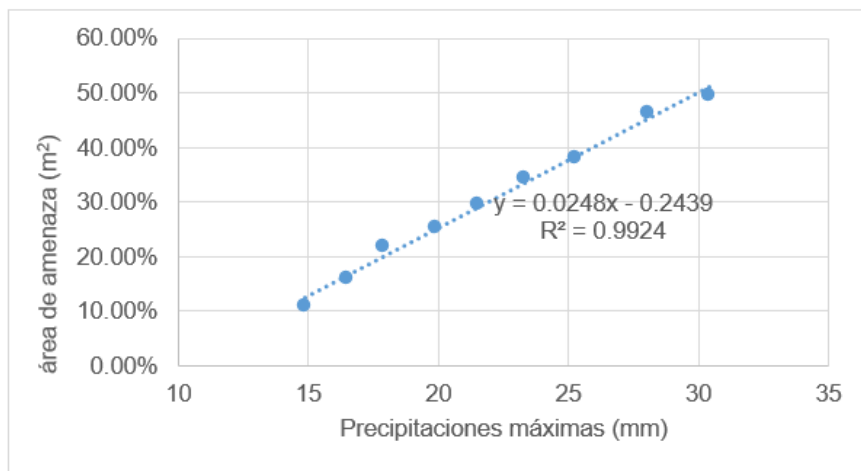
Nota. Esta tabla muestra los valores de precipitación máxima versus el área de amenaza para los diferentes periodos de retorno.

Mediante la utilización del coeficiente de correlación de Pearson, conocido como "r", se obtuvo un valor de 0.9962. Este resultado indica una relación positiva sumamente intensa entre las variables analizadas. En concreto, la correlación se

estableció entre las precipitaciones máximas, expresadas en milímetros, y el área de amenaza, medida en metros cuadrados, generada por los flujos de detritos.

Figura 26

Correlación lineal entre el área de amenaza (m^2) y las precipitaciones máximas (mm).



Nota. Un valor de $r=0.9962$ se observa, lo que indica una correlación lineal positiva muy fuerte entre las máximas precipitaciones (mm) y el área de amenaza (m^2).

El coeficiente de correlación no es igual a cero. Por lo tanto, hay una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024, para los distintos TR con CN = 78.

Hipótesis específica 2

- La hipótesis nula $H_0: \rho = 0$

H_0 : No existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024., para distintos TR con CN = 78.

- La hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$

- H_1 : Existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024., para distintos TR con CN = 78.

Tabla 29

Valores de precipitaciones máximas y la velocidad máxima en diferentes periodos de retorno

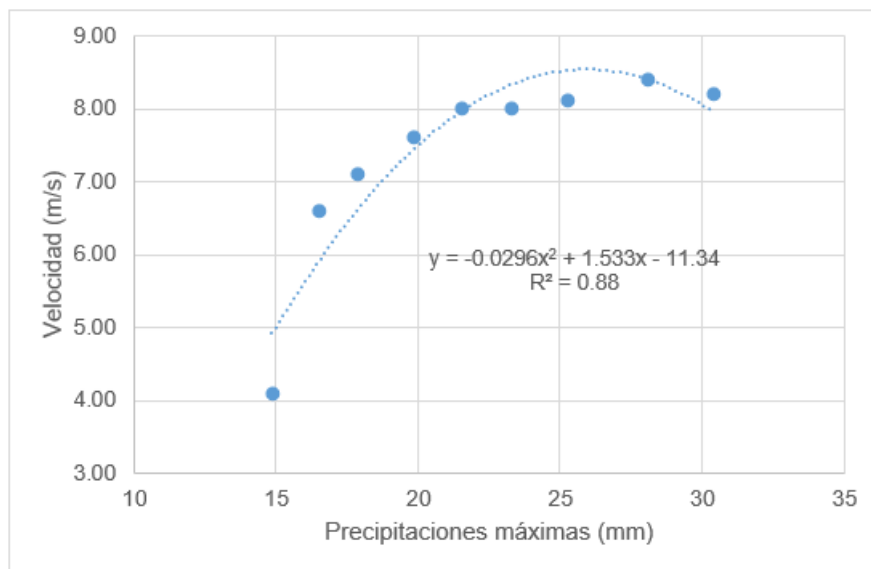
Periodos de retorno	PP max (mm)	Velocidad máxima (m/s)
TR-2 años	14.86	4.10
TR-5 años	16.51	6.60
TR-10 años	17.89	7.10
TR-25 años	19.88	7.60
TR-50 años	21.53	8.00
TR-100 años	23.32	8.00
TR-200 años	25.26	8.10
TR-500 años	28.07	8.40
TR-1000 años	30.4	8.20

Nota. Esta tabla muestra los valores de precipitación máxima versus la velocidad máxima para los diferentes periodos de retorno.

Mediante la utilización del coeficiente de correlación de Pearson, representado por la letra "r", se obtuvo un valor de $r = 0.9381$. Este resultado indica una relación positiva altamente significativa entre las variables analizadas, específicamente entre las precipitaciones máximas, expresadas en milímetros, y la velocidad máxima, medida en metros por segundo, generada por los flujos de detritos.

Figura 27

Correlación polinómica entre velocidad máxima (m/s) y precipitaciones máximas (mm)



Nota. Se observa un valor de $r=0.9381$, lo que indica una correlación polinómica positiva muy fuerte entre las precipitaciones máximas (mm) y la velocidad máxima (m/s).

- El coeficiente de correlación no es igual a cero. Por lo tanto, hay una correlación importante entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024., para distintos TR con CN = 78.

Hipótesis específica 3

- La hipótesis nula $H_0: \rho = 0$

H_0 : No existe una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo que generan los flujos de detritos en la zona de Masupampa, 2024, para distintos TR con CN = 78.

- La hipótesis alternativa $H_1: \rho \neq 0$

H_1 : Para el año 2024, en la zona de Masupampa, distrito de Tapairihua, Aymaraes, se ha detectado una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y

el caudal máximo producido por corrientes de detritos para los diversos periodos de retorno con CN igual a 78.

Tabla 30

Valores de precipitaciones máximas y el caudal máximo en diferentes periodos de retorno

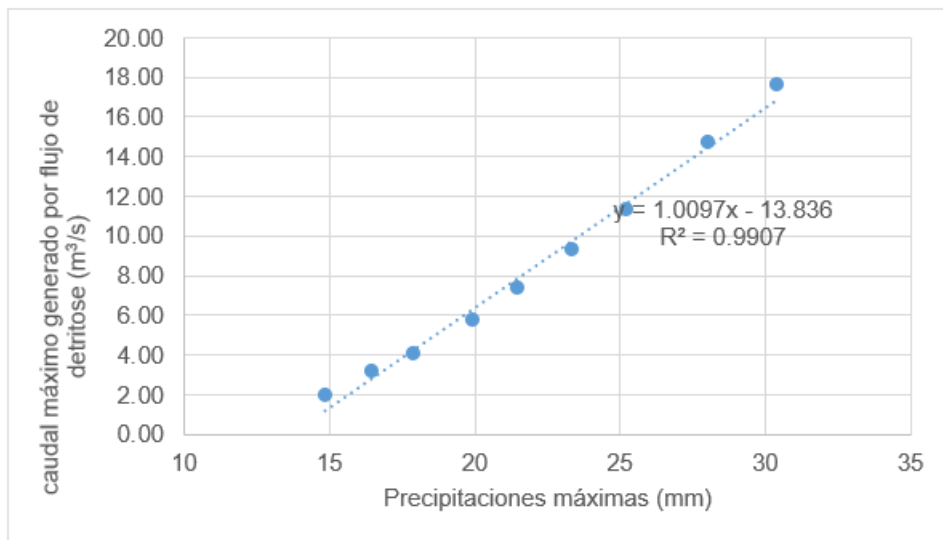
Periodos de retorno	PP max (mm)	Caudal máximo (m³/s)
TR-2 años	14.86	2.00
TR-5 años	16.51	3.11
TR-10 años	17.89	4.00
TR-25 años	19.88	5.78
TR-50 años	21.53	7.33
TR-100 años	23.32	9.33
TR-200 años	25.26	11.33
TR-500 años	28.07	14.67
TR-1000 años	30.4	17.56

Nota. Esta tabla muestra los valores de precipitación máxima versus el caudal máximo para los diferentes periodos de retorno.

Aplicando el cálculo de coeficiente de correlación de Pearson “r” se tiene el valor de $r = 0.9953$, mostrando una correlación positiva muy fuerte; aplicado para las precipitaciones máximas (mm) vs el caudal máximo (m³/s) generado por los flujos de detritos.

Figura 28

Correlación lineal entre las precipitaciones máximas (mm) y el caudal máximo (m^3/s)



Nota. La relación entre las precipitaciones máximas (mm) y el caudal máximo (m^3/s) es de tipo lineal positiva muy fuerte, con un valor de $r=0.9953$.

El coeficiente de correlación no es igual a cero. Por lo tanto, una correlación significativa entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo que generan los flujos de detritose en Masupampa, 2024, para distintos TR con CN = 78.

VI. Conclusiones

- ✓ Al evaluar la correlación entre las precipitaciones máximas y el nivel de peligro generado por flujos de detritos en la zona de Masupampa, distrito de Tapairihua, Aymaraes, 2024; se cuenta con datos estadísticos adecuados que permiten afirmar que el coeficiente de correlación no es nulo en todas las pruebas de hipótesis específicas, lo que indica la existencia de una relación estadísticamente significativa entre ambas variables. Además, para diferentes periodos de retorno con CN = 78, esta relación se caracteriza como una correlación lineal positiva muy fuerte, sugiriendo que a medida que aumentan las precipitaciones máximas, también aumenta el nivel de peligro generado por los flujos de detritos en la zona estudiada.
- ✓ Al establecer la correlación existente entre las precipitaciones máximas y el área de amenaza provocada por flujos de detritos en la localidad de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, para el año 2024, se cuenta con un conjunto de datos estadísticamente adecuados que permiten afirmar que el coeficiente de correlación no es nulo. Esto implica que hay una relación estadísticamente significativa entre las variables: las precipitaciones máximas y el porcentaje del área afectada por los flujos de detritos en dicha zona. Específicamente, para los diversos períodos de retorno contemplados en un índice de CN = 78, la correlación observada es de carácter lineal, positiva y muy fuerte, evidenciando que a medida que aumentan las precipitaciones máximas en milímetros, también se incrementa de manera significativa el porcentaje del área de amenaza generado por estos flujos. Estos resultados sugieren que, a mayores precipitaciones máximas, mayor es el área afectada por flujos de detritos en la zona estudiada.
- ✓ Al identificar la correlación entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima de los flujos de detritos en el área de Masupampa, ubicado en Tapairihua, Aymaraes, en 2024, se cuenta con datos estadísticos adecuados que respaldan la existencia de una

relación significativa. Específicamente, El coeficiente de correlación no es igual a cero, lo que indica una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables. Para los diferentes periodos de retorno de CN = 78, se observa una correlación polinómica positiva muy fuerte entre las precipitaciones máximas (mm) y la velocidad máxima (m/s) generada por los flujos de detritos. Esto sugiere que, a mayores precipitaciones máximas, también aumenta la velocidad de los flujos, evidenciando una relación directa y significativa en la zona estudiada.

- ✓ Al determinar la correlación entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo producido por los flujos de detritos en la localidad de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, durante el año 2024, se dispone de datos estadísticos pertinentes que permiten concluir que el coeficiente de correlación no es igual a cero. Este hallazgo evidencia la presencia de una relación significativa entre la magnitud de las precipitaciones extremas y el caudal máximo generado por los flujos de detritos en dicha zona. Es importante destacar que, para los diferentes periodos de retorno considerados, específicamente con un CN igual a 78, la correlación observada se caracteriza por ser de naturaleza lineal positiva y de grado muy fuerte, estableciendo así una relación estrecha entre las precipitaciones máximas, expresadas en milímetros, y el caudal máximo, medido en metros cúbicos por segundo, resultante de los flujos de detritos. Estos resultados permiten afirmar que un incremento en las precipitaciones máximas está asociado a aumentos en el caudal máximo, evidenciando lo relevante que es tener en cuenta estos factores a la hora de administrar de riesgos en la zona.

VII. Recomendaciones

- ✓ Al evaluar la relación entre las precipitaciones máximas y el nivel de peligro generado por flujos de detritos en la zona de Masupampa, distrito de Tapairihua, Aymaraes, 2024, se ha identificado una correlación lineal positiva muy fuerte entre ambas variables. Ante esto, se recomienda implementar un monitoreo continuo de los niveles y flujos de agua mediante sensores especializados para la medición de precipitaciones y caudales. Esta estrategia permitirá detectar oportunamente situaciones en las que se alcancen o se acerquen a los umbrales críticos de lluvias o flujos máximos, correspondientes a diferentes periodos de retorno, facilitando así una gestión preventiva y efectiva.
- ✓ Tras establecer los datos relacionados con las precipitaciones máximas y el área de amenaza causada por flujos de detritos en la localidad de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, durante el año 2024, se ha constatado la existencia de una correlación lineal positiva de alta intensidad entre estas dos variables. Considerando que la zona de Masupampa, ubicada a lo largo de la carretera que atraviesa el distrito de Tapairihua se recomienda a las autoridades planifiquen charlas dirigidas a los habitantes de la carretera. Estas actividades deben enfocarse en concientizar sobre la importancia de la prevención de catástrofes naturales, especialmente aquellos de origen hidrogeológico, y en promover prácticas preventivas que reduzcan peligros relacionados con eventos climáticos extremos en la zona.
- ✓ Tomando considerando los hallazgos que se han obtenido en el estudio al identificar la correlación entre las precipitaciones máximas y la velocidad máxima alcanzada por los flujos de detritos en la localidad de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, durante el año 2024, se observa una correlación significativa que facilita una mejor comprensión de la dinámica de estos acontecimientos en la región, siendo una correlación polinómica positiva muy fuerte; se recomienda que, a largo plazo, se implementen medidas para estabilizar la cuenca alta de la región. Estas acciones

permitirían reducir notablemente la sedimentación en el cauce, abriendo la posibilidad de realizar investigaciones hidrogeológicas para aprovechar el recurso de agua subterránea en la zona. Además, la estabilización contribuiría a incrementar la seguridad en las laderas del cerro Masupampa.

- ✓ Considerando los resultados obtenidos al determinar la correlación entre las precipitaciones máximas y el caudal máximo producido por flujos de detritos en la localidad de Masupampa, ubicada en el distrito de Tapairihua, Aymaraes, durante el año 2024, siendo una correlación lineal positiva muy alta; se recomienda la implementación de modelos computacionales avanzados, como FLO-2D. Este software es uno de los más empleados globalmente para el análisis de flujos de detritos. En el presente estudio de tesis, se elaboraron distintos escenarios de inundación, identificándose el más severo, los resultados indican que la carretera Santa Rosa - Antabamba, en Masupampa, no soportaría condiciones extremas con caudales de flujo de detritos superiores a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que un huaico de esa magnitud podría causar daños significativos en el transporte de la zona.

VIII. Referencias bibliográficas

- Aparicio Mijares, F. J. (1999). *Fundamentos de hidrología de superficie* (8. reimpr). Limusa Noriega Ed.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de Investigación—Introducción a la metodología de investigación científica* (Sexta Edición). Editorial Episteme.
<https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de Investigación Científica para ingenieros*. Biblioteca Nacional del Perú.
https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial* (Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional de la Rectoría General). Universidad Autónoma Metropolitana. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2012/04/PrincipiosyFundamentosdelaHidrologiaSuperficial.pdf>
- Castillo Navarro, L. F. (2006). *Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0077.pdf>
- Castillo Navarro, L. F., & Quisca Astocahuana, S. I. (2007). *Curso Taller: Modelamiento de la ocurrencia, desarrollo y deposición de flujos de huaycos en Microcuencas—Modelo FLO-2D* (p. 53) [Manual].
- Celi Farfan, J. C., & Tanta Arcos, F. Y. (2019). *Modelamiento y simulación de la Quebrada Llocllamayo para control de flujo de escombros – Región de Puno* [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2649>

- CENEPRED. (2014). *[CENEPRED] Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02. (Biblioteca SIGRID) (p. 248) [Manual].*
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>
- Chacon Lima, D., Huarca Pulcha, A., Torrejon Llamoca, M., Noriega Aquis, G. Y., & Espinoza Vigil, A. J. (2025). Hydraulic Modeling of Newtonian and Non-Newtonian Debris Flows in Alluvial Fans: A Case Study in the Peruvian Andes [Modelado hidráulico de flujos de escombros newtonianos y no newtonianos en abanicos aluviales: Un estudio de caso en los Andes peruanos]. *Water*, 17(2150), 25.
<https://doi.org/10.3390/w17142150>
- Chang, M., Liu, Y., Zhou, C., & Che, H. (2020). Hazard assessment of a catastrophic mine waste debris flow of Hou Gully, Shimian, China. *Engineering Geology*, 275, 105733.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105733>
- Chiroque Herrera, C. A., & Núñez Juárez, S. (2021). Deslizamiento y flujo de detritos en la quebrada Pusmalca: Aspectos geológicos y geodinámicos que condicionaron el megaevento. *Repositorio Institucional INGEMMET.*
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/4340>
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos* (M. E. Suárez R., Ed.; Primera). McGraw-Hill.
https://www.academia.edu/43519012/Ven_Te_Chow_HIDRAULICA_DE_CANALES_ABIERTOS
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (1era ed.). McGraw-Hill. <https://es.slideshare.net/slideshow/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-116834237/116834237>
- COEN. (2019). *Reporte complementario N° 1101—27/04/2019 / COEN - INDECI / 10:40 Horas* (p. 4) [Reporte N° 01]. Centro de Operaciones de Emergencia Nacional.
<https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/REPORTE->

COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-1101-27ABR2019-HUAICO-EN-EL-DISTRITO-DE-TAPAIRIHUA-APUR%C3%8DMAC1.pdf

De la Cruz Gutierrez, M. A. (2021). *Estimación de riesgos por flujos de detritos en la quebrada San Jerónimo Lunahuana—Cañete* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Federico Villarreal <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5121>

Farfan Medina, A., & Morales Aragon, P. (2024). *Evaluación del peligro y vulnerabilidad para determinar el nivel de riesgo por movimientos en masa de la quebrada Kuychihuaycco, distrito de San Sebastián, Cusco—2023* [Tesis de Pregrado, Universidad San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional de la Universidad San Antonio Abad del Cusco <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8418?show=full>

Gallegos-Cedillo, J., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Juárez-Méndez, J. (2016). Estimation of missing daily precipitation and maximum and minimum temperature records in San Luis Potosí [Estimación de registros diarios faltantes de precipitación y temperatura máxima y mínima en San Luis Potosí]. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(1), 3-16. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2015.11.008>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (M. I. Rocha Martínez, Ed.; Sexta). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. <https://www.yumpu.com/es/document/read/61872748/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicioncompressed>

Huaman Martinez, P. J., & Tito Ramos, N. M. (2020). *Modelado de flujos de lodo y escombros aplicando FLO-2D, de la subcuenca de río Sicra, Lircay—Huancavelica* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio

Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3339>

- INDECI-COEN. (2024). *Reporte Complementario N° 466-15/1/2024/COEN-INDECI/ 19:45 Horas* (Reporte N° 01 No. 466; p. 5). <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2024/01/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N.%C2%BA-466-15ENE2024-HUAICO-EN-EL-DISTRITO-DE-TAPAIRIHUA-APUR%C3%8DMAC-1.pdf>
- Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & El Beyrouthy, N. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific Data*, 6(1), 145. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0155-x>
- Khan, M. A., Mustafa, Z., Harahap, I. S. H., Ibrahim, M. B., & Al-Atroush, M. E. (2022). Assessment of Physical Vulnerability and Uncertainties for Debris Flow Hazard: A Review concerning Climate Change. *Land*, 11(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/land11122240>
- Kumar, A., & Sarkar, R. (2023). Debris Flow Susceptibility Evaluation—A Review. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 47(3), 1277-1292. <https://doi.org/10.1007/s40996-022-01000-x>
- Luque Aldana, F. A. G., & Catacora Calderón, J. M. (2021). *Evaluación de riesgos por flujo de detritos en las asociaciones Nueva Barranquilla y Wari del Distrito ciudad Nueva—Tacna 2021* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional de la Universidad Privada de Tacna <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2195/Luque-Aldana-Catacora-Calderon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marchi, L., Cazorzi, F., Arattano, M., Cucchiaro, S., Cavalli, M., & Crema, S. (2021). Debris flows recorded in the Moscardo catchment (Italian Alps) between 1990 and 2019.

- Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(1), 87-97.
<https://doi.org/10.5194/nhess-21-87-2021>
- Martínez Bencardino, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13.^a ed.). Ecoe Ediciones.
<https://ies-booklick.s3.amazonaws.com/1626728222781-Estadistica-MuestreoCiro1-198.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* (p. 222) [Manual].
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Municipalidad Distrital de Tapairihua. (2017). *Informe de análisis de riesgos del Proyecto a nivel de Expediente Técnico: «Mejoramiento y ampliación de los servicios educativos en la institución educativa Primaria N° 54370 y Secundario Albert Einstein de la localidad de Socco, distrito de Tapairihua—Aymaraes—Apurímac»* (Informe de análisis de riesgos No. 1; p. 52).
- Ordoñez Castro de Gabrielli, J. R., & Ruiz Zelada, A. B. (2019). *Propuesta de un modelo numérico y alternativas para el control del flujo de detritos quebrada Tingo—Pataz—Perú* [Tesis pregrado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2717>
- Paredes Catalan, Y. C. (2024). *Efecto de las precipitaciones máximas en el nivel de peligro generado por flujos hiperconcentrados aplicando el modelo FLO-2D en la quebrada de Sahuanay, distrito de Tamburco, Abancay, Apurímac, 2021* [Tesis pregrado para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes
<http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3776>
- Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC- Perú. (2012). *Amenazas ante eventos de movimientos en masa e inundaciones, áreas críticas y medidas de mitigación en la región Apurímac* (p. 92) [Informe Final de investigación del estudio

- bi-regional]. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-apurimac/archivos/public/docs/1471.pdf>
- Santuyo Marca, R. C., & Zambrano Orosco, C. A. (2019). *Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio-Chosica-Perú-2019* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2610>
- Tupac Yupanqui, J. (Director). (2018). *Prueba de Hipótesis de Correlación* [Video recording]. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5749>
- Vásquez Villanueva, A., Mejía M., A., Faustino M, J., Terán A., R., Vásquez R., I., Díaz R., J., Vásquez R., C., Castro A., A., Tapia M., M., & Alcántara R., J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas* (Primera edición). Universidad Nacional Agraria La Molina. https://www.sancristoballibros.com/libro/manejo-y-gestion-de-cuencas-hidrograficas_75134
- Villasante Escalante, A. B. (2022). *Evaluación de los niveles de riesgos por flujo de detritos en la quebrada Chinchña localidad Pacsica, distrito Justo Apu Sahuaraura, Aymaraes, Apurímac 2021* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes] Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/476>
- Villón Bejar, M. (s. f.). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronomo Tropical de Investigacion y Enseñanza. Recuperado 26 de marzo de 2024, de <https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/items/show/22>
- Villón Béjar, M. (2005). *HIDROESTA 2* (Versión 2) [MaxSoft]. Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

https://mega.nz/#!98IFHLTK!kycxloh9jbXHzh3VKIs4YeMzIOI_ABgAzO89B3ekYM

U

Vivas, M. I. (2015). *Aplicación del modelo FLO-2D para evaluar medidas de mitigación ante la ocurrencia de huaicos*. <https://institutodelperu.pe/wp-content/uploads/2015/11/Maria-Isabel.pdf>

Yucra Inca, F. J. (2023). *Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento hidrológico de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/531>

Zegers, G., Mendoza, P. A., Garces, A., & Montserrat, S. (2020). Sensitivity and identifiability of rheological parameters in debris flow modeling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7), 1919-1930. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1919-2020>

Zhou, J., Huang, J., Sun, Z., Yi, Q., & He, A. (2024). Machine learning approaches to debris flow susceptibility analyses in the Yunnan section of the Nujiang River Basin. *PeerJ*, 12, e17352. <https://doi.org/10.7717/peerj.17352>

Zhou, Y., Yue, D., Liang, G., Li, S., Zhao, Y., Chao, Z., & Meng, X. (2022). Risk Assessment of Debris Flow in a Mountain-Basin Area, Western China. *Remote Sensing*, 14(12), 2942. <https://doi.org/10.3390/rs14122942>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes