

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



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

TESIS

“Umbrales de precipitación en el pronóstico y seguimiento de movimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, 2023”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Alvarado Toribio, Pierre Gustavo

ASESORA: Arteaga Espinoza, Ingrid Delia Dignarda

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

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

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

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

D

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72910321

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73645168

Grado/Título: Máster en dirección de proyectos

Código ORCID: 0009-0001-0745-5433

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Narro Jara, Luis Fernando	Maestro en ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	18206328	0000-0003-4008-7633
2	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769
3	Valdivieso Echevarría, Martín César	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135

H



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 09:30 horas del día **viernes 05 de julio de 2024**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- ❖ MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA - PRESIDENTE
- ❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO - SECRETARIO
- ❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA - VOCAL


Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 1452-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"UMBRALES DE PRECIPITACION EN EL PRONOSTICO Y SEGUIMIENTO DE MOVIMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS EN EL DISTRITO DE SANTA MARIA DEL VALLE, PROVINCIA DE HUÁNUCO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO, 2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. Pierre Gustavo ALVARADO TORIBIO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **Aprobado por Unanimidad** con el calificativo cuantitativo de **14** y cualitativo de **Suficiente** (Art. 47).

Siendo las **10^h 30'** horas del día 05 del mes de julio del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA
DNI: 18206328
ORCID: 0000-0003-4008-7633
PRESIDENTE


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


MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: ALVARADO TORIBIO, PIERRE GUSTAVO, de la investigación titulada “Umbral de precipitación en el pronóstico y seguimiento de movimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, 2023”, con asesora ARTEAGA ESPINOZA, INGRID DELIA DIGNARDA, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1520-2023-D-FI-UDH del P.A. de INGENIERIA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 17 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 06 de junio de 2024



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



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

Trabajo de Investigacion_AlvaradoToribio - Segunda OBSERVACION Corregida.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

17 %	17 %	4 %	4 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	6 %
2	orcid.org Fuente de Internet	3 %
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2 %
4	pdfcookie.com Fuente de Internet	1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
6	www.senamhi.gob.pe Fuente de Internet	1 %



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



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

DEDICATORIA

A mis padres Gustavo Alvarado y Rita Toribio, pues sin ellos no hubiera logrado cumplir mis objetivos. Por su bendición, apoyo a diario y consejos me llevaron por el camino del bien.

A mis hermanas, con su orientación brindada, fue necesaria para culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que desempeñaron un papel crucial en la realización de esta tesis. En primer lugar, agradezco a mis asesores y profesores por su guía experta, apoyo inquebrantable y valiosos aportes académicos. Su compromiso fue esencial para dar forma y enriquecer este trabajo. También quiero reconocer y agradecer a las instituciones, organismos y comunidades locales que facilitaron la recopilación de datos y proporcionaron recursos fundamentales para llevar a cabo esta investigación.

Mi gratitud se extiende a amigos y familiares por su constante estímulo y comprensión a lo largo de este proceso desafiante. Cada palabra de aliento fue un impulso esencial para superar obstáculos y seguir adelante.

Este logro no habría sido posible sin la colaboración y apoyo de todas las personas e instituciones mencionadas. Cada contribución, por pequeña que sea, ha dejado una marca indeleble en el éxito de este proyecto.

A todos los que fueron parte de este viaje académico, gracias de corazón por su dedicación y generosidad. Este trabajo es un testimonio de la colaboración y el esfuerzo colectivo, y estoy agradecido por cada aporte que hizo posible este logro.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I.....	14
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	16
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	21
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1. MOVIMIENTOS EN MASA.....	25
2.2.2. FLUJO DE DETRITOS.....	30

2.2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL DESPLAZAMIENTO DE DETRITOS	34
2.2.4. ELEMENTOS QUE DESENCADENAN LOS DESPLAZAMIENTO DE DETRITOS	36
2.2.5. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	37
2.2.6. LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE DEL FLUJO DE DETRITOS	39
2.2.7. UMBRALES DE PRECIPITACIÓN QUE PRODUCEN MOVIMIENTO DE FLUJO DE DETRITO	40
2.2.8. UMBRALES EMPÍRICOS-ESTADÍSTICOS DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA.....	42
2.2.9. DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA.....	43
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	47
2.3.1. MOVIMIENTO EN MASA.....	47
2.3.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO.....	47
2.3.3. MODELAMIENTO MATEMÁTICO	47
2.3.4. PRECIPITACIONES.....	47
2.3.5. CURVA HIPSOMÉTRICA	48
2.3.6. ESCORRENTÍA DIRECTA.....	48
2.3.7. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	48
2.3.8. RÍO PRINCIPAL.....	48
2.3.9. AFLUENTES	49
2.3.10.EFLUENTES	49
2.3.11.CUENCA HIDROGRÁFICA O PRINCIPAL	49
2.3.12.SERVICIO DE SEGUIMIENTO	50
2.4. HIPÓTESIS	50
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	50
2.4.2. HIPÓTESIS NULA.....	50
2.5. VARIABLES	50
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	50
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	51
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	52
CAPÍTULO III.....	53

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	53
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
3.1.1. ENFOQUE	53
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	53
3.1.3. DISEÑO	53
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.2.1. POBLACIÓN	54
3.2.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	54
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	55
3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55
3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	55
3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	56
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
3.4.1. PASO 1: EXCLUSIÓN Y DETECCIÓN DE MEDICIONES DE LLUVIA AISLADAS.....	57
3.4.2. PASO 2: DETECCIÓN DE SUBEVENTOS DE LLUVIA.....	58
3.4.3. PASO 3: AISLAMIENTO DE SUBEVENTOS DE LLUVIA IRRELEVANTES	58
3.4.4. PASO 4: DETERMINACIÓN DE EVENTOS DE LLUVIA.....	59
3.4.5. PASO 5: SELECCIÓN DE EVENTOS DE LLUVIA CON DESPRENDIMIENTO DE TIERRA.....	60
3.4.6. PASO 6: MEDICIONES DE LLUVIA PARA EVENTOS CON DESPRENDIMIENTO DE TIERRA.....	60
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS.....	61
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	61
4.1.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	61
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	78
4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL	78
CAPÍTULO V.....	80
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES.....	83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases de movimientos en masa	26
Tabla 2 Rango de rapidez según Varnes (1958)	27
Tabla 3 Escala de velocidades de los movimientos de masa	29
Tabla 4 Parámetros de la lluvia.....	42
Tabla 5 Acceso a la zona de estudio	62
Tabla 6 Características geomorfológicas relacionadas con la microcuenca en el distrito de Santa María del Valle	65
Tabla 7 Características morfológicas vinculadas a la cuenca.....	67
Tabla 8 Registro del total de eventos.....	68
Tabla 9 Umbrales de Precipitación máxima diaria para la estación de Huánuco	74
Tabla 10 Precipitación máxima 24h con diferentes periodos de retorno.....	75
Tabla 11 Parámetros de umbrales de precipitación.....	75
Tabla 12 Variación de los umbrales en función al número de sucesos	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clases de desplazamiento en masa	27
Figura 2 Flujos canalizados y flujo de pendiente abierta	30
Figura 3 Recorrido del movimiento de detritos.....	31
Figura 4 Zona de iniciación	32
Figura 5 Zona de transporte	33
Figura 6 Zona de acumulación.....	34
Figura 7 Flujo de Detritos.....	37
Figura 8 Detección y exclusión de mediciones de lluvia aisladas Fuente: Melillo et al. (2015).....	58
Figura 9 Identificación de subeventos de lluvia	58
Figura 10 Exclusión de subeventos de lluvia irrelevantes.....	59
Figura 11 Identificación de eventos de lluvia	59
Figura 12 Selección de eventos de lluvia con desprendimientos de tierra... 60	
Figura 13 Ubicación Política	61
Figura 14 Ubicación espacial de los deslizamientos.....	63
Figura 15 Microcuenca del distrito de Santa María del Valle	64
Figura 16 Estaciones meteorológicas seleccionadas	65
Figura 17 Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica.....	66
Figura 18 Curva Hipsométrica de la cuenca del Valle	67
Figura 19 Geología del distrito de Santa María del Valle	69
Figura 20 Leyenda de la geología del valle	69
Figura 21 Separación de las diferentes fases de movimientos (líneas amarillas)	71
Figura 22 Procesos de erosiones de ladera en el cuerpo del deslizamiento 72	
Figura 23 Escarpe secundario (A) y agrietamientos recientes en la superficie del terreno (B).....	72
Figura 24 Rocas metamórficas de hasta 40cm de longitud, que conforman el	

cuerpo del desplazamiento.....	72
Figura 25 Precipitación diaria obtenido de la estación pluviométrica de Huánuco	73
Figura 26 Condiciones de duración de la precipitación y de la lluvia acumulada	76
Figura 27 Validación de umbrales de precipitación.....	78
Figura 28 Variabilidad de los parámetros del modelo de umbral en función a la cantidad de eventos	80

RESUMEN

La tesis se centra en emplear umbrales de precipitación para el pronóstico y seguimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, ubicado en la provincia de Huánuco, departamento de Huánuco. Se adopta un enfoque metodológico discutido por Guzzetti et al. (2007, 2008) y Brunetti et al. (2010), que destaca la importancia de métodos objetivos y reproducibles para definir umbrales de lluvia asociados con deslizamientos de tierra.

El método modificado asume que la curva del umbral sigue una ley de potencia, proporcionando umbrales objetivos basados en la relación entre la lluvia acumulada y la duración del evento de lluvia. Se emplean técnicas estadísticas y de densidad de núcleo para determinar la probabilidad de excedencia y evaluar la incertidumbre asociada.

Los resultados revelan umbrales críticos de lluvia, destacando la importancia de establecer conexiones precisas entre la precipitación y los movimientos de flujo de detritos. A pesar de lograr umbrales promedio de duración y precipitación acumulada, se observa cierto nivel de incertidumbre relativa, lo que destaca la necesidad de considerar aspectos específicos del área de estudio.

En conclusión, la tesis contribuye al avance en la precisión del pronóstico y seguimiento de movimientos de detritos en la región, proporcionando información valiosa para la gestión y mitigación de riesgos asociados a estos fenómenos en la cuenca del distrito de Santa María del Valle.

Palabras claves: Umbrales, precipitación, pronóstico, seguimiento, movimiento.

ABSTRACT

The thesis focuses on employing precipitation thresholds for the forecast and monitoring of debris flows in the district of Santa Maria del Valle, located in the province of Huánuco, Huánuco Department. A methodological approach discussed by Guzzetti et al. (2007, 2008) and Brunetti et al. (2010) is adopted, emphasizing the importance of objective and reproducible methods to define rainfall thresholds associated with landslides.

The modified method assumes that the threshold curve follows a power law, providing objective thresholds based on the relationship between accumulated rainfall and the duration of the rainfall event. Statistical and kernel density techniques are employed to determine the probability of exceedance and assess associated uncertainty.

Results reveal critical rainfall thresholds, underscoring the importance of establishing precise connections between precipitation and debris flow. Despite achieving average thresholds for duration and accumulated precipitation, some level of relative uncertainty is observed, highlighting the need to consider specific aspects of the study area.

In conclusion, the thesis contributes to advancing the accuracy of forecasting and monitoring debris flow in the region, providing valuable insights for risk management and mitigation associated with these phenomena in the Santa Maria del Valle district watershed.

Keywords: Thresholds, precipitation, forecast, monitoring, movement.

INTRODUCCIÓN

La temporada de lluvias en el Perú, conocida como El Niño, presenta un riesgo sustancial de movimientos de detritos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas. Las intensas lluvias pueden saturar el suelo, debilitando su estabilidad y desencadenando deslizamientos en regiones propensas.

Ante este escenario, la gestión efectiva de riesgos se convierte en un desafío crítico que implica monitorear y prever las lluvias, así como identificar áreas susceptibles a deslizamientos. En este contexto, la presente tesis se enfoca en determinar umbrales mínimos de precipitación que desencadenan movimientos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco. La motivación detrás de este trabajo radica en la necesidad de prever estos desplazamientos de tierra para reducir riesgos y peligros asociados al fenómeno, contribuyendo así a estrategias de gestión de desastres más efectivas.

El aporte original del estudio se materializa en la propuesta de umbrales de precipitación basados en valores promedio de duración, precipitación acumulada e intensidad. Aunque se confirma la conexión entre la precipitación y los desplazamientos de detritos, se observan niveles de incertidumbre relativamente altos, destacando un aspecto crítico para considerar en futuras investigaciones. La metodología adoptada se basa en la adaptación de un algoritmo que detecta, calcula y asocia eventos de precipitación con movimiento de detritos, permitiendo la determinación de umbrales críticos para el movimiento de detritos. Este enfoque metodológico, respaldado por autores reconocidos en el tema, brinda una herramienta esencial en la investigación, contribuyendo a estrategias preventivas y de alerta temprana en la región de estudio.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los umbrales de precipitación desempeñan un papel de suma importancia en la comprensión y la predicción de los movimientos de detritos, un fenómeno natural que puede tener consecuencias devastadoras en áreas montañosas y terrenos empinados. Según Wang y Sassa (2003) Cuando llueve, el agua penetra en el suelo, lo que al principio disminuye la succión y luego aumenta la presión de los poros, provocando una disminución gradual de la resistencia al corte a lo largo de una superficie que podría desencadenar un deslizamiento. Estos movimientos, también conocidos como avalanchas de lodo y escombros, son eventos en los que una mezcla densa de agua, sedimentos, rocas y otros materiales desciende rápidamente por una pendiente, arrasando todo lo que encuentran a su paso. Estos eventos han demostrado su capacidad destructiva a lo largo del tiempo. han causado la destrucción de muchas carreteras y, de manera similar, han afectado gravemente a comunidades en la región. Además, han resultado en importantes pérdidas tanto humanas como económicas. Como fuente de esta información, mención a Crozier (2010),

La relación entre los umbrales de precipitación y los movimientos de detritos radica en la cantidad de lluvia necesaria para activar y desencadenar estos eventos. Los umbrales son valores específicos de precipitación, medidos en milímetros o pulgadas, que cuando se alcanzan o se superan en un período de tiempo determinado, pueden provocar el abarrotamiento del suelo y desencadenar un desplazamiento de detritos. Estos valores varían según la geología local, la vegetación, el tipo de suelo y otros factores ambientales.

Para establecer los umbrales de precipitación, se recopilan y analizan datos históricos de lluvia en la región en cuestión. A través de técnicas estadísticas, como el análisis de frecuencia y la determinación de percentiles,

se identifican los valores de lluvia que han sido asociados con eventos pasados de movimientos de detritos. Estos valores se convierten en umbrales que sirven como indicadores de alerta para los posibles desencadenantes de futuros eventos.

La comprensión de cómo los umbrales de precipitación influyen en los movimientos de detritos es esencial para la gestión de riesgos en zonas propensas a estos eventos. Los científicos y planificadores pueden utilizar estos umbrales para evaluar el potencial de activación de flujos de detritos en diferentes condiciones climáticas. Además, estos umbrales permiten establecer niveles de alerta temprana y desarrollar estrategias de mitigación, como la planificación de rutas de evacuación, la construcción de estructuras de retención y la limitación de la ocupación humana en áreas de alto riesgo.

En resumen, el vínculo entre los umbrales de precipitación y los movimientos de detritos es fundamental para la seguridad de las comunidades en áreas montañosas y empinadas. El análisis de datos históricos y la comprensión de los factores que influyen en la activación de estos movimientos permiten una mejor gestión de riesgos y la implementación de medidas preventivas para reducir el impacto de estos eventos naturales.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera los umbrales de precipitación determinan el pronóstico y seguimiento de movimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿En qué manera influye la intensidad de lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, 2023?

- ¿En qué manera contribuye la frecuencia de lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco,2023?
- ¿Cómo influye el tamaño del área de la cuenca en la aparición de flujos de detritos en la región de Santa María del Valle, ubicada en la provincia de Huánuco, dentro del departamento de Huánuco,2023?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Emplear los umbrales de precipitación para el pronóstico y seguimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco,2023.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular la intensidad de lluvia y su influencia con los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco,2023.
- Determinar la contribución de la frecuencia de lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco,2023.
- Determinar la influencia del área de la cuenca en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco,2023.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Se justificaría teóricamente debido a su impacto ambiental, su relevancia en la gestión y planificación de riesgos urbanos, así como su contribución al avance científico en geología e hidrología. Comprender

cómo estos umbrales desencadenan eventos de flujo de detritos, es esencial para mitigar impactos en ecosistemas, infraestructuras y comunidades, además de informar sobre sistemas de alerta temprana y estrategias de respuesta ante desastres naturales.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Se justifica por su potencial para salvar vidas y reducir daños materiales. Al comprender cómo ciertas cantidades de lluvia pueden desencadenar flujos de detritos, se podrían establecer sistemas de alerta temprana más efectivos, permitiendo evacuaciones y respuestas oportunas ante eventos naturales. Esta investigación práctica también tendría aplicaciones en la planificación urbana y la construcción de infraestructuras resilientes, ayudando a mitigar los riesgos y a proteger comunidades en áreas propensas a este tipo de desastres.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se justifica al permitir el desarrollo y refinamiento de modelos predictivos más precisos. Al establecer una metodología sólida para identificar umbrales específicos de lluvia que desencadenan flujos de detritos, se podría mejorar la capacidad de pronosticar eventos futuros y evaluar escenarios de riesgo. Esto proporcionaría a las autoridades y a las comunidades herramientas confiables para la adopción de decisiones informadas en la gestión de desastres naturales y en el diseño de medidas preventivas.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Las limitaciones en esta investigación incluyen la variabilidad inherente en las condiciones climáticas y geológicas de diferentes regiones, lo que dificultaría la generalización de los resultados. Además, la falta de datos históricos detallados y registros precisos de eventos pasados podría limitar la precisión al establecer umbrales específicos. También se podría enfrentar desafíos en la recopilación y análisis de datos hidrológicos y geotécnicos, así como en la estimación precisa de la relación causa-efecto entre la

precipitación y la activación de flujos. Estas limitaciones podrían influir en la confiabilidad de los resultados y en la capacidad de aplicar las conclusiones de manera amplia.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad de la presente investigación se encuentra respaldada por la disponibilidad de recursos financieros adecuados para cubrir todos los gastos relacionados, así como por una sólida disposición y compromiso para llevar a cabo el estudio. Además, es fundamental contar con un período de tiempo amplio y apropiado, que permita llevar a cabo la investigación de manera efectiva, asegurando un alto nivel de calidad en los resultados obtenidos. La factibilidad económica y logística, junto con el compromiso sostenido y el espacio temporal adecuado, establecen un marco propicio para la ejecución exitosa y la obtención de conclusiones sólidas en este proyecto de investigación

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Dante (2022) en su estudio “Evaluación de umbrales críticos de precipitación como principal detonante de la amenaza por procesos de remoción en masa” en la revista la nueva era en la ciudad de Colombia plantea determinar de manera precisa los umbrales de precipitación, fundamentales para la previsión de movimientos de detritos en el contexto del Valle de Aburrá, situado en Colombia. Para lograr esto, se recurre a un enfoque empírico que implica la consideración exhaustiva de los datos provenientes de estaciones pluviométricas, junto con los registros históricos de eventos de movimientos en masa desencadenados por las precipitaciones durante el período comprendido entre 1972 y 2021. El resultado obtenido es la generación de una proyección que refleja la probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos debido a episodios de precipitación extrema. Esta proyección se establece como una base sólida para la evaluación del riesgo asociado a este tipo de eventos y, de manera consecuente, para la instalación de sistemas de alerta temprana que tienen el propósito de prevenir y mitigar los posibles impactos negativos de tales sucesos. Este enfoque de investigación, al unir análisis meteorológicos, históricos y proyectivos, representa un valioso avance en la comprensión de la relación entre la precipitación y los desplazamientos en masa en la región del Valle de Aburrá, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y la planificación ante eventos extremos.

Según (Cerqueda Palacios, 2022) en su artículo de investigación “Determinación de la amenaza por flujo de detritos en la cuenca de la quebrada Estaquecá. en la Escala Colombiana de Ingeniería – Bogotá. Cuyo objetivo principal de esta investigación es abordar el fenómeno de

los flujos de avalanchas en Colombia, destacando su importancia como uno de los desastres naturales más significativos en el país. Se ha observado que a lo largo del territorio colombiano se han producido eventos de gran magnitud que han resultado en fatalidades humanas y daños económicos significativos. Un caso particular que se examina es la quebrada Estaquecá, ubicada en el piedemonte llanero del municipio de Quetame, que ha experimentado una actividad constante de flujos de avalanchas en las últimas tres décadas, afectando la infraestructura vial de la región.

Para lograr una comprensión más profunda de los eventos ocurridos en la quebrada Estaquecá, esta investigación se centra en tres componentes clave de la metodología: un análisis multitemporal de los deslizamientos ocurridos y la evolución de la cuenca, una caracterización hidrológica para entender el comportamiento de la cuenca en función de sus parámetros morfométricos y las condiciones de precipitación, y un análisis de las relaciones entre la lluvia previa y la lluvia en los eventos de avalanchas con el propósito de establecer un nivel umbral para la generación de movimiento de detritos en la cuenca.

Adicionalmente, se utiliza el método estadístico bivariado por pesos de evidencia para determinar la susceptibilidad a deslizamientos, utilizando un inventario de deslizamientos y una serie de mapas con factores condicionantes como datos de entrada. Esto permite establecer una correlación entre estos factores y el desarrollo de movimientos en masa en la zona. Una vez que se han identificado las áreas con alta susceptibilidad a deslizamientos en la cuenca, se procede a modelar cómo estas áreas se propagan sobre el cauce. Para este propósito, se emplea el modelo DebrisDice, que simula caminos aleatorios mediante el método de Montecarlo, generando así las trayectorias finales del flujo con base en su probabilidad.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Castro (2022) realizó la investigación "Umbral de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac" en la universidad nacional La Molina. Cuyo objetivo era determinar los desprendimientos de suelo que constituyen uno de los procesos geológicos más perjudiciales para las poblaciones, causando pérdida de vidas y daños materiales a nivel global. Por lo tanto, la utilización de umbrales de precipitación se presenta como una herramienta fundamental para anticipar la posibilidad de desprendimientos de suelo. Se plantearon objetivos específicos que incluían establecer los umbrales de precipitación y validar estos umbrales en diferentes niveles de posibilidad de excedencia. Se utilizó un conjunto de 57 eventos de lluvia que causaron un total de 110 desprendimientos de suelo en la cuenca del río Rímac entre 2005 y 2017. Los umbrales se ajustaron para diversos niveles de posibilidad de excedencia (desde el 1 hasta el 50 por ciento) y se evaluaron las ambigüedades relativas ($\Delta\alpha/\alpha$ y $\Delta\gamma/\gamma$) relacionadas con los indicadores (α y γ) del modelo ($E = \alpha \cdot D\gamma$) mediante el método estadístico. Luego, se validaron estos umbrales utilizando 24 eventos de lluvia que produjeron 72 desprendimientos de suelo. Durante la validación, se emplearon tablas de contingencia, indicadores de desempeño y un análisis de la curva ROC para evaluar los umbrales. Los resultados revelaron umbrales de precipitación para periodos de lluvia de 1 a 180 horas (D) y acumulados de precipitación que variaban de 1,5 a 116,4 mm (E), con incertidumbres relativas $\Delta\alpha/\alpha$ que oscilaban entre el 29,4 % y el 50,0 %, y $\Delta\gamma/\gamma$ del 15,4 %. Basándose en estos resultados, se derivaron umbrales de precipitación aplicables a condiciones de lluvia promedio de 57,1 horas de duración (D) y 25,0 mm de precipitación acumulada (E).

Según Peña Leiva (2023), en su tesis "Evaluación del nivel de riesgo originado por flujo de detritos del centro poblado de Puente Santiago del distrito de Quellouno, provincia de La Convención – Cusco – 2019". Donde el propósito de esta investigación se centra en la quebrada del río Santa Rosa, ubicada al sureste del centro poblado de Quellouno, donde esta cuenca fluvial se forma a partir de la confluencia

de varias quebradas, y se extiende hasta el centro poblado de Puente Santiago, donde finalmente desemboca en el río Yanatile. La quebrada ha experimentado una alta actividad geodinámica, dando lugar a la formación de un abanico aluvial. Actualmente, la quebrada continúa siendo geodinámicamente activa y propensa a deslizamientos a lo largo de su curso, que pueden desencadenarse debido a intensas precipitaciones o movimientos sísmicos. Estos deslizamientos pueden represar las aguas de la quebrada de Santa Rosa, y su liberación violenta podría originar nuevos eventos de desplazamiento de detritos, conocidos como huaycos.

Dada esta dificultad, se optó por emplear el software IBER en la investigación, ya que investigaciones previas han demostrado su eficacia en la elaboración de mapas relacionados con caudales máximos. El estudio se basó en datos proporcionados por la Municipalidad Distrital de Quellouno, que incluyeron información detallada sobre topografía y parámetros hidrológicos, como la precipitación máxima (obtenida del SENAMHI) y el coeficiente n de Manning.

Los resultados obtenidos utilizando el software IBER fueron sustanciales, produciendo mapas importantes que abarcan la velocidad del flujo, las alturas de inundación y mapas para varios períodos de retorno. Se realizaron dos simulaciones diferentes, con hidrogramas líquidos que indicaron caudales máximos de 34.44 m³/s y 40.41 m³/s para períodos de retorno de 50 y 100 años, respectivamente.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Según Santiago Torres (2023) en su tesis “Umbral de precipitación de lluvia como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico, de movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán–Distrito de San Rafael”. Realizado en la universidad Hermilio Valdizán. Se han realizado diversas investigaciones con el objetivo de profundizar en este vínculo. Para la implementación de

umbrales de precipitación, es crucial buscar umbrales específicos adaptados a las condiciones locales de cada región. Estos umbrales deben considerarse junto con las amenazas particulares de la región para la cual se establecen, lo que permitiría anticipar medidas de preventivas. Esto podría incluir el desarrollo de sistemas de pronóstico y alerta temprana, fundamentales para controlar y minimizar los impactos de dichos procesos.

En el ámbito de esta temática, se ha realizado una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo. Este estudio se clasifica también como de tipo campo, hipotético-deductivo. Su objetivo principal fue determinar umbrales de precipitación, como causal desencadenante, para el seguimiento y pronóstico de los desplazamientos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. En este estudio, se aplicó el método científico con el fin validar las hipótesis formuladas, a través de la observación para obtener información verificable, y a través de la experimentación, siguiendo una secuencia lógica y sistemática. Esto permitió verificar los resultados y aumentar los conocimientos sobre los movimientos de detritos generados por precipitaciones de lluvia (LA y LAA), definidos a través de un modelo estadístico-empírico. Después de aplicar la metodología correspondiente, se obtuvieron resultados significativos: se identificaron umbrales mínimos críticos, los más catastróficos, que desencadenan movimientos de detritos. Estos umbrales están relacionados con la lluvia acumulada (LA1) durante 18 días, que difiere entre 7.1 mm y 64.6 mm; y con LA2 durante 5 días, con un rango de 12.9 mm a 47.2 mm. La hipótesis fue respaldada mediante un enfoque estadístico-empírico que vincula la precipitación con los movimientos de detritos, considerando la humedad previa del suelo y algunos parámetros geotécnicos y geomorfológicos. A través de procesos de calibración y validación, se establecieron umbrales de manera objetiva para mejorar la capacidad de predicción y reducir posibles errores en el pronóstico y seguimiento de los movimientos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán.

La evaluación y análisis de la peligrosidad en relación con los movimientos de detritos, utilizando el enfoque de análisis jerárquico (CENEPRED), indicó rangos de peligro muy alto y alto en la parte inferior de la quebrada, niveles alto y medio en la parte intermedia, y un nivel alto de peligrosidad en la parte alta, con una predominancia de superficie en cada sección de la quebrada. Se generaron mapas de riesgo relacionados con los movimientos de detritos causados por la precipitación máxima en 24 horas y el nivel crítico de lluvia acumulada (LA1) durante 18 días. Estas simulaciones computacionales se realizaron mediante el programa FLO-2D, mostrando tres niveles de peligro: bajo, medio y alto, con predominio de niveles medio y alto en los cursos de agua en esta simulación.

Según Acha Alhuay (2022), en su investigación “Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos de detritos en la provincia de Leoncio Prado“. Cuyo propósito de este estudio se enfoca en los efectos negativos causados por las lluvias continuas que se extienden durante varios días y los consiguientes deslizamientos de tierra, que son eventos recurrentes. Existe la posibilidad de que las lluvias previas sean un factor desencadenante en estos deslizamientos. El objetivo de este estudio fue calcular los umbrales de precipitación que pueden detonar deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado.

Para lograr este objetivo, se recopilaron datos de deslizamientos y las lluvias previas en un período que abarcó desde el año 2000 hasta 2020. Se aproximaron las cantidades de precipitación previas en la región mediante técnicas de interpolación de Thiessen, IDW (Ponderación de Distancia Inversa) y RLS (Mínimos Cuadrados Regularizados). Luego, se evaluó la probabilidad condicional de que se produzcan umbrales de lluvia basados en las precipitaciones previas de 3, 7, 10, 15 y 30 días utilizando un modelo bayesiano.

El análisis reveló la existencia de 151 sucesos históricos de deslizamientos. La técnica de interpolación más efectiva para aproximar las precipitaciones previas asociadas a los deslizamientos fue el IDW.

En cuanto a la probabilidad condicional de que ocurran deslizamientos dados ciertos niveles de precipitación acumulada con un período de retorno de 2 años, esta posibilidad se mostró alta, oscilando entre 0.71 y 0.85. En contraste, los períodos de retorno de 5, 25 y 50 años arrojaron probabilidades bajas, que variaron entre 0.0 y 0.26.

Se concluyó que los niveles de precipitación previa de 3, 7, 10, 15 y 30 días, con un período de retorno de 2 años, son factores detonantes de deslizamientos. Se recomienda que tanto instituciones públicas como privadas utilicen estos umbrales con un período de retorno de 2 años como referencia fundamental en la evaluación de riesgos.

2.2. BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas, las cuales son una colección de ideas y principios que buscan explicar un tema específico. Estas bases proporcionan una perspectiva particular y orientada hacia la solución del problema o fenómeno en cuestión. La investigación se basa en estas bases teóricas para reducir la probabilidad de confusión y para asegurar que los resultados sean claros y precisos.

2.2.1. MOVIMIENTOS EN MASA

Según (Sepulveda, 1998), los movimientos en masa, también conocidos como deslizamientos o deslizamientos de tierra, son fenómenos geodinámicos que involucran el desplazamiento y movimiento de una gran cantidad de tierra, rocas o materiales sueltos en laderas o pendientes. Estos movimientos pueden variar desde desplazamientos lentos y graduales hasta eventos más rápidos y catastróficos, y pueden ser causados por una serie de factores, siendo la lluvia intensa, la saturación del suelo, la actividad sísmica, la erosión y la alteración geológica algunos de los principales desencadenantes.

Los movimientos en masa incluyen varios tipos, como deslizamientos rotacionales, deslizamientos traslacionales, flujos de lodo, flujos de escombros y avalanchas, entre otros. Estos eventos pueden tener impactos significativos en áreas habitadas, infraestructuras

y ecosistemas, causando daños materiales, pérdida de vidas humanas y alteraciones ambientales.

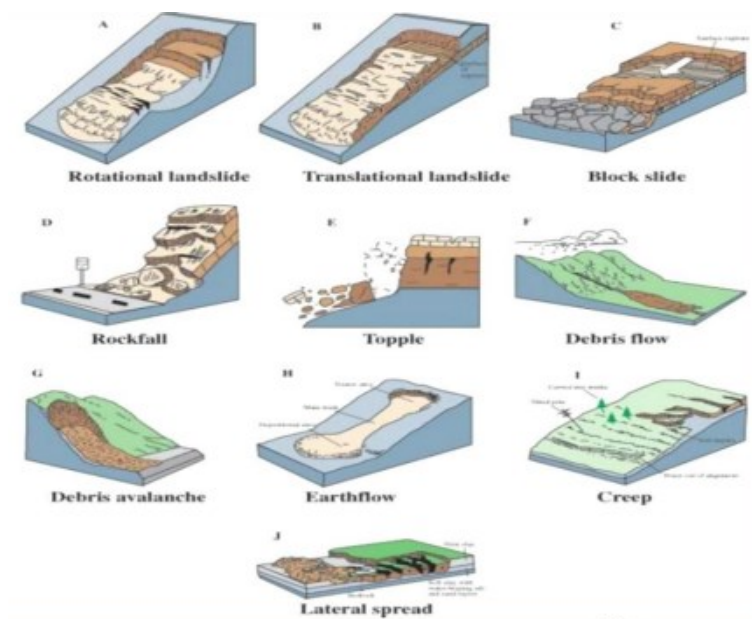
La comprensión de los factores que contribuyen a los movimientos en masa, así como su monitoreo, prevención y mitigación, son aspectos cruciales para la gestión de riesgos naturales y el ordenamiento en regiones propensas a este tipo de fenómenos.

Tabla 1
Clases de movimientos en masa

Clase	DESCRIPCION
DESLIZAMIENTO ROTACIONA	En este tipo de movimiento, una masa de suelo se desplaza hacia abajo en forma curva o circular a lo largo de una superficie de deslizamiento cóncava. Pueden generar depresiones o laderas con forma de media luna en el terreno.
DESLIZAMIENTO TRANSLACIONA	En los deslizamientos traslacionales, una masa de tierra o roca se desplaza en una dirección horizontal o ligeramente inclinada, moviéndose sobre una superficie de deslizamiento plana o casi plana.
FLUJO DE LODO	Los flujos de lodo son mezclas de agua y sedimentos que descienden por las laderas a gran velocidad. Son comunes en áreas volcánicas, donde la combinación de cenizas volcánicas y agua forma una mezcla altamente fluida que puede ser extremadamente destructiva.
FLUJO DE ESCOMBROS	Similar a un flujo de lodo, pero con una mayor proporción de material grueso como rocas y fragmentos. Puede ser muy destructivo y arrastrar consigo árboles, vehículos e incluso estructuras.
AVALANCHAS	Estos movimientos implican la rápida caída o deslizamiento de grandes masas de rocas y tierra por laderas empinadas. Pueden ser causados por terremotos, erupciones volcánicas o la acumulación de nieve y hielo en las montañas.
CAIDAS DE ROCAS	Implica la caída de fragmentos de roca desde una ladera o un acantilado. Puede variar desde pequeñas rocas hasta grandes bloques.
DESPRENDIMIENTO DE TIERRA	En este caso, una capa de suelo o roca se desliza en forma vertical o casi vertical a lo largo de una superficie de deslizamiento. Pueden ser causados por la erosión en la base de una ladera.
HUNDIMIENTO DE TIERRAS	Implica el hundimiento de una porción del terreno debido a la erosión subterránea de materiales solubles, como rocas de yeso o sal.

Fuente: Hungr et al. (2001)

Figura 1
Clases de desplazamiento en masa



Fuente: (Zambrano & Santuyo, 2019)

Tabla 2
Rango de rapidez según Varnes (1958)

CLASES DE VELOCIDAD	DESCRIPCION	VELOCIDAD TIPICA	PODER DESTRUCTIVO
7	Extremadamente rápido	5 m/s	Desastres de gran violencia, estructuras devastadas debido al impacto o al material desplazado, pérdida significativa de vidas y posibilidades mínimas de escape.
6	Muy rápida	3m/min	Algunas vidas perdidas debido a velocidades demasiado elevadas que impiden que todas las personas puedan escapar.
5	Rápida	1.8m/h	Es posible la evacuación, aunque la estructura, propiedades y equipos resultan destruidos.
4	Moderada	13m/mes	Algunas estructuras temporales y poco resistentes pueden permanecer en pie de manera temporal.
3	Lenta	1.6m/año	Construcciones remediabiles pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras sensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente

2	Muy lenta	1.6mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta	<1.6mm/año	No detectables sin instrumentos, posibilidad de construcciones, aunque es necesario tomar precauciones.

Fuente: (Muñoz, 2018, p. 5)

Tabla 3*Escala de velocidades de los movimientos de masa*

TIPOS DE MOVIMIENTO DE MASAS	CARACTERISTICAS DEL TIPO DE MATERIAL	DESCRIPCION	TIPO DE VELOCIDAD
Caída de rocas	Fragmento de roca	Caída vertical, o que desciende verticalmente o casi verticalmente (frecuentemente se presenta con rebotes)	Muy rápido (> 10 m/s)
Desplazamiento de rocas	Cuerpos de roca	Desplazamiento conjunto a lo largo de una superficie plana (deslizamiento traslacional).	Usualmente de movimiento extremadamente lento, aunque algunos pueden ser más rápidos en ciertas circunstancias
Avalancha de rocas	Un extenso bloque de roca que se desliza y posteriormente se fragmenta en pedazos más pequeños	Corriente (con altas velocidades, donde la masa de fragmentos de roca se suspende en un colchón de aire)	Muy rápido (> 10 m/s)
Fluencia o soliflucción	Tierra u otra carga adicional: en ocasiones, mezclada con hielo	Flujo (aunque también puede ocurrir un deslizamiento)	Muy lento (mm/año o cm/año)
Depresión o Desprendimiento	Acumulaciones espesas (de un metro a varias decenas de metros) de sedimentos sueltos sin consolidar	Desplazamiento conjunto a lo largo de una superficie curva (deslizamiento de rotación)	Lento (cm/año a m/año)
Flujo de lodo	Material sedimentario suelto con una considerable proporción de limo y arcilla	Corriente (donde una mezcla de sedimento y agua se desplaza a través de un canal)	Moderado a veloz (cm/s a m/s)
Flujos de escombros o detritos	Partículas de arena, grava y fragmentos de mayor tamaño	Corriente (similar a un flujo de lodo, aunque generalmente de mayor velocidad)	Rápido (m/s)

Fuente: Earle (2019, pp. 493, Chapter 1)

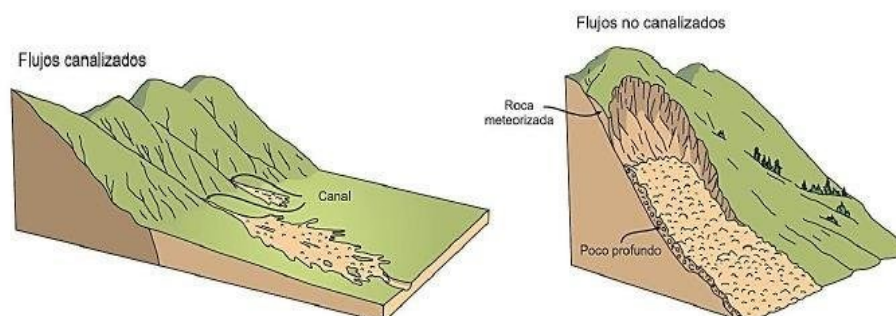
2.2.2. FLUJO DE DETRITOS

Según (Gutierrez, 2021) El flujo de detritos, también conocido como flujo de escombros o lodo, es un tipo de movimiento en masa que involucra la rápida y violenta descendencia de una mezcla de material suelto, como tierra, rocas, sedimentos y agua, por una pendiente empinada o ladera. Esta mezcla fluida puede tener una consistencia viscosa o semilíquida, y tiende a moverse a velocidades significativas, arrastrando consigo fragmentos de diferentes tamaños.

Los flujos de detritos se pueden desencadenar por diversos factores, siendo las lluvias intensas, el deshielo rápido, la actividad volcánica y los terremotos algunos de los principales factores desencadenantes. En áreas volcánicas, los flujos de detritos pueden originarse por la mezcla de cenizas volcánicas y agua, creando una corriente altamente destructiva conocida como lahar.

Los flujos de detritos pueden ser extremadamente peligrosos y destructivos, ya que su alta velocidad y gran capacidad de arrastre pueden dañar infraestructuras, modificar paisajes y representar una amenaza para las comunidades cercanas. Por lo tanto, la evaluación de riesgos, la planificación adecuada y los sistemas de alerta temprana son esenciales para mitigar los impactos negativos de este tipo de fenómenos.

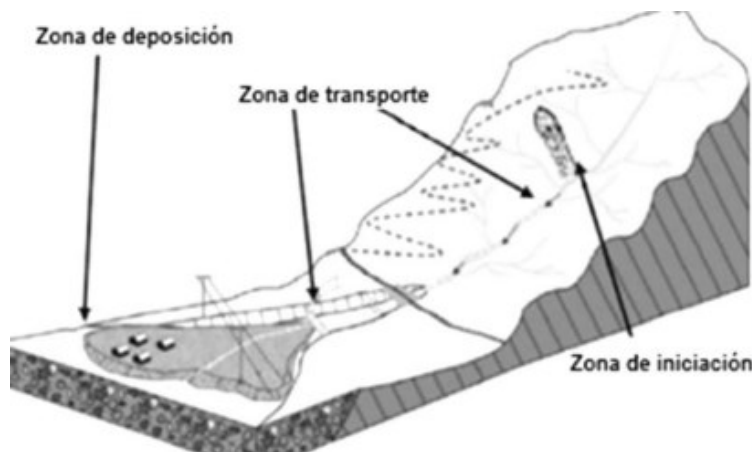
Figura 2
Flujos canalizados y flujo de pendiente abierta



Fuente: (Ccama, 2018, p. 25)

El movimiento de detritos se caracteriza por ser un flujo de alta velocidad a extremadamente rápida (con un índice de plasticidad inferior al cinco por ciento), que ocurre en un canal estrecho con una pendiente pronunciada. Estos movimientos pueden causar daños significativos mientras se desplazan hacia áreas más bajas, afectando zonas con infraestructura civil. Este fenómeno se puede dividir en tres fases, como se muestra en la imagen: la etapa inicial en una pendiente empinada, la propagación a través de las zonas de traslado y finalmente su retención y depósito en abanicos de escombros.

Figura 3
Recorrido del movimiento de detritos



Fuente: (Luna, 2019)

a) Zona de arranque

La zona de arranque en un desplazamiento de detritos es el punto o área donde se desencadena el movimiento de la masa de material suelto y fluido que compone el flujo. Esta zona suele ubicarse en una pendiente empinada o ladera pronunciada, donde los factores desencadenantes como lluvias intensas, deshielo rápido, actividad volcánica o terremotos pueden alterar el equilibrio del terreno y provocar el desplazamiento.

En la zona de iniciación, varios factores pueden contribuir al inicio del flujo de detritos, incluyendo la saturación del suelo debido a la infiltración de agua, la pérdida de cohesión entre partículas del material

debido a la lubricación por el agua, y la interacción con la vegetación que puede aumentar la erosión y la inestabilidad del terreno. El punto de inicio puede ser un punto específico en una ladera o una zona más amplia donde múltiples factores se combinan para desencadenar el movimiento.

Una vez que el flujo de detritos se inicia en esta zona, su velocidad y poder destructivo pueden aumentar rápidamente a medida que avanza hacia zonas más bajas, arrastrando consigo material suelto, rocas y sedimentos. La identificación y comprensión de la zona de iniciación es crucial para la evaluación de peligros y la planificación de medidas previsoras y de mitigación para minimizar los impactos de estos eventos.

Figura 4
Zona de iniciación



Fuente: Imágenes de internet

b) Zona de acarreo

La zona de acarreo en un flujo de detritos es el área por la cual la masa de material suelto y fluido se desplaza después de haber sido desencadenada en la zona de iniciación. En esta fase, el flujo de detritos se mueve descendientemente a lo largo de una ladera, arrastrando consigo una mezcla de tierra, rocas, sedimentos y agua.

La zona de transporte es caracterizada por la alta velocidad del flujo y su capacidad de arrastre. Durante esta fase, el material puede adquirir una consistencia viscosa o semilíquida debido a la mezcla con agua, lo que le permite fluir rápidamente y moverse con gran fuerza. A medida

que el flujo avanza, puede ganar más volumen y energía a medida que se incorporan más materiales y agua.

La velocidad y el poder de arrastre del desplazamiento de detritos en el área de transporte pueden causar daños considerables a medida que atraviesa áreas habitadas, infraestructuras y terrenos. Es común que se produzcan erosiones y cambios en el paisaje a medida que el flujo interactúa con la topografía y la vegetación del terreno.

La identificación de la zona de transporte y su evaluación es fundamental para la planificación de medidas de mitigación y sistemas de detección temprana, con el objetivo de reducir los impactos negativos de los flujos de detritos en zonas vulnerables.

Figura 5
Zona de transporte



Fuente: Imágenes de internet

c) Zona de deposición

La zona de deposición en un flujo de detritos es el área donde el movimiento del flujo se detiene gradualmente y los materiales transportados comienzan a depositarse. Después de recorrer la zona de transporte y perder velocidad, la mezcla de material suelto, rocas y sedimentos se asienta en esta zona de manera progresiva.

La velocidad más lenta en la zona de deposición se debe a la pérdida de energía cinética a medida que el flujo interactúa con una pendiente menos pronunciada o un terreno más plano. La mezcla viscosa o semilíquida se vuelve más densa y comienza a sedimentarse.

Los materiales más gruesos tienden a depositarse primero, mientras que los sedimentos más finos y el agua pueden continuar moviéndose por distancias más cortas.

La configuración y extensión de la zona de deposición pueden variar según factores como la inclinación del terreno, la velocidad del flujo, la cantidad de material transportado y la viscosidad de la mezcla. En algunas ocasiones, la zona de deposición puede dar lugar a la formación de abanicos aluviales, donde los sedimentos se acumulan en forma de abanico en áreas más planas.

La zona de deposición es importante para la evaluación de riesgos y la planificación de medidas de mitigación, ya que los flujos de detritos pueden representar peligros incluso después de que el movimiento principal se haya detenido. Los sedimentos depositados pueden bloquear ríos y arroyos, causar obstrucciones y aumentar la posibilidad de inundaciones en áreas bajas.

Figura 6
Zona de acumulación



Fuente: Imágenes de internet

2.2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL DESPLAZAMIENTO DE DETRITOS

En 1998, Sepúlveda realiza ajustes en los aspectos materiales fundamentales que están relacionados con el funcionamiento mecánico del flujo de detritos, abarcando variables como la rapidez, la viscosidad y la energía de impacto.

a) Rapidez

La rapidez de los desplazamientos de detritos generalmente se encuentra entre 1 a 12 m/s, aunque ocasionalmente se han registrado incidentes con velocidades de hasta 18 m/s. Para estimar la rapidez del desplazamiento de detritos, se puede considerar su comportamiento en las áreas de curva del canal. En estas áreas, la superficie del desplazamiento alcanza una altura mayor en el lado exterior de la curva en comparación con el lado interno. Esta diferencia se evidencia mediante la formación de depósitos laterales en los alrededores. En tales situaciones, la velocidad puede calcularse utilizando la siguiente aproximación:

La velocidad del flujo puede calcularse utilizando dos fórmulas diferentes, dependiendo de las condiciones específicas:

Utilizando la fórmula propuesta por Selby (1993):

$$V = \sqrt{R \times g \times \cos\beta \times \tan\gamma}$$

Donde:

r es la longitud radial de curvatura.

g es la gravedad.

β es la inclinación del canal.

δ es la inclinación entre las cimas de los niveles externo e interno.

Si se asume que las pérdidas por fricción son casi nulas en superficies dirigidos perpendicularmente a la ruta del flujo, se puede utilizar la fórmula modificada por Pierson (1982):

$$V = \sqrt{2 \times g \times \Delta h}$$

Donde:

g es la gravedad.

Δh es la diferencia de altura del flujo.

Ambas fórmulas proporcionan la velocidad del flujo en condiciones específicas, permitiendo calcularla según las variables disponibles y las características del flujo.

b) Viscosidad y densidad

En el intervalo de valores de C_v comprendidos entre el 20% y el 50%, la densidad del flujo presenta una variación que oscila entre 1.3 y 1.8 g/cm³, al mismo tiempo la viscosidad llega hasta valores de 200 poises.

En este rango, el comportamiento del flujo transita entre un régimen de escurrimiento de transformación de turbulento a laminar. Cuando las concentraciones exceden el umbral del 50%, la densidad puede fluctuar en un intervalo de 1.8 a 2.3 g/cm³, y la viscosidad puede exceder significativamente el umbral de 200 poises. La densidad y viscosidad de los desplazamientos de detritos pueden aproximarse tomando en consideración el valor de C_v utilizando la siguiente relación:

La primera ecuación, propuesta por Einstein en 1909, calcula la viscosidad de la mezcla n_d en función de la viscosidad del agua n_w y la concentración volumétrica c_v .

$$n_d = n_w x (1 + 2.5 x c_v)$$

La segunda ecuación, propuesta por Solís en 1995, calcula la densidad de la mezcla p_d en función de la densidad del agua p_w la densidad de los sedimentos p_s y la concentración volumétrica c_v .

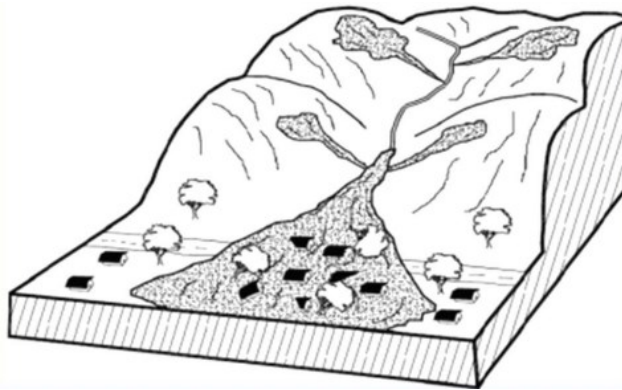
$$p_d = p_w x (1 - c_v) + p_s x c_v$$

2.2.4. ELEMENTOS QUE DESENCADENAN LOS DESPLAZAMIENTO DE DETRITOS

Según Gutiérrez (2021) señala que cuando se produce una situación excepcional, como lluvias de carácter extraordinario, pueden desencadenar deslizamientos de tierra o erosión que arrastran consigo

un cierto volumen de sedimento o partículas a lo largo de los cauces o laderas. El desplazamiento de detritos es iniciado por la precipitación, ya que esta provoca una disminución de la resistencia debido a la reducción de la succión al momento de saturarse el material o debido al aumento del trabajo ocasionados por el transporte del agua. Los perjuicios ocasionados por los desplazamientos de detritos tienden a concentrarse en áreas de dimensiones considerables.

Figura 7
Flujo de Detritos



Fuente: (Gutiérrez, 2021, p. 44)

La capacidad de captación de agua de una cuenca está estrechamente relacionada con su área, donde un mayor tamaño implica una mayor capacidad de retención de agua. Sin embargo, factores como la pendiente pueden influir en la velocidad del flujo, aumentando el riesgo de erosión y desestabilización en la zona a medida que esta pendiente se incrementa. Además, el clima desempeña un papel crucial, ya que las intensas precipitaciones pueden desencadenar el flujo de escombros a través de la activación de quebradas. El tipo de suelo también influye, ya que las características del mismo, como la presencia de material fino y grueso, su capacidad para resistir la erosión y su permeabilidad, junto con la cobertura vegetal, son determinantes en la generación del flujo de detritos en la cuenca

2.2.5. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Se define que los desplazamientos de detritos constituyen una clase de movimiento complejo que no puede ser abordado mediante los

métodos usuales aplicados a fluidos newtonianos como el agua. Esto ocurre debido a la alta saturación volumétrica presente en los flujos de detritos, que provoca que el fluido actúe como un fluido no permanente. Para que este tipo de flujo se inicie, es necesario que un esfuerzo superior supere el esfuerzo crítico (Gutiérrez, 2021, p. 46).

Chen y Lee (2000) indican que existen varios enfoques numéricos para modelar el comportamiento de los flujos de detritos en deslizamientos. Estos métodos incluyen principalmente modelos mecánico-fluidos y métodos basados en elementos discretos. Los modelos mecánico-fluidos en continuo utilizan ecuaciones de conservación de masa, momento y energía para describir el movimiento cambiante de los escombros. Además, se incorpora un Modelo de flujo viscoso para caracterizar el comportamiento material de los detritos. La representación bidimensional se logra mediante la solución numérica de las fórmulas de movimiento y conservación de volumen del fluido. Este enfoque se aplica tanto para la modelización de inundaciones como para los flujos de detritos.

- **Software HEC-RAS**

Es una herramienta de modelado hidráulico conocida como HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), que tiene la capacidad de calcular los perfiles del flujo y también considera el modelado del transporte de sedimentos. A través de la simulación de un flujo no permanente gradualmente variado, esta herramienta proporciona resultados que nos permiten identificar tanto los umbrales máximos como los mínimos, además de las velocidades máximas y mínimas presentes en el sistema. Estos cálculos se basan en la aplicación de la ecuación de continuidad y la ecuación de conservación de momento.

- **Ecuación de continuidad**

La ecuación de conservación de la masa para un sistema unidimensional, representada por la ecuación proporcionada, describe cómo varía el flujo Q en función del tiempo t , la distancia a lo largo del

canal x y el área de la sección transversal A , considerando también el almacenamiento de porciones de sección transversal no transportados S y el flujo de entrada lateral por unidad de distancia (q). La ecuación se expresa como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

En cuanto a la ecuación de momentos, esta describe cómo varía el flujo Q con el tiempo t y la distancia x , tomando en cuenta la aceleración de la gravedad g , la pendiente de fricción S_f , la velocidad V y la variación del terreno en altura z . La ecuación se expresa como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

En estas ecuaciones, las derivadas parciales representan las tasas de cambio en las variables con respecto al tiempo y la distancia. Estas ecuaciones son fundamentales para el estudio y modelado de flujos en sistemas unidimensionales, como canales abiertos.

2.2.6. LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE DEL FLUJO DE DETRITOS

Las diversas causas intrínsecas del suelo en la pendiente, tales como la geología, la geomorfología, aspectos físicos y factores humanos, originan los desplazamientos de detritos. Pero, ciertos elementos externos como la lluvia o un evento sísmico son identificados como elementos desencadenantes, los cuales actúan como estímulos generando una reacción casi inmediata al transportar los componentes del talud o ladera. En particular, la lluvia es reconocida como el factor que más frecuentemente provoca estos movimientos. En consecuencia, el análisis de la interrelación entre este fenómeno meteorológico y la aparición de los flujos de escombros adquiere una relevancia significativa. (Marquez, 2023)

El agua juega un papel fundamental en la estabilidad y los movimientos del terreno, especialmente a través de procesos como la

infiltración y el flujo del agua en el suelo del talud. Estos procesos aumentan la cantidad de humedad del suelo, lo que resulta en un aumento notable en el peso unitario total del volumen de suelo. Prever la ocurrencia de flujos de detritos desencadenados por lluvias implica considerar una serie de parámetros interrelacionados. Entre estos factores se encuentran la corriente de agua que penetra el suelo, la configuración de la ladera, las propiedades hidráulicas y la absorción del suelo. Además, la acumulación de precipitación (E) y su duración (D) son disposiciones externas que afectan la saturación del suelo. La cantidad de humedad del suelo y la lluvia previa también influyen en la cantidad y duración de la precipitación crítica.

La permeabilidad del suelo es una característica esencial que afecta el equilibrio entre la creación y disipación de la presión de poros, esto es crucial para iniciar el movimiento del suelo. Un incremento en las presiones de poros del suelo disminuye los esfuerzos efectivos entre las partículas, lo que resulta en una disminución de la resistencia al corte y, por lo tanto, una reducción en la estabilidad del terreno, aumentando la posibilidad de flujos de detritos. El tiempo necesario para que se manifiesten variaciones en la presión de poros está sujeto a la permeabilidad del suelo. En suelos altamente permeables, las variaciones pueden ocurrir velozmente, especialmente durante precipitaciones intensas, mientras que, en suelos arcillosos con baja permeabilidad, las transformaciones son más lentas, pero igualmente perjudiciales.

2.2.7. UMBRALES DE PRECIPITACIÓN QUE PRODUCEN MOVIMIENTO DE FLUJO DE DETRITO

La predicción de los movimientos de detritos, a través de umbrales de precipitación lluvia, puede abordarse de dos maneras distintas: la primera consiste en la aplicación del método empírico-estadístico, ampliamente conocido. En los sistemas de alerta temprana, existen dos enfoques principales para establecer umbrales: el enfoque empírico y el enfoque físico-numérico. El primero es ampliamente conocido y se

caracteriza por su facilidad de implementación, mientras que el segundo se basa en modelos físicos numéricos que son más complejos de definir y utilizar.

Los umbrales experimentales se establecen mediante el reconocimiento de zonas donde un evento de precipitación pudo haber o no provocado un deslizamiento de masa. Estos umbrales se fundamentan en observaciones históricas y no requieren un análisis detallado de los procesos físicos subyacentes.

Por otro lado, los umbrales físico-numéricos se fundamentan en modelos matemáticos que incorporan resultados de análisis geotécnicos e hidrológicos. Estos modelos consideran las interacciones entre diferentes factores como la precipitación, la infiltración, las presiones de poros y la firmeza de la ladera. Aunque son más complejos de desarrollar e implementar, los umbrales físico-numéricos pueden proporcionar una comprensión más profunda y precisa del peligro de movimientos en masa relacionados con la precipitación.

Para mejorar la precisión en la predicción de los desplazamientos en masa con sustento en estos umbrales, se requiere información detallada acerca de aspectos hidrológicos, litológicos, morfológicos y características del suelo que influyen en la activación de tales movimientos. Estos modelos pueden definir la cantidad necesaria de precipitación para provocar fallas en laderas, así como la ubicación y el momento en los que dichos movimientos podrían ocurrir, lo que los convierte en valiosas herramientas para desarrollar Sistemas de Alerta Temprana (SAT).

Es importante destacar que la implementación de modelos físico-numéricos enfrenta ciertas limitaciones, principalmente debido a la necesidad de contar con información exhaustiva que abarque extensas zonas y el uso de materiales y equipos especializados como tensiómetros, pluviómetros y piezómetros. Estos equipos son fundamentales para recopilar datos precisos sobre la precipitación, la

humedad del suelo y la presión de poros, entre otros, lo que requiere una infraestructura y recursos considerables.

Además, para definir los umbrales de precipitación de lluvia, se llevará a cabo el análisis de dos de los parámetros más importantes relacionados con la precipitación. Estos parámetros pueden variar dependiendo de la naturaleza del estudio y los objetivos específicos de la implementación del sistema de alerta temprana.

Tabla 4
Parámetros de la lluvia

PARAMETROS DE LA PRECIPITACIÓN	LLUVIA CRITICA	LUVIA ACUMULADA	Se refiere al volumen de lluvia acumulada en los días cercanos a la manifestación del evento, abarcando el día en el que ocurre dicho evento (lluvia del evento: se refiere a la precipitación registrada durante el día en que se presenta el movimiento en masa).
		LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE	La cantidad de lluvia que ha caído en los días anteriores al período considerado en la Lluvia Acumulada (LA).
	DURACION CRITICA		Se trata del período de tiempo requerido para que la precipitación alcance la magnitud crítica determinado.

Fuente: (SENAMHI, 2020)

2.2.8. UMBRALES EMPÍRICOS-ESTADÍSTICOS DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA

Los umbrales empíricos y estadísticos, reconocidos en la bibliografía, se destacan como valiosos indicadores temporales, ya que buscan responder al interrogante de cuándo se producirán los movimientos en masa. Sin embargo, no se abocan a resolver el aspecto adicional: dónde ocurrirán. La implementación de umbrales empíricos de lluvia demanda la identificación de umbrales específicos para cada región, ajustados a sus condiciones particulares, además de ser

combinados con un detallado mapeo de las condiciones de vulnerabilidad y amenaza de la zona para la cual fueron establecidos. Estos instrumentos permitirían anticipar medidas preventivas y de mitigación para reducir los impactos derivados de los movimientos de masa.

En cuanto a los parámetros considerados para la implementación de estos métodos, se incluyen la intensidad de la precipitación, la duración de la lluvia, la precipitación acumulada (LA), la precipitación acumulada previa (LAA), o la combinación de estas variables. Para los umbrales empíricos, es crucial disponer de un banco de datos sólida que contenga un inventario de movimientos en masa y un historial detallado de eventos de lluvia. En caso de que esta información sea limitada o no esté disponible, los umbrales físico-numéricos pueden ser una alternativa recomendable. Estos últimos pueden incorporar diversos parámetros hidrológicos y geotécnicos para estimar el riesgo de movimientos en masa de manera más precisa, aunque su implementación requiere recursos y conocimientos especializados. En este contexto, la sinergia entre enfoques empíricos y físicos brinda la posibilidad de caracterizar adecuadamente la amenaza, al considerar la probabilidad de ocurrencia en términos temporales y espaciales. (Jasso, 2016)

2.2.9. DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA

2.2.9.1. GENERACIÓN DE SECUENCIAS PARCIALES DE LOS VALORES EMPÍRICOS DE UMBRAL DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA

Usualmente, los atributos empleados para caracterizar y determinar los umbrales de eventos de lluvia son la duración de la precipitación (D) y la precipitación acumulada. Por lo tanto, este método, fundamentado en la acumulación de lluvia en un período que puede extenderse a semanas o meses, es altamente provechoso en el pronóstico de movimientos en masa. Cabe

destacar que su aplicación varía según las particularidades de los suelos y las condiciones climáticas locales, lo que demanda una adaptación precisa para cada área de estudio.

Para llevar a cabo un análisis riguroso, es necesario relacionar cada evento de movimiento en masa con su correspondiente precipitación detonante. Esto implica contar con registros históricos exhaustivos de lluvia, a nivel diario y a lo largo de un período sustancial. Una vez obtenidos estos registros, se pueden producir series temporales de lluvia acumulada y su correspondiente duración. Este enfoque tiene como objetivo sintetizar un modelo de comportamiento específico de la región bajo estudio, contribuyendo así la predicción de los movimientos mencionados. En este contexto, se seleccionan las ubicaciones que han experimentado los eventos más significativos de movimientos en masa atribuidos a la precipitación pluvial (Marquez, 2023).

El proceso de creación de estas series parciales de acumulación de lluvia diaria, junto con sus correspondientes duraciones, resulta en la obtención de umbrales empíricos de precipitación pluvial. Estas series representan la suma acumulada de los valores de precipitación diaria que han desencadenado movimientos en masa. Cada serie generada refleja una duración específica (D). El método involucrado en este proceso implica la creación de una curva regresiva de acumulación de lluvia, cuya secuencia general de pasos es la siguiente: (Castellanos, 2003)

Basándose en la serie histórica de datos de precipitación diaria para un evento específico, se procede a generar una serie regresiva de adiciones acumuladas de precipitación. Este proceso comienza desde el día en que ocurrió el movimiento de detritos y se extiende hasta el día en que no se registra lluvia. En este punto, se registra la cantidad acumulada de precipitación en milímetros y la duración en días. Estos valores representan el umbral empírico

de precipitación encontrado. Los umbrales pueden corresponder a diferentes periodos, como por ejemplo 1, 5 y 7 días para la Lluvia Acumulada (LA) o 5, 15, 30 y 90 días para la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA), y pueden variar dependiendo del análisis específico de cada caso. La curva resultante se grafica en sentido regresivo para cada suceso generado, utilizando los datos de acumulación de lluvia diaria desde el día del movimiento de flujo de detritos. Es importante mencionar que es posible obtener múltiples secuencias de umbrales de precipitación de lluvia, ya que intervalos cortos sin lluvia pueden ser seguidos por reactivaciones de lluvia, lo cual está relacionado con la intensidad pluviométrica de la zona. (Marquez, 2023)

2.2.9.2. VALORES NUMÉRICOS ESTADÍSTICOS QUE INDICAN EL NIVEL DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL (ECUACIÓN DE UMBRALES)

La comparación y evaluación cuantitativa de los umbrales de precipitación existentes y los nuevos puede ser difícil e incluso imposible. Según Gariano et al. (2015), al examinar la literatura sobre umbrales empíricos, se observa que muchos de estos umbrales fueron definidos utilizando métodos subjetivos y con poca capacidad de reproducibilidad. Esta falta de consistencia dificulta su aplicación en sistemas funcionales de alerta para desplazamientos de detritos. Para abordar esta problemática, los investigadores han planteado nuevos enfoques y procedimientos con el propósito de establecer umbrales de precipitación que desencadenen los desplazamientos de detritos de manera objetiva y reproducible.

Estos nuevos enfoques y procedimientos pueden incluir la utilización de métodos estadísticos más rigurosos, la integración de datos históricos más amplios y detallados, y la consideración de múltiples variables y factores relevantes. Además, la aplicación de modelos numéricos y técnicas de análisis avanzadas puede ayudar

a mejorar la precisión y la fiabilidad de los umbrales de precipitación.

Además, Guzzetti et al. (2007) utilizaron un enfoque basado en el método bayesiano para derivar umbrales de precipitación que sean replicables. Para esto, se valieron de un catálogo que registraba las condiciones de lluvia (duración e intensidad) asociadas con deslizamientos de masa en el sur de Europa. Brunetti et al. (2010) propusieron un enfoque que se basa en el análisis estadístico frecuencial de las condiciones de lluvia, incluyendo duración e intensidad, que han desencadenado deslizamientos de tierra en Italia. Este método se amplió para: (1) explorar una variedad de combinaciones de condiciones de lluvia, como duración y cantidad acumulada, (2) determinar la incertidumbre asociada con los umbrales empíricos, y (3) evaluar el número mínimo de datos empíricos necesarios para establecer umbrales confiables. (Guzzetti, 2007)

Este método se emplea para estimar los parámetros de encuentro (α) y forma (γ) de la gráfica que sigue la ley de potencia. En términos simples, se fundamenta en una evaluación de frecuencia de las circunstancias empíricas de precipitación que han estado vinculadas con los desplazamientos de detritos. Además, la adaptación realizada por Peruccacci (2012) asume que la ecuación del umbral sigue un vínculo de ley de potencia (ecuación 3), la cual relaciona la cantidad acumulada de precipitación del evento (E), medida en milímetros, con la duración (D), en horas.

$$E = \alpha \times D^\gamma$$

$$E = (\alpha \pm \Delta\alpha) \times D^{(\gamma \pm \Delta\gamma)}$$

Cuando se registran un reciente evento de lluvia relacionados a movimientos de flujo de detritos en la zona de estudio, la colección de datos experimenta cambios y, como resultado, se hace necesario recalcular el umbral. La nueva curva de umbral puede variar del umbral previo, especialmente si la cantidad inicial

de datos es limitada. Por esta razón, para entender la importancia y el alcance de estas variaciones, se tienen en cuenta las ambigüedades asociadas con los parámetros α y γ . Estos parámetros también pueden influir en la determinación de si uno o más umbrales son estadísticamente diferentes, como se describe en la ecuación.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. MOVIMIENTO EN MASA

Se refieren a procesos de desplazamiento de suelo, roca o una combinación de ambos en diferentes proporciones, los cuales pueden desarrollarse de manera gradual o repentina debido a una variedad de factores. (Hauser, 1993)

2.3.2. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Un modelo hidrológico representa de manera simplificada un sistema complejo real, también llamado prototipo, utilizando representaciones físicas o matemáticas. En términos matemáticos, este modelo describe el sistema real a través de expresiones analíticas. (Dueñas, 1997)

2.3.3. MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Los modelos numéricos son aquellos que se encuentran solución a ecuaciones para describir fenómenos específicos. Pueden utilizarse para simular diversos procesos, como el transporte de sedimentos, y los resultados obtenidos varían según las ecuaciones empleadas. La interpretación de los resultados dependerá de las ecuaciones utilizadas en el modelo. (Manual RAMMS, 2003)

2.3.4. PRECIPITACIONES

Se denominan hidrometeoros a cualquier forma de precipitación que desciende desde la atmósfera y llega a la tierra. Este fenómeno

incorpora variedades como nieve, lluvia, llovizna, aguanieve y granizo, pero no abarca formas de condensación como virga, neblina ni rocío. (Román, 2016)

2.3.5. CURVA HIPSOMÉTRICA

Se trata de una representación gráfica que relaciona la acumulación de la altitud y el área abarcada por los intervalos de altitud. Esta herramienta se emplea con frecuencia para comparar sistemas de valles, dado que la escorrentía directa exhibe una mayor energía cinética, lo que resulta en una erosión del suelo más rápida. Por lo tanto, la curva que muestra las elevaciones en función del área refleja una disminución más marcada. (Gribbin, 2007)

2.3.6. ESCORRENTÍA DIRECTA

Se refiere al flujo de agua que se desplaza superficialmente a lo largo de los cauces de una quebrada o corriente. Por lo general, esta escorrentía puede dar lugar a infiltraciones en diferentes áreas de la cuenca, dependiendo de las características de la zona. (Fattorelli & Fernandez, 2007)

2.3.7. CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica se describe como una región geográfica delimitada por una línea divisoria de aguas, también conocida como *divortium aquarum*. Esta línea separa las áreas donde el agua fluye hacia diferentes direcciones, y dentro de la cuenca, se recoge la precipitación y se dirige el flujo de escorrentía hacia un punto de colecta principal, como un río principal. Esta región tridimensional constituye un sistema complejo y abierto, en el cual los elementos biológicos, sociales y económicos están estrechamente interrelacionados. (Villanueva, 2000).

2.3.8. RÍO PRINCIPAL

Según la definición de Ordoñez Gálvez (2011), el término "río principal" hace referencia a aquel curso de agua que suele destacarse por tener el caudal más significativo, ya sea en términos medios o

máximos, o por ser el de mayor longitud en la región. Tanto la definición de un río principal como la determinación de su punto de inicio son subjetivas, al igual que la diferenciación entre un río principal y sus afluentes. No obstante, en la mayoría de las cuencas de drenaje, es posible identificar un río principal claramente definido desde su desembocadura hasta una posición cercana a la línea divisoria de aguas. Este río principal sigue un trayecto que abarca desde su fuente hasta su punto de desembocadura.

2.3.9. AFLUENTES

Los afluentes son cursos de agua, también conocidos como tributarios, que desembocan en un río de mayor relevancia, uniendo sus aguas en un punto llamado confluencia. En esta interacción, uno de los ríos se considera el afluente en relación al otro, y generalmente se trata del río de menor importancia en términos de caudal, longitud del curso o extensión de su cuenca. (Gálvez, 2019)

2.3.10. EFLUENTES

Se entiende que los efluentes son contrapartes de los afluentes. Un efluente, también llamado distributivo, se refiere a una derivación, ya sea artificial o natural, que se desvía desde la corriente principal de un río mayor hacia otro curso de agua de menor tamaño. En la mayoría de los casos, los efluentes naturales se encuentran en las áreas de deltas fluviales. Por otro lado, los efluentes de "origen artificial" son más comunes y resultan de derivaciones, acequias o canales que se utilizan con propósitos de riego (Gálvez, 2019).

2.3.11. CUENCA HIDROGRÁFICA O PRINCIPAL

La cuenca hidrográfica representa un sistema interconectado que abarca varias microcuencas o subcuencas. Esta cuenca puede dividirse en segmentos definidos por la interacción entre el drenaje superficial y la importancia que tiene en relación con el curso principal, es decir, el río más destacado dentro de la cuenca. Es en este curso principal donde confluyen todas las aguas y los sedimentos procedentes de las

diferentes áreas. La configuración de la red de corrientes de agua desempeña un papel crucial en la delimitación de las divisiones dentro de la cuenca (Gálvez, 2019).

2.3.12. SERVICIO DE SEGUIMIENTO

La expresión "servicio de seguimiento" hace referencia a la acción de observar o monitorizar de manera detallada un tema específico o el progreso de un proceso en particular. Esta observación minuciosa se realiza con el propósito de obtener información actualizada y precisa sobre la evolución de la situación o el proceso en cuestión.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

En la medida que se determine los umbrales de precipitación podemos hacer un pronóstico y seguimiento del movimiento de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco.

2.4.2. HIPÓTESIS NULA

No hay relación significativa entre los umbrales de precipitación y el movimiento del flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

- Definición operacional

Al comparar el volumen de movimiento de que nos genera al aplicar el diseño geométrico utilizando el software Civil 3D en los planos topográficos obtenidos con la fotogrametría y el método tradicional

- **La variable dependiente es**

Movimiento de flujos de detritos

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- **Definición operacional**

Los umbrales de precipitación se obtienen de datos históricos de lluvia mediante análisis estadísticos. Se identifican los valores de lluvia asociados a diferentes probabilidades. Estos valores se utilizan para definir niveles de alerta ante lluvias

- **La variable independiente es**

Umbrales de precipitación

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEF. OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
umbrales de precipitación	Los umbrales de precipitación se obtienen de datos históricos de lluvia mediante análisis estadísticos. Se identifican los valores de lluvia asociados a diferentes probabilidades. Estos valores se utilizan para definir niveles de alerta ante lluvias	Variable Independiente	Intensidad de lluvia Frecuencia de lluvia datos de información meteorológica	Precipitación Datos históricos de lluvia área de la cuenca orden de cuenca
movimiento de flujos de detritos	Se refiere al desplazamiento rápido de una mezcla densa de agua, sedimentos, rocas y otros materiales a lo largo de laderas empinadas o cauces de ríos. Este fenómeno puede ser altamente destructivo, causando avalanchas de lodo y escombros que pueden arrasar terrenos y estructuras en su camino.	Variable Dependiente	Modelamiento hidrológico Parámetros geomorfológicos	erosión precipitación tipo de suelo topografía

Nota: El tipo de variables son correlacionales

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La investigación se centra en comprender cómo los umbrales de precipitación pueden influir en el movimiento del flujo de detritos en una región específica. Dado que este tema implica tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, opté por un enfoque mixto, que combina componentes de investigación cualitativa y cuantitativa. Esto me permitirá conseguir una comprensión más completa y profunda de la relación entre estos dos factores.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La investigación sobre el movimiento del flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle y su relación con los umbrales de precipitación, el alcance correlacional se centraría en analizar la posible relación entre estas dos variables. Aquí te presento cómo podría plantear el alcance correlacional de mi investigación.

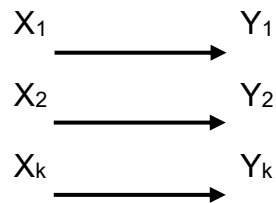
Esta investigación tiene como objetivo principal comprender el nivel de conexión que existe varios conceptos, variables o categorías en un contexto o muestra específica. En ocasiones, se limita al análisis de la relación entre dos variables, pero con regularidad se busca identificar en el estudio las interconexiones entre varias variables. (Hernández Sampieri, 2014).

3.1.3. DISEÑO

El enfoque de diseño utilizado será el transeccional correlacional. Este diseño se centra en describir las relaciones existentes entre dos o más categorías en un momento específico. A través de los diseños correlacionales-causales, se explora y describe la relación entre variables en un instante concreto, lo que facilita la generación de

hipótesis que podrían ser sometidas a pruebas en investigaciones futuras. Además, este enfoque permite realizar inferencias sobre la población estudiada y establecer la presencia de relaciones entre las variables en un contexto particular. (Hernández Sampieri, 2014).

Diagrama:



Donde:

X1: Variable independiente 1

Y1: Variable dependiente 2

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Una vez que se ha determinado la unidad de muestreo o análisis, se avanza hacia la delimitación de la población que será objeto de estudio y sobre la cual se busca generalizar los resultados (Hernández Sampieri, 2014). En este estudio, la población examinada abarca los movimientos de detritos desencadenados por las precipitaciones en el distrito de San María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco.

3.2.2. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La muestra constituye un subgrupo del universo o población total del cual se recopilan los datos, y es fundamental que sea representativa de esa población en su totalidad (Hernández Sampieri, 2014). En este estudio, la muestra seleccionada se basa en la información proporcionada previamente: movimientos de flujo de detritos desencadenados por precipitaciones de lluvia, registrados desde 1990 hasta 2019 en el distrito de Santa María del Valle. La elección de esta muestra se llevará a cabo siguiendo criterios específicos establecidos y se considerará una muestra intencional, seleccionada en función de los objetivos particulares del estudio.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- c) **Observación en campo:** Fue empleada debido a la necesidad de examinar las condiciones del terreno, incluyendo aspectos como el uso de la tierra y la presencia de materiales depositados por eventos previos de fenómenos, en particular aquellos causados por lluvias persistentes en la zona. Estos datos también serán comparados y verificados mediante el plano catastral de la zona en cuestión.
- d) **Encuesta a pobladores:** Se determinó que, de un total de 15 viviendas, 11 de ellas presentan un suelo arenoso-limoso, mientras que 4 de las otras tienen un suelo más arcilloso, siendo que ambos tipos de suelos son fácilmente susceptibles a la remoción.
- e) **Análisis documental:** Que involucra fuentes primarias, suministradas por el SENAMHI. Estas fuentes fueron fundamentales para la adquisición de los parámetros pluvio-meteorológicos necesarios.
- f) **Registro de movimientos de masa:** Se documentaron los eventos de huaicos, deslizamientos y la corriente de detritos que ocurrieron en el área de estudio.
- g) **Fichas de registro de precipitaciones de lluvia:** Se recolectaron datos de precipitación a través de pluviómetros en diversas estaciones requeridas.

3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

- a) **Planos de topografía:** Se contó con planos de planta, perfiles longitudinales y secciones transversales que representan la topografía del terreno.
- b) **Información satelital:** Se utilizó el Modelo Digital de Terreno (DEM) – de Google Earth para obtener datos sobre la elevación del terreno.

- c) Tablas:** Utilizaré tablas para mostrar los datos de precipitación acumulada en diferentes eventos y los umbrales de precipitación crítica que he identificado como indicadores de riesgo para flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle. Las tablas serán organizadas y etiquetadas adecuadamente para que los lectores puedan comparar fácilmente los datos y comprender en vínculo entre las precipitaciones y los eventos de flujos de detritos.
- d) Mapas:** Los mapas serán fundamentales en la tesis para mostrar la ubicación geográfica de los eventos de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle y su relación con la topografía, cursos de agua y áreas vulnerables. También utilizaré mapas para ilustrar la distribución espacial de los umbrales de precipitación crítica en la zona, lo que ayudará a los lectores a comprender mejor la geografía de los riesgos.

3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

- a) Estadística Inferencial:** Para calcular los parámetros pluviometeorológicos, se emplearán los siguientes métodos de análisis paramétrico: regresión lineal, coeficientes de correlación, pruebas de concordancia en la media mediante el test T-Student y pruebas de concordancia en la desviación estándar a través de la prueba F-Fisher.
- b) Dispositivos tecnológicos:** Se utilizaron computadoras y ordenadores portátiles para emplear programas y herramientas como el Sistema de Información Geográfica (SIG) y Flo-2D. Estos instrumentos fueron útiles para llevar a cabo el análisis y procesamiento de datos, así como para utilizar imágenes satelitales de la quebrada. Además, se emplearán varios programas y herramientas estadísticas para analizar los datos de la investigación, entre los cuales se incluyen Quantum GIS, Microsoft Excel, HEC-HMS, Smada 6.0, ArcGIS y otros.

c) Gráficos y Gráficas: Emplearé gráficos de líneas para representar las tendencias históricas de precipitación y los incidentes de flujos de detritos en función de diferentes umbrales de precipitación. Estos gráficos permitirán visualizar claramente cómo las variaciones en la precipitación están relacionadas con los eventos de flujos de detritos en la región.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El primer paso consiste en realizar un estudio probabilístico para examinar la validez de la información de precipitación máxima mensual, asegurándose de que se encuentren dentro de los límites determinados por dicho análisis. Posteriormente, se realiza la prueba de Smirnov-Kolmogorov con el propósito de seleccionar una distribución teórica, que es una elección común en hidrología. Esta selección se basa en los datos del historial de precipitaciones máximas mensuales.

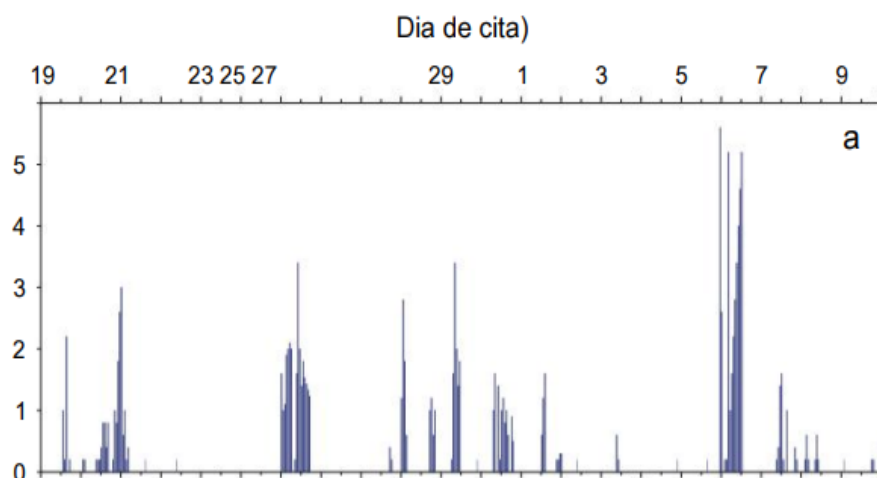
Para respaldar las hipótesis específicas, se emplearon tablas proporcionadas por la estadística clásica, como las tablas t de Student y Z. La elección de qué tabla utilizar depende del tamaño de la muestra; en general, la tabla t de Student es recomendable cuando la muestra excede los 30 datos, mientras que la tabla Z se utiliza para muestras más pequeñas que no superen los 30 datos.

3.4.1. PASO 1: EXCLUSIÓN Y DETECCIÓN DE MEDICIONES DE LLUVIA AISLADAS

La detección y eliminación de mediciones de lluvia aisladas se inicia al examinar las mediciones de lluvia horarias en el registro de lluvia corregido. Una medición de lluvia aislada se describe como una medición horaria que está separada de las mediciones de lluvia inmediatamente anteriores e inmediatamente siguientes por intervalos de tiempo en los que no hay lluvia. La duración de este período seco varía según las condiciones climáticas estacionales o locales. En la región mediterránea, este período seco puede tener diferentes duraciones dependiendo de las condiciones climáticas de la estación o el área local.

Figura 8

Detección y exclusión de mediciones de lluvia aisladas Fuente: Melillo et al. (2015)

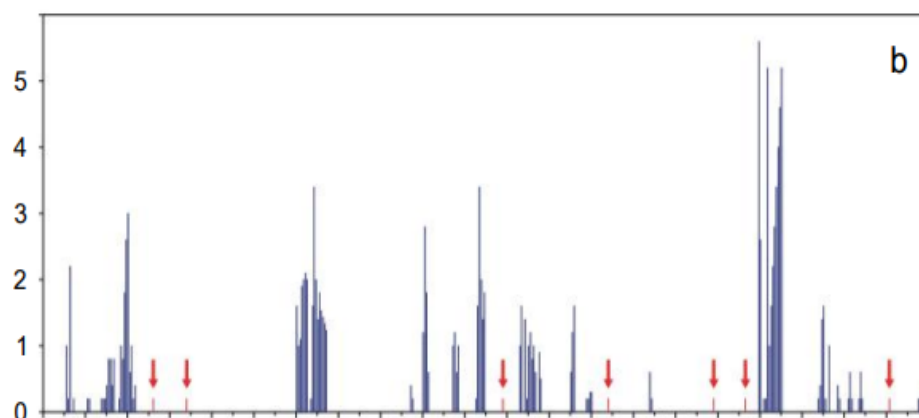


3.4.2. PASO 2: DETECCIÓN DE SUBEVENTOS DE LLUVIA

Un subevento de lluvia se establece como un período de lluvia continua que está claramente separado de los periodos de lluvia inmediatamente anteriores y posteriores por intervalos de tiempo en los que no hay lluvia, es decir, por períodos secos sin precipitación.

Figura 9

Identificación de subeventos de lluvia

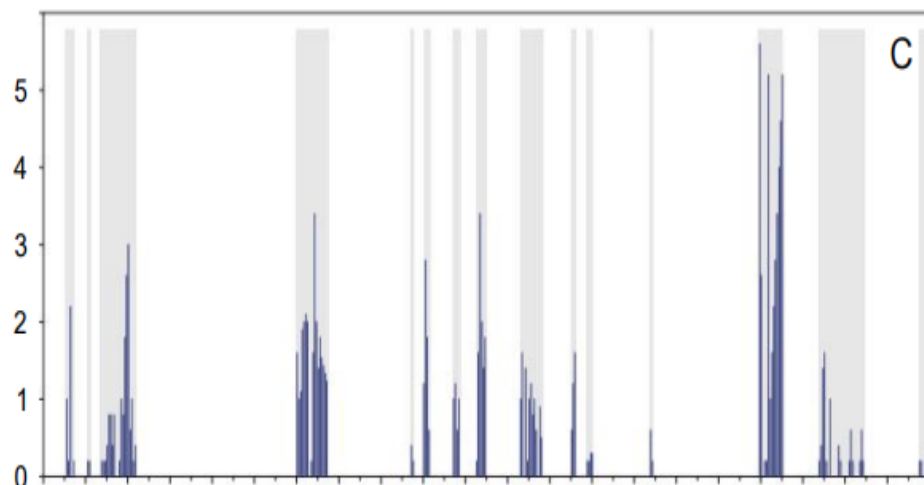


Fuente: Melillo et al. (2015)

3.4.3. PASO 3: AISLAMIENTO DE SUBEVENTOS DE LLUVIA IRRELEVANTES

El objetivo es identificar subeventos de lluvia que no sean relevantes para la remodelación de los eventos de lluvia que causaron deslizamientos de tierra.

Figura 10
Exclusión de subeventos de lluvia irrelevantes

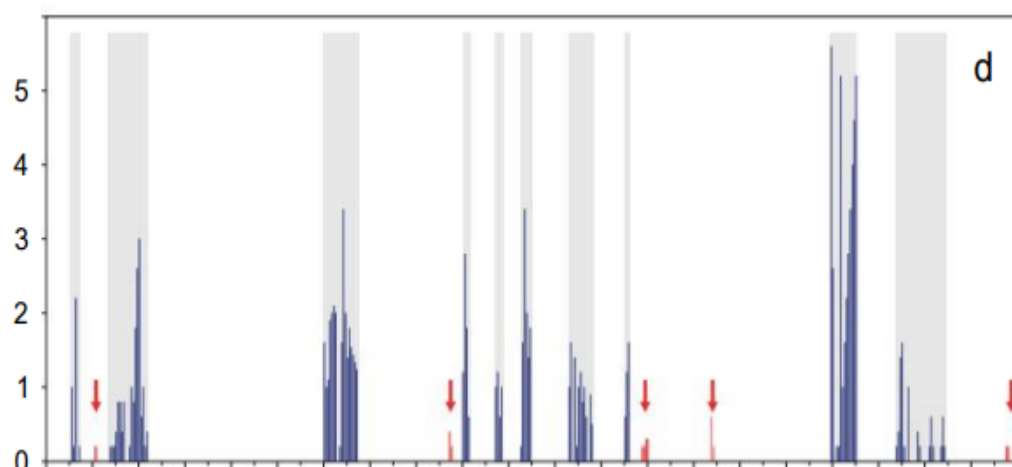


Fuente: Melillo et al. (2015)

3.4.4. PASO 4: DETERMINACIÓN DE EVENTOS DE LLUVIA

En este paso, el algoritmo combina uno o más subeventos de lluvia para formar eventos de lluvia individuales. Un evento de lluvia se define como un conjunto de períodos de lluvia continua, que están claramente separados de los eventos de lluvia anteriores y posteriores por intervalos de tiempo sin precipitación. Nuevamente, la duración mínima de los intervalos sin lluvia entre eventos puede variar según las condiciones meteorológicas.

Figura 11
Identificación de eventos de lluvia



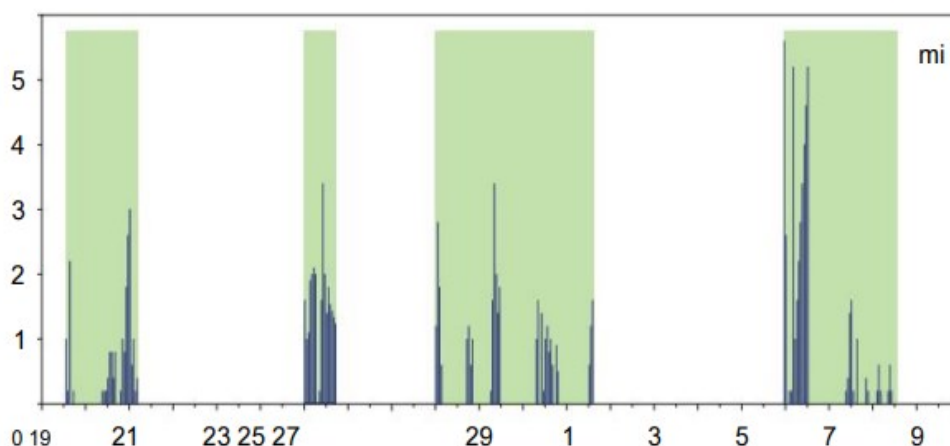
Fuente: Melillo et al. (2015)

3.4.5. PASO 5: SELECCIÓN DE EVENTOS DE LLUVIA CON DESPRENDIMIENTO DE TIERRA

Elegimos los eventos de lluvia para los cuales tenemos datos sobre la presencia de deslizamientos de tierra. Asignamos a cada deslizamiento un conjunto de mediciones de lluvia que provienen de un solo pluviómetro. Nuestros criterios de selección para el pluviómetro incluyen su cercanía geográfica al lugar del deslizamiento, la diferencia de elevación entre el pluviómetro y el sitio del desprendimiento de tierra, así como las características morfológicas locales del entorno.

Figura 12

Selección de eventos de lluvia con desprendimientos de tierra



Fuente: Melillo et al. (2015)

3.4.6. PASO 6: MEDICIONES DE LLUVIA PARA EVENTOS CON DESPRENDIMIENTO DE TIERRA

Para cada evento de lluvia que se asocie con deslizamientos de tierra, este método calcula dos métricas de lluvia que influyen en la inestabilidad de la pendiente. Estas métricas son la duración de la lluvia, denotada como DL, y la cantidad total de lluvia acumulada, denominada EL. Es importante destacar que la duración de la lluvia DL y la lluvia acumulada EL que contribuyen a la ocurrencia de desprendimientos de tierra no necesariamente coinciden con la duración de la lluvia DE y la cantidad total de lluvia acumulada EE definidas al final del primer bloque lógico para todo el evento de lluvia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Desde una perspectiva geográfica, la localidad del valle se sitúa en la zona nororiental del distrito de Santa María del Valle, dentro de las coordenadas georreferenciadas UTM 354750 - 356250 este y 8911500 - 8913750 norte. Sus altitudes aproximadas oscilan entre 1,900.00 y 2,958.00 (m.s.n.m.).

En términos políticos, se encuentra dentro de la Región de Huánuco, en el departamento de Huánuco, provincia de Huánuco y específicamente en el distrito de Santa María del Valle. El centro poblado más cercano es Mitokuera.

Figura 13
Ubicación Política



Tabla 5
Acceso a la zona de estudio

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	DISTANCIA	TIEMPO
Huánuco hacia Santa María del Valle	Carretera Central	11.920 Km	12 min
Santa María del Valle – San Sebastián de Quera	Carretera Afirmada	14.000 km	60 min
San Sebastián de Quera - Mitoquera	Carretera Afirmada	9.900 Km	48 min
TOTAL		35.820 Km	1h 40 min

Nota: el recorrido se divide en tramos de carreteras asfaltadas y afirmadas, con tiempos de viaje detallados

A) SELECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE CENTROS DE MEDICIÓN METEOROLÓGICO

Se efectuó un registro minucioso de todos los centros meteorológicas e hidrológicas presentes en la cuenca del río Huallaga y en las cuencas cercanas a la zona de Cascay. Este proceso abarcó la recopilación detallada de información, incluyendo el código de identificación de cada estación meteorológica, el tipo de estación, el período de años durante el cual se recopilaron datos, la frecuencia de muestreo, así como las coordenadas geográficas y la altitud de cada estación.

Después, se procedió a recolectar los datos de precipitación correspondientes al periodo entre los años 2015 y 2023. Durante esta etapa, se identificaron dos frecuencias diferentes para la recopilación de datos de precipitación: registros tomados cada hora y cada 12 horas.

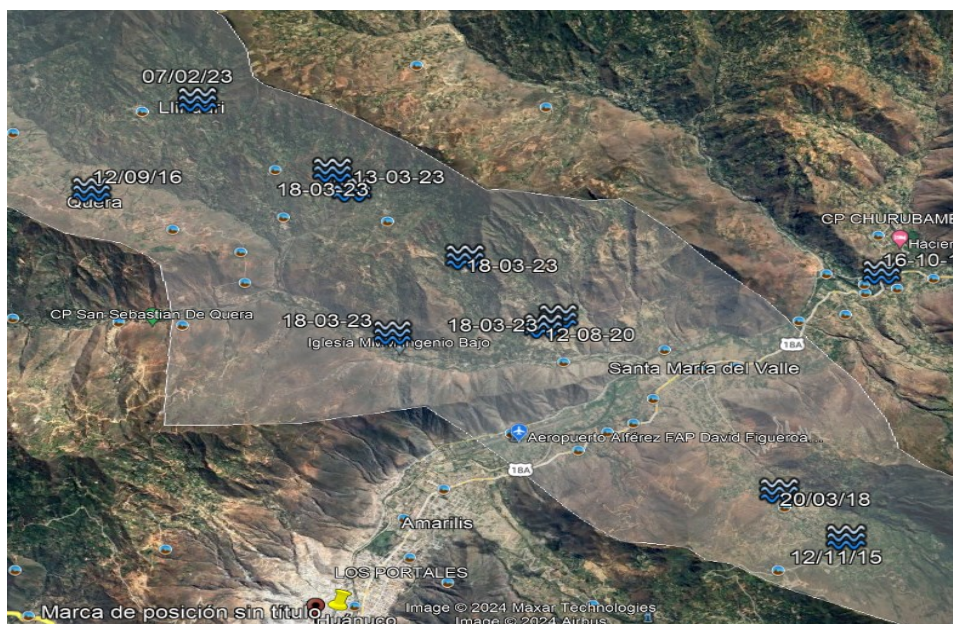
Luego, se realizó la clasificación de las estaciones que se utilizarían para establecer los umbrales de precipitación. Para este proceso de selección, se establecieron criterios específicos, que incluyeron la necesidad de contar con información de precipitación en el periodo de estudio y la condición de tener al menos 6 meses constantes de datos de precipitación disponibles.

B) DOCUMENTACIÓN DE INFORMACIÓN DE DESPRENDIMIENTO DE TIERRA

Durante el período entre los años 2015 y 2023, se realizó un minucioso registro de los desprendimientos de tierra que tuvieron lugar en la cuenca del distrito de Santa María del Valle. La recopilación de estos datos se llevó a cabo mediante una exhaustiva búsqueda en diversos recursos, tales como artículos especializados, informes técnicos, publicaciones de periódicos y reportes de emergencia disponibles en la plataforma SINPAD-INDECI.

Los datos esenciales recolectados abarcaron la fecha y hora exactas de los eventos, junto con una descripción detallada de su tipología y una indicación de su localización geográfica. En varios casos, la información sobre la ubicación geográfica de los deslizamientos era aproximada y no proporcionaba coordenadas geográficas precisas. Para abordar este desafío, se empleó el programa Google Earth para determinar de manera aproximada la localización de cada evento, atribuyendo la precisión geográfica adecuada durante el proceso de registro.

Figura 14
Ubicación espacial de los deslizamientos



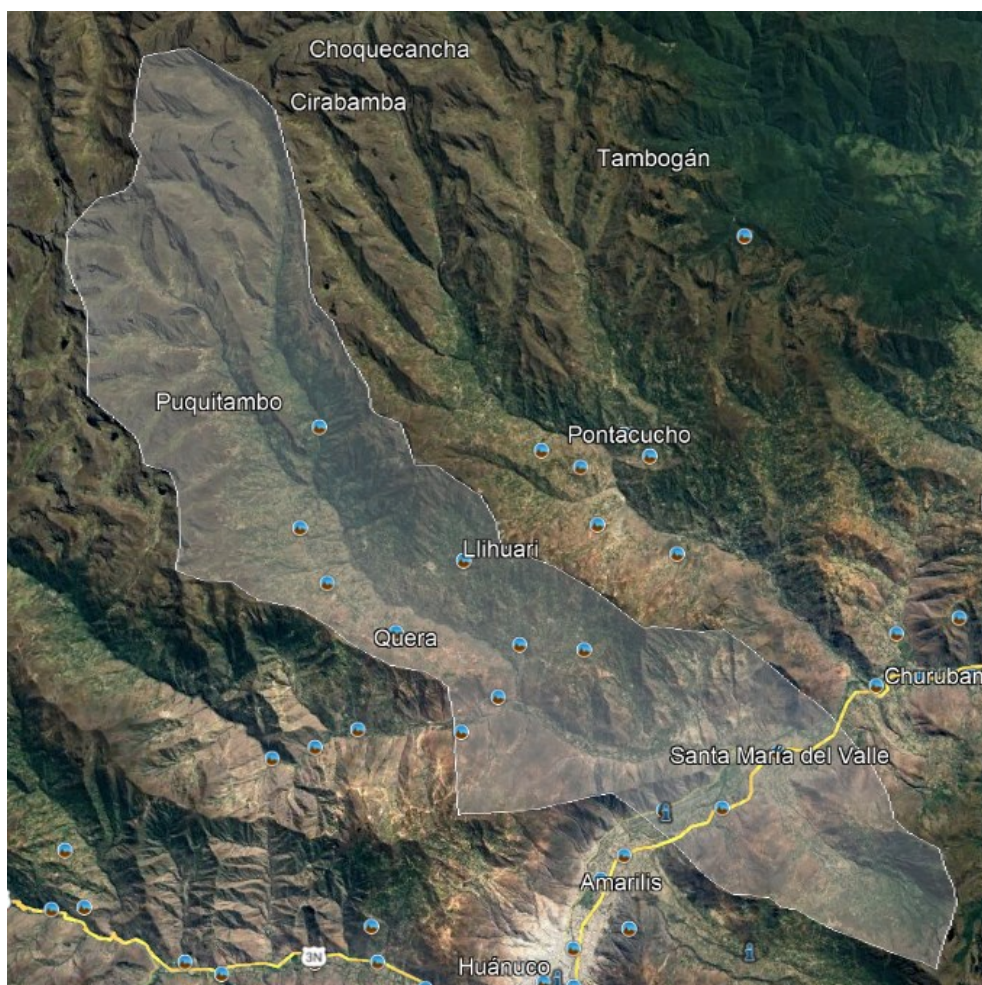
Nota: La información registrada fue de deslizamientos de masa como desprendimiento, derrumbes y huacos

C) UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El distrito de Santa María del Valle se localiza a una altitud promedio de 1940 (m.s.n.m) a una altitud Sur de -9.86278° (9 grados 51 minutos 46 segundos) de latitud y una longitud Oeste de -76.17° (76 grados 10 minutos 12 segundos). Está ubicado a aproximadamente 10.7 kilómetros al sur de la plaza de armas de Huánuco. (Distrito.pe, 2023)

Figura 15

Microcuenca del distrito de Santa María del Valle



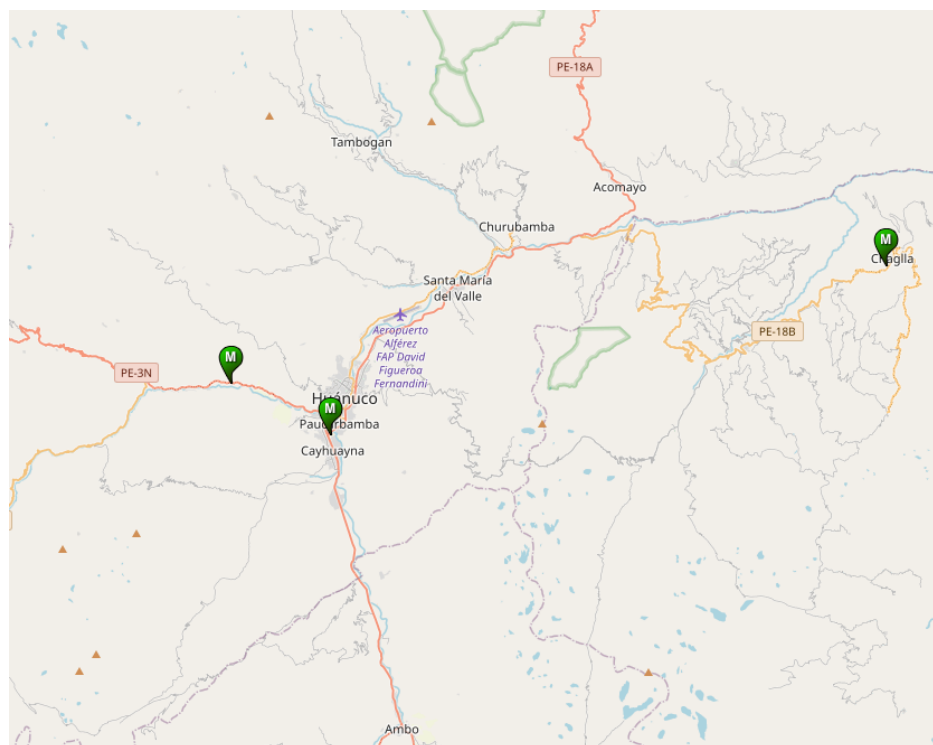
Fuente: Google earth

D) ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS

Sobre los resultados derivados del proceso de identificación y selección de estaciones meteorológicas para la investigación de tesis, fueron elegidas la Estación Huánuco (Facultad de Ciencias Agrarias - UNHEVAL), Estación Chaglla y la Estación Canchan. En lo que respecta

al periodo de registro de datos, se dispone de información detallada sobre la precipitación recopilada a lo largo de 14 años, abarcando desde el 2010 hasta el 2023.

Figura 16
Estaciones meteorológicas seleccionadas



Fuente: SENAMHI

E) ANÁLISIS HIDROLÓGICO

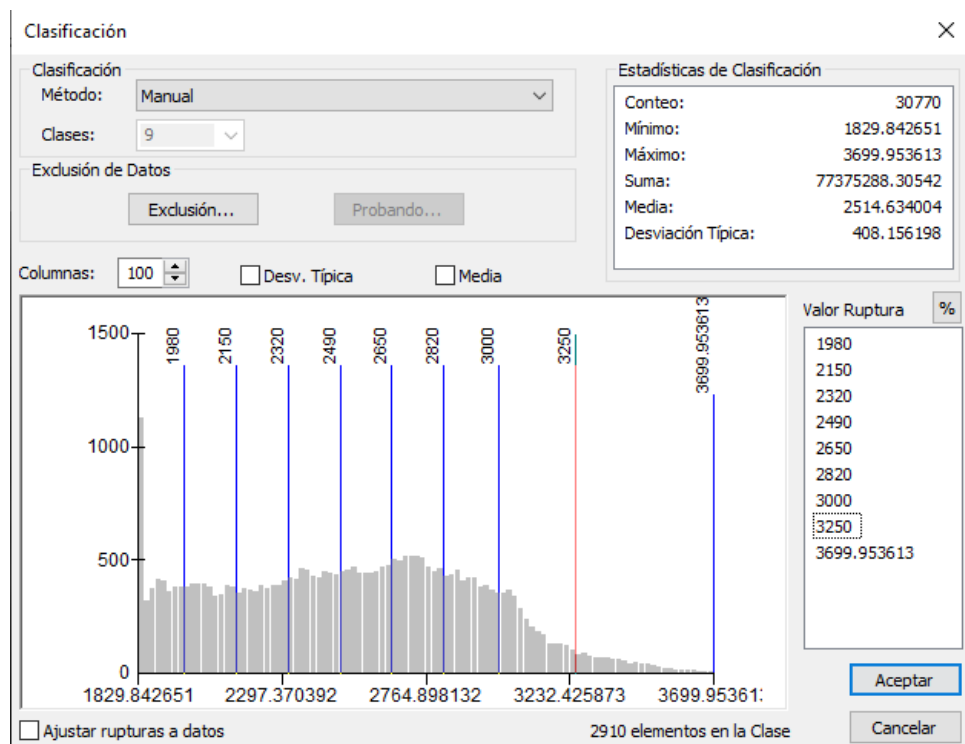
Tabla 6
Características geomorfológicas relacionadas con la microcuenca en el distrito de Santa María del Valle

PARAMETRO	VALOR	DEFINICION	PROPOSITO
PERIMETRO DE LA CUENCA	94.50 Km	Longitud total de la línea que delimita la cuenca hidrográfica.	Caracterizar la forma y configuración de la cuenca.
AREA DE LA CUENCA	254 Km ²	Superficie total dentro de los límites geográficos de la cuenca hidrográfica.	Medir la extensión de la cuenca para entender la cantidad de agua recolectada.
LONGITUD MAXIMA DE RECORRIDO	36.26Km	Distancia más larga entre dos puntos extremos dentro de la cuenca.	Máxima distancia que recorrer el agua.

LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	31.56Km	Distancia a lo largo del curso principal de agua en la cuenca.	Medir la longitud que el agua recorre desde el inicio hasta la salida de la cuenca.
ANCHO DE LA CUENCA	7.13 Km	Distancia horizontal entre los límites laterales de la cuenca en un punto.	entender la distribución espacial de las precipitaciones y el flujo de agua.

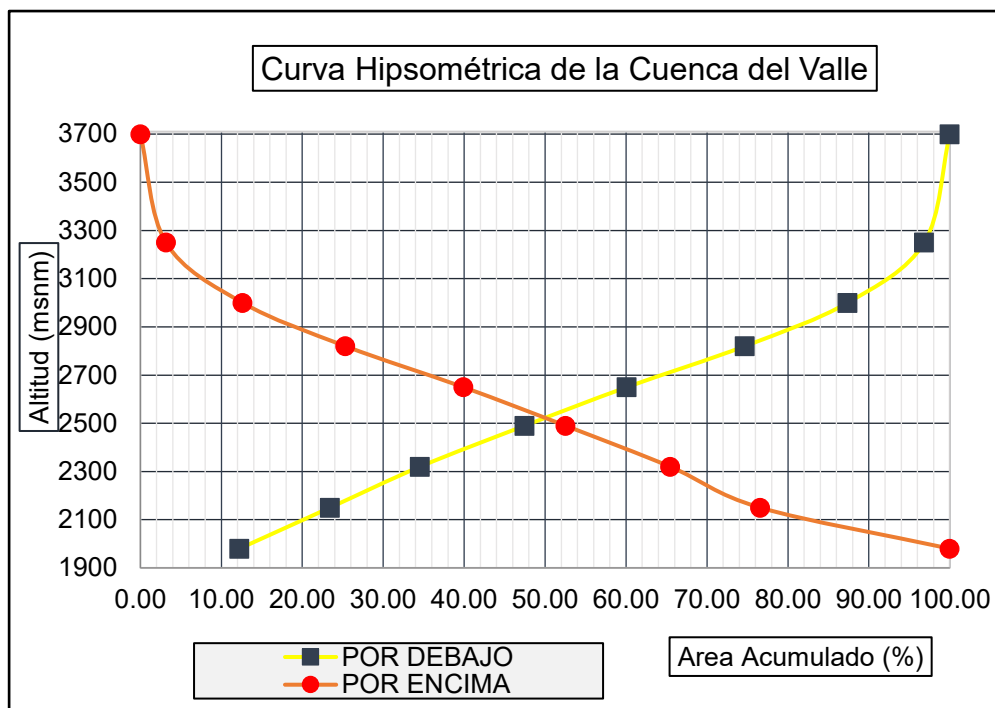
Nota: Los datos de esta tabla se realizaron según (Villon, 2005)

Figura 17
Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica



Nota: Con el Software ArcGis 10.5 obtenemos el Areado entre curvas de nivel o cotas, así como las Áreas Parciales

Figura 18
Curva Hipsométrica de la cuenca del Valle



Nota: Podemos decir que la altitud media es 2540 msnm (Intersección de las curvas hipsométricas)

Tabla 7
Características morfológicas vinculadas a la cuenca

PARAMETRO	VALOR	DESCRIPCION
ALTURA MAXIMA	4420 msnm	Representa el punto más alto del relieve.
ALTURA MINIMA	1810 msnm	Indica la parte más baja del relieve.
ALTITUD MEDIA	2607 msnm	El promedio de las altitudes de todos los puntos en una región.
ALTITUD MAS FRECUENTE	2035 msnm	Es la elevación más común en el área.
ALTITUD MAYOR DELCAUCE	3711 msnm	Elevación más alta registrada a lo largo del curso de agua principal
ALTITUD MENOR DEL CAUCE	1850 msnm	Elevación más baja registrada a lo largo del curso de agua principal
ENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA	41.31%	Inclinación media del terreno en la cuenca hidrográfica

Nota: Estos parámetros geomorfológicos son cruciales para entender la topografía y las características del terreno en una de la microcuenca del distrito de Santa María del Valle

F) DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

Los deslizamientos en la cuenca del distrito Santa María del Valle fueron objeto de un análisis exhaustivo durante el periodo de investigación. En siguiente tabla, se exponen los hallazgos clave en relación con la precisión espacial y temporal de los eventos registrados en la investigación.

Tabla 8
Registro del total de eventos

Total registrado	Exactitud geográfica			Exactitud temporal		
	G1	G10	G100	T1	T2	T3
24	8	16	0	2	22	0

Nota: Eventos registrados de acuerdo a la información brindada por el CENEPRED

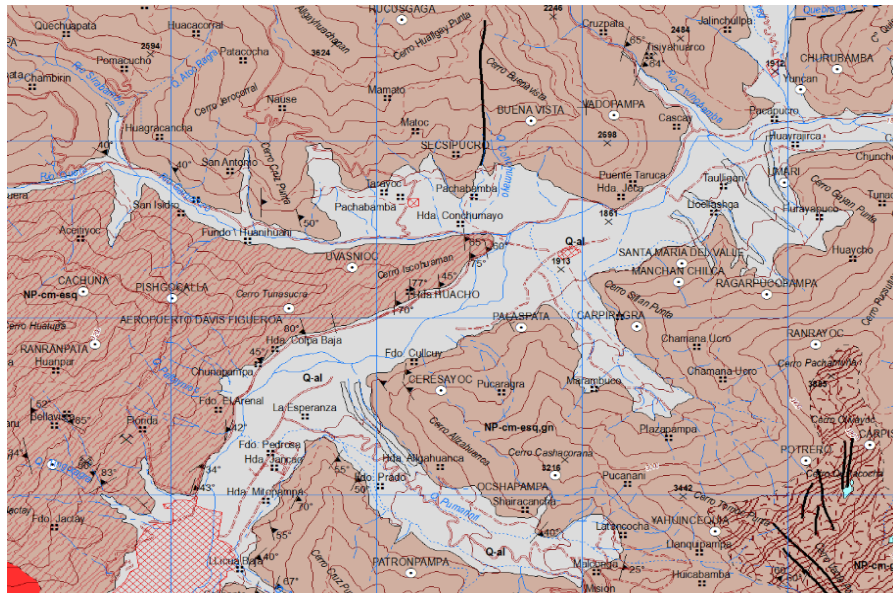
El 33.3% de los desprendimientos de tierra fueron identificados con una exactitud geográfica de 1 km² (categoría G1), mientras que el 66.7% se registró con una precisión de 10 km² (categoría G10). En cuanto a la precisión temporal, el 8% de los eventos permitió determinar la hora exacta (categoría T1), mientras que para el 98%, solo se pudo establecer el día del suceso.

G) ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

Zavala y Vilchez (2006) señalan que el área del distrito Santa María del Valle se ubica en una unidad montañosa con laderas de pendiente moderada, sobre secuencias metamórficas del Complejo Maraón. Esta región está asociada con procesos erosivos en las laderas, como cárcavas, deslizamientos y huaicos.

Durante la inspección en el terreno, se observó la presencia de un depósito coluvio-deluvial en el piedemonte, originado por un deslizamiento, con una pendiente que varía entre 15° y 20°. Se identificó la montaña metamórfica con laderas de pendiente superior a 20°, mostrando una alta susceptibilidad a la ocurrencia de desplazamientos en masa como deslizamientos, erosiones en las laderas y flujos de detritos (huaycos).

Figura 19
Geología del distrito de Santa María del Valle



Fuente: (Quispesivana Quispe, 1996)

Figura 20
Leyenda de la geología del valle

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		
Depósito aluvial	Q-al	Depósitos de gravas y arenas con matriz limoarenosa formando terrazas
Depósito glaciar, fluvial	Q-gli	Gravas polimícticas, heterométricas subredondeados con matriz arenosa a arenolimos
Depósito glaciar	Q-gl	Acumulaciones de bloques rocosos heterométricos, subangulosos con matriz de arenas limosas y limos
~~~~~~ Discordancia ~~~~~~		
Complejo Maraón	NP-cm-esq	Esquisto
	NP-cm-esq,gn	Esquisto, gneis
	NP-cm-gn	Gneis

Fuente: (INGEMMET, 1996)

Basándose en la cartografía elaborada en el cuadrángulo de Huánuco, Quispesivana (1996), se identifican en la zona afloramientos de rocas metamórficas, específicamente esquistos y micaesquistos, que exhiben tonalidades verdes y grises, junto con vetas de cuarzo. Estas rocas configuran un relieve irregular y accidentado, con presencia abundante de material de escombros en sus lados.

La roca presenta una notable fracturación debido a la esquistosidad y se encuentra en un estado de meteorización moderado. Como

resultado, se generan depósitos que contienen bloques y gravas envueltos en una matriz limosa.

En la región, se pueden observar depósitos cuaternarios que se componen de depósitos aluviales y coluviodeluviales. Los depósitos aluviales están asociados al lecho del río Huallaga y se caracterizan por contener gravas, con escasos bloques de formas redondeadas, todos cubiertos en una matriz arenosa. Por otro lado, los depósitos coluviodeluviales presentan bloques y gravas de formas angulosas de origen metamórfico, encapsulados en una matriz limosa. Estos depósitos se encuentran sin consolidar y son fácilmente susceptibles a la remoción.

## **H) PELIGROS GEOLÓGICOS**

Zavala y Vilchez (2006) califican la región del distrito de Santa María del Valle como una zona crítica en términos de peligro geológico, donde se han detectado fenómenos erosivos en forma de cárcavas y flujos de detritos. Además, se la considera como un área altamente propensa a experimentar movimientos en masa.

En el área de Cullcuy, se ha identificado un antiguo deslizamiento-flujo de tipo rotacional que está experimentando un proceso de reactivación. Este deslizamiento se ve afectado por procesos de erosión en las laderas.

## **I) DESLIZAMIENTO-FLUJO ANTIGUO**

Este suceso, probablemente ocurrió hace varios años, dado que se trata de un deslizamiento-flujo, cuyo desencadenante probable fueron lluvias intensas. La masa inestable se satura de agua, transformándose en un fluido desplazándose.

Este acontecimiento exhibe una corona principal con una longitud de 1700 metros, adoptando una forma parabólica; lamentablemente, el salto no es discernible debido a la erosión. La distancia desde la corona hasta la base del deslizamiento es de 3,200 metros, con una diferencia de altitud de 1,100 metros entre la base y el punto de inicio. El cuerpo del deslizamiento tiene un ancho promedio de 300 a 350 metros, y en la desembocadura se ha formado un semicírculo con una longitud de 670

metros.

Una característica distintiva de este antiguo deslizamiento son las colinas presentes en su cuerpo, junto con basculamientos del terreno, indicativos de un deslizamiento rotacional. Se pueden observar diferentes escarpes en el cuerpo del deslizamiento, señalando que ocurrieron varios movimientos durante su formación. Este cuerpo está compuesto principalmente por un depósito de arcillas con limos y bloques, algunos de hasta 1 metro de tamaño, siendo predominantes aquellos de 50 a 30 centímetros.

El deslizamiento antiguo está delimitado por dos quebradas, las cuales son fuentes de flujos de detritos. Además, sobre el cuerpo del deslizamiento, se presentan procesos erosivos en las laderas, generando material suelto que alimenta a las quebradas. Se observan también escarpes secundarios con saltos que varían entre 5 y 10 metros, con longitudes de hasta 100 metros.

**Figura 21**

*Separación de las diferentes fases de movimientos (líneas amarillas)*



Fuente: (INGEMMET, 2018)

**Figura 22**

*Procesos de erosiones de ladera en el cuerpo del deslizamiento*



Fuente: (INGEMMET, 2018)

**Figura 23**

*Escarpe secundario (A) y agrietamientos recientes en la superficie del terreno (B)*



Fuente: (INGEMMET, 2018)

**Figura 24**

*Rocas metamórficas de hasta de 40 cm de longitud, que conforman el cuerpo del deslizamiento*



Fuente: (INGEMMET, 2018)



## J) PRECIPITACIÓN ACUMULADA

Los resultados obtenidos mediante el proceso de identificación, selección y análisis de datos de precipitación provenientes de estaciones meteorológicas, constituyen la base fundamental para la construcción de series de lluvia de la región del valle, lo cual es esencial para el establecimiento de umbrales de precipitación.

**Figura 25**

*Precipitación diaria obtenido de la estación pluviométrica de Huánuco*



Fuente: (SENAMHI, 2023)

Los resultados derivados del análisis detallado de los datos recogidos por los pluviómetros ofrecen una visión reveladora sobre la compleja interacción entre los patrones climáticos y la incidencia de eventos de la corriente de detritos en la región. Es de particular interés que, de los sucesos registrados, un 19.5% se asocia directamente con flujo de detritos, mientras que el 80.5% restante corresponde a eventos de lluvia que, o bien no provocaron deslizamientos, o bien carecen de un registro que confirme su ocurrencia.

En un análisis más profundo, surge la notable observación de que el 78.2% de los eventos de lluvia se concentran en el periodo húmedo. Este periodo se caracteriza por límites de precipitación relativamente bajos, con tan solo 0.2 mm, y un tiempo límite sin lluvia de 2 días. En contraste, el periodo seco presenta un límite de 4 días sin lluvia. Estos

detalles resaltan la importancia de considerar las particularidades de cada periodo para una comprensión más precisa de los eventos meteorológicos.

Asimismo, la geolocalización de los eventos de corriente de detritos revela una distribución significativa, ya que la mayoría de los registros se concentran en áreas cercanas a las zonas urbanas. Este patrón podría atribuirse a la mayor visibilidad y notoriedad de estos eventos en entornos urbanizados, donde la densidad poblacional y la presencia de infraestructura vulnerable pueden acentuar los impactos de los deslizamientos.

En contraste, las zonas rurales o alto andinas exhiben una menor presencia de eventos registrados, planteando la hipótesis de que estos eventos pueden no ser tan notorios en áreas menos pobladas o que la falta de infraestructura vulnerable podría contribuir a la falta de registro adecuado. Estos hallazgos contribuyen significativamente a la comprensión de los riesgos climáticos y geológicos en la región.

## **K) UMBRALES DE PRECIPITACIÓN PARA LA CUENCA DEL DISTRITO DE SANTA MARÍA DEL VALLE**

**Tabla 9**  
*Umbrales de Precipitación máxima diaria para la estación de Huánuco*

Umbrales de Precipitación	Aspecto de lluvias extremas	Umbrales calculados para la región de Huánuco
RR / día. > 99p	Excesivamente lluvioso	RR. >24,7 mm
95p < RR. / día. ≤ 99p	Muy lluvioso	13,1 mm < RR. ≤ 24,7 mm
90p < RR. / día. ≤ 95p	Lluvioso	9,5 mm < RR. ≤ 13,1 mm
75p < PP. / día. ≤ 90p	Medianamente lluvioso	4,8 mm < RR. ≤ 9,5 mm

Fuente: (SENAMHI, 2020)

Esta clasificación no tiene como objetivo proporcionar umbrales específicos de intensidad de lluvias y sus impactos en actividades económicas u otros aspectos, los cuales deben abordarse mediante estudios específicos. Más bien, se presenta como una clasificación de

abundancia que busca establecer un criterio común al clasificar la cantidad total acumulada en 24 horas, aunque de manera indirecta aborda la intensidad de la precipitación. Estos valores pueden adquirir relevancia en relación con impactos cuando se disponga de información más detallada sobre los temas en cuestión.

Es crucial tener en cuenta que la utilización de umbrales altos para eventos raros se realiza a costa de una pequeña muestra, según señala Linus Magnusson y colaboradores (ECMWF 2014). Por otro lado, la elección de umbrales más bajos podría conducir a estadísticas más fiables, pero a expensas de la capacidad de distinguir y verificar de manera estadística la habilidad para pronosticar eventos extremos. En resumen, la clasificación proporciona un marco general para la interpretación de datos, destacando la necesidad de considerar cuidadosamente la relación entre la magnitud de los eventos y la confiabilidad estadística en el análisis de impactos asociados.

**Tabla 10**  
*Precipitación máxima 24h con diferentes periodos de retorno*

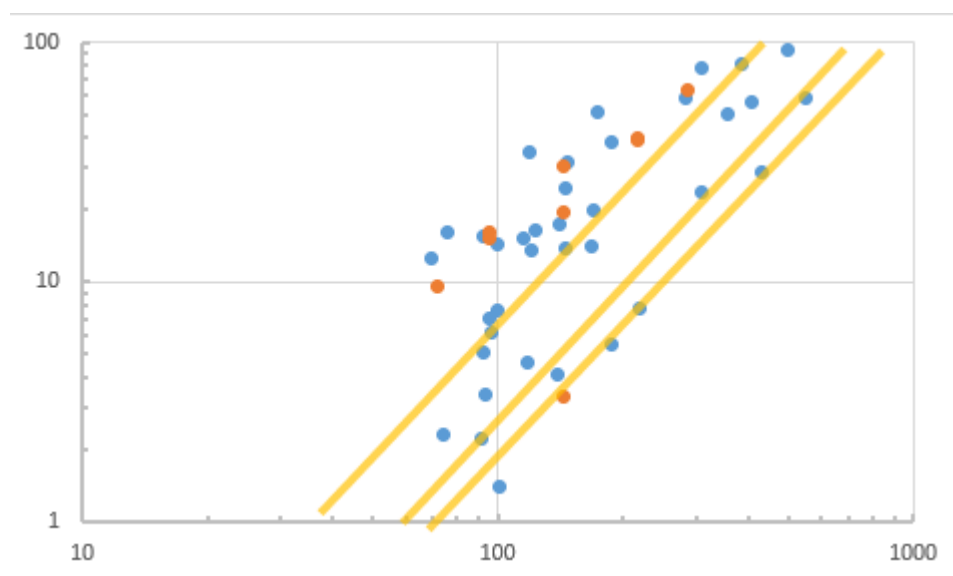
TR (años)	Huánuco	Canchan	promedio
2	31.4	23.2	27.3
5	47.6	43.2	45.4
10	52.6	55.7	54.15
20	59.2	60.6	59.9
25	81.7	62	71.85
50	87.8	72.9	80.35
100	87.9	77.5	82.7
200	95	79.9	87.45
500	95.2	85.2	90.2

**Tabla 11**  
*Parámetros de umbrales de precipitación*

Probabilidad de excedencia	$\alpha$	$\pm \blacktriangle \alpha$	$y$	$\pm \blacktriangle y$
1%	0.5	$\pm 0.2$	0.64	$\pm 0.1$
5%	0.7	$\pm 0.2$	0.64	$\pm 0.11$
10%	0.8	$\pm 0.3$	0.64	$\pm 0.11$
15%	1.1	$\pm 0.4$	0.64	$\pm 0.11$
25%	1.8	$\pm 0.5$	0.64	$\pm 0.11$

**Figura 26**

*Condiciones de duración de la precipitación y de la lluvia acumulada*



Peruccacci (2012) indican que los umbrales con valores pequeños de  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  son robustos y confiables, mostrando una menor sensibilidad a la inclusión de nuevos sucesos de precipitación relacionados con deslizamiento de tierra. La tabla revela que a medida que el umbral de probabilidad de excedencia aumenta de 0.2 a 0.5,  $\Delta\alpha$  experimenta un incremento, ya que está estrechamente ligado a  $\alpha$ .

Los investigadores destacan que  $\Delta\alpha$  influye en el modo de actuar de la precipitación acumulada (E) en eventos de corta duración, mientras que, para eventos de mayor duración, la precipitación acumulada muestra mayor sensibilidad a  $\Delta\gamma$ . Esto se debe a que  $\gamma$  representa el exponente en la curva del modelo matemático de la ley de potencia. Además, los autores sugieren que un valor del 10 % de incertidumbre relativa, aplicado a  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ , es aceptable para obtener umbrales de precipitación de alta calidad.



**Tabla 12***Variación de los umbrales en función al número de sucesos*

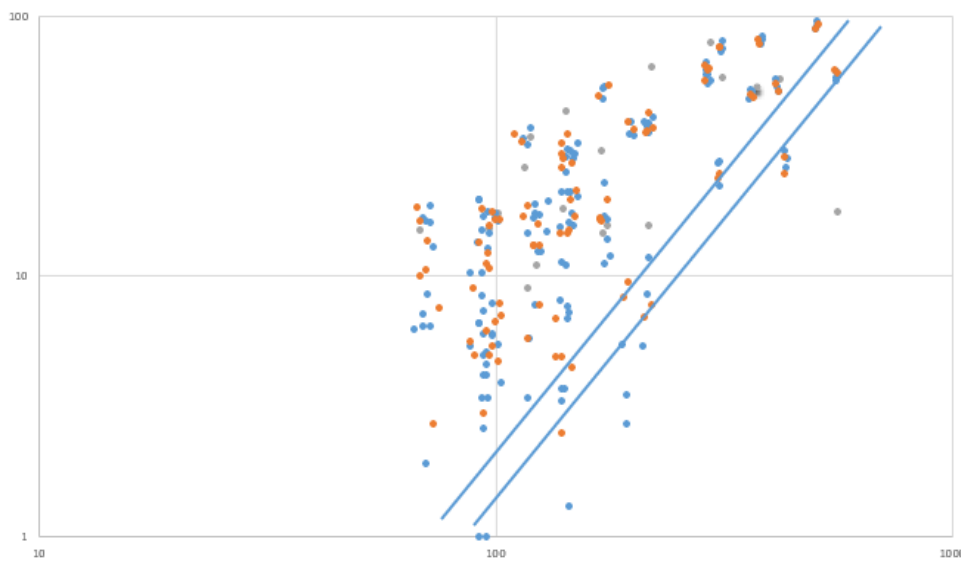
REL	$\alpha$	$\blacktriangle \alpha$	$\blacktriangle \alpha/\alpha$	y	$\blacktriangle y$	$\blacktriangle y/y$
10	1.9	5.1	268.4%	0.59	0.3	50.8%
15	0.8	1.1	130.0%	0.57	0.29	50.9%
20	0.5	0.6	120.0%	0.53	0.27	50.9%
25	0.7	0.6	85.7%	0.6	0.26	43.3%
30	0.4	0.6	150.0%	0.6	0.22	36.7%
35	0.4	0.6	150.0%	0.53	0.2	37.7%
40	0.6	0.5	83.3%	0.56	0.17	30.4%
45	0.4	0.5	125.0%	0.45	0.16	35.6%
50	0.4	0.4	100.0%	0.54	0.15	27.8%
55	0.8	0.4	50.0%	0.45	0.15	33.3%
58	0.6	0.3	50.0%	0.54	0.12	22.2%
10	1.9	5.1	268.4%	0.5	0.11	22.0%
15	0.9	1.5	155.6%	0.57	0.29	50.9%
20	0.5	0.5	100.0%	0.46	0.24	52.2%
25	0.5	0.5	100.0%	0.55	0.23	41.8%
30	0.9	0.4	44.4%	0.48	0.22	45.8%
35	0.5	0.4	80.0%	0.49	0.2	40.8%
40	0.9	0.4	44.4%	0.6	0.19	31.7%
45	0.8	0.3	37.5%	0.45	0.19	42.2%
50	0.9	0.3	33.3%	0.53	0.16	30.2%
55	0.7	0.2	28.6%	0.54	0.14	25.9%
58	0.8	0.2	25.0%	0.49	0.11	22.4%

En la tabla se observa una tendencia hacia la reducción de las incertidumbres a medida que se aumenta el volumen de datos empíricos utilizados en su cálculo. Pero, a pesar de la disminución de las ambigüedades relativas, estas no alcanzan los valores sugeridos por los autores. Este fenómeno sugiere que la cantidad actual de información utilizados para calcular los parámetros del modelo matemático aún no es suficiente, lo que indica la posibilidad de ampliar tanto el período como el área de estudio para mejorar la calidad de los resultados.

## L) VALIDACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

**Figura 27**

*Validación de umbrales de precipitación*



*Nota:* Umbrales para T1 y T5 probabilidad de excedencia

En la figura, se pueden identificar tres conjuntos de datos claramente diferenciados. El primero consiste en 34 eventos que forman parte del grupo de validación, representados por puntos de color naranja. El segundo conjunto muestra 68 sucesos de precipitación, de ellos no se dispone de información sobre la ocurrencia de deslizamientos de tierra, estos se identifican con puntos de color azul. Por último, el tercer grupo (puntos de color gris) comprende 22 condiciones de lluvia con una duración que se encuentra fuera del intervalo de calibración de los umbrales. Durante el proceso de validación de los umbrales, solamente se emplearon los eventos pertinentes a los dos grupos inicialmente mencionados.

### 4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

#### 4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL

En la medida que se determine los umbrales de precipitación, podemos hacer un pronóstico y seguimiento del movimiento de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco

#### **4.2.1.1. CONCLUSIÓN RESPECTO A LA HIPÓTESIS GENERAL**

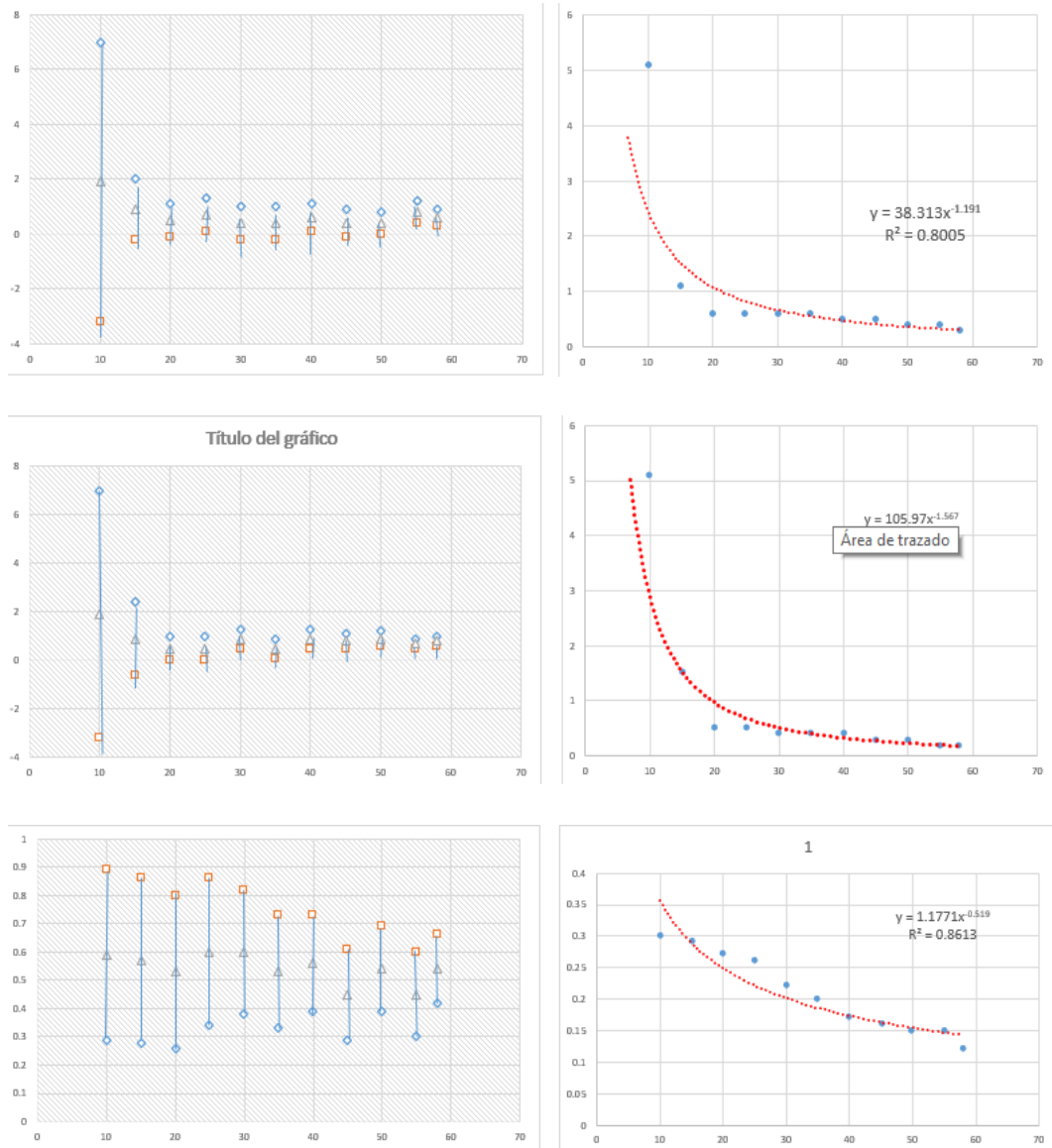
Se procedió a verificar la hipótesis general utilizando un enfoque estadístico que establece un vínculo entre la precipitación pluvial y los movimientos de detritos, tomando en cuenta una variedad de parámetros geomorfológicos y geotécnicos, es decir, aspectos físicos relevantes. Esta evolución se llevó a cabo con la finalidad de establecer umbrales de manera objetiva, utilizando procesos de calibración y validación. El objetivo principal de esta metodología fue maximizar y mejorar la capacidad predictiva, contribuyendo así a la reducción de posibles errores en el seguimiento y predicción de los movimientos de detritos en la cuenca del distrito de Santa María del Valle, ubicado en la provincia de Huánuco, departamento de Huánuco. La implementación de estos umbrales objetivos representa un avance significativo en la precisión y eficacia de las predicciones, lo que resulta importante para la gestión y mitigación de riesgos en la región.

# CAPÍTULO V

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Figura 28**

*Variabilidad de los parámetros del modelo de umbral en función a la cantidad de eventos*



En el análisis de la variación de los valores medios de  $\alpha$  y  $\gamma$  en función del número de eventos evaluados, se nota una tendencia a estabilizarse a medida que aumenta la cantidad de información. Sin embargo, cabe destacar que la media aún no alcanza estabilidad para el parámetro  $\gamma$ . Es visualmente evidente el elevado nivel de incertidumbre relativa asociado con 10 eventos, como se presenta en la Tabla 12.

En comparación, Peruccacci (2012) llevaron a cabo su investigación utilizando un amplio conjunto de datos que incluía 442 sucesos de precipitación asociados con desplazamiento de tierra. Su estudio sobre la dependencia de los parámetros reveló que, para la región de Italia central, se requerían al menos 75 datos para determinar umbrales relativamente confiables. Sin embargo, para alcanzar umbrales con ambigüedades relativas inferiores al 10 %, se necesitaban al menos 175 datos. Es importante destacar que los autores mencionaron la posibilidad de que este comportamiento pueda variar según diferentes conjuntos de datos.

En línea con los datos presentados tablas y figuras anteriores, se deduce que se necesita una mayor cantidad de datos para determinar un número mínimo de sucesos de precipitación que causen deslizamientos de tierra. Este aspecto es crucial para desarrollar umbrales con un nivel adecuado de confiabilidad y una menor sensibilidad a la inclusión de nueva información. Estos hallazgos subrayan la relevancia de la cantidad y calidad de los datos en la formulación de umbrales de precipitación para la predicción de desprendimientos de tierra, resaltando la necesidad de un enfoque cuidadoso y bien fundamentado en el análisis de los eventos de precipitación.

## CONCLUSIONES

- Se establecieron umbrales de precipitación considerando valores promedio de 57,1 horas de duración (D), 25,0 mm de precipitación acumulada (E), y una intensidad media de 0.13 mm/h. Sin embargo, se observaron niveles de incertidumbre relativas ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ) superiores a las recomendaciones sugeridas por Peruccacci (2012).
- Se confirmó que, al establecer el vínculo entre la precipitación de lluvia y los movimientos de detritos, se pueden determinar umbrales críticos de lluvia utilizando métodos empíricos que vinculan la lluvia con dichos movimientos. Estos métodos se basan en series de lluvia acumulada que desencadenan los mencionados deslizamientos. Además, se llevó a cabo la búsqueda de umbrales matemático mediante la aplicación de la ley de la potencia en coordenadas lineales (a través de una relación logarítmica) y técnicas de estadística no paramétrica.
- Se afirma que las zonas rurales o altoandinas exhiben una menor presencia de eventos registrados, planteando la hipótesis de que estos eventos pueden no ser tan notorios en áreas menos pobladas y/o que la falta de infraestructura vulnerable contribuye a la falta de registro adecuado. La mayoría de los desprendimientos de tierra tuvieron lugar en áreas próximas a zonas urbanas, siendo los flujos la modalidad más común, desencadenados mayormente por sucesos de precipitación de corta extensión.

## RECOMENDACIONES

- Es importante que entidades tanto públicas como privadas, tales como INDECI, CENEPRED, PREDES, entre otras vinculadas al control y prevención de desastres, optimicen y uniformicen el proceso de registro de datos sobre desprendimiento de tierra. Mejorar la calidad y cantidad de información empírica, incluyendo detalles como hora, fecha, y ubicación geográfica y tipo. resultará fundamental para perfeccionar la determinación de umbrales de precipitación.
- Por motivo a la limitada presencia de estaciones pluvio-meteorológicas, tanto convencionales como automáticas, se recomienda a las entidades públicas responsables del registro de precipitación, como SENAMHI y ANA, que incrementen y optimicen la distribución de estas estaciones. Dada la mayor incertidumbre en mediciones de lluvia en regiones montañosas, se propone realizar estudios adicionales para evaluar la factibilidad de emplear umbrales basados en observaciones satelitales. Comparar umbrales derivados de diferentes pluviómetros con aquellos de estimaciones satelitales a nivel local sería particularmente beneficioso. Además, se destaca la importancia de ampliar tanto el periodo como el área de estudio. De acuerdo con lo indicado por Peruccacci (2012), resultados más robustos y precisos se obtienen con un mayor número de datos empíricos que posean una mejor categoría, mayor cantidad y distribución más amplia.
- Debido a que no se registran todos los deslizamientos de tierra, es crucial establecer mecanismos que faciliten la identificación de estos eventos, asegurando su inclusión en la muestra. Una posible estrategia para lograrlo consiste en realizar evaluaciones en campo con la colaboración de los pobladores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha Alhuay, N. I. (2022). Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco. Repositorio Institucional.
- Castellanos, G. (2003). Metodología de la investigación científica para las ciencias técnica . Universidad de Matanzas, Matanzas.
- CENEPRED. (2015). Manual para la Evaluacion de Riesgo Originados por Fenomenos Naturales - 2da Versión. Manual para la Evaluacion de Riesgo Originados por Fenomenos Naturales.
- Cerqueda Palacios, I. C. (2022). Determinación de la amenaza por flujo de detritos en la cuenca de la quebrada Estaquecá. repositorio.
- Dante, C. O. (2022). Evaluación de umbrales críticos de precipitación como principal detonante de la amenaza por procesos de remoción en masa. en la nueva era.
- Gálvez, O. (2019). Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú . Dirección de Hidrología.
- Gutierrez. (2021). Estimacion de riesgos por flujo de detritos en la quebrada San Jeronimo Lunahuana - Cañete. Tesis de Pregrado.
- Guzzetti. (2007). Definition of critical threshold for different scenarios. RISK-Advance Weather Forecast System to Advice on Risk Events and Management. Meteorology and Atmospheric Physics.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología De La Investigación. México.
- INGEMMET. (2018). Peligros Geologicos en el Sector de Cullcuy. Informe Tecnico INGEMMET.
- Instituto Geografico Nacional. (2015). NORMA TÉCNICA GEODÉSICA. Lima: Diario el Peruano.



- Jasso, S. (2016). Movimientos en masa desencadenados por eventos hidrometeorológicos en el Cañón Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Marquez, M. (2023). Determinación de umbrales de lluvia detonante de . Universidad Nacional de deslizamientos en Colombia.
- Peña Layme, N. M. (2023). Evaluación del nivel de riesgo originado por flujo de detritos del centro poblado de Puente Santiago del distrito de Quellouno, provincia de La Convención – Cusco - 2019. repositorio Institucional.
- Quispesivana Quispe, L. J. (1996). Geología del cuadrángulo de Huánuco. Hoja: 20-k. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional; N° 75.
- Quispesivana Quispe, L. J. (1996). Geología del cuadrángulo de Huánuco. Hoja: 20-k . Huanuco: INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional; n° 75.
- Román, S. S. (2016). Hidrología Superficial: Relaciones Precipitación Escorrentía. Universidad de Salamanca.
- Santiago torres, E. m. (2023). Umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico, de movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán–Distrito de San Rafael- Provincia de Ambo–Departamento de Huánuco. repositorio unheval.
- Sepulveda. (1998). Metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos en ambientes montañosos: aplicacion en la quebrada la cañas. region metropolitana.
- Villanueva, V. (2000). Manejo de cuencas altoandinas: Vol. Tomo I. Universidad Nacional Agraria La Molina .
- Villon, M. (2005). Hidrologia General. costa rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Zavala Carrión, B. L., & Vílchez Mata, M. S. (2006). Geodinámica e Ingeniería Geológica; n° 34. INGEMMET. Boletín, Serie C.

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Alvarado Toribio, P. (2024). *Umbrales de precipitación en el pronóstico y seguimiento de movimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	
	Problema General	Objetivo general	Hip. general	TECNICAS E INSTRUMENTOS
<b>UMBRALES DE PRECIPITACION EN EL PRONOSTICO Y SEGUIMIENTO DE MOVIMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS EN EL DISTRITO DE SANTA MARÍA DEL VALLE</b>	¿De qué manera los umbrales de precipitación determinan el pronóstico y seguimiento de movimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco?	Emplear los umbrales de precipitación para el pronóstico y seguimiento de flujos de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco	En la medida que se determine los umbrales de precipitación podemos hacer un pronóstico y seguimiento del movimiento de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco	INSTRUMENTOS: la obtención de datos hidrométricos TÉCNICAS: determinación de los umbrales de precipitación
	Problema específico	Objetivo Especifico	Hip. Nula	
	¿En qué manera influye la intensidad de lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco?	Calcular la intensidad de lluvia y su influencia con los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco	En la medida que se determine los umbrales de precipitación no se podrá hacer un pronóstico y seguimiento del movimiento de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco	
	¿En qué manera contribuye la frecuencia de	Determinar la contribución de la frecuencia		

<p>lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de Santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco?</p>	<p>de lluvia de los umbrales de precipitación en la generación de flujo de detritos en el distrito de santa María del Valle, provincia de Huánuco, departamento de Huánuco</p>
<p>¿Cómo influye el tamaño del área de la cuenca en la aparición de flujos de detritos en la región de Santa María del Valle, ubicada en la provincia de Huánuco, dentro del departamento de Huánuco?</p>	<p>Determinar la influencia del área de la cuenca en la generación de flujo de detritos en el distrito de santa María del Valle, provincia de Huánuco</p>

*Nota:* Evaluación gráfica de coherencia en investigaciones académicas.

## ANEXO 2 GEOLOCALIZACIÓN



Fuente: Google Eart.