

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR
LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO – BOLOGNESI –
ANCASH, 2024”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por:

Bach. FLORES TRUJILLO, Hildebrandt Yholino

ASESOR:

PhD. LOARTE CADENAS, Edwin Anibal

HUARAZ - PERÚ

2025





"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias del Ambiente (FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), 1er. Piso - Pabellón J - Ciudad Universitaria - Independencia - Huaraz, de conformidad a la normatividad vigente procesan el acto académico público de sustentación y defensa de la tesis "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO BOLOGNESI-ANCASH, 2024", que presenta FLORES TRUJILLO HILDEBRANDT YHOLINO, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

..... **APROBADO**

Con el calificativo de: **DIECISIETE**..... (**17**..)

En consecuencia, **FLORES TRUJILLO HILDEBRANDT YHOLINO**, queda expedita para que el Consejo de Facultad de la FCAM-UNASAM apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta. disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM).

Huaraz, 09 de mayo de 2025

Dr. PEDRO LIBERATO VALLADARES JARA
Jurado de tesis (presidente)

Ing. FRANCISCO CLAUDIO LEÓN HUERTA
Jurado de tesis (1er. miembro)

M. Sc. KATY DAMACIA MEDINA MARCOS
Jurado de tesis (2do. miembro)

Ph. D. EDWIN ANIBAL LOARTE CADENAS
Asesor de tesis

CONFORMIDAD DE TESIS PARA IMPRESIÓN Y EMPASTADO

Los miembros de jurado de tesis, Dr. PEDRO LIBERATO VALLADARES JARA (presidente), Ing. FRANCISCO CLAUDIO LEÓN HUERTA (1er. miembro) y MSc. KATY DAMACIA MEDINA MARCOS (2do. miembro)

HACEMOS CONSTAR:

Que, **FLORES TRUJILLO HILDEBRANDT YHOLINO**, con código Universitario **131.0605.029**, tesista de la EPIA-FCAM-UNASAM; ha sustentado y defendido con éxito el 09/mayo/2025 la tesis "**MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH, 2024**". Asimismo, consta en el acta haber aprobado con el calificativo de **Diecisiete (17)** y habiendo emitido el jurado informe con observaciones para edición y empastado, las mismas han sido subsanadas como corresponde. Por tanto, el jurado de tesis, autoriza para su **IMPRESIÓN** y **EMPASTADO** de conformidad al formato establecido por el repositorio institucional.

Huaraz, 21 de mayo de 2025.



Dr. **PEDRO LIBERATO VALLADARES JARA**
Presidente
Jurado de Tesis



Ing. **FRANCISCO CLAUDIO LEÓN HUERTA**
Primer Miembro
Jurado de Tesis



MSc. **KATY DAMACIA MEDINA MARCOS**
Segundo Miembro
Jurado de Tesis

C.c.:
- Arch.



CONSTANCIA 19-2025-UI-FCAM–UNASAM EVALUACIÓN DE SIMILITUD

El que suscribe, Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo hace constar que:
La versión final de la tesis **“MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO – BOLOGNESI – ANCASH, 2024”** del joven **FLORES TRUJILLO HILDEBRANDT YHOLINO**, identificado con **DNI N° 72559566**, tras ser sometido a revisión mediante la plataforma de evaluación de similitud por su asesor el **Ph.D. EDWIN ANIBAL LOARTE CADENAS**, conforme el Artículo 11° del Reglamento de Originalidad y/o Grado de Similitud de la Producción Académica, Científica e Investigativa de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Resolución de Consejo Universitario N° 126-2022-UNASAM, tiene una **similitud del 08%**.

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

Huaraz, **14 de mayo de 2025**.



Ph.D Edwin Anibal Loarte Cadenas
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACION
FCAM - UNASAM

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN
CHASQUITAMBO – BOLOGNESI – ANCASH, 2024

Presentado por: HILDEBRANDT YHOLINO FLORES TRUJILLO

con DNI N°: 72559566

para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 8% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="checkbox"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 20/04/2025



FIRMA

Apellidos y Nombres: LOARTE CADENAS EDWIN ANIBAL

DNI N°: 44909386

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH, 2024



Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3618:92101130

Fecha de entrega

20 abr 2025, 4:30 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

20 abr 2025, 4:35 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Hildebrandt Flores Trujillo.pdf

Tamaño de archivo

8.9 MB

128 Páginas

34.158 Palabras

146.229 Caracteres




8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 12 words)

Top Sources

- 7%  Internet sources
- 2%  Publications
- 6%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

A Dios, por su bondad en abrir puertas a nuevas oportunidades, por ser el guía iluminador y su generosa bendición.

A la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por brindarme la congruencia y el entorno académico estimulante de llevar a cabo este trabajo de investigación.

A mi mamá Santa Trujillo Lucas, mi papá Richer Flores Huerta y mis hermanos quienes me motivaron a continuar con los estudios, por su apoyo continuo y por guiarme en cada paso de esta etapa académica.

A mi equipo AQORAS y Yurma, por enseñarme el significado de la verdadera amistad.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación Glaciología e Hidrología de Montaña (GAMH), al Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra, Ambiente y Tecnología (ESAT) y al Centro de Investigación Ambiental para el Desarrollo (CIAD – FCAM) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM), por promover y fomentar la investigación en el país, dando soporte científico, logístico y humano, a los nuevos y futuros científicos del país.

Esta investigación reconoce el apoyo financiero otorgado en el “Concurso de subvenciones económicas a favor de graduados para el desarrollo de actividades para proyectos de tesis de la UNASAM aprobada mediante Resolución Rectoral N°399-2024-UNASAM”, esta investigación fue desarrollada dentro del proyecto “Análisis de la dinámica glaciar y su relación climática utilizando inteligencia artificial y teledetección (IAT – Glaciar)”.

Al Ingeniero Luis Felipe Gamarra Chávarri, Director de Planeamiento, Coordinación y Control del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por el apoyo con la proporción de datos pluviométricos de las estaciones de interés de la investigación.

A mi asesor de tesis, PhD. Edwin Aníbal Loarte Cadenas, por su aporte científico y orientación académica experta brindada durante este camino. Sus valiosos consejos y apoyo constante que me ayudaron a superar los desafíos y alcanzar el objetivo de la investigación.

A mis jurados de tesis, por su tiempo y esmero en la revisión científica de la tesis y guiarme por el camino de la excelencia.

RESUMEN

En el Perú, la incidencia de flujo de detritos presenta consecuencias con afecciones a la vida y salud humana, pérdida de viviendas, infraestructuras públicas y medios de vida; en el departamento de Ancash las emergencias de este tipo de peligro desencadenadas por lluvias extremas tuvieron consecuencias donde las capacidades de respuesta de las instituciones locales fueron sobrepasadas por el nivel de emergencia.

En el caso de la localidad de Chasquitambo, estos eventos se presentan con mayor frecuencia en los últimos 20 años a consecuencia de las lluvias extremas con daños severos. La investigación tuvo como objetivo evaluar la propagación del flujo de detritos por lluvias extremas en Chasquitambo, para el cual se determinó los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico a dicha localidad, se generó un modelo de elevación digital (DEM) de 0.12 m resolución espacial, se evaluó la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte frente a eventos de lluvias extremas, se modeló la propagación del flujo de estudio para periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años y también se propuso medidas de orden estructural y no estructural con fines de prevención y mitigación para este tipo de eventos.

Los modelos presentaron un incremento no lineal significativo de daños con área afectada desde 2608 hasta 129872 m², acompañado de un incremento en el tirante del flujo de 0.1 - 1 m a 5 -7 m y en las velocidades máximas de 1.74 m/s a 4.5 m/s para eventos de 5 años y 100 años de periodo de retorno respectivamente, con afectaciones limitadas a áreas agrícolas hasta daños severos en infraestructura urbana crítica, incluyendo viviendas, servicios públicos y vías de comunicación.

Proponiéndose medidas de prevención y mitigación de orden estructural basado en la construcción de muros de contención en ambas márgenes del río Purísima complementados con presas de control y canales de derivación, en tanto las de orden no estructural comprendiendo en sistemas de alerta temprana y mecanismos basados en la naturaleza.

Palabras clave: Flujo de detritos, reología, lluvias extremas.

ABSTRACT

In Peru, the incidence of debris flows has consequences affecting human life and health, loss of housing, public infrastructure, and livelihoods. In the department of Ancash, emergencies from this type of hazard triggered by extreme rainfall had consequences where the response capacities of local institutions were overwhelmed by the level of emergency.

In the case of the town of Chasquitambo, these events have occurred more frequently in the last 20 years due to extreme rainfall with severe damage. The research aimed to evaluate the propagation of debris flow caused by extreme rainfall in Chasquitambo, for which the rheological parameters of the hydrological contribution areas to said locality were determined, a digital elevation model (DEM) with 0.12 m spatial resolution was generated, the hydrological response of the contributing streams to extreme rainfall events was evaluated, the propagation of the study flow was modeled for return periods of 5, 10, 50, and 100 years, and structural and non-structural measures were also proposed for prevention and mitigation purposes for this type of event.

The models showed a significant non-linear increase in damage with affected area ranging from 2608 to 129872 m², accompanied by an increase in flow depth from 0.1 - 1 m to 5 - 7 m and in maximum velocities from 1.74 m/s to 4.5 m/s for events with 5-year and 100-year return periods respectively, with impacts limited to agricultural areas up to severe damage to critical urban infrastructure, including housing, public services, and communication routes.

Prevention and mitigation measures were proposed, including structural measures based on the construction of retaining walls on both banks of the Purísima River, complemented with control dams and diversion channels, while non-structural measures included early warning systems and nature-based mechanisms.

Keywords: Debris flow, rheology, extreme rainfall.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RELACIÓN DE ACRÓNIMOS	xi
CAPÍTULO I	
INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Hipótesis	2
1.3. Variables	2
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas	6
2.3. Definición de términos básicos	11
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	14
3.1. Tipo de investigación	14
3.2. Diseño de investigación	14



3.3. Métodos y técnicas de investigación	16
3.4. Población y muestra	19
3.4.1. Población	19
3.4.2. Muestra	19
3.4.3. Unidad de análisis o muestra	20
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información	21
3.6. Plan de procesamiento y análisis de los datos e información	21
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	22
4.1. Determinar los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo.	22
4.2. Desarrollar el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo	24
4.3. Evaluar la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo frente a eventos de lluvias extremas.	26
4.4. Modelar la propagación del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo frente a la ocurrencia de lluvias extremas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.	33
4.5. Proponer medidas de prevención y mitigación a partir del modelo de propagación obtenido.	40
CAPÍTULO V	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1. Conclusiones	51
6.2. Recomendaciones	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla N° 01 Técnicas e instrumentos de la recolección de datos e información	21
Tabla N° 02 Resultado del análisis granulométrico	22
Tabla N° 03 Propiedades de las matrices de flujos de lodos (arcillas y limos)	23
Tabla N° 04 Resumen de resultados de ensayos reológicos realizados por O'Brien y Julien en 1985	23
Tabla N° 05 Viscosidad y esfuerzo de cedencia en función a la concentración de sedimentos	24
Tabla N° 06 Valores de las iteraciones aplicando el co-registro	25
Tabla N° 07 Resultado de los parámetros de superficie de la unidad hidrográfica Purísima	31
Tabla N° 08 Resultado de los parámetros de la red hídrica de la unidad hidrográfica Purísima	32
Tabla N° 09 Resultado de los parámetros generados a partir de la morfología de la unidad hidrográfica Purísima	32
Tabla N° 10 Calibración del modelo al considerando tres tamos de corte	33

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura N° 01 Ubicación de Chasquitambo	11
Figura N° 02 Diagrama general de investigación	15
Figura N° 03 Ubicación de las calicatas y el área de generación del DEM	20
Figura N° 04 Modelo de elevación digital del área de estudio	24
Figura N° 05 Tendencia y dispersión de las iteraciones del co-registro topográfico	25
Figura N° 06 Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Chamana	26
Figura N° 07 Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Chama	26
Figura N° 08 Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Chamana	27
Figura N° 09 Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Mayorarca	28
Figura N° 10 Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Mayorarca	28
Figura N° 11 Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Mayorarca	29
Figura N° 12 Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Ocros	30
Figura N° 13 Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Ocros	30
Figura N° 14 Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Ocros	31
Figura N° 15 Hidrograma unitario de avenida de caudales máximos de salida para distintos periodos de retorno de la unidad hidrográfica Purísima	32

Figura N° 16	Cortes transversales de los tirantes máximos modelados en los tramos de calibración	34
Figura N° 17	Tirantes de flujo alcanzado para un periodo de retorno de 5 años	36
Figura N° 18	Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 5 años	36
Figura N° 19	Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 10 años	37
Figura N° 20	Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 10 años	37
Figura N° 21	Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 50 años	38
Figura N° 22	Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 50 años	38
Figura N° 23	Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años	39
Figura N° 24	Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 100 años	39
Figura N° 25	Modelo de muro en voladizo como medida de orden estructural	42
Figura N° 26	Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años con la implementación de muros tipo voladizo	42
Figura N° 27	Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 100 años con la implementación de muros tipo voladizo	43

RELACIÓN DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	DENOMINACIÓN
CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
DEM	Modelo de Elevación Digital
HEC-HMS	Centro de Ingeniería Hidrológica – Sistema de Modelado Hidrológico (siglas en inglés)
HEC-RAS	Centro de Ingeniería Hidrológica – Sistema de Análisis de Ríos (siglas en inglés)
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (siglas en inglés)
MINAM	Ministerio del Ambiente
ONU	Organización de las Naciones Unidas
RMSE	Error Cuadrático Medio (siglas en inglés)
RPAS	Sistema de Aeronave Pilotada Remotamente (siglas en inglés)
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SINAGERD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
UNASAM	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (siglas en inglés)

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, debido a flujo de detritos entre el 2004 al 2016 las pérdidas de vidas humanas fueron el promedio de 26 personas por año (Froude y Petley, 2018). En América Latina entre el 2003 al 2012 los flujos de detritos fueron responsables del 15 % de todas las muertes por deslizamiento (Sepúlveda y Petley, 2015). En el Perú, entre el 2003 al 2020 se registraron un total de 2276 emergencias relacionados a flujo de detritos, dejando a más de 46 mil personas damnificadas, más de 37 viviendas afectadas y 6 mil viviendas destruidas y 159 ha de cultivos perdidas y 1582 ha afectadas; dentro del mismo periodo en el departamento de Ancash se registraron un total de 169 emergencias del mismo tipo de fenómeno, siendo alrededor de 3226 personas afectadas (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2021). En la localidad de Chasquitambo, la emergencia ocurrida el 12 de marzo del 2023 a consecuencia de lluvias intensas, afectaron alrededor de 81 viviendas, una institución educativa, 3500 m de vía vecinal afectada, 14 825 m de infraestructura de riego destruida, 130 m de red de desagüe afectada, 5.11 ha de cultivo permanente perdidas y la pérdida de animales (INDECI, 2023).

Por lo tanto, las consecuencias de la materialización de este peligro se traducen a pérdida y afectación a la salud humana, daños a medios de vida e infraestructuras de servicios públicos, generando costos no previstos en las acciones de rehabilitación y reconstrucción. Siendo motivo por lo cual se desarrolló la presente investigación con la finalidad de conocer la dinámica de la incidencia de las lluvias extremas en la ocurrencia del flujo de detritos en dicha localidad, permitiendo conocer la altura máxima, velocidad del flujo y niveles de daños que originaría el desenlace de dicho fenómeno para distintos periodos de retorno.



En la investigación se ha realizado el modelo de propagación de los flujos de detritos en consecuencia sus características reológicas presente de la zona de estudio, la topografía y la respuesta hídrica a eventos extremos de la unidad hidrográfica Purísima para periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años, bajo la metodología propuesta por Gibson y Sánchez en el 2020, y a partir de los modelos, se plantearon medidas de orden estructural y no estructurales aplicables con fines de prevención y mitigación.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la propagación del flujo de detritos por lluvias extremas en Chasquitambo – Bolognesi - Ancash, 2024.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo.
- Desarrollar el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo.
- Evaluar la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo frente a eventos de lluvias extremas.
- Modelar la propagación del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo frente a la ocurrencia de lluvias extremas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.
- Proponer medidas de prevención y mitigación a partir del modelo de propagación obtenido.

1.2. Hipótesis

En Chasquitambo, los flujos de detritos generados por lluvias extremas con un periodo de retorno de 100 años presentaron un área y velocidad de propagación en un 60% mayores en comparación a los flujos generados para periodos de retorno menores o iguales a 10 años.

1.3. Variables

1.3.1. Variables independientes: parámetros reológicos, precipitación extrema, rugosidad del terreno y modelo de elevación digital.

1.3.2. Variable dependiente: modelo de propagación del flujo de detritos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Namay (2017), en su estudio “Modelamiento numérico de flujo de detritos en la quebrada Ungulo, ciudad de Huancabamba – Piura”, partió del objetivo de caracterizar la dinámica del flujo de detritos por activación de dicha quebrada. Para el cual utilizó un modelo de elevación digital, estudios de mecánica de suelos e hidrogramas para varios periodos de retorno a partir del producto PISCO – SENAMHI, modelando dichos flujos mediante el software Flo 2D, mediante el modelo reológico de O’Brien y Julien. Cuyos resultados indican que ante un evento con periodo de retorno de 20 años habrá un flujo de 11.7 m³/s, con alturas máximas de 6.3 m de tirante y afectará a 0.401 ha de población asentada, concluyendo que la topografía de la zona y cercanía a flujos de agua favorece al impacto de este fenómeno en la zona de estudio.

Fernández (2018), en su investigación “Análisis de susceptibilidad de flujo de detritos a escala regional en La Puna – Argentina”, cuyo objetivo fue analizar las zonas de inicio de flujo e impacto, para el cual empleó datos satelitales de precipitación y analizó el factor disparador mediante el índice de agresividad de Fournier y el índice de acumulación de lluvia y como factores intrínsecos las condiciones del terreno como pendiente, índice de rugosidad de Melton, distancia a ríos y el tipo de litología, a partir de ellos modeló las áreas donde se originan este tipo de movimientos y la propagación de ellos mediante el programa Flow-R, este modelo fue evaluado en campo presentando un buen ajuste con las zonas de alta susceptibilidad coincidiendo en un 77%, para los terrenos clasificados como

susceptibles, mostrando que los modelos presentan una buena representación para el evento de estudio.

Acero (2019), en su investigación “ Predicción de eventos de flujos de detritos detonados por lluvias extremas mediante exportación de modelos estocásticos en la cuenca de la Quebrada Grande (Labranzagrande - Boyacá, Colombia)”, el cual tuvo como objetivo de validar objetivos para calcular la amenaza por movimientos en masa y avenidas torrenciales, a través de factores geoambientales y morfológicos que le permitió el desarrollo de un modelo estocástico por el método Maximum Entropy, validando esto mediante su aplicación en la cuenca de estudio, a través de series temporales de precipitación y analizando la amenaza de movimientos en masa, cuyos resultados mostraron que dicho modelo funciona adecuadamente en el lugar de estudio y el nivel de amenaza al que se encuentra entre bajo y medio, concluyendo que las lluvias intensas con periodos de retorno superiores a 60 años es el factor detonante de eventos con daños mayores a la población.

Asensios (2020), en su estudio “Flujo de escombros desencadenado por lluvias extremas en la quebrada Pedregal Chosica”, cuyo objetivo fue la simulación numérica de los procesos que desencadenan este tipo de flujos, mediante el modelo físico Flo 2D de respuesta hidrológica bajo un periodo de retorno de 100 años y transporte de sedimentos identificados como fuente de estos los depósitos aluviales en las márgenes del cauce. Los resultados concuerdan con los registros del evento de El Niño costero del 2017, Concluyendo que la afectación sería muy grave a la población local, la magnitud de flujo de agua-sedimento alcanzaría los 6.6 m de altura y su propagación a una velocidad de 4.5 m/s.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2021), en su estudio de “Aspectos geodinámicos y simulación numérica de flujo de detritos en la quebrada Záparo – Moquegua”, con el objetivo de determinar el máximo evento posible a ocurrir de este fenómeno en la zona de estudio, mediante la evaluación geológica en campo de eventos antiguos y actuales, a través del uso de datos topográficos y propiedades mecánicas del suelo, para la simulación empleó el modelo reológico de O'Brien y Julien y el software Flo 2D bajo escenarios de lluvias extremas de 23.4 mm, obteniendo que a dicha base se generarían un flujo de 54.31 m³/s y afectaría a 45 ha de área urbana del distrito Pacocha.

Xu et al. (2022), en su artículo “Identificación de áreas de susceptibilidad y evaluación de riesgos del flujo de escombros utilizando el modelo Flow-R: un estudio

de caso del condado de Basu en el Tíbet”, el cual tuvo el objetivo de localizar las áreas vulnerables a estos eventos, para el cual usaron un modelo de elevación digital, datos de pendientes, datos de uso de tierra, y datos de precipitación grillada con diferentes resoluciones, prosiguiendo con el modelamiento por medio del uso del software mencionado, obteniendo como resultado que este modelo tiene una precisión del 87.6 %, ya que el riesgo que a dicho fenómeno representa el 0.79 % de toda el área de su estudio, siendo las áreas cultivadas los que presentaron mayor susceptibilidad, para el cual compararon con registros observados de eventos anteriores.

Liu (2023), en su investigación “Evaluación de los umbrales de precipitaciones que desencadenan flujos de escombros en el oeste de China con mediciones de precipitación basadas en satélites y calibradores”, tuvo por objetivo de analizar los factores que controlan la respuesta de caudal y carga de sedimentos, utilizando datos de precipitación basados en satélites de alta resolución y el inventario de flujo de detritos. Para el cual realizaron la medición de precipitación calibradas y por satélite, mostrando resultados en los cuales el uso de los datos de precipitación satelital presentaba mejor capacidad que los observados con una probabilidad de detección del 98.9 % del inicio de flujos basados en las curvas de intensidad duración y frecuencia, encontrando que la ocurrencia de dichos flujos son durante los primeros 30 minutos de la tormenta, concluyendo que el uso de datos satelitales mejora la predicción de estos eventos.

López y Mogrovejo (2023), en su investigación “Análisis hidráulico del flujo de detritos en la quebrada Pedredal con flo2d – Chosica”, con el objetivo de generar mapas de riesgo ante estos eventos, para el cual analizaron los parámetros morfológicos de la cuenca y los aspectos topográficos del área urbana, así como el uso del programa HeCHMS para la obtención de hidrogramas de 50, 100 y 200 años de periodo de retorno; realizando la simulación del flujo con el modelo Flo 2D para, obteniendo valores de 2.25 m/s de velocidad máxima y altura de tirante máximo de 2.75 m para el recorrido del flujo de detritos, cuyos datos fueron calibrados a distintas concentraciones de sedimentos, concluyendo que este modelo proporciona datos confiables.

2.2. Bases teóricas

Los flujos de detritos son peligros generados por acciones de geodinámica externa de la tierra, el cual involucra suelo y roca, causados por exceso de agua en

el terreno, con descenso masivo y relativamente rápido a través de una pendiente (Centro Nacional de Estimación y Prevención del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2015), siendo la precipitación uno de los factores desencadenante principal Díaz et al. (2021), este flujo consiste en la distribución de amplios tamaños de granos e incluyen un líquido intersticial viscoso (Iverson, 1997), cuyos materiales no presentan cohesión (IGP, 2021), caracterizados por contener fracciones sólidas y material granular y cohesivo estando entre los flujos hiperconcentrados y deslizamiento de tierra (Coussot y Meunier, 1996).

Las interacciones de las partículas más grandes controlan el movimiento inercial del flujo, mientras que las partículas finas se mezclan con el fluido formando suspensiones viscosas y fangosas (Xie et al., 2022), la dinámica individual y conjunta de ambas fases hace que los comportamientos cinéticos de este tipo de flujo sean distintos a los demás (Iverson, 1997). las fracciones de arcilla impone el comportamiento en flujos fangosos y en los flujos granulares la interacción de los granos juega un papel importante (Coussot y Meunier, 1996).

Este fenómeno podría ser desencadenado por lluvias extremas, inundaciones, rápido deshielo, terremotos, influencia humana o por la combinación de estos factores. Donde las lluvias extremas intervienen en la magnitud y frecuencia de los procesos geomorfológicos (Engel et al., 2011), y los periodos de retorno considerables son el mayor factor desencadenante de los flujos de detritos (Díaz et al., 2021).

Los factores que influyen en la propagación del flujo de detritos son las características topográficas (pendiente, curvatura y la rugosidad del terreno), las características del material (reología), precipitación (intensidad, duración y distribución espacial), condiciones hidrológicas (escorrentía superficial) y presencia de vegetación (Iverson, 1997). Se originan en áreas con pendientes pronunciadas y una vez generadas pueden movilizarse a lo largo de pendientes suaves (Alvarez et al., 2019), generando montículos de sedimentos en la parte exterior del flujo durante su recorrido y depositándose en la parte inferior del área de movimiento dando origen a los conos de deyección (IGP, 2021).

También el cambio climático, el rápido incremento demográfico y la deforestación vienen acelerando este proceso, aunque el primero y sus cambios influyan en la estabilidad de las laderas en diferentes escalas temporales y geográficas (Gariano y Guzzetti, 2016), existiendo un alto nivel de confianza en que

los cambios en las fuertes precipitaciones propiciarán el desenlace de este tipo de movimientos en masa en algunas regiones (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2014). En el Perú, los extremos de precipitación tanto en frecuencia e intensidad presentarán incrementos superiores al 15 % en la costa norte al 2050 (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2005), siendo un factor que desencadenante para los flujos de detritos en zonas propensas.

El transporte del flujo, así como su deformación se deben a la reología, determinados por la mezcla de agua y sedimentos, cuyas características exhiben un umbral de cedencia y propiedades viscoplásticos que dependen de la concentración volumétrica de sedimentos (O'Brien & Julien, 1985), donde a bajas concentraciones la tasa de deformación es proporcional al esfuerzo aplicado, sin embargo esta relación se transforma a no lineal cuando se incrementa la concentración debido a que los sólidos en volumen incrementa el esfuerzo de cedencia exponencialmente provocando la reducción de la movilidad del flujo, como también la presencia de partículas finas altera la respuesta reológica mostrándose que el aumento del contenido finos eleva la viscosidad aparente y el esfuerzo de cedencia (Urrutia, 2016), siendo necesario de superar el umbral del esfuerzo de cedencia para dar inicio al movimiento de la mezcla (Baumgarten & Kamrin, 2019).

El comportamiento reológico para caracterizar los flujos de detritos puede describirse mediante modelos matemáticos como el modelo de Bingham y Herschel-Bulkley, caracterizados por proporcionar mejores aproximaciones para flujos con altos contenidos de sedimentos (Kaitna et al., 2016), el modelo de Voellmy-Salm caracterizado por usar términos friccionales del tipo Columb y términos turbulento dispersivo muy usado en flujos no canalizados (Scheidl & Rickenmann, 2010), también el modelo Bagnold quien considera los efectos dispersivos de las partículas empleado exitosamente para flujos granulares concentrados (Yu et al., 2018), y el de O'Brien y Julien quienes consideraron los componentes del esfuerzo de cedencia, viscoso, cohesivo y dispersivo, representando adecuadamente este tipo de flujos desde su fase inicial hasta su deposición, logrando a las diferentes fases del flujo, así como la relación de los parámetros reológicos con la concentración volumétrica de sedimentos siendo versátil para para simulaciones en terrenos complejos con mayores precisiones en la estimación de áreas de inundación, velocidad y tirante del flujo (O'Brien & Julien, 1985; Takahashi, 2007; Xu et al., 2022).

La estimación de los parámetros reológicos, podría realizarse mediante el retroanálisis de flujos documentados, siendo necesario la validación con depósitos de campo y registros de altura en zonas de erosión y deposición (Muñoz, 2018), como también existiendo técnicas avanzadas de espectrofotometría hiperespectral y difracción de rayos X cuantitativa que permitieron ajustar modelos predictivos de viscosidad con un coeficiente de determinación mayor al 90% (Urrutia, 2016). La calibración de estos parámetros requiere datos de campo y de laboratorio el cual incluye análisis granulométrico de sedimentos, medición de la concentración volumétrica, ensayos con reómetros digitales y validación con datos de eventos históricos (Kang et al., 2021).

Dentro de una zona de estudio, la simulación de flujo de detritos y para la estimación de las áreas afectadas es necesario utilizar un modelo numérico computacional (IGP, 2021), estos modelos pueden reproducir los procesos de transporte y deposición de este flujo, aunque ciertos modelos utilizan la hidrodinámica de las partículas suavizadas y el semiimplícito de partículas en movimiento (Suzuki et al, 2019), permitiendo predecir la propagación temporal y espacial, considerando factores como la topografía, características de los materiales y condiciones hidrológicas (Xu et al., 2022), a través de la inserción de parámetros de campo y laboratorio (You et al, 2021).

El modelamiento de la mecánica de fluidos y el método de elementos distintos son utilizados para el caso de flujo de detritos, basados en la mecánica de la continuidad como la conservación de masa, energía y momento, describiendo el movimiento dinámico y un modelo reológico (Takebayashi et al, 2022), donde estos últimos permiten predecir adecuadamente la propagación de ello (Coussot y Meunier, 1996).

En tanto Hec-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), es un software de modelamiento hidráulico utilizado para simular flujos en canales naturales y artificiales (Meyrat et al., 2024), el cual incorpora el modelo reológico cuadrático de O'Brien y Julien con capacidad de simulación bidimensional de flujos de escombros (Gibson & Sánchez, 2020). Dentro del análisis bidimensional presenta las ecuaciones constitutivas (ecuación 1 y 2) para el cálculo hidráulico en los componentes X y Y, y los principios de continuidad (ecuación 3) basadas en diferencias finitas, siendo necesario la discretización espacial mediante una malla no estructurada (Pandey et al., 2024). Cuyo modelamiento numérico para flujos

hiperconcentrados comprende el cálculo automático de cambio de volumen de agua y su relación con la concentración volumétrica de sedimento, donde la conservación de masa del agua y del sedimento del flujo de lodo se mantiene en relación al volumen del hidrograma unitario de descarga, las ecuaciones bidimensionales que resueltas por Hec-RAS son la 4 y 5 los donde incorporan los parámetros de turbulencia y aceleración (Gibson & Sánchez, 2020).

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x \partial V_x}{g \partial x} - \frac{V_y \partial V_y}{g \partial y} - \frac{1 \partial V_x}{g \partial t} \quad (1)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y \partial V_y}{g \partial y} - \frac{V_x \partial V_x}{g \partial x} - \frac{1 \partial V_y}{g \partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i \quad (3)$$

Donde h es la profundidad del flujo; V_x y V_y son los componentes de velocidad promediados en la profundidad a lo largo de las coordenadas X e Y; S_{fx} y S_{fy} son los componentes de la pendiente de fricción en relación a la pendiente de lecho S_{ox} y S_{oy} en X y Y.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x_1} + v \frac{\partial u}{\partial x_2} \right) = -g \frac{\partial h}{\partial x_1} + Vt \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} \right) - C_f u \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x_1} + v \frac{\partial v}{\partial x_2} \right) = -g \frac{\partial h}{\partial x_2} + Vt \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x_2^2} \right) - C_f v \quad (5)$$

Donde: u es la velocidad en X y v es la velocidad en dirección Y; g es la aceleración gravitacional; y $C_f u$ y $C_f v$ son los componentes de fricción del modelo.

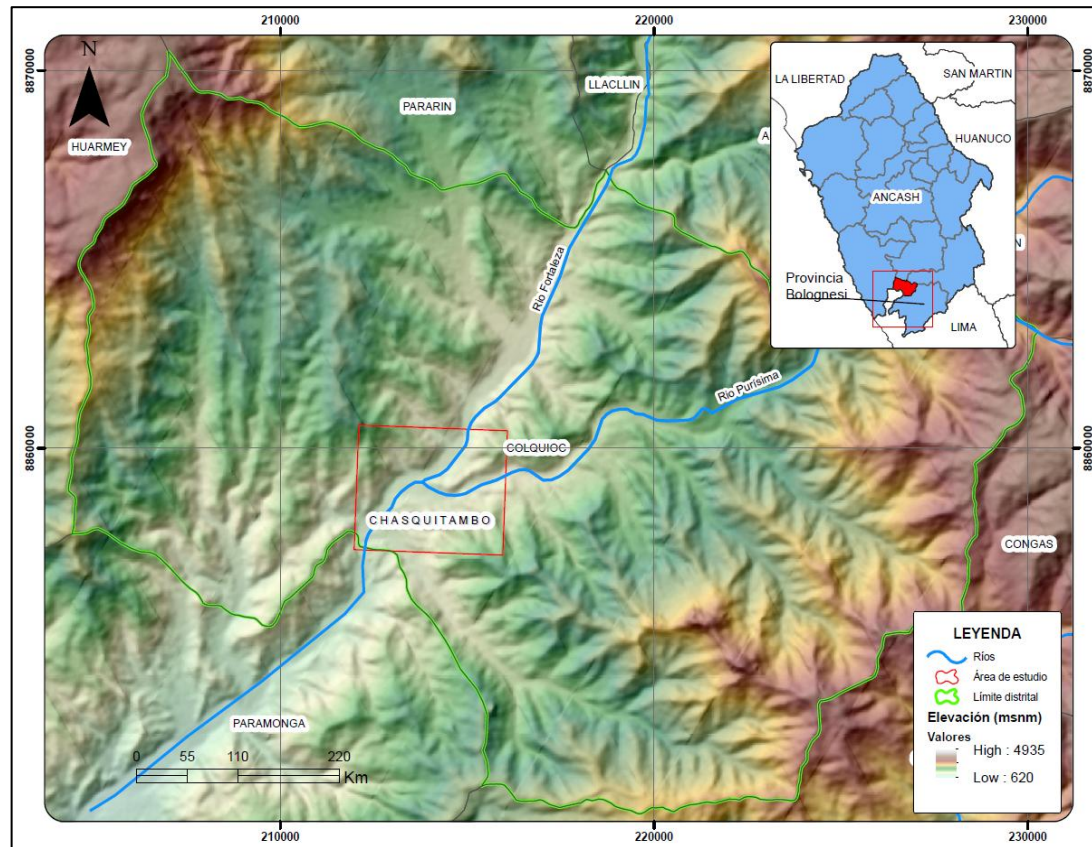
Además, HecRAS al incorporar el modelo reológico de O'Brien y Julien, logra la representación de flujos con alta concentración de sedimentos mediante la integración de los componentes basados en el efecto del esfuerzo de cedencia, la influencia de la viscosidad, fenómenos de turbulencia y procesos de dispersión (O'Brien & Julien, 1985).

En Chasquitambo, los flujos de detritos representan una amenaza recurrente debido a sus características geográficas y climáticas (INDECI, 2020), los eventos hidrológicos extremos, sumado la topografía accidentada, exposición a cursos de agua y reología de su superficie, crean condiciones propicias para el desarrollo de este fenómeno (Díaz et al., 2021), convirtiéndolos en una amenaza significativa para la vida humana, infraestructura y el ambiente (Scheidl y Rickenmann, 2010). Estos

procesos causan perturbaciones económicas a largo plazo, desplazamiento de las poblaciones y efectos negativos ambientales (Owczarek et al, 2020). La ubicación del área de estudio se observa en la figura 1.

Figura 1

Ubicación de Chasquitambo.



2.3. Definición de términos básicos

Amenaza:

Referido a un fenómeno, proceso o actividad humana potencialmente perjudicial con probabilidad de ocasionar muertes, lesiones, impactos a la salud, daños a los bienes, pérdidas económicas, alteraciones socioeconómicas o degradación ambiental (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), 2020).

Cambio climático

Representa una alteración identificable en las condiciones climáticas, evidenciada mediante modificaciones estadísticamente significativas en los valores medios y/o la variabilidad de sus parámetros característicos, que se mantiene durante

períodos extendidos, generalmente décadas o intervalos mayores, pudiendo ser el resultado de las dinámicas naturales internas del sistema climático, factores externos de forzamiento o transformaciones antropogénicas sostenidas en la composición atmosférica (IPCC, 2019).

Diferencias finitas

Constituye una aproximación numérica que transforma las derivadas presentes en ecuaciones diferenciales en cocientes discretos de diferencias sustituyendo el espacio continuo por una red discreta de nodos y convirtiendo las ecuaciones diferenciales originales en un conjunto de ecuaciones algebraicas resoluble computacionalmente (LeVeque, 2004).

Fenómeno climático extremo

Es la ocurrencia anómala del valor de una variable meteorológica o climática por encima o por debajo de su valor umbral cercano al extremo (superior o inferior) de la horquilla de valores observados de la variable (IPCC, 2014).

Flujo de detritos

Son peligros originados por fenómenos de geodinámica externa, caracterizado por el movimiento masivo y relativamente rápido de una combinación de suelo, roca y exceso de agua en el terreno a través de una pendiente (CENEPRED, 2015).

Modelamiento numérico

Comprende el procedimiento de formular modelos matemáticos para representar un sistema físico y resolverlo mediante métodos numéricos computacionales con la finalidad de simular y predecir su comportamiento bajo distintas condiciones (Liu, 2023).

Modelo reológico

Constituye una representación matemática que establece las relaciones existentes entre los esfuerzos que se aplican a un material y las deformaciones que experimenta como respuesta, considerando sus características viscoelásticas a lo largo del tiempo (Coussot & Meunier, 1996).

Peligro

Se refiere a un fenómeno de origen natural o provocado por la acción humana, con alta probabilidad de generar un impacto con consecuencias significativas en la población, sus medios de vida y la infraestructura pública (CENEPRED, 2015).

Reología

Es la ciencia que se encarga de analizar la deformación y flujo de los materiales, tanto líquidos como sólidos como respuesta de una forma característica frente a una fuerza externa aplicada (Gibson y Sánchez, 2020).

Riesgo

Es la probabilidad que una población, sus medios de vida y la infraestructura pública sufran daños a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el desencadenamiento de un peligro (CENEPRED, 2015).

Variabilidad climática

Son las variaciones en el estado medio y otros indicadores estadísticos del clima a través de diversas escalas temporales y espaciales (IPCC, 2019).

Vulnerabilidad

Son las condiciones de la población, sus medios de vida y la estructura física, de sufrir daños por la materialización de un peligro (CENEPRED, 2015).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La investigación según su propósito fue aplicada, porque se aplicó los conocimientos existentes para realizar los modelamientos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018); por el periodo de captación de la información fue prospectivo dado que se quiso conocer comportamiento del fenómeno para distintos periodos de retorno (Creswell & Creswell, 2018); de acuerdo a la inferencia del investigador la investigación fue observacional, porque la información se obtuvo a base de la observación de los indicadores consignados (Arias, 2012) ; y por el nivel de investigación fue explicativo porque se determinó las causas y efectos del comportamiento del fenómeno (Bernal, 2010).

3.2. Diseño de investigación

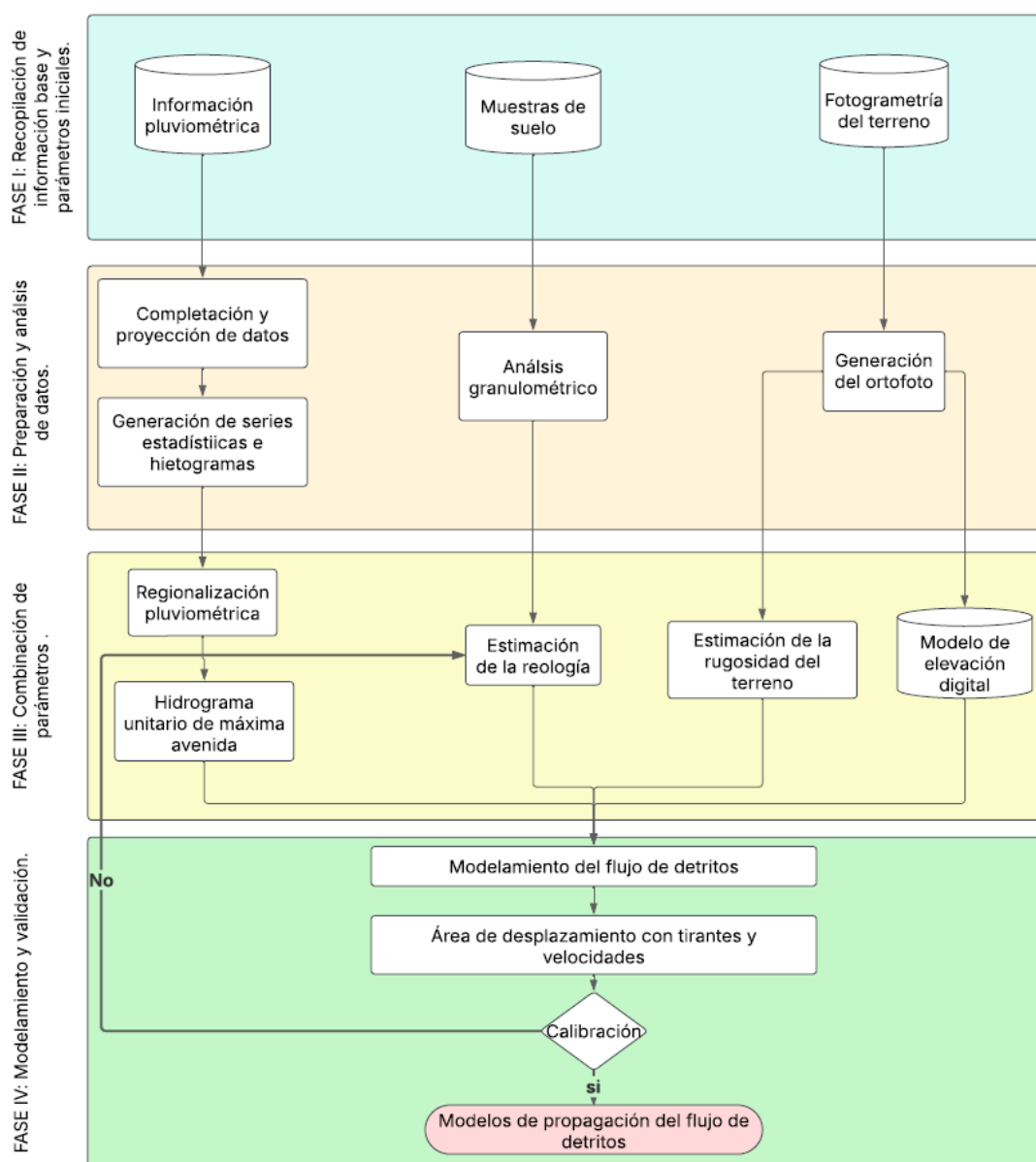
Se utilizó un diseño cuantitativo porque las unidades de análisis como los resultados son objetivas y medibles (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Es no experimental, porque no se manipula ninguna variable independiente y se estudia el fenómeno en su ambiente natural (Martínez, 2021).

El desarrollo de la investigación comprendió en cuatro fases (como se muestra en la figura 2). La primera fase consistió en la recopilación de información base y parámetros iniciales de información pluviométrica, muestreo del suelo y características topográficas mediante fotogrametría terrestre. En la segunda etapa se preparó y analizó estos datos en información analítica mediante la completación, proyección y generación de series estadísticas y hietogramas de los datos pluviométricos el análisis granulométrico del suelo y el procesamiento de imágenes

generando una ortofoto. En la tercera fase, estos elementos procesados se combinaron regionalizando la información pluviométrica y determinando los hidrogramas unitarios de máximas avenidas, se estimó la reología involucrada en la zona de estudio, se estimó la rugosidad del área de estudio y generó el modelo de elevación digital. Finalmente, la cuarta etapa culminó con el modelamiento y validación, cuyos resultados fueron sometidos al proceso de calibración considerando las tirantes máximas alcanzadas en función al porcentaje de contenido volumétrico de sedimento implicado en la reología, obteniéndose los modelos de propagación del flujo de detritos.

Figura 2

Diagrama general de investigación



3.3. Métodos y técnicas de investigación

Las actividades realizadas para cada objetivo de investigación se describen a continuación:

3.3.1. Para el objetivo específico 1

Determinar los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo.

Estos parámetros fueron determinadas mediante las ecuaciones 1 y 2 generadas por O'Brien y Julien (1988), resultante de diferentes análisis de laboratorio, los cuales se muestran a continuación:

$$n = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad (6)$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad (7)$$

Donde n , es la viscosidad, τ_y , es el esfuerzo de cedencia; α_i y β_i , son coeficientes empíricos de acuerdo al tipo de distribución del tamaño de sedimento; y C_v , concentración volumétrica de sedimentos.

La distribución del tamaño de los sedimentos fueron obtenidas mediante los análisis granulométricos de cinco muestras de suelo obtenidas mediante calicatas de 1.5mx1mx1m (ancho, alto y largo, respectivamente), ubicadas tres de ellas en el cauce de las quebradas identificadas como mayores aportantes al flujo de estudio y dos en las zonas aledañas al río Purísima, de los cuales las muestras fueron caracterizadas en un laboratorio acreditado por el INDECOPI quienes proporcionaron la información de granulometría y clasificación del tipo de suelo.

El modelo reológico empleado en el presente estudio, fue de acuerdo a lo propuesto por O'Brien y Julien (1985), en el cual el comportamiento reológico para el tránsito de flujo de detritos es tratado como un flujo constante, donde el esfuerzo de cedencia fue calculado mediante la siguiente ecuación 3.

$$\tau = \tau_y + \mu_m \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right) + \rho_m l_m^2 \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)^2 + 0.01 \rho_s \left(\left(\frac{0.615}{C_v} \right)^{1/3} - 1 \right)^{-2} d_s^2 \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)^2 \quad (8)$$

Donde τ_y , es el esfuerzo de cedencia; μ_m , es la viscosidad dinámica de la mezcla; $\frac{3\bar{u}}{h}$, es la gradiente de velocidad o tasa de deformación al corte;

ρ_m , es la densidad de la mezcla; l_m , longitud de corte; C_v , concentración volumétrica, ρ_s , es la densidad del sedimento; y d_s , es el diámetro de la partícula.

3.3.2. Para el objetivo específico 2

Desarrollar el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo.

Para este caso se empleó un sistema de aeronave pilotada remotamente (RPAS) del modelo DJI Phantom 4 pro V2 con cámara de 20 megapíxeles de resolución y GPS integrado, lo cual se inició realizando la planificación de vuelo fotogramétrico para una altura de 250 m y con un traslape del 70% de la superficie entre cada toma, luego se procedió a identificar quince puntos de control conocidos como BM (Beach Mark) considerando estructuras estables dentro del área de estudio mediante el uso de un GPS diferencial de 0.03 m de error espacial, y prosiguiendo con el vuelo del dron de acuerdo con el plan establecido; las fotografías generadas fueron procesadas fotogramétricamente mediante el software MeshLab a través de la creación del nube de puntos y orientación de las fotografías obtenidas, cuya corrección de errores fue de manera manual con la eliminación de fotografías que no cumplían la orientación y el porcentaje de traslape, y la inserción de las coordenadas de los puntos de control; prosiguiendo con la generación del modelo de elevación digital a través de mapas de profundidad, corrigiendo su posicionamiento con el co-registro topográfico validando con los desplazamientos en los ejes X, Y y Z con cuatro iteraciones en relación a las coordenadas de los puntos de control y finalizando con la exportación en formato GeoTIFF.

3.3.3. Para el objetivo específico 3

Evaluar la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo frente a lluvias extremas.

Para el análisis del comportamiento hidrológico se emplearon las informaciones pluviométricas máximas diarias mensuales de las estaciones meteorológicas de Chamana, Mayorarca y Ocros pertenecientes al SENAMHI para el periodo de 1981 al 2023. Se inició con completar los datos para los meses de enero a marzo de 1984 de la estación de Chamana y los meses de

noviembre a abril desde el año 1982 a 1987 para la estación de Mayoraraca mediante el método de regresión lineal debido a que solo la estación de Ocros contaba con datos totales para la serie de análisis el cual formó parte del rango de la función; y se prosiguió con la proyección de datos mensuales desde enero de 2021 hasta diciembre del 2023 para la estación de Chamana mediante el método de regresión múltiple en referencia las estaciones de Ocros y Mayoraraca; estos datos fueron sometidos a la prueba de datos dudosos con el método del Water Resources Council con una significancia del 10% para la distribución normal por cada estación, donde se terminó los umbrales máximas y mínimas y observándose que todos los datos se encontraban dentro de los límites sin existir datos dudosos.

Con los datos validados se realizó las series de ajuste estadísticas de distribución de probabilidad para las precipitaciones máximas de 24 horas, luego mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov – Smirnov se obtuvo la serie estadística que presenta mejor ajuste y a partir del cual se obtuvo las curvas de intensidad, duración y frecuencia por el modelo de, prosiguiéndose con la generación de los hietogramas de bloque alterno por el método de regresión múltiple y el modelo de Dick Peschke para los distintos periodos de retorno.

La generación de los hidrogramas unitarios de respuesta hidrológica fue realizada mediante el uso del software Hec – HMS y el método de número de curvas según las características de infiltración del tipo de uso de suelos, empleándose como parámetros de entrada las características morfométricas de la unidad hidrográfica Purísima y los hietogramas de bloque alterno de cada estación y modelando los caudales de máximas avenidas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

3.3.4. Para el objetivo específico 4

Modelar la propagación del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo frente a la ocurrencia de lluvias extremas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años

El modelamiento se realizó mediante el software HecRAS versión 6.4.1., en el cual se usaron como datos de entrada el hidrograma unitario de máximas avenidas para los distintos periodos de retorno, los parámetros reológicos estimados (viscosidad dinámica y esfuerzo de cedencia), el modelo

digital de elevación del terreno y la rugosidad del terreno. Previo a ello se tuvo que calibrar el modelo comparando el valor del tirante de flujo alcanzados en el evento extremo YAKU 2023 obtenido en campo a través de las huellas en los puntos fijos de las coordenadas (UTM 18S 213383.58 m este y 8858814.77 m sur; 213595.66 m este y 8858954.43 m sur; y 213496.11 m este y 8858913.09 m sur) y el resultado del modelamiento para un periodo de retorno de 100 años bajo distintas concentraciones volumétricas de los sedimentos.

3.3.5. Para el objetivo específico 5

Proponer medidas de prevención y mitigación a partir del modelo de propagación obtenido

Consistió en proponer medidas estructurales basados en la bibliografía, experiencias exitosas y normativa peruana actual, como también en considerar la estructura que cumpla con las condiciones hidráulicas de presión de impacto del flujo, de resistencia de impacto dinámico, estabilidad al volcamiento y resistencia al deslizamiento basal, así como el de mayor vida útil y menor costo de mantenimiento. Las medidas no estructurales se propusieron en base a la bibliografía y experiencias de manejo del riesgo a largo plazo enfocados en soluciones basados en naturaleza como enfoque principal, así como también los lineamientos del CENEPRED en referencia al modelo con mayor el periodo de retorno.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población comprendió todas las zonas del territorio peruano que se encuentran expuestas al peligro de flujo de detritos desencadenado por lluvias extremas.

3.4.2. Muestra

La muestra seleccionada fue la localidad de Chasquitambo, cuya selección fue no probabilístico por conveniencia, basado en la exposición de la zona y frecuencia de eventos, así como la accesibilidad y existencia de datos pluviométricos.

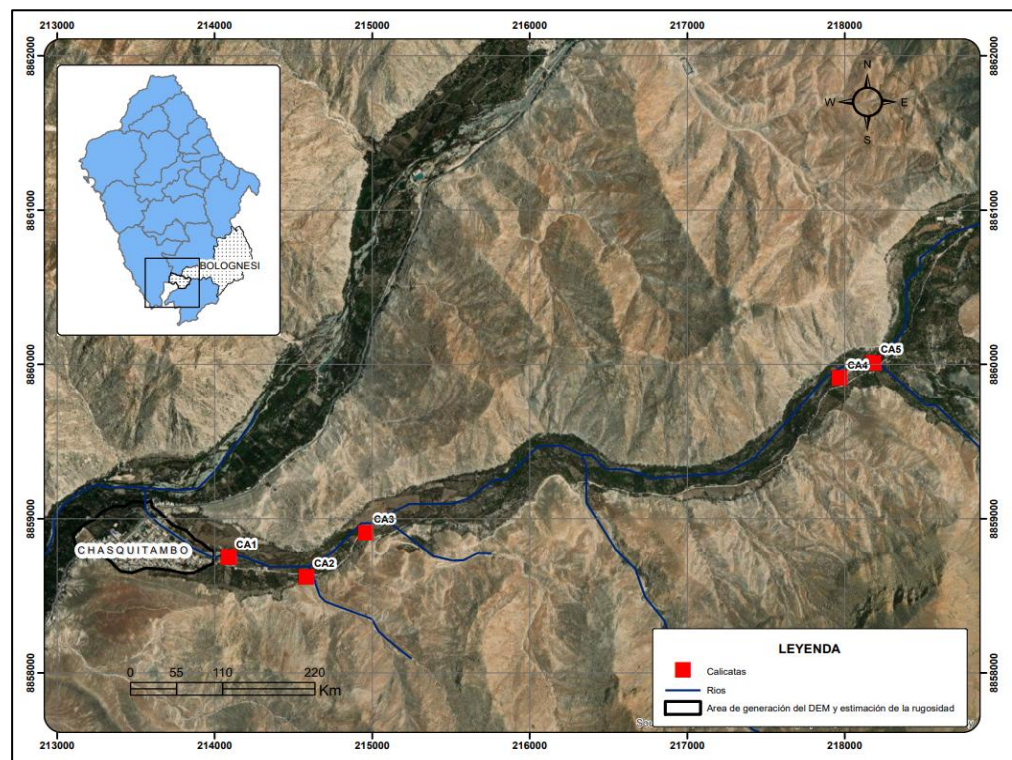
3.4.3. Unidad de análisis o muestra

Las unidades de análisis para el desarrollo de la investigación fueron comprendidas en lo siguiente:

- Para determinar los parámetros reológicos se emplearon cinco muestras de suelos (20 kg cada uno), que se obtuvieron con calicatas de 1.5x1mx1m (largo, ancho y alto, respectivamente), ubicadas tres de ellas en el cauce de las quebradas de mayor aporte y dos en las zonas identificadas como aportante ante el evento de estudio en el río Purísima (ver figura 3).
- Para evaluar la respuesta hidrológica de la quebrada se usaron datos de precipitación diaria desde el año de 1981 hasta el 2023 monitoreadas por el SENAMHI de las estaciones de Chamana, Mayorarca y Ocros.
- El modelo de elevación digital se generó para el área de terreno de desplazamiento del flujo de detritos.

Figura 3

Ubicación de las calicatas y el área de generación del DEM



3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos e información

La tabla 1, muestra las técnicas e instrumentos de recolección de datos e información empleadas durante la investigación.

Tabla 1

Técnicas e instrumentos de la recolección de datos e información

Técnicas	Instrumentos
Observación directa	Ficha de observación, cámara fotográfica, sistema de aeronave pilotada remotamente (RPAS).
Análisis de datos	MS Excel
Análisis granulométrico	Método del tamizado (NTP 339.128)
Geoprocesamiento	QGIS y MeshLab,
Modelamiento numérico	HecRAS Y HecHMS

3.6. Plan de procesamiento y análisis de los datos e información

Los datos fueron procesados con el uso del software Microsoft Excel. El análisis estadístico consistió en análisis de bondad y de ajuste mediante el test de Kolmogorov–Smirnov, distribución de probabilidad estadística de precipitaciones máximas y análisis de regresión para ajustar los parámetros del flujo de detritos para los distintos periodos de retorno, y el cálculo de errores para la calibración del modelo, cuyos resultados se representan por medio de figuras y tablas con su interpretación, análisis, discusión y conclusión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Determinar los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo.

La tabla 2, muestra los resultados obtenidos de los análisis granulométricos de las muestras de suelo de las 5 calicatas.

Tabla 2

Resultado del análisis granulométrico

Calicata	Clasificación SUCS	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Límite líquido	Límite plástico
CA-01	SM	15.23	62.17	22.60	0.03	1.05	4.62	19.65	16.34
CA-02	SM	23.41	54.87	21.72	0.03	0.87	20.99	-	-
CA-03	SW SM	46.35	46.89	6.75	0.64	4.10	29.67	-	-
CA-04	GW GC	47.19	47.00	5.81	0.71	4.28	30.88	-	-
CA-05	SM	16.23	60.28	23.49	0.02	1.05	4.91	23.47	20.03

Nota: La clasificación según SUCS de los suelos, para las muestras son (CA-01): arenosa limosa (SM), (CA-02): arena limosa con grava (SM), (CA-03): arena bien graduada con limo y grava (SW SM), (CA-04): grava bien graduada con arcilla y limo con arena (GW GC), y (CA-05): arena limosa con grava (SM).

De acuerdo a los ensayos de laboratorio y la concentración sólidos en peso, O'Brien y Julien en 1985, caracterizaron algunas muestras de suelos, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3*Propiedades de las matrices de flujos de lodos (arcillas y limos)*

Muestra	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Límite plástico
	Arcilla (%)	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)		
Glenwood original	4.8	0.01	0.034	0.062	-	-
Glenwood muestra 1	6.8	0.009	0.023	0.05	-	-
Glenwood muestra 2	3	0.016	0.035	0.061	-	-
Glenwood muestra 3	4.8	0.011	0.025	0.053	-	-
Glenwood muestra 4	7.6	0.001	0.018	0.032	-	-
Aspen Pit 1	31.3	0.001	0.011	0.032	0.32	0.11
Aspen natural soil	27	0.001	0.012	0.028	0.25	0.06
Aspen mine fill	27.8	0.001	0.013	0.03	0.24	0.06
Aspen natural soil source	31.6	0.001	0.016	0.039	-	-
Aspen mine fill source	25.2	0.001	0.018	0.061	-	-

Para el caso de estudio, los resultados del análisis granulométrico de los suelos el porcentaje de finos promedio de 16%, con bajos índices de plasticidad en dos de ellas y además las muestras están conformadas por suelos de grano grueso (arena y gravas), por lo cual se optó por emplear los parámetros de los coeficientes de la muestra Glenwood muestra 2 por presentar bajo contenido de arcilla el cual es característicos de suelos arenosos y/o gravosos, cuyas características reológicas se muestra en la tabla 4.

Tabla 4*Resumen de resultados de ensayos reológicos realizados por O'Brien y Julien en 1985*

Muestra	$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$		$n = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$	
	α_1	β_1	α_2	β_2
Glenwood muestra 2	0.0765	16.9	0.00648	6.2

Donde n , es la viscosidad, τ_y , es el esfuerzo de cedencia; α_i y β_i , son coeficientes empíricos de acuerdo con el tipo de distribución del tamaño de sedimento; y C_v , concentración volumétrica de sedimentos.

Obteniéndose los valores de viscosidad de y escuerzo de cedencia en función a las concentraciones volumétricas de los sedimentos como se muestra en la tabla

5, donde se evidencia que a mayor concentración de sedimentos incrementan ambos valores.

Tabla 5

Viscosidad y esfuerzo de cedencia en función a la concentración de sedimentos

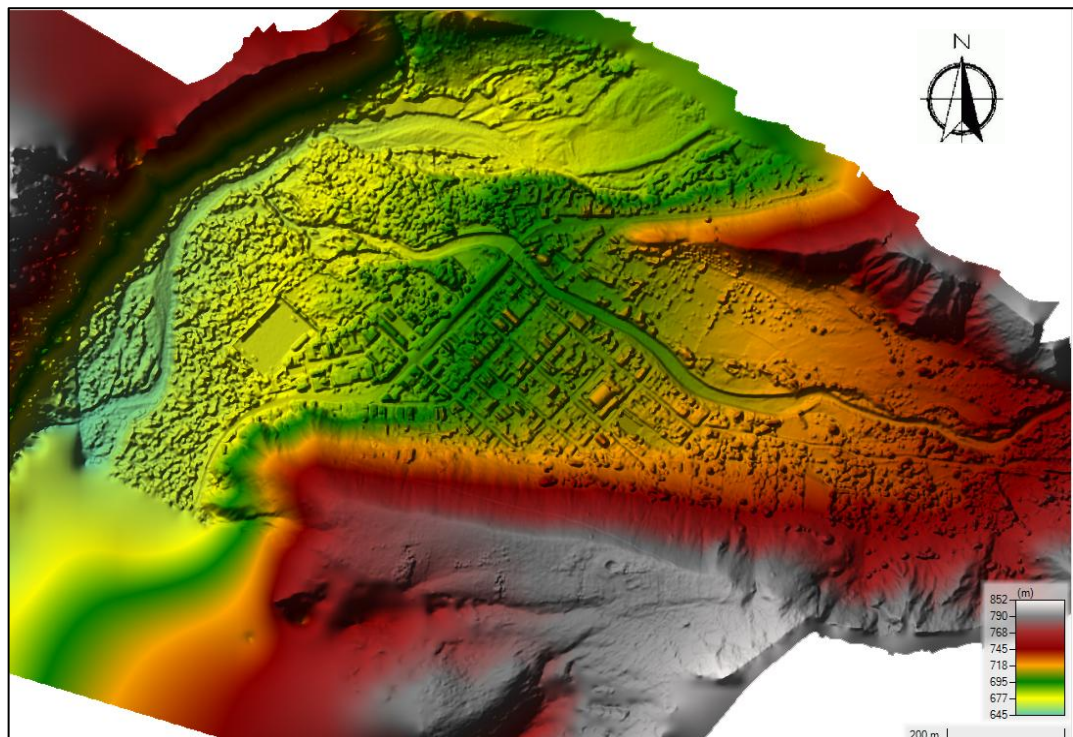
Concentración volumétrica de sedimentos	$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$	$n = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$
30%	1.434	0.042
35%	3.918	0.057
40%	10.704	0.077
45%	29.242	0.106
50%	79.887	0.144

4.2. Desarrollar el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo.

Se desarrolló el modelo de elevación digital para toda el área de desplazamiento de flujo con una resolución espacial de 0.12 m, como se muestra en la figura 4, observándose la variación altitudinal desde los 645 hasta 852 msnm.

Figura 4

Modelo de elevación digital del área de estudio.



A demás, los resultados del alineamiento espacial del DEM generado, se muestran en la tabla 6 y en la figura 5 donde se observan los valores de desplazamiento en las direcciones X, Y y Z, así como los errores por cada iteración y las tendencias y dispersión de los aspectos del co-registro en relación a los puntos de control.

La tabla 6 muestra una convergencia adecuada, donde se observa que el error medio cuadrático disminuye significativamente en la cuarta aplicación del algoritmo de co-registro, el cual indica la eliminación de sesgos de desplazamientos direccionales y la corrección de estas en relación a los puntos de control aplicadas al DEM.

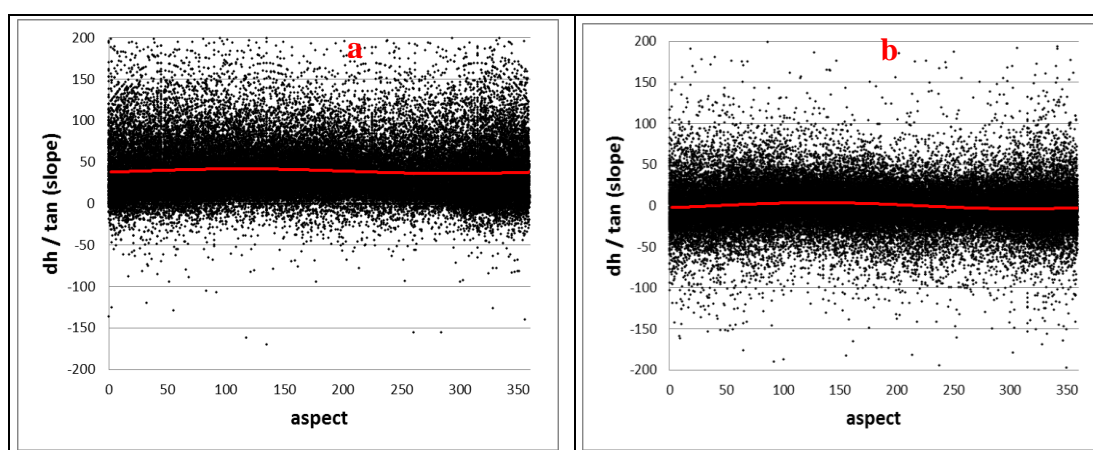
Tabla 6

Valores de las iteraciones aplicando el co-registro

Desplazamiento (m)	1era iteración	2da iteración	3era iteración	4ta iteración	Desplazamiento total
ΔX	0.45	0.14	0.22	0.12	0.93
ΔY	-0.36	-0.24	-0.46	-0.04	-1.10
ΔZ	0.41	-0.12	0.17	0.00	0.46
RMSE	2.25	0.94	1.12	0.17	

Figura 5

Tendencia y dispersión de las iteraciones del co-registro topográfico



Donde (a), es la primera iteración, observándose mayor dispersión de los puntos con la línea de tendencia (roja) con oscilaciones más pronunciadas, y (b), es la cuarta iteración con una menor dispersión y una línea de tendencia horizontal más

estable y horizontal. Los cuales indican que los desplazamientos (dh) en función a la orientación y pendiente fueron corregidas en la última iteración aplicada.

4.3. Evaluar la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo frente a eventos de lluvias extremas.

La figura 6 muestra las distintas distribuciones estadísticas de probabilidad en comparación con los valores de precipitaciones máximas observadas de la estación Chamana (puntos azules), donde se observa que la distribución LogNormal (línea roja) presenta el mejor ajuste con los datos, sugiriendo que esta distribución es la más adecuada para generar las probabilidades de precipitaciones extremas en esta estación.

Figura 6

Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Chamana.

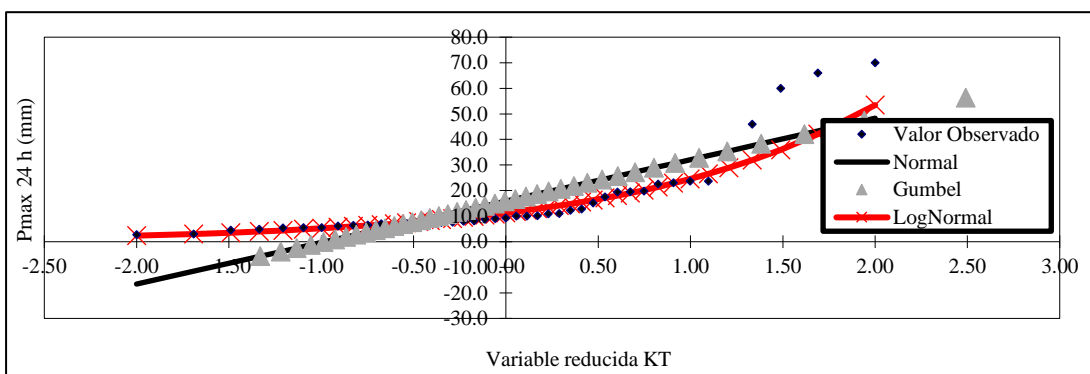
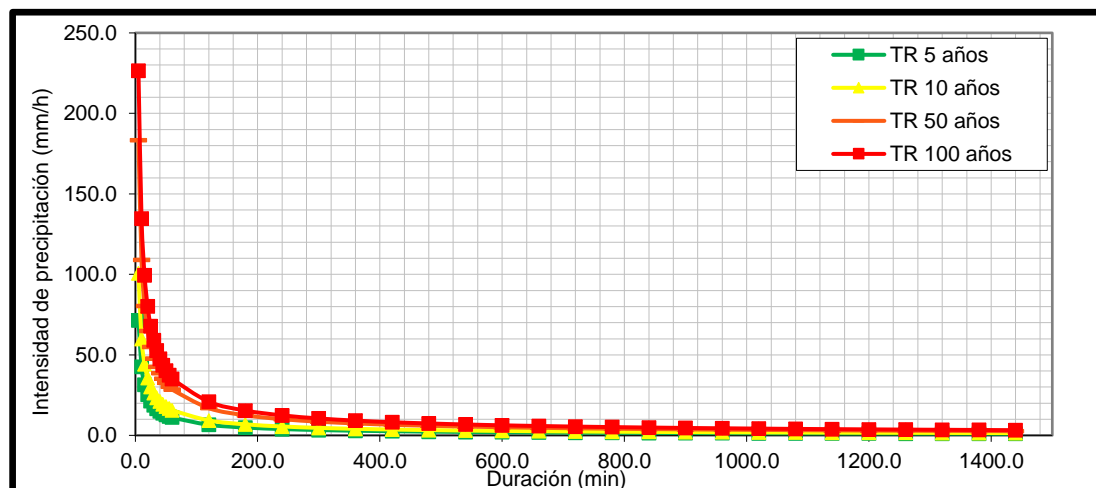


Figura 7

Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Chama.

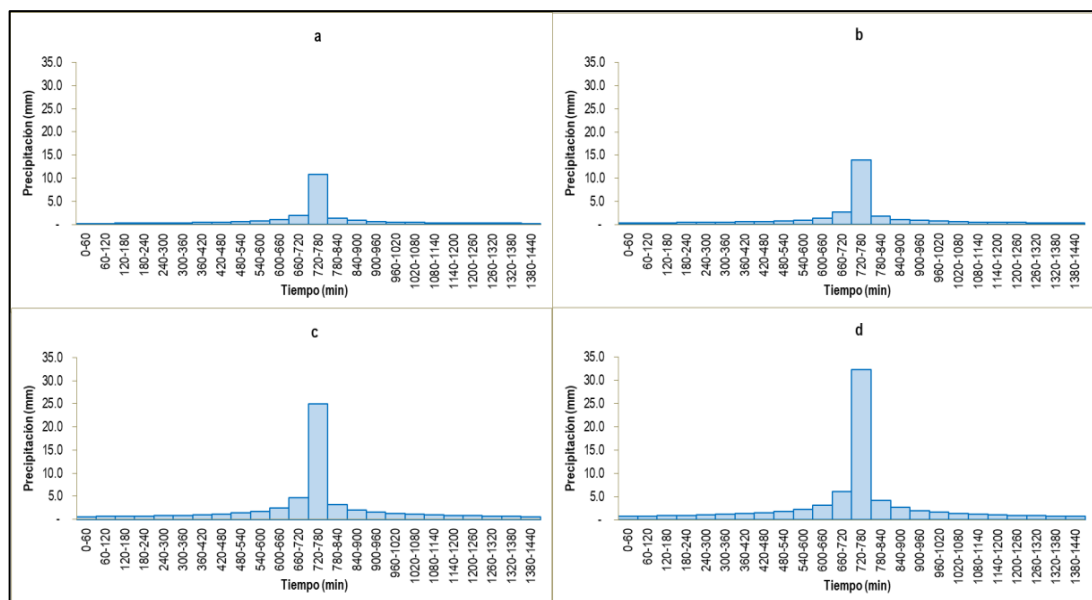


En la figura 7 se observa que la intensidad de la precipitación disminuye conforme incrementa la duración del evento, implicando que a mayor intensidad menor duración, también se demuestra que a mayor periodo de retorno las intensidades son mayores alcanzando hasta 225 mm/h.

La figura 8 muestra los hietogramas de precipitación máxima observándose un incremento progresivo de la precipitación en relación al periodo de retorno, los cuales alcanzarían aproximadamente desde 10 mm hasta los 32mm para los periodos de 5 y 100 años respectivamente.

Figura 8

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Chamana



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

En la figura 9 se observan las distintas distribuciones estadísticas de probabilidad en comparación con los valores de precipitaciones máximas observadas de la estación Mayorarca (puntos azules), donde se observa que la distribución LogPearson III (línea roja) presenta el mejor ajuste con los datos, sugiriendo que esta distribución es la más adecuada para generar las probabilidades de precipitaciones extremas en esta estación.

La figura 10 demuestra que la intensidad de la precipitación disminuye conforme incrementa la duración del evento, implicando que a mayor intensidad

menor duración, también se demuestra que a mayor periodo de retorno las intensidades son mayores alcanzando hasta 168 mm/h.

La figura 11 muestra los hietogramas de precipitación máxima observándose un incremento progresivo de la precipitación en relación al periodo de retorno, los cuales alcanzarían aproximadamente desde 14 mm hasta los 22 mm para los periodos de 5 y 100 años respectivamente.

Figura 9

Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Mayorarca

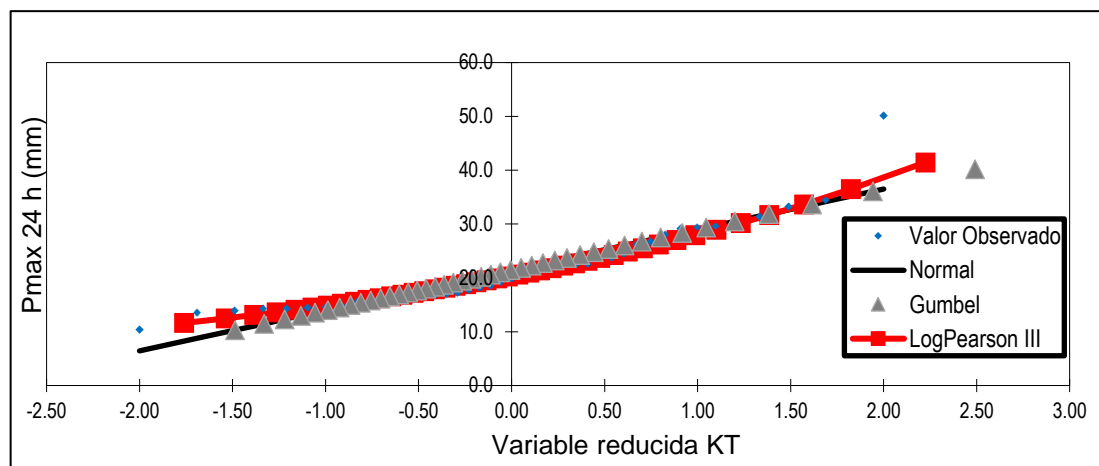
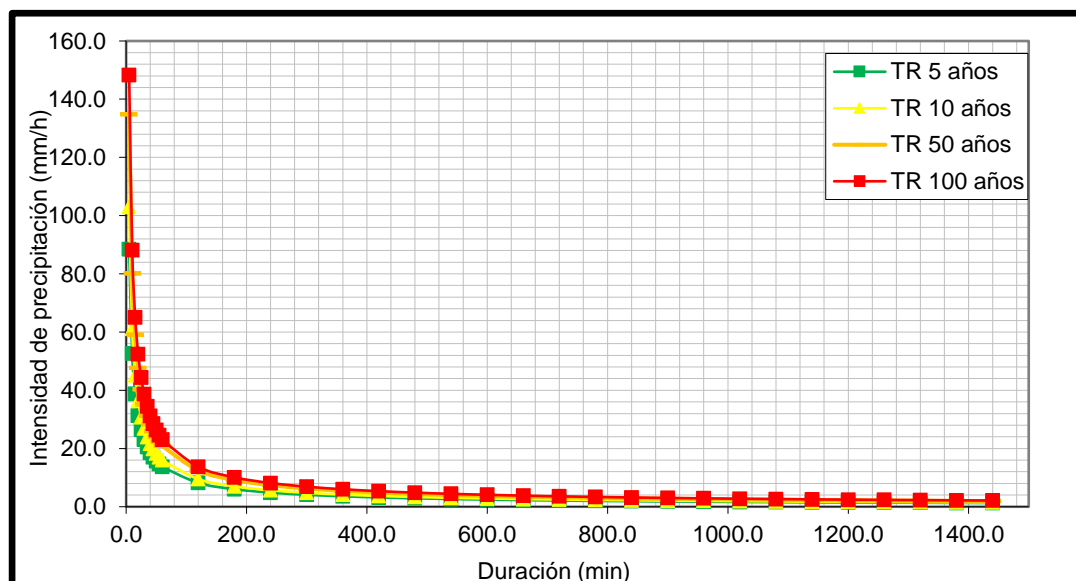


Figura 10

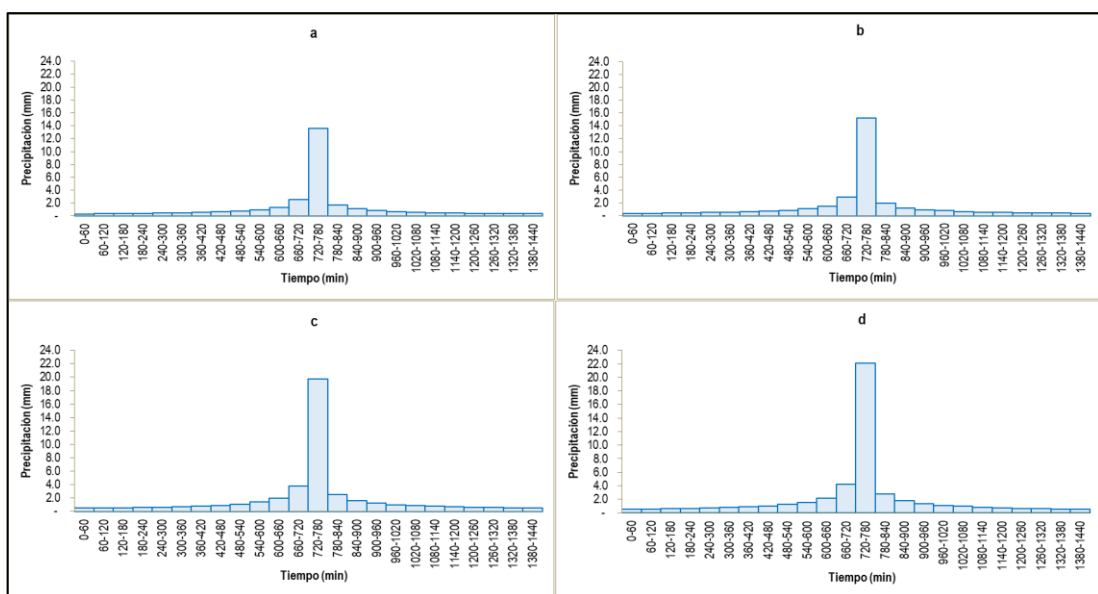
Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Mayorarca



La figura 12 se observan las distintas distribuciones estadísticas de probabilidad en comparación con los valores de precipitaciones máximas observadas de la estación Ocros (puntos azules), donde se observa que la distribución LogNormal (línea roja) presenta el mejor ajuste con los datos, sugiriendo que esta distribución es la más adecuada para generar las probabilidades de precipitaciones extremas en esta estación.

Figura 11

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Mayorarca



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

En la figura 13 se observa que la intensidad de la precipitación disminuye conforme incrementa la duración del evento, implicando que a mayor intensidad menor duración, también se demuestra que a mayor periodo de retorno las intensidades son mayores alcanzando hasta 125 mm/h.

La figura 14 muestra los hietogramas de precipitación máxima observándose un incremento progresivo de la precipitación en relación al periodo de retorno, los cuales alcanzarían aproximadamente desde 12 mm hasta los 18 mm para los periodos de 5 y 100 años respectivamente.

Figura 12

Ajustes de distribución estadística para las precipitaciones máximas de 24 horas de la EM Ocros

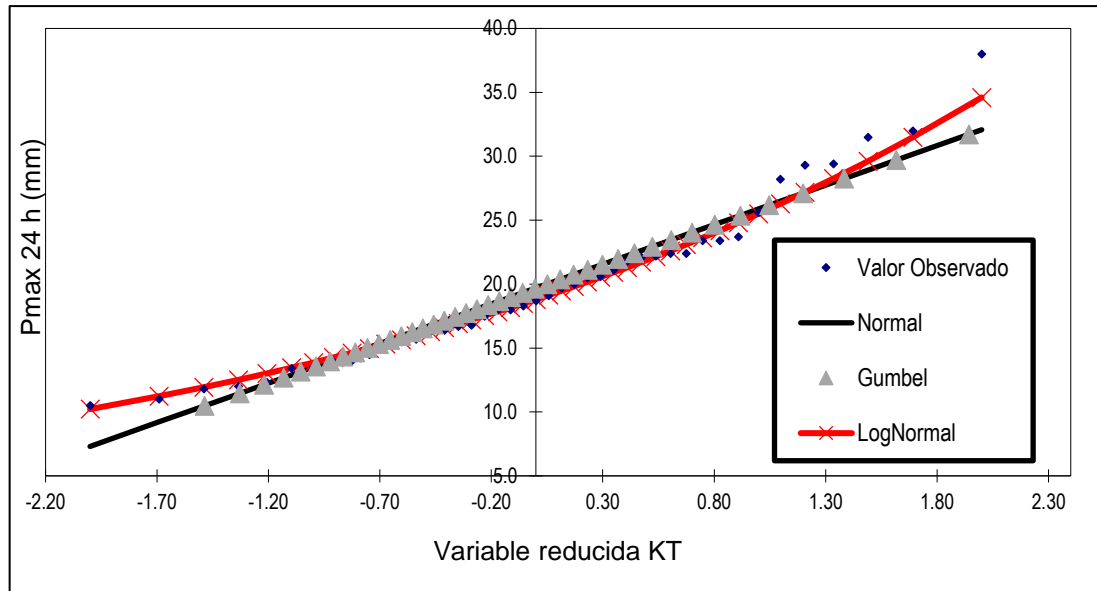


Figura 13

Curvas de intensidad y duración para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Ocros

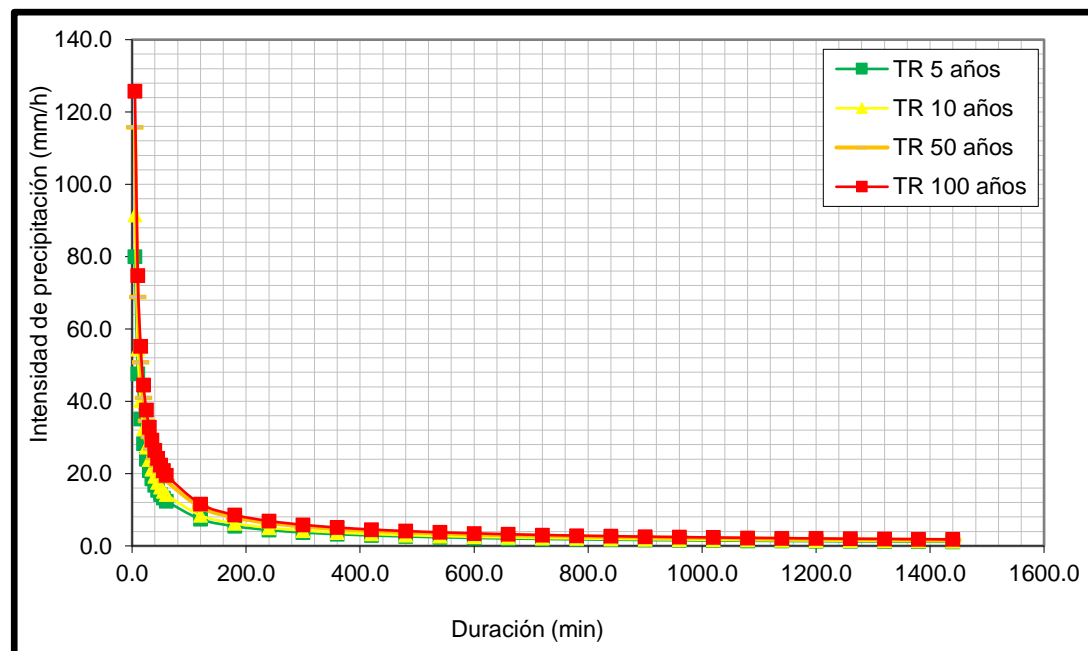
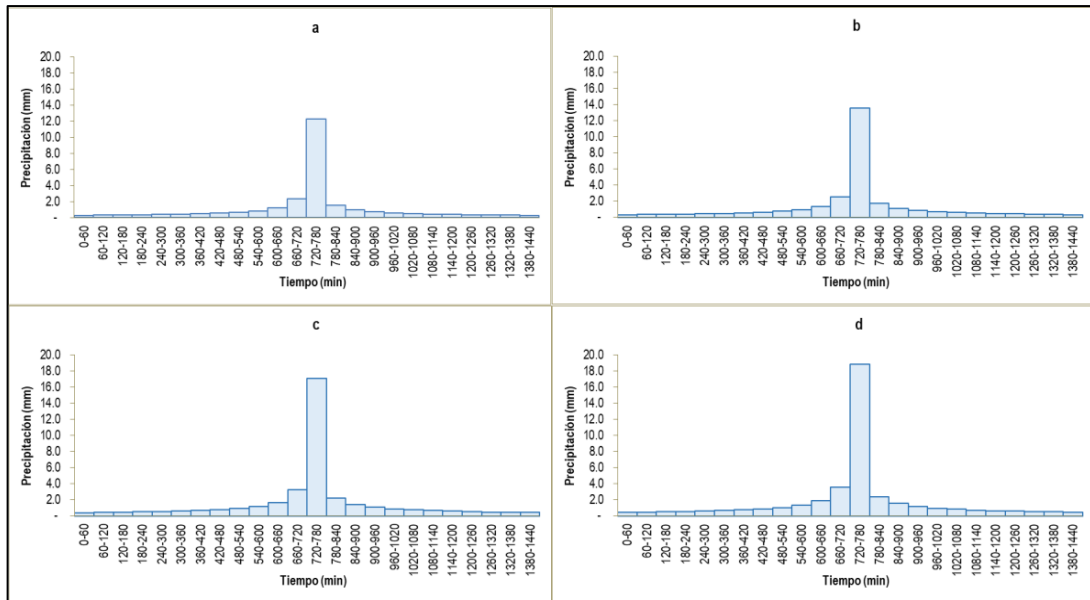


Figura 14

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno correspondiente a la EM Ocos



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros morfométricos de la unidad hidrográfica Purísima se muestran en la tabla 7, 8 y 9.

Tabla 7

Resultado de los parámetros de superficie de la unidad hidrográfica Purísima

Propiedad	Unidad	Valor
Área	km ²	240.82
Perímetro	mm	89.01
Cotas		
Cota máxima	msnm	4849.00
Cota mínima	msnm	726.00
Centroide Wgs84-UTM-18S		
X centroide	m	229986.99
Y centroide	m	8862841.88
Z centroide	msnm	2763.00
Altitud		
Altitud media	msnm	2986.69
Altitud más frecuente	msnm	4677.21
Altitud de frecuencia media	msnm	3152.99
Pendiente		
Pendiente promedio	%	54.49

Tabla 8

Resultado de los parámetros de la red hídrica de la unidad hidrográfica Purísima

Propiedad	Unidad	Valor
Longitud del curso principal	km	32.34
Orden de la red hídrica	und	2.00
Longitud de la red hídrica	km	33.10
Pendiente promedio	%	54.49

Tabla 9

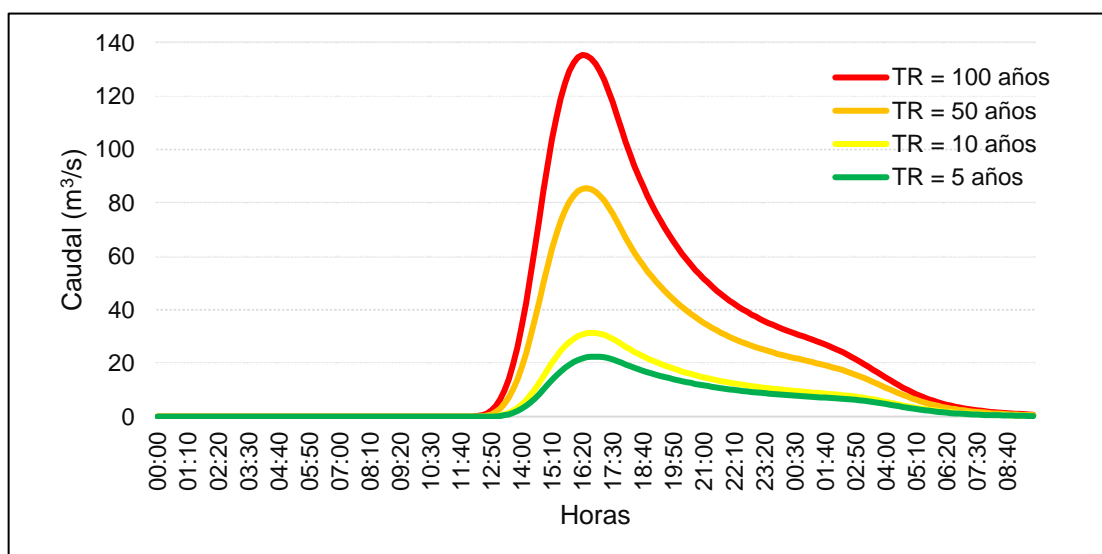
Resultado de los parámetros generados a partir de la morfología de la unidad hidrográfica Purísima

Propiedad	Unidad	Valor
Factor de forma		0.03
Densidad de drenaje	km/km ²	0.14
Tiempo de concentración	min	127.92
Pendiente del cauce principal	m/km	127.46

La unidad hidrográfica presenta suelos cultivadas sin tratamiento de conservación con infiltración moderada cuando los suelos están mojados, tratándose de suelos poco profundos de arena marga.

Figura 15

Hidrograma unitario de avenida de caudales máximos de salida para distintos periodos de retorno de la unidad hidrográfica Purísima



La figura 15 muestra los resultados del modelamiento de los hidrogramas unitarios de máximas avenidas según método de curva para los distintos periodos de retorno de la unidad hidrográfica Purísima, observándose que los caudales picos están entre 20 y 135 m³/s para los periodos de retorno de 5 y 100 años respectivamente, alcanzando estos registros alrededor de las 17 horas.

4.4. Modelar la propagación del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo frente a la ocurrencia de lluvias extremas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

La calibración del modelo se observa en la Tabla 10 y Figura 16 donde se compara la cota observada respecto al evento Yaku 2023 y los tirantes máximos modelados con un periodo de retorno de 100 años con distintas concentraciones volumétricas de sedimentos. Observándose que el modelo con la concentración volumétrica del 40% presenta mejor ajuste, mientras que las concentraciones del 30% y 35% subestiman la tirante observada y las concentraciones de 45% y 50% sobreestiman el nivel de la tirante observada.

Tabla 10

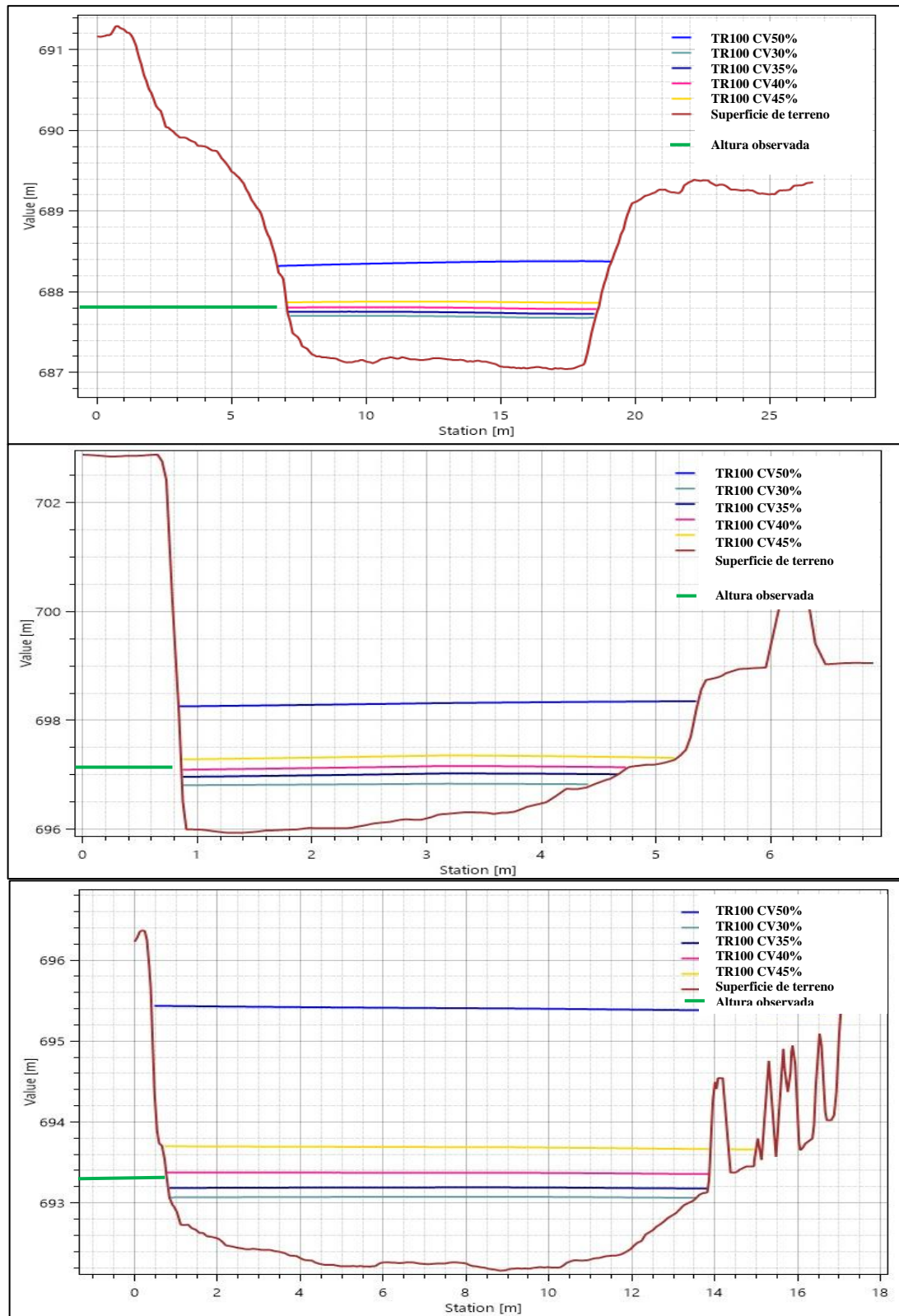
Calibración del modelo al considerando tres tamos de corte

Concentración volumétrica (%)	Tramo de calibración	Cota máxima modelada (msnm)	Cota observada (msnm)	diferencia (m)
30	a	687.68	687.80	-0.12
35		687.73	687.80	-0.07
40		687.79	687.80	-0.01
45		687.87	687.80	0.07
50		688.38	687.80	0.58
30	b	696.78	697.12	-0.34
35		696.90	697.12	-0.22
40		697.10	697.12	-0.02
45		697.17	697.12	0.05
50		698.19	697.12	1.07
30	c	693.11	693.38	-0.27
35		693.20	693.38	-0.18
40		693.40	693.38	0.02
45		693.50	693.38	0.12
50		695.41	693.38	2.03

Nota: El modelo se ajusta para una concentración volumétrica del 40%. Siendo este parámetro de entrada para los demás modelos a distintos periodos de retorno.

Figura 16

Cortes transversales de los tirantes máximos modelados en los tramos de calibración.



Nota: Se muestran los cortes transversales de los distintos tramos de calibración, así como las cotas modeladas y observadas, donde: (a) corresponde a cota de las coordenadas UTM 18S 213383.58 m este y 8858814.77 m sur, (b) cota de las coordenadas 213595.66 m este y 8858954.43 m sur, (c) cota de las coordenadas 213496.11 m este y 8858913.09 m sur.

De acuerdo a los valores calibrados, el modelo con un porcentaje del 40% de sedimentos presenta el error cuadrático medio de 0.01732m, 0.01667 de error absoluto medio y un 0.0024% de error relativo medio. Estos resultados validan la precisión del modelo y su capacidad para reproducir eventos similares con alta confiabilidad, lo que indicaría que esta concentración volumétrica representa mejor las condiciones reales del evento de flujo de detritos estudiado.

En las figuras 17 y 18 se muestra los modelos de propagación correspondiente a la tirante y velocidades máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 5 años. Se muestra que, a dicho periodo de retorno, los daños probables a producirse corresponden a un área aproximada de 2608 m² de parcelas agrícolas ubicados en la desembocadura del río Fortaleza, los cuales podrían ser cubiertas entre 0.1 a 1 m por estos flujos. También en la figura 17 se observa que la velocidad dentro del área de daño es alrededor de 1.74 m/s.

Para el periodo de retorno 10 años, los modelos obtenidos se observan en las figuras 19 y 20 correspondiendo a la tirante y velocidades máximas respectivamente. También se observa que, a dicho periodo de retorno, los daños probables a producirse corresponden a un área aproximada de 4478 m² de parcelas agrícolas ubicados en la desembocadura del río Fortaleza, los cuales podrían ser cubiertas entre los 0.1 a 1.5 m por estos flujos alcanzando una velocidad de 2.00 m/s.

Los modelos para el periodo de retorno de 50 años, se observa en las figuras 21 y 22 correspondientes a la tirante y velocidades máximas respectivamente. Los daños probables a producirse en a dicho periodo de retorno, corresponden a un área aproximada de 12881 m² en parcelas agrícolas inundadas de 5 a 7 m de lodos con velocidad de 2.38 m/s; y dentro del área urbana con alrededor de 14227 m² inundada por detritos entre 0.1 a 3.00 m de cobertura con velocidades de 0.5 m/s, dentro de dicho área existe la posible pérdida de los servicio de saneamiento básico, eléctrico, y daños a 38 viviendas, 2 puentes carrozables, 1 institución educativa y 738 m de vía nacional y urbana.

Figura 17

Tirantes de flujo alcanzado para un periodo de retorno de 5 años

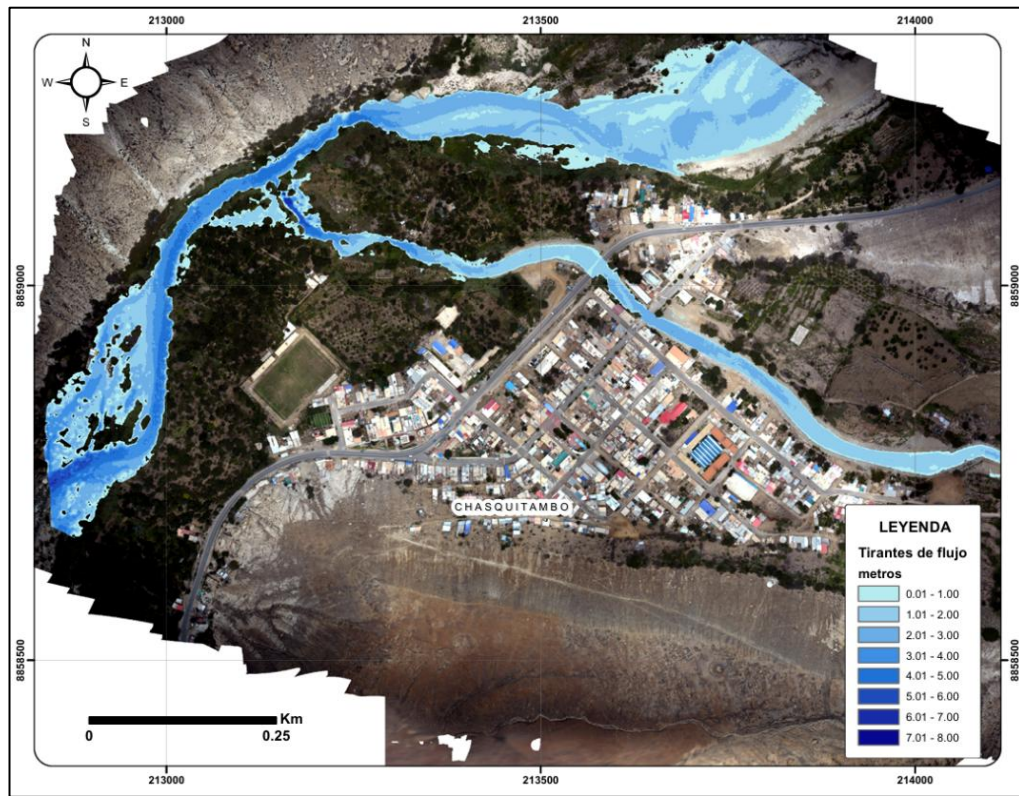


Figura 18

Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 5 años

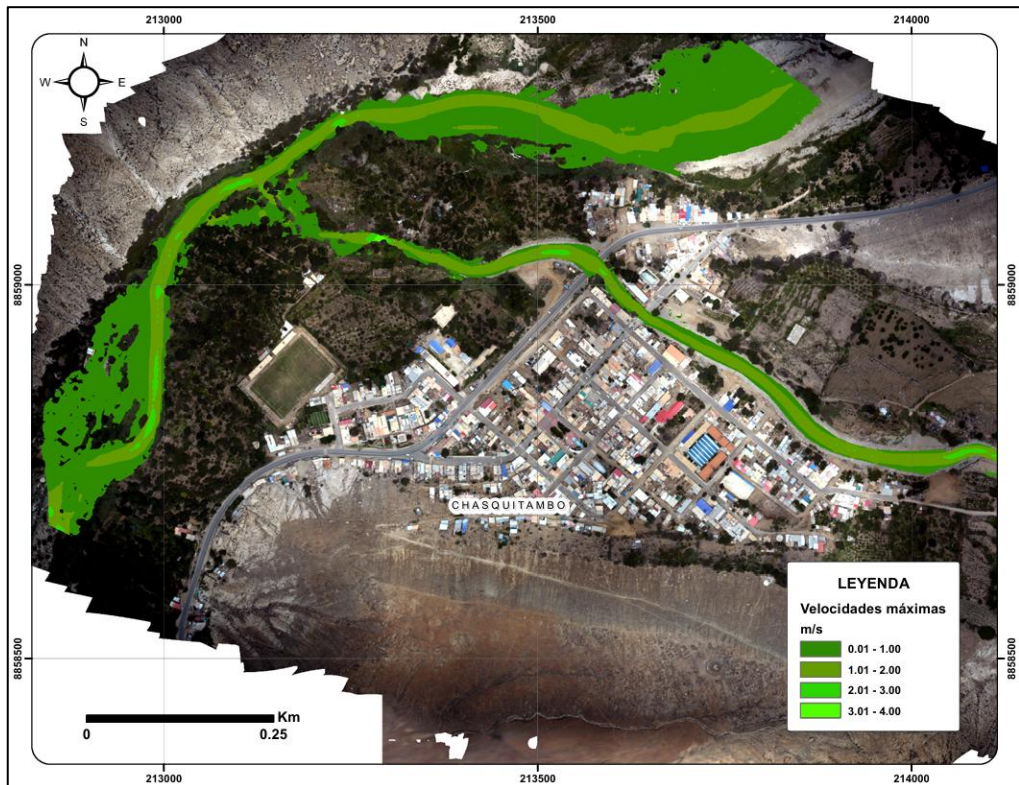


Figura 19

Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 10 años

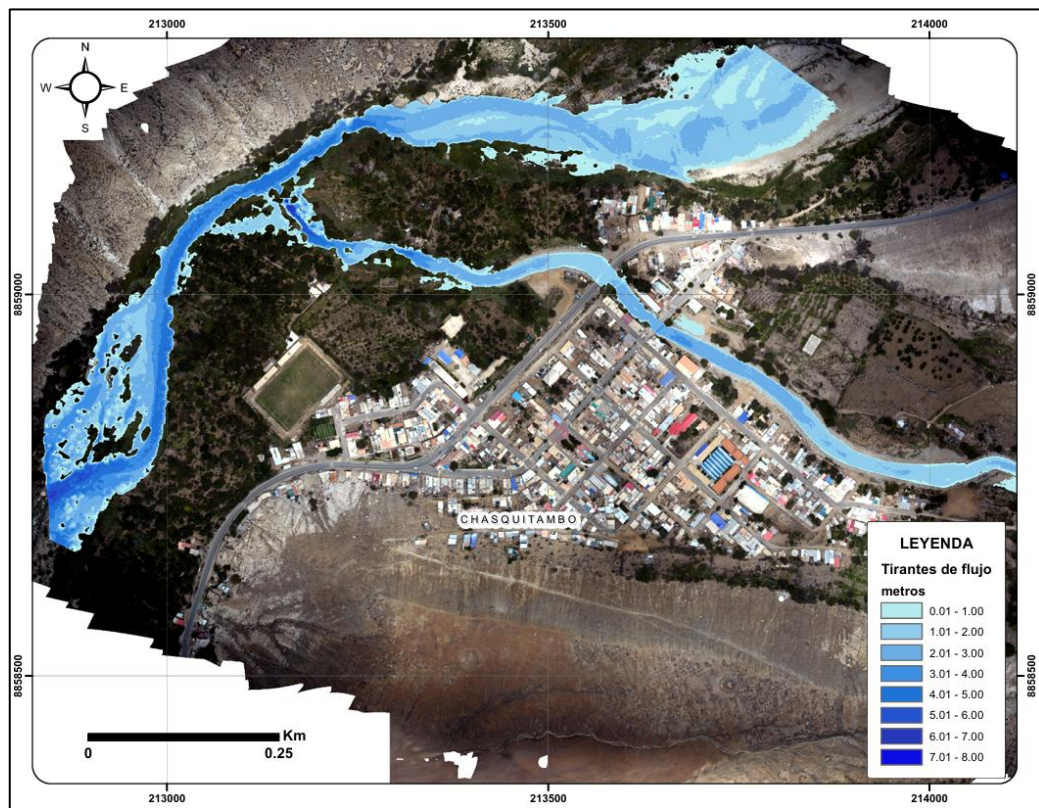


Figura 20

Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 10 años

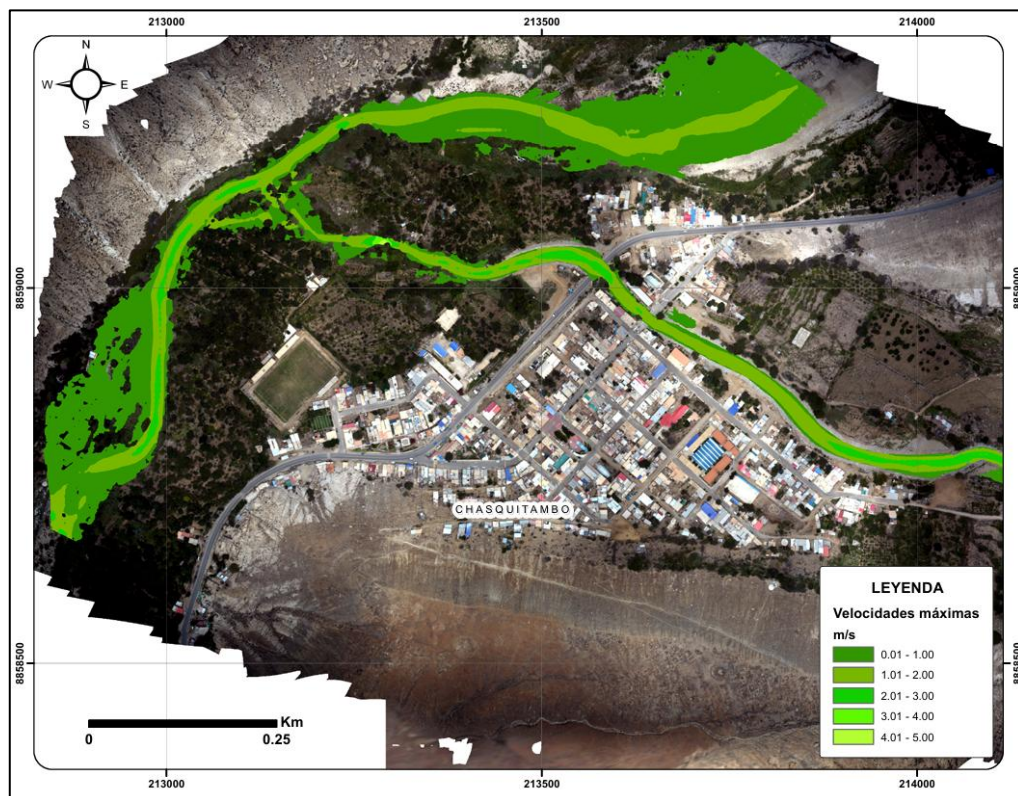


Figura 21

Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 50 años

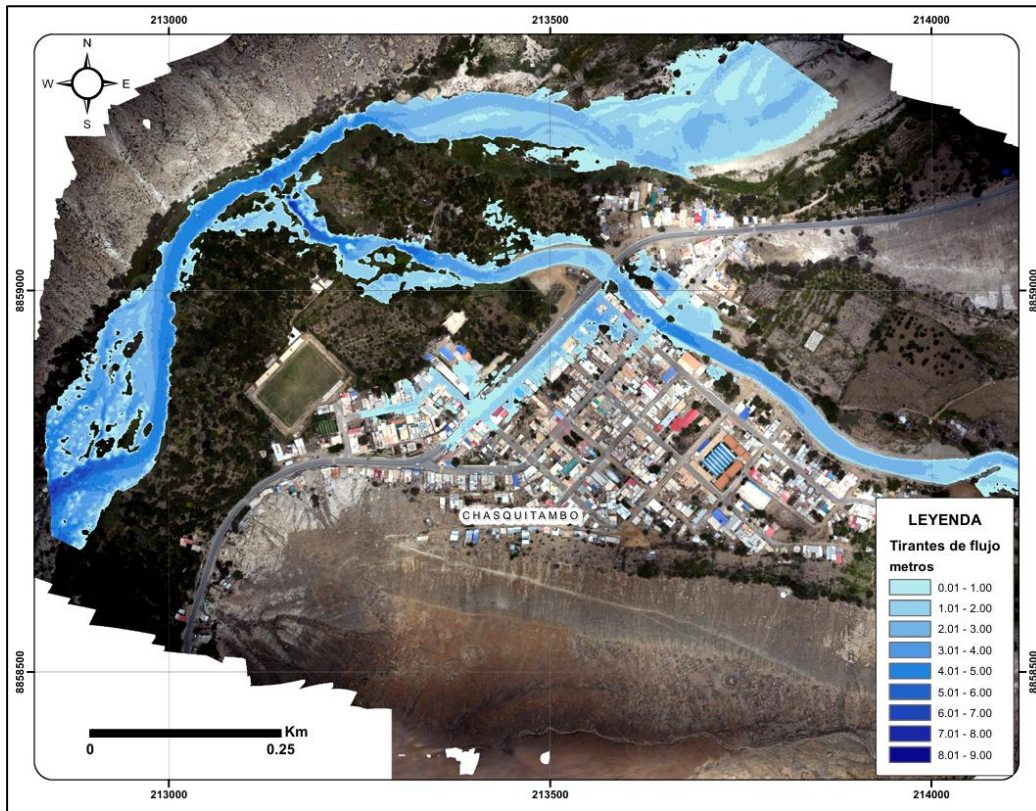


Figura 22

Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 50 años

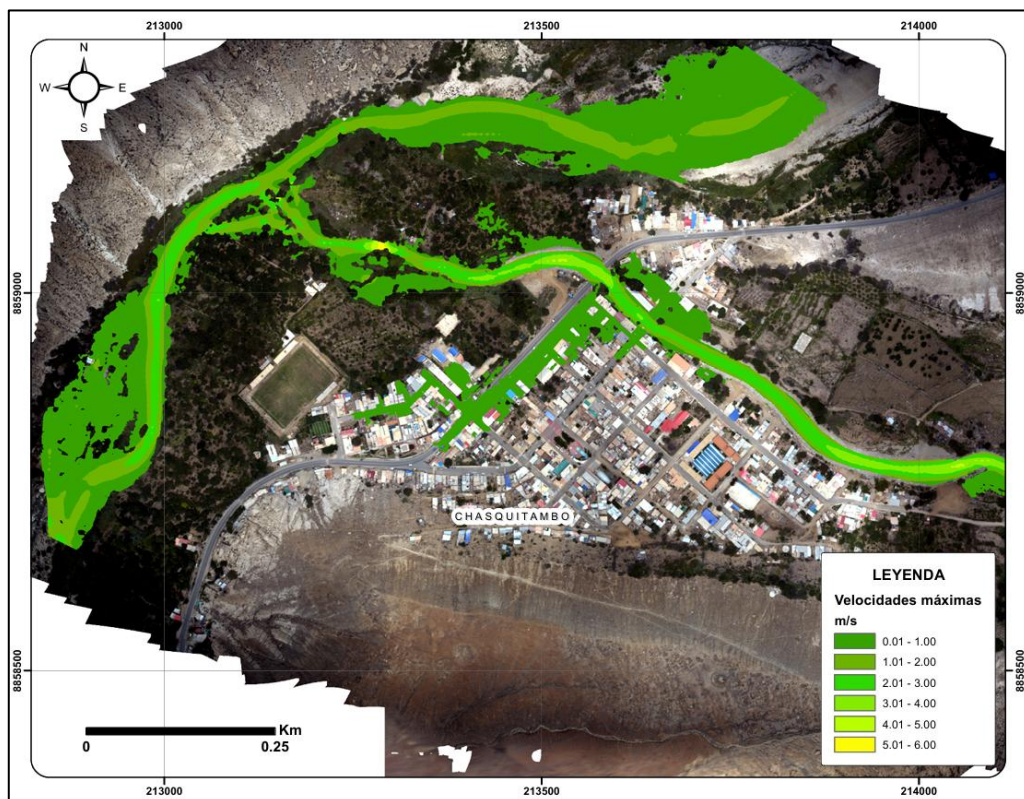


Figura 23

Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años

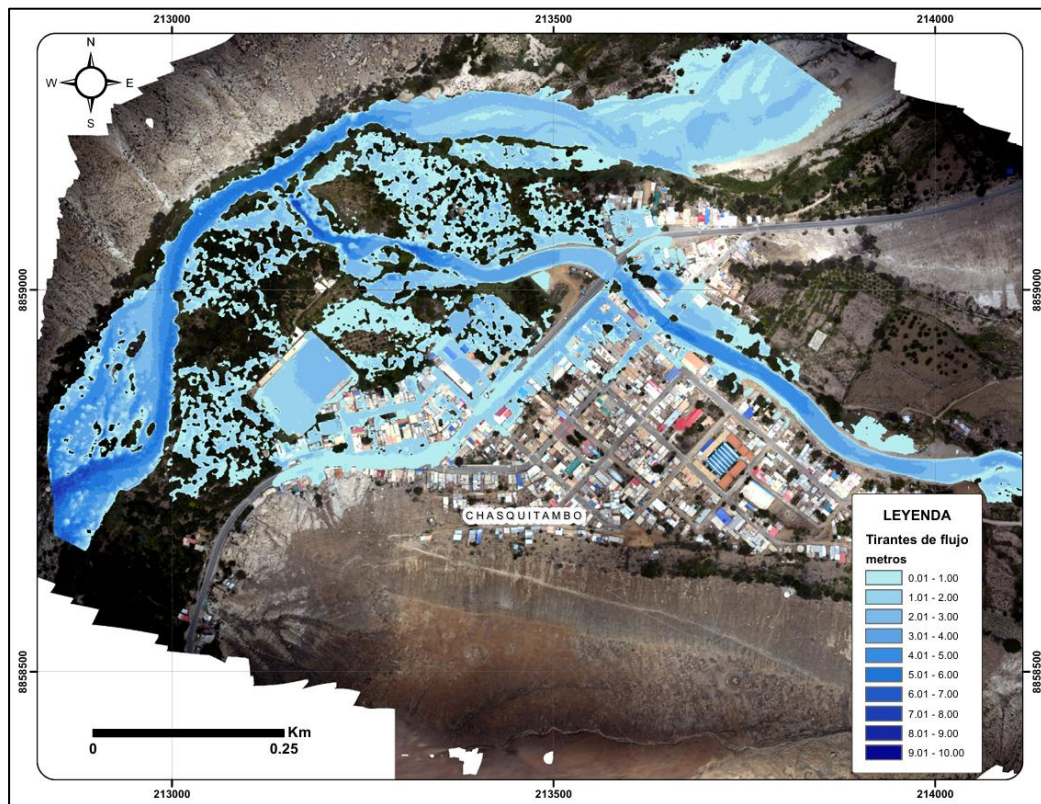
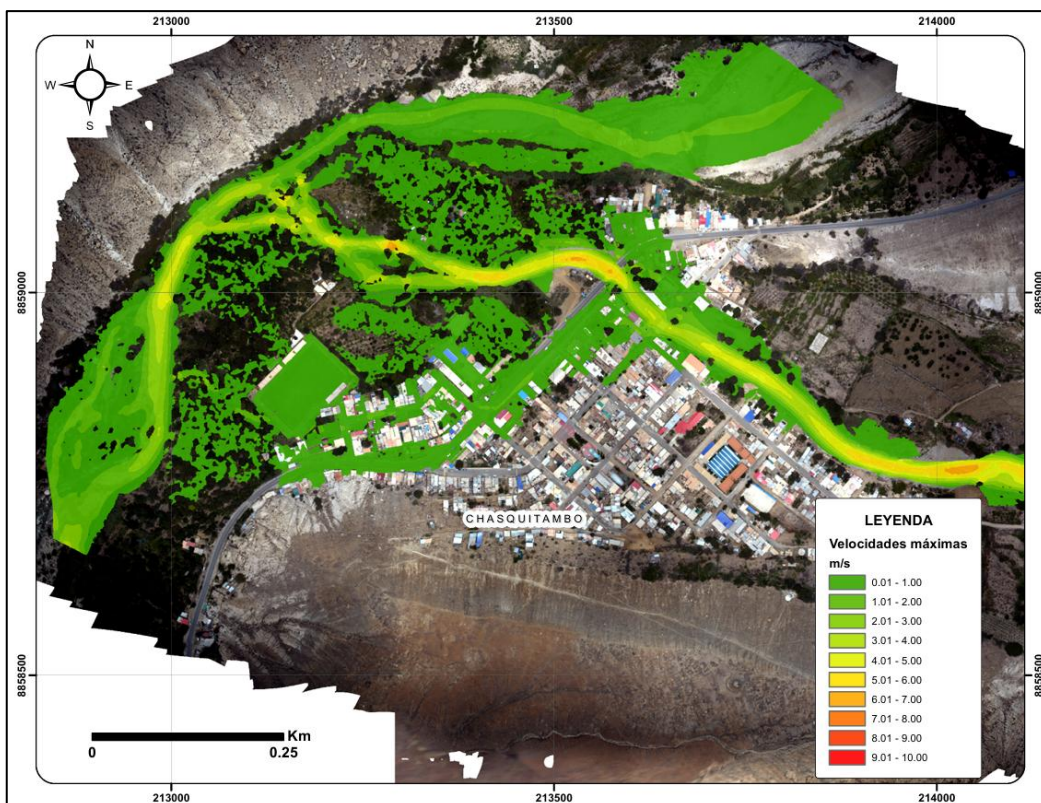


Figura 24

Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 100 años



Con respecto al modelo de propagación para el periodo de retorno de 100 años, se observa en las figuras 23 y 24 con relación a las tirantes y velocidades máximas respectivamente. Los daños probables a producirse sería un área de 73327 m² de parcelas de agrícolas inundadas entre 5 a 7 m de lodos a velocidad de 4.5 m/s; con un área urbana de 56544 m² inundada alrededor de 1 a 3 m de cobertura de detritos con velocidades de 0.5 a 2 m/2, existiendo probables daños a los servicios básicos de saneamiento, eléctrico y también daños a infraestructuras con 144 viviendas, 2 puentes, 1 institución educativa, 1 comisaría, 32 establecimientos comerciales y 1386 m de vía nacional y urbana

4.5. Proponer medidas de prevención y mitigación a partir del modelo de propagación obtenido.

Se propone como medida de orden estructural la construcción muros de contención en ambas márgenes del río Purísima y complementariamente la construcción de presas de control y de canales de derivación en las quebradas de aporte hídrico siguiendo las normativas del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y la norma E.060 de concreto armado, debido a que este tipo de estructura podrá soportar la presión hidrostática equivalente y condiciones de estabilidad, y presentan características de mayor vida útil y menor costo de mantenimiento.

La construcción de los muros de contención debería de respetar la sección mínima de espejo de flujo, tirante y radio hidráulico para lograr su evacuación adecuada. Esta medida dispondrá de una altura mínima de 6 m en relación con la base del cauce del río el cual incluye el borde libre de 0.4 m, así como se muestra en la figura 25, también en la figura 26 y 27 se observan el modelo de propagación del flujo de detritos con su tirante y velocidad máxima respectivamente con la implementación del proyecto de muro de contención tipo voladizo, logrando evacuar de manera óptima dichos flujos. Para complementar estas medidas es necesario la eliminación de material presente en el cauce del río, para evitar el remonte del material en las estructuras propuestas.

Dentro de las medidas de orden no estructurales se propone implementar sistemas de alerta temprana ante inundaciones por flujo de detritos basados en sensores automatizados en medida del nivel del flujo y niveles de precipitaciones, cuya señal de alerta sea emitido mediante bocinas de largo alcance, también se deberá de complementar con simulacros comunitarios y señalizaciones de zonas

seguras y de evacuación. Además, a estas medidas deberán integrarse con los mecanismos basados en servicios ecosistémicos de soporte y regulación mediante el manejo de la unidad hidrográfica consistiendo en la reforestación con especies nativas y estabilización de las laderas para disminuir el aporte de sedimentos y mejorar la capacidad de infiltración del suelo.

El sistema de alerta temprana propuesto comprenderá una estación sensora multivariable con tecnología de detección confiable, consistiendo de un núcleo computacional con capacidad de procesamiento y eficiencia energética sustentada en un Raspberry Pi Zero W, el cual permitirá la implementación de algoritmos de visión computacional para procesar en tiempo real las imágenes capturadas con una cámara NoIR con capacidad de operación diurna y nocturna; complementadas sensores ultrasónicos posicionados de manera estratégica para cubrir un rango de apertura de 4 m, operados en conjunto con un acelerómetro que detectará vibraciones característicos de los flujos de detritos. El componente pluviométrico, se basará en un balancín que permita el cálculo preciso de la intensidad de la precipitación mediante un algoritmo adaptativo ejecutado en tiempo real. Requiriendo en su inicio, el ajuste a las características hidrológicas de Chasquitambo.

La transmisión de datos críticos desde la estación sensora hacia los puntos de alerta deberá realizarse mediante el comunicador inalámbrico LoRa por presentar un alcance hasta los 10 km de distancia en línea vista, bajo consumo energético y resistencia a interferencias; los nodos de alerta serán microcontrolados por Arduinos Nano el cual gestionará los amplificadores y altavoces de 8 ohm y 10 W, proporcionando mensajes de advertencia audibles con una lógica de activación para los diferentes umbrales de alerta según el nivel de peligro.

EL soporte energético del sistema, presentará un diseño autónomo que incorpora paneles solares de 20 W acoplados a baterías de litio de 12 V de carga y 10 Ah de gasto, cuya gestión de gasto será optimizada por un controlador de carga que maximice la eficiencia de conversión fotovoltaica en condiciones variables de iluminación solar.

El sistema propuesto prioriza las consideraciones de instalación y mantenimiento, así como los componentes modulares y fáciles de reemplazar, sin la necesidad de construcciones de estructuras significativas, resultando en una solución económica y acorde a las condiciones geofísicas y sociales del área de estudio.

Figura 25

Modelo de muro en voladizo como medida de orden estructural

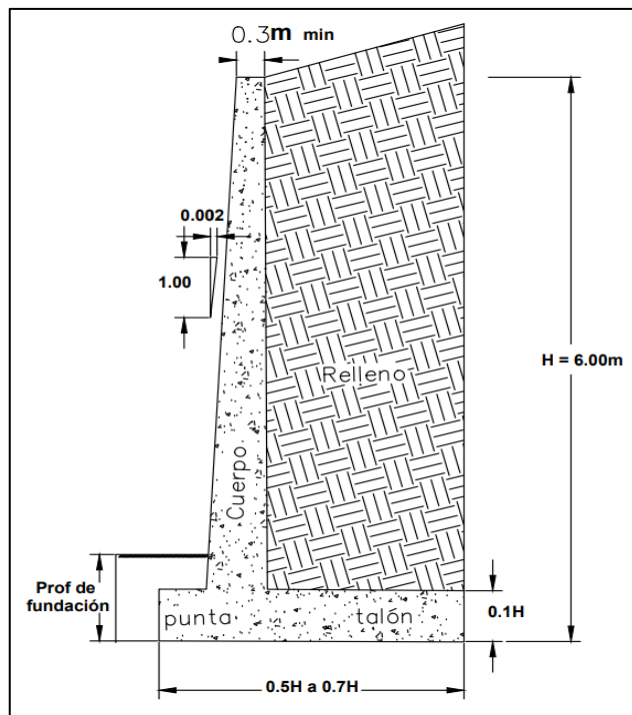


Figura 26

Tirantes de flujo para un periodo de retorno de 100 años con la implementación de muros tipo voladizo

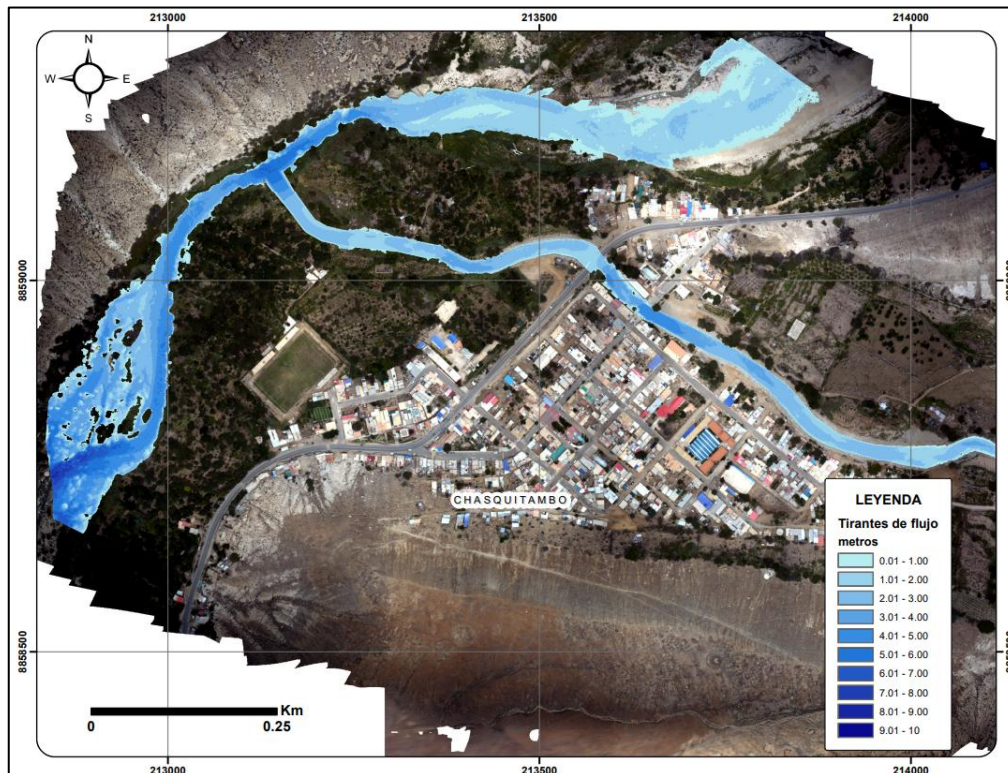
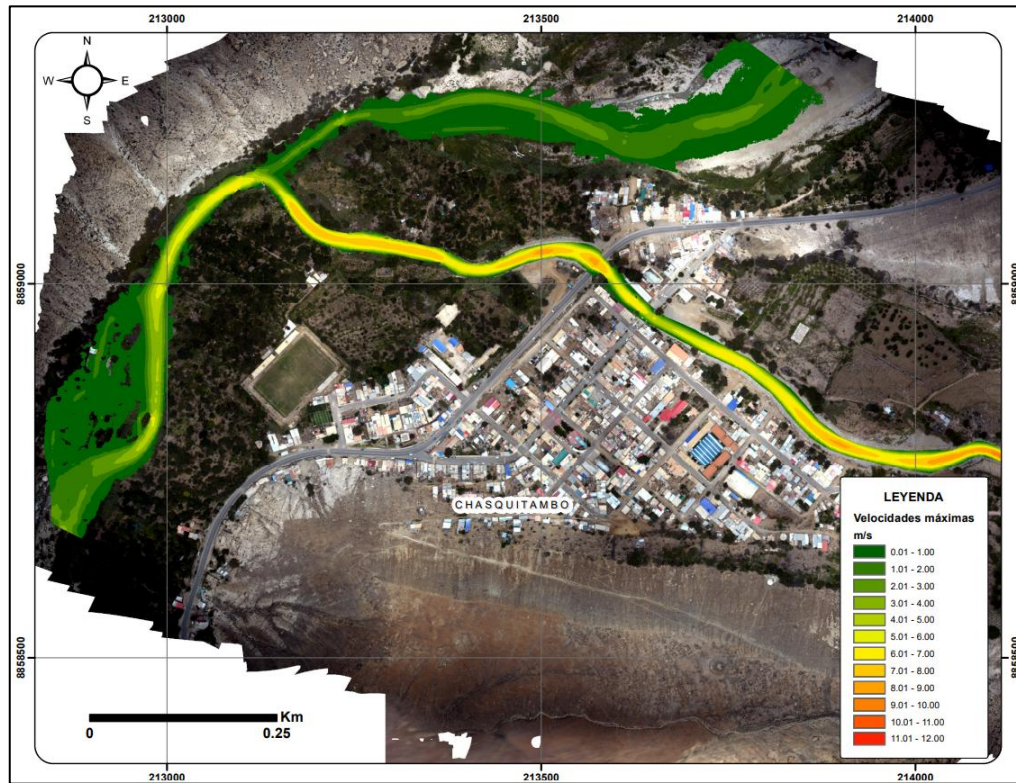


Figura 27

Velocidades máximas de flujo para un periodo de retorno de 100 años con la implementación de muros tipo voladizo



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Determinar los parámetros reológicos de las áreas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo.

Los resultados del análisis granulométrico muestran que los suelos en el área de estudio contienen en promedio el 16% de finos y están compuestos principalmente por arenas y gravas. Esta composición es significativa para el comportamiento de los flujos de detritos ya que la proporción de finos influye directamente en la reología del flujo, afectando su movilidad y potencial destructivo (Kaitna et al., 2016), existiendo menor cohesión, requiriendo menor esfuerzo de cedencia para el inicio de la fluencia e incrementando su velocidad de propagación, en relación a los suelos que contengan mayor proporción de arcillas (IGP, 2021), debido a que la fracción fina controla la viscosidad aparente, esfuerzo de cedencia y el comportamiento del flujo (Iverson & George, 2019).

La decisión de utilizar los parámetros de la muestra Glenwood 2 de O'Brien y Julien (1985) para caracterizar la reología del flujo, es apropiada dada la similitud en la composición granulométrica de las muestras y los valores obtenidos en las investigaciones de Jara y Quispe (2022) y el IGP (2021), concluyendo el mismo tipo de parámetro reológico para suelos estudiados en zonas desérticas del Perú. También se apoya de acuerdo con Takahashi (2007) quien indica que los flujos hiperconcentrados en superficies naturales requieren la presencia de finos considerables (arena) y una distribución de granulométrica heterogénea para desarrollar propiedades cohesivas que influyen en su comportamiento reológico.

De acuerdo a los resultados obtenidos del esfuerzo de cedencia y viscosidad dinámica relacionado a la calibración del modelo, la concentración de sedimentos

del 40% mantiene una mejor representatividad donde el esfuerzo de cedencia es de 10.704 Pa y de acuerdo a Scotto et al (2010), este valor es óptimo para la simulación de los flujos de detritos, ya que los valores entre 10 a 15 Pa son típicos de este tipo de flujos que mantiene su capacidad de fluencia sin la excesiva deposición (Naef et al., 2006); en tanto la viscosidad correspondiente a la concentración del 40% es de 0.077 Pa-s, de acuerdo a Zhang et al., (2021) este valor es adecuado y característico de este tipo de flujos, Iverson & George (2019) mencionan que la combinación de estos parámetros reológicos influye significativamente en la velocidad de propagación del flujo, distancia recorrida, deposición del material y la interacción con los obstáculos.

Por otro lado, Bolliger et al. (2023) destacan la importancia de considerar la variabilidad espacial para estimar los parámetros reológicos en la modelación de flujos de detritos, por lo cual Iverson y George (2014), advierten que la extrapolación de parámetros reológicos debe hacerse con cautela, ya que pequeñas variaciones en la reología pueden llevar a diferencias significativas en el comportamiento del flujo, pudiendo afectar la precisión de las predicciones del modelo. Siendo coherente con el muestreo de suelo en la investigación donde se tomó en cuenta las posibles áreas de aporte y tránsito del flujo como también fueron realizados en las investigaciones del IGP (2021), Jara & Quispe (2022) y Namay (2017) y a partir de ellos poder estimar la reología en base a sus características granulométricas.

5.2. Desarrollar el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo.

El DEM desarrollado para el área de estudio presenta una resolución espacial de 0.12 m, siendo fundamental para la modelación precisa del flujo de detritos. Schraml et al. (2015) enfatizan la importancia de la resolución y precisión del DEM en la simulación de flujos de detritos, ya que afecta directamente la representación de la topografía y, por ende, la predicción de las rutas y el alcance del flujo; razón por el cual este producto fue sometido a una corrección espacial mediante quince puntos de control, el co-registro y además durante el procesamiento fotogramétrico se buscó la mejor orientación y traslape de las fotografías, eliminándose con aquellos que no cumplían con ellos.

La integración del DEM con los parámetros reológicos permite una modelación más realista del comportamiento del flujo. Como señalan Mergili et al. (2017), la combinación de un DEM de alta resolución con parámetros reológicos

adecuados es importante para capturar la dinámica compleja de los flujos de detritos en terrenos naturales.

Además, Hürlimann et al. (2019) sugieren que la actualización regular del DEM es crucial en áreas propensas a flujos de detritos, ya que estos eventos pueden modificar significativamente la topografía local. Además, los eventos futuros podrían generar áreas de depósitos de flujo e implicando desplazamientos no conocidos o tirantes mayores para un evento próximo, siendo necesario la eliminación de este depósito y de manera complementaria actualizar periódicamente el modelo para mantener su validez.

5.3. Evaluar la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo frente a eventos de lluvias extremas.

El análisis de distribución probabilística de las precipitaciones máximas de 24 horas muestra diferentes ajustes para cada estación meteorológica (Lognormal para Chamana y Ocos, y Log Pearson III para Mayorarca). Esta variabilidad, como señalan Staudinger et al. (2024), resalta la importancia de seleccionar cuidadosamente las distribuciones estadísticas para cada localidad, ya que el uso de una distribución inadecuada puede llevar a subestimar o sobrestimar los eventos extremos, teniendo en cuenta este criterio se seleccionó la probabilidad que presentaba el mejor ajuste por cada estación meteorológica.

Las curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) desarrolladas para diferentes periodos de retorno proporcionan información crucial para la evaluación de riesgos, y los hietogramas de bloque alterno generados para diferentes periodos de retorno permiten una representación detallada de la distribución temporal de las precipitaciones extremas, según Bezak et al. (2018) este enfoque es valioso para la modelación de flujos de detritos desencadenados por lluvias extremas, porque son patrones consistentes para la transformación de precipitación en escorrentía y su representación en hidrogramas (Mandal et al., 2016). Ragno et al. (2018) advierten que el cambio climático puede alterar la estacionariedad de las series temporales de precipitación, lo que podría afectar la validez a largo plazo de estas curvas IDF, considerando dicho alcance el periodo de análisis de datos en la investigación fue de 43 años cuya estadística comprueba que presentan un buen ajuste de distribución dentro de ese periodo de análisis.

El análisis morfométrico de la unidad hidrográfica Purísima revela características importantes como un área de 240.82 km², pendiente promedio de

54.49%, y un tiempo de concentración de 127.92 minutos. Borga et al. (2014) señalan que estas características morfométricas, especialmente la pendiente pronunciada y el tiempo de concentración relativamente corto, son indicativas de un alto potencial para la generación rápida de escorrentía y, por consiguiente, de flujos de detritos.

Los hidrogramas unitarios generados para diferentes periodos de retorno muestran un aumento significativo en los caudales pico con el incremento del periodo de retorno. Este comportamiento, como explican Destro et al. (2018), es crítico para la evaluación del riesgo de flujos de detritos, ya que los eventos de mayor magnitud y menor frecuencia pueden tener impactos catastróficos en áreas vulnerables.

5.4. Modelar la propagación del flujo de detritos en la localidad de Chasquitambo frente a la ocurrencia de lluvias extremas para los periodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

Los resultados para el periodo de retorno de 5 años muestran un impacto moderado, principalmente en áreas agrícolas. La inundación de 2608 m² de parcelas con tirantes de 0.1 a 1 m y una velocidad de flujo de 1.74 m/s sugiere un riesgo significativo para los cultivos, pero limitado para las estructuras. Según Kean et al. (2019), estas características son típicas de flujos de detritos de baja magnitud, capaces de causar daños localizados en áreas susceptibles. También Cruden (2005) señala que velocidades superiores a 1 m/s pueden generar erosión significativa en suelos agrícolas, lo que concuerda con lo observado en este escenario. Además, Chang et al. (2017) indican que profundidades de flujo de hasta 1 m pueden afectar negativamente a la mayoría de los cultivos, reduciendo significativamente su rendimiento o causando su pérdida total.

Para el periodo de retorno de 10 años se observa el incremento en el área afectada a 4478 m², tirantes de flujo hasta 1.5 m y la velocidad 2.00 m/s indicando una intensificación del peligro. De acuerdo con Poudyal et al. (2020), estas condiciones representan un riesgo elevado para la infraestructura agrícola y pueden comenzar a amenazar estructuras ligeras en los márgenes de las zonas afectadas. Hürlimann et al. (2019) sugieren que velocidades superiores a 2 m/s pueden generar fuerzas de impacto capaces de dañar muros de mampostería no reforzada, lo que podría ser relevante para algunas estructuras en la zona. Además, Rickenmann et al. (2006) señalan que tirantes de flujo superiores a 1 m

combinadas con estas velocidades pueden suponer un peligro significativo para la vida humana en áreas expuestas.

En el escenario de 50 años de periodo de retorno, presenta un salto cualitativo en términos de riesgo. La afectación de 12881 m² de áreas agrícolas con profundidades de 5 a 7 m y velocidades de 2.38 m/s, junto con la inundación de 14227 m² de área urbana, implica peligros severos. Según Gregoretti et al. (2019), estas condiciones pueden resultar en la destrucción total de cultivos y daños estructurales significativos en edificaciones. La posible afectación a 38 viviendas, servicios básicos, puentes y una institución educativa subraya la gravedad de la situación. Naef et al. (2006) indican que velocidades superiores a 2 m/s combinadas con tirantes mayores a 3 m pueden generar presiones dinámicas capaces de comprometer la integridad estructural de edificaciones convencionales. Además, Nagl y Hübl (2017) señalan que la interrupción de servicios básicos y vías de comunicación en este nivel puede dificultar significativamente las operaciones de respuesta a emergencias.

El evento asociado al periodo de retorno de 100 años representa un evento catastrófico, con 73327 m² de áreas agrícolas severamente afectadas y 56544 m² de área urbana inundada. Los tirantes de 5 a 7 m y velocidades de hasta 4.5 m/s en áreas agrícolas indican un poder destructivo extremo. De acuerdo con Zanchetta et al. (2004), estas condiciones superan ampliamente los umbrales de resistencia de la mayoría de las estructuras convencionales. La afectación potencial a 144 viviendas, infraestructura crítica y servicios esenciales sugiere un desastre de gran magnitud. Marchi et al. (2021), argumentan que velocidades superiores a 4 m/s combinadas con grandes tirantes de flujo pueden generar fuerzas de impacto capaces de destruir incluso estructuras de hormigón armado. Además, Schraml et al. (2015) señalan que la extensión y severidad de la inundación en áreas urbanas bajo estas condiciones pueden comprometer seriamente la capacidad de respuesta y recuperación de la localidad a largo plazo.

Estos modelos muestran áreas posibles de inundación del flujo, con valores de tirantes y velocidades, los cuales son válidos por estar calibrados según los tirantes observados y modelados, coincidiendo los procesos de calibración bajo el mismo modelo reológico de O'Brien y Julien empleados en las investigaciones de (Asencios, 2020; Jara & Quispe, 2022; López & Mogrovejo, 2023), cuyos valores son datos fundamentales de estimación del riesgo para su gestión adecuada a

través de distintos componentes como la reactiva para la zonificación del riesgo y la planificación de acciones de respuesta ante la materialización, y también como la prospectiva y correctiva para evitar la generación de nuevas condiciones del riesgo y reducir los riesgos existentes (CENEPRED, 2015).

5.5. Proponer medidas de prevención y mitigación a partir del modelo de propagación obtenido.

La propuesta de construir muros de contención de concreto armado de 6 m de altura en ambas márgenes del río Purísima y complementariamente la construcción de presas de control y canales de derivación en las quebradas de aporte hídrico como medidas de prevención y mitigación se fundamentan en los efectos posibles a generarse en relación a los resultados obtenidos y los daños diversos que podrían originarse de en relación a lo documentado por Zanchetta et al. (2004), Naef et al. (2006) y Gregoretti et al. (2019), de las medidas propuestas Nagl y Hübl (2017), indica que este tipo de estructuras podrían reducir la energía cinética de dichos flujos hasta en un 60%, en el cual Mizuyama (2008) demostró que las presas de control pueden reducir la velocidad del flujo hasta en un 75%, guardando relación con la efectividad demostrada en los modelos de propagación para el evento de 100 años de periodo de retorno. Sin embargo, Poudyal et al. (2020) advierten sobre la importancia de considerar los efectos del cambio climático en el diseño de estas estructuras, ya que podrían enfrentar eventos más frecuentes e intensos en el futuro.

Las medidas no estructurales propuestas comprenden un sistema de alerta temprana económico, automático y autoenergético a instalarse en el área urbana, complementados con simulacros comunitarios y señalizaciones de zonas seguras y rutas de evacuación como medidas a corto plazo de los cuales Anderson & Holcombe (2013) enfatiza que los programas de educación comunitaria reducen sus vulnerabilidades hasta en un 40% y las mortalidades en un 50% en casos de materialización del peligro de origen hidrometeorológico.

Además, como medida a largo plazo se propone la implementación de mecanismos basados en servicios ecosistémicos de soporte y regulación mediante la reforestación con especies nativas y la estabilización de laderas, debido a que el inicio de estos flujos es por erosión hídrica y movimientos en masa o el exceso de agua y la reforestación contribuye a la interceptación de precipitaciones, el incremento de la infiltración y la disminución de la escorrentía superficial (MINAM,

2011), también las proyecciones climáticas para la zona de estudio indican que las lluvias intensas presentarán mayor intensidad y frecuencia (Llacza Rodríguez et al., 2021), siendo estos mecanismos los más adecuados para el control de este tipo de flujos, también CENEPRED (2015) y Mazzorana et al. (2019) enfatizan la necesidad de complementar las medidas estructurales con estrategias no estructurales.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se obtuvo y analizó las muestras de suelos en el área de estudio los cuales presentan una composición predominantemente arenosa y gravosa, con un promedio de 16% de finos, por lo cual se adoptó los parámetros reológicos de la muestra Glenwood 2 de O'Brien y Julien (1985) por tratarse de suelos con bajo contenido de arcilla, obteniéndose los valores de 10.705 Pa y 0.077 Pa-s para el esfuerzo de cedencia y viscosidad dinámica respectivamente ante un evento calibrado con un 40% de concentración volumétrica de sedimentos.

Se desarrolló el modelo de elevación digital del área de desplazamiento del flujo de detritos, con una resolución espacial de 0.12 m, el cual proporciona una base para la modelación precisa del flujo en la localidad de Chasquitambo.

Se evaluó la respuesta hidrológica de las quebradas de aporte hidrológico hacia la localidad de Chasquitambo, donde las curvas de intensidad duración y frecuencia y los hietogramas de bloque alterno por cada estación meteorológica analizada y en conjunto con los parámetros morfométricos de la unidad hidrográfica Purísima con pendiente de 54.49% y tiempo de concentración corta de 127.92 minutos, indican un alto potencial para la generación rápida de escorrentía y flujo de detritos, mostrando caudales picos registrados alrededor de las 17 horas que alcanzan desde los 20 hasta los 135 m³/s.

Se modeló la propagación de flujos de detritos en la localidad de Chasquitambo revelando un incremento significativo y no lineal del riesgo con el aumento del periodo de retorno, evidenciado por la expansión del área afectada

desde 2608 m² para un evento de 5 años hasta 129872 m² para uno de 100 años. Este aumento va acompañado de un incremento en el tirante del flujo de 0.1 - 1 m a 5 -7 m y en las velocidades máximas de 1.74 m/s a 4.5 m/s, lo que resulta en una progresión del impacto desde afectaciones limitadas a áreas agrícolas hasta daños severos en infraestructura urbana crítica, incluyendo viviendas, servicios públicos y vías de comunicación.

Se propone como medida de orden estructural, la construcción de muros de contención de concreto armado de 6 m de altura en ambas márgenes del río Purísima y complementariamente la construcción de presas de control y canales de derivación en las quebradas de aporte, y como medida de orden no estructural la implementación de los sistemas de alerta temprana complementados con simulacros comunitarios y señalizaciones de zonas seguras y de evacuación y además deberán de existir mecanismos basados en servicios ecosistémicos de soporte y regulación mediante la reforestación con especies nativas y la estabilización de laderas.

6.2. Recomendaciones

Implementar un programa de monitoreo continuo de precipitaciones y caudales en la unidad hidrográfica para mejorar la precisión de los modelos hidrológicos y validar las predicciones de los hidrogramas unitarios.

Actualizar periódicamente el modelo de elevación digital para reflejar los cambios topográficos que puedan ocurrir debido a eventos de flujo de detritos o intervenciones humanas en el paisaje.

Desarrollar un sistema de alerta temprana basado en los umbrales de precipitación identificados en las curvas IDF y los tiempos de concentración calculados para la unidad hidrográfica.

Integrar los resultados de este estudio en los planes de gestión de riesgos y ordenamiento territorial de la localidad de Chasquitambo, considerando los diferentes escenarios de peligro asociados a los distintos periodos de retorno analizados.

Implementar medidas de prevención y mitigación estructurales y no estructurales basadas en los resultados de este estudio, asegurando el cumplimiento de las normas peruanas de diseño y construcción de muros de contención.

Investigar sobre el impacto potencial del cambio climático en los patrones de precipitación extrema de la zona de estudio, y cómo esto podría afectar la frecuencia y magnitud de los eventos de flujo de detritos en el futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, S. (2019). *Predicción de flujos de detritos detonados por lluvias extremas mediante exportación de modelos estocásticos: aplicación en la cuenca de la Quebrada Grande (Labranzagrande- Boyacá, Colombia)*. Universidad Nacional de Colombia.
- Alvarez, M., Mastrantonio, L., & Moreiras, S. (2019). Análisis de susceptibilidad de flujos de detritos en el Parque Provincial Aconcagua, Mendoza, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2), 177–191.
- Anderson, M., & Holcombe, E. (2013). *Community-Based Landslide Risk Reduction* (World Bank Publications, Ed.).
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica* (Episteme, Ed.; 6th ed.).
- Asencios, H. (2020). Flujo de escombros desencadenado por lluvias extremas en la Quebrada Pedregal, Chosica. *Subdirección de Estudios e Investigaciones Hidrológicas Del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú*, 22–30. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/4771>
- Baumgarten, A., & Kamrin, K. (2019). A general fluid–sediment mixture model and constitutive theory validated in many flow regimes. *Journal of Fluid Mechanics*, 861, 721–764. <https://doi.org/10.1017/JFM.2018.914>
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3rd ed.). Pearson.
- Bezak, N., Šraj, M., & Mikoš, M. (2018). Design Rainfall in Engineering Applications with Focus on the Design Discharge. In *Engineering and Mathematical Topics in Rainfall*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70319>
- Bolliger, D., Schlunegger, F., & McArdell, B. (2023). *Comparison of debris-flow observations, including fine sediment grain size and 1 composition, and runout model results at the Illgraben, Swiss Alps*.
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518(PB), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>

- Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2015). *Manual Para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales Versión 02*.
- Chang, M., Tang, C., Van Asch, T., & Cai, F. (2017). Hazard assessment of debris flows in the Wenchuan earthquake-stricken area, South West China. *Landslides*, *14*(5), 1783–1792. <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0824-9>
- Cousot, P., & Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*, *40*(3–4), 209–227. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00065-8](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00065-8)
- Creswell, J., & Creswell, D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (Department of Family Medicine University of Michigan, Ed.). SAGE Publications.
- Cruden, D. (2005). Debris-flow hazards and related phenomena. *Canadian Geotechnical Journal*, *42*(6), 1723. <https://doi.org/10.1139/t05-075>
- Destro, E., Amponsah, W., Nikolopoulos, E., Marchi, L., Marra, F., Zocatelli, D., & Borga, M. (2018). Coupled prediction of flash flood response and debris flow occurrence: Application on an alpine extreme flood event. *Journal of Hydrology*, *558*, 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.021>
- Díaz-Salas, A. M., Guevara-Pérez, E., & Vidal-Moreno, J. (2021). Numerical modeling of a debris flow associated with a dam break in the Quillcay sub basin, Ancash, Peru. *Revista Ingeniería UC*, *28*(1), 35–46. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v28n1/art03.pdf>
- Engel, Z., Česák, J., & Escobar, V. (2011). Rainfall-related debris flows in Carhuacocha Valley, Cordillera Huayhuash, Peru. *Landslides*, *8*(3), 269–278. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0259-7>
- Fernandez, D. (2018). Análisis de susceptibilidad de flujos de detritos a escala regional. *Servicio Geológico Minero Argentino*, *1*(June), 241–253.
- Froude, M., & Petley, D. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *18*(8), 2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Gariano, S., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, *162*, 227–252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>

- Gibson, S., & Sánchez, A. (2020). *HEC-RAS, Mud and Debris Flow Manual*. 58. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_Mud_and_Debris_Manuals.pdf
- Gregoretti, C., Stancanelli, L., Bernard, M., Boreggio, M., Degetto, M., & Lanzoni, S. (2019). Relevance of erosion processes when modelling in-channel gravel debris flows for efficient hazard assessment. *Journal of Hydrology*, 568, 575–591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.001>
- Hernández Sampieri, Roberto., & Mendoza Torres, C. Paulina. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Hürlimann, M., Oorthuis, R., Abancó, C., Carleo, L., & Moya, J. (2019). *Monitoring of rainfall and soil moisture at the Rebaixader catchment (Central Pyrenees)*. 7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2020). *Boletín estadístico virtual de la gestión reactiva*.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (2021). *Compendio estadístico*.
- Instituto Geofísico del Perú (2021). *Aspectos geodinámicos y simulación numérica de flujo de detritos en la quebrada Záparo*.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (2014). Societal Transformation for Peace in El Salvador. In *Climate Change 2014 Synthesis Report* (Issue 1). <https://doi.org/10.1177/0002716295541001010>
- Intergovernmental Panel of Climate Change (2019). Climate change and land grabbing. In *Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law*. <https://doi.org/10.4337/9781784710644>
- Iverson, R. (1997). The physics of debris flows. *Review of Geophysics*, 35(97), 245–296.
- Iverson, R., & George, D. (2014). A depth-averaged debris-flow model that includes the effects of evolving dilatancy. I. Physical basis. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 470(2170). <https://doi.org/10.1098/rspa.2013.0819>
- Iverson, R., & George, D. (2019). *Valid debris-flow models must avoid hot starts*.

- Jara, A., & Quispe, T. (2022). *Generación de curvas de vulnerabilidad para viviendas frente al impacto de flujos hiperconcentrados en la Urb. San Idelfonso – La Tinguiña – Ica como herramienta de gestión de riesgos de desastres naturales para cuantificar daños materiales*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Kaitna, R., Palucis, M., Yohannes, B., Hill, K., & Dietrich, W. (2016). Effects of coarse grain size distribution and fine particle content on pore fluid pressure and shear behavior in experimental debris flows. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 121(2), 415–441. <https://doi.org/10.1002/2015JF003725>
- Kang, Y., Hou, J., Tong, Y., & Shi, B. (2021). A hydrodynamic-based robust numerical model for debris hazard and risk assessment. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13147955>
- Kean, J., Staley, D., Lancaster, J., Rengers, F., Swanson, B., Coe, J., Hernandez, J. L., Sigman, A., Allstadt, K., & Lindsay, D. (2019). Inundation, flow dynamics, and damage in the 9 January 2018 Montecito debris-flow event, California, USA: Opportunities and challenges for post-wildfire risk assessment. *Geosphere*, 15(4), 1140–1163. <https://doi.org/10.1130/GES02048.1>
- LeVeque, R. (2004). *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems* (Cambridge University Press, Ed.; 2nd ed.).
- Liu, Z. (2023). Evaluation of rainfall thresholds triggering debris flows in western China with gauged- and satellite-based precipitation measurement. *Journal of Hydrology*, 620(PB), 129500. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129500>
- Llacza Rodríguez, A., Acuña, D., Jácome, G., De la Cruz, G., Paredes, J., Bruno, J., Alvarez, E., Flores, W., Urdanivia Lermo, F., & Sulca, S. (2021). Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio. *Repositorio Institucional - SENAMHI*. https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1470#.Yo19_T2MWSw.mendeley
- López, M., & Mogrovejo, R. (2023). Análisis hidráulico del flujo de detritos en la quebrada Pedredal con flo2d - Chosica. *ResearchGate*, August, 8.
- Mandal, S., Breach, P., & Simonovic, S. (2016). Uncertainty in Precipitation Projection under Changing Climate Conditions: A Regional Case Study. *American Journal of Climate Change*, 05(01), 116–132. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2016.51012>

- Marchi, L., Cazorzi, F., Arattano, M., Cucchiaro, S., Cavalli, M., & Crema, S. (2021). Debris flows recorded in the Moscardo catchment (Italian Alps) between 1990 and 2019. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(1), 87–97. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-87-2021>
- Martínez, L. (2021). Acerca del carácter retrospectivo o prospectivo en la investigación científica. In *MediSur* (Vol. 2). <https://www.redalyc.org/journal/1800/180068639021/html/>
- Mazzorana, B., Picco, L., Rainato, R., Iroumé, A., Ruiz-Villanueva, V., Rojas, C., Valdebenito, G., Iribarren-Anacona, P., & Melnick, D. (2019). Cascading processes in a changing environment: Disturbances on fluvial ecosystems in Chile and implications for hazard and risk management. In *Science of the Total Environment* (Vol. 655, pp. 1089–1103). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.217>
- Mergili, M., Fischer, J., Krenn, J., & Pudasaini, S. (2017). R.avaflow v1, an advanced open-source computational framework for the propagation and interaction of two-phase mass flows. *Geoscientific Model Development*, 10(2), 553–569. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-553-2017>
- Meyrat, G., Munch, J., Cicoira, A., McArdell, B., Müller, C., Frey, H., & Bartelt, P. (2024). Simulating glacier lake outburst floods (GLOFs) with a two-phase/layer debris flow model considering fluid-solid flow transitions. *Landslides*, 21(3), 479–497. <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02157-w>
- Ministerio del Ambiente del Perú (2011). *La Desertificación en el Perú: Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*.
- Mizuyama, T. (2008). Structural Countermeasures for Debris Flow Disasters. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1(2), 38–43. <https://doi.org/10.13101/ijece.1.38>
- Muñoz, A. (2018). *Metodología para evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el software RAMMS*. Universidad de Chile.
- Naef, D., Rickenmann, D., Rutschmann, P., & Mcardell, B. (2006). Comparison of flow resistance relations for debris flows using a one-dimensional finite element simulation model. In *Hazards Earth Syst. Sci* (Vol. 6). www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/155/2006/

- Nagl, G., & Hübl, J. (2017). A new debris flow monitoring barrier to measure debris flow impact/structure/ground interaction in the Gadria torrent. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 19).
- Namay, G. (2017). Modelamiento numérico de flujo de detritos en la quebrada ungulo ciudad de Huancabamba, provincia Huancabamba, región Piura. In *Instituto Geofísico del Perú*.
- O'Brien, J., & Julien, P. (1985). Physical properties and mechanics hyperconcentrated sediment flows. In *specialty conference - delineation of landslide, flash flood and debris flow hazards in UTAH, Logan, 1984* (pp. 260–279). https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/Paperspdf/O%27Brien-Julien UtahPDF
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (2020). Human Cost of Disasters. In *Human Cost of Disasters*. <https://doi.org/10.18356/79b92774-en>
- Owczarek, P., Opała-Owczarek, M., Boudreau, S., Lajeunesse, P., & Stachnik, L. (2020). Re-activation of landslide in sub-Arctic areas due to extreme rainfall and discharge events (the mouth of the Great Whale River, Nunavik, Canada). *Science of the Total Environment*, 744. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140991>
- Pandey, B., Knoblauch, H., & Zenz, G. (2024). Potential Dam Breach Flood Assessment with the 2D Diffusion and Full Dynamic Wave Equations Using a Hydrologic Engineering Center-River Analysis System. *Water (Switzerland)*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/w16020277>
- Poudyal, S., Choi, C., Song, D., Zhou, G., Cui, Y., Leonardi, A., Busslinger, M., Wendeler, C., & Piton, G. (2020). Review of the mechanisms of debris-flow impact against barriers. *Hal Science*, 1027–1034. <https://hal.science/hal-02923131>
- Ragno, E., AghaKouchak, A., Love, C., Cheng, L., Vahedifard, F., & Lima, C. (2018). Quantifying Changes in Future Intensity-Duration-Frequency Curves Using Multimodel Ensemble Simulations. *Water Resources Research*, 54(3), 1751–1764. <https://doi.org/10.1002/2017WR021975>
- Rickenmann, D., Laigle, D., McArdell, B., & Hübl, J. (2006). Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events. *Computational Geosciences*, 10(2), 241–264. <https://doi.org/10.1007/s10596-005-9021-3>

- Scheidl, C., & Rickenmann, D. (2010). Empirical prediction of debris-flow mobility and deposition on fans. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(2), 157–173. <https://doi.org/10.1002/esp.1897>
- Schraml, K., Thomschitz, B., Mcardell, B., Graf, C., & Kaitna, R. (2015). Modeling debris-flow runout patterns on two alpine fans with different dynamic simulation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1483–1492. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1483-2015>
- Scotto Di Santolo, A., Pellegrino, A., & Evangelista, A. (2010). Experimental study on the rheological behaviour of debris flow. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(12), 2507–2514. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-2507-2010>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2005). *escenarios del cambio climático en el Perú al 2050*.
- Sepúlveda, S., & Petley, D. (2015). Regional trends and controlling factors of fatal landslides in Latin America and the Caribbean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(8), 1821–1833. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1821-2015>
- Staudinger, M., Kauzlaric, M., Mas, A., Evin, G., Hingray, B., & Viviroli, D. (2024). The role of antecedent conditions in translating precipitation events into extreme floods at catchment scale and in a large basin context. *Egusphere*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-909>
- Suzuki, T., Hotta, N., Tsunetaka, H., & Sakai, Y. (2019). Application of an MPS-based model to the process of debris-flow deposition on alluvial fans. *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Monitoring, Modeling, and Assessment - Proceedings of the 7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation*, 871–878.
- Takahashi, T. (2007). *Debris flow Mechanics, Prediction and Countermeasures* (Taylor y Francis).
- Takebayashi, H., Fujita, M., & Ohgushi, K. (2022). Numerical modeling of debris flows using basic equations in generalized curvilinear coordinate system and its application to debris flows in Kinryu River Basin in Saga City, Japan. *Journal of Hydrology*, 615(PA), 128636. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128636>

- Urrutia, N. (2016). *Estudio reológico de relaves basado en técnicas de caracterización avanzada de minerales*. Universidad de Chile.
- Xie, Y., Zhou, G., Cui, K., & Lu, X. (2022). Numerical investigation of debris flows using a two-phase continuum model incorporating a visco-inertial rheology. *Engineering Geology*, 308(December 2021), 106797. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106797>
- Xu, H., Su, P., Chen, Q., Liu, F., Zhou, Q., & Liu, L. (2022). Susceptibility areas identification and risk assessment of debris flow using the Flow-R model: a case study of Basu County of Tibet. *Geoenvironmental Disasters*, 9(1), 2–21. <https://doi.org/10.1186/s40677-022-00216-3>
- You, Y., Zhou, N., & Wang, Y. (2021). Comparative study of desertification control policies and regulations in representative countries of the Belt and Road Initiative. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01577. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01577>
- Yu, H., Zhang, Q., Sun, P., & Song, C. (2018). Impact of Droughts on Winter Wheat Yield in Different Growth Stages during 2001–2016 in Eastern China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9(3), 376–391. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0187-4>
- Zanchetta, G., Sulpizio, R., & Di Vito, M. (2004). The role of volcanic activity and climate in alluvial fan growth at volcanic areas: An example from southern Campania (Italy). *Sedimentary Geology*, 168(3–4), 249–280. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.04.001>
- Zhang, Z., Walter, F., McArdell, B., Wenner, M., Chmiel, M., de Haas, T., & He, S. (2021). Insights From the Particle Impact Model Into the High-Frequency Seismic Signature of Debris Flows. *Geophysical Research Letters*, 48(1). <https://doi.org/10.1029/2020GL088994>

ANEXOS



ANEXO 1

RESULTADOS DEL ANÁLISIS HIDROLÓGICO



Cuadro 1

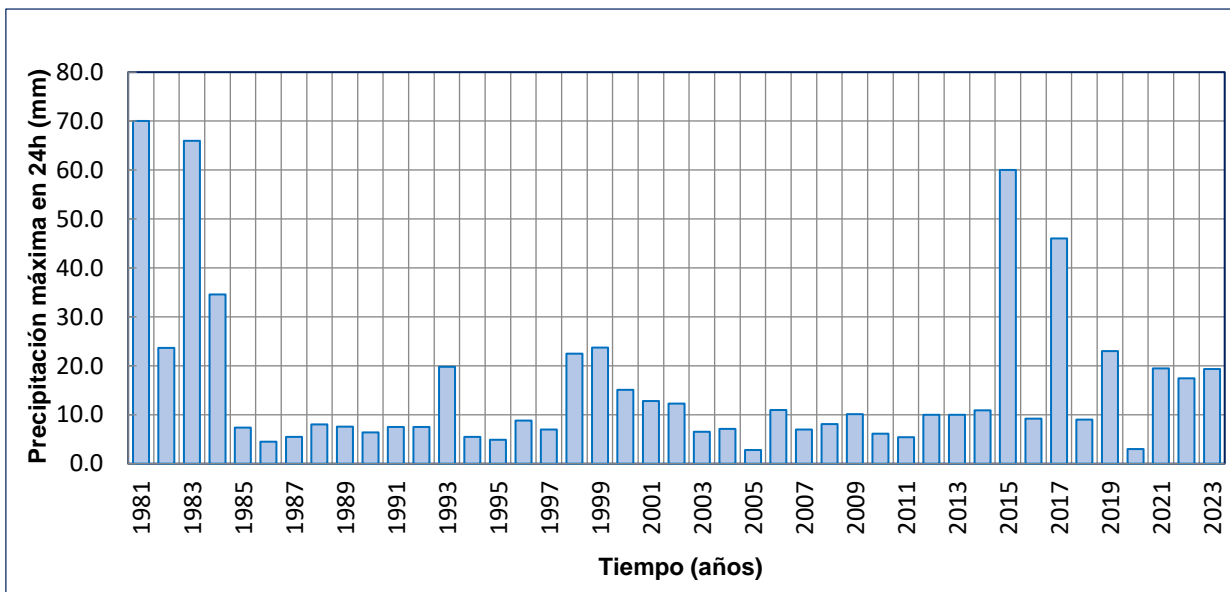
Datos completados y proyectados de precipitación máxima de la estación meteorológica Chamana

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
1981	30.20	70.00	25.00	30.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	20.80	70.00
1982	20.35	20.50	22.50	23.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.65
1983	10.50	66.00	20.00	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.00
1984	6.35	34.55	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	34.55
1985	2.20	3.10	7.40	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	3.40	7.40
1986	1.30	3.40	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	4.50	4.50
1987	5.50	4.70	0.00	0.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50
1988	4.50	4.50	8.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.80	3.30	8.00
1989	7.60	7.20	7.20	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	7.60
1990	3.80	6.40	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	6.40
1991	0.00	0.00	7.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	7.50
1992	0.00	3.90	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50
1993	0.00	17.40	19.80	13.40	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	19.80
1994	4.20	5.50	1.90	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	5.50
1995	4.90	2.50	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80	1.80	4.90
1996	4.00	8.50	8.80	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.50	2.90	8.80
1997	5.60	5.10	1.20	2.20	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	1.30	7.00	7.00
1998	22.50	18.00	15.20	2.50	0.90	0.00	0.00	0.40	0.00	1.20	0.80	1.00	22.50
1999	2.80	23.70	4.70	2.30	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	3.90	23.70
2000	15.10	5.50	10.50	1.30	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.70	15.10
2001	4.20	8.20	11.10	12.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.70	1.70	12.80
2002	0.90	12.30	5.20	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.50	3.70	0.30	12.30
2003	2.40	2.60	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	6.50	6.50
2004	2.90	7.10	4.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.60	4.50	7.10
2005	2.60	2.80	1.90	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.60	2.20	2.80
2006	11.00	4.50	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	4.00	11.00
2007	2.10	7.00	6.50	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	7.00
2008	7.00	4.20	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.50	1.00	8.10
2009	8.50	10.10	9.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.00	0.00	10.10
2010	3.50	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	6.10
2011	5.40	2.50	3.50	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	4.00	5.40
2012	1.80	10.00	10.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	7.60	1.50	0.00	10.00
2013	0.50	1.60	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	10.00
2014	8.60	10.00	10.90	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	5.00	10.90
2015	8.00	30.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	8.00	0.60	9.50	60.00
2016	9.20	8.40	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	9.20
2017	10.00	10.00	46.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.60	1.70	46.00
2018	8.70	9.00	8.60	1.40	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.60	0.00	9.00
2019	3.00	23.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.60	0.00	0.00	23.00
2020	0.90	0.80	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	3.00

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
2021	11.81	10.87	19.49	6.35	0.00	0.00	0.00	0.02	0.11	1.91	2.35	4.12	19.49
2022	5.25	11.85	17.46	6.53	1.20	0.00	0.00	0.00	0.08	0.42	0.07	2.06	17.46
2023	7.51	16.91	19.36	10.27	0.74	0.03	0.00	0.00	0.17	2.39	2.33	4.97	19.36

Gráfico 1

Histograma del registro histórico



Cuadro 2

Datos estadísticos

Numero de datos <i>n</i>	43	43
Suma Σ	682.5	45.2823
Máximo	70.0	1.8451
Mínimo	2.8	0.4472
Promedio \bar{x}	15.9	1.0531
Desviación estándar <i>s</i>	16.2149	0.3373
Coficiente asimetría <i>Cs</i>	2.2590	0.7254
Cs/6 <i>k</i>	0.3765	0.1209

Gráfico 2

Prueba de datos dudosos

n =	43
Kn =	2.71 *
<i>Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)</i>	
→ Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)	
$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s$	xH = 1.97
Precipitación máxima aceptada	
$PH = 10^{x_H}$	PH = 92.7 mm
→ Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)	
$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s$	xL = 0.14
Precipitación mínima aceptada	
$PL = 10^{x_L}$	PL = 1.4 mm

Nota: Se observa que los valores de precipitación máxima de 24 horas están dentro de los límites de precipitación máxima aceptada (PH) y precipitación mínima aceptada (PL), es decir no existen datos dudosos.

Cuadro 3

Prueba de bondad de ajuste

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ GEV I
1	70.00	0.977273	0.02231	0.01329	0.01639	0.02491	0.01500
2	66.00	0.954545	0.04446	0.03391	0.05466	0.06121	0.03486
3	60.00	0.931818	0.06493	0.05238	0.05056	0.05589	0.05121
4	46.00	0.909091	0.05933	0.05555	0.04258	0.04689	0.04042
5	34.55	0.886364	0.01105	0.03854	0.28822	0.02717	0.00664
6	23.70	0.863636	0.17828	0.03379	0.26043	0.25914	0.12452
7	23.65	0.840909	0.15665	0.01175	0.19674	0.19855	0.10268
8	23.00	0.818182	0.14831	0.00171	0.14181	0.18070	0.09168
9	22.50	0.795455	0.13682	0.01692	0.20072	0.20454	0.07826
10	19.80	0.772727	0.17703	0.00785	0.22708	0.22727	0.11010
11	19.49	0.750000	0.16167	0.00864	0.24999	0.25000	0.09405
12	19.36	0.727273	0.14209	0.02865	0.27273	0.27273	0.07420
13	17.46	0.704545	0.16544	0.00789	0.29545	0.29545	0.09499
14	15.10	0.681818	0.20082	0.03631	0.31818	0.31818	0.13127
15	12.80	0.659091	0.23424	0.09535	0.34091	0.34091	0.17035
16	12.30	0.636364	0.22355	0.09290	0.36364	0.36364	0.16154
17	11.00	0.613636	0.23174	0.12745	0.38636	0.38636	0.17561

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ GEV I
18	10.90	0.590909	0.21136	0.10941	0.40909	0.40909	0.15574
19	10.10	0.568182	0.20726	0.12564	0.43182	0.43182	0.15604
20	10.00	0.545455	0.18684	0.10797	0.45455	0.45455	0.13620
21	10.00	0.522727	0.16411	0.08524	0.47727	0.47727	0.11347
22	9.20	0.500000	0.15965	0.10437	0.50000	0.50000	0.11395
23	9.00	0.477273	0.14143	0.09250	0.52273	0.52273	0.09703
24	8.80	0.454545	0.12319	0.08079	0.54545	0.54545	0.08012
25	8.10	0.431818	0.11597	0.09772	0.56818	0.56818	0.07776
26	8.00	0.409091	0.09543	0.08079	0.59091	0.59091	0.05794
27	7.60	0.386364	0.08140	0.08157	0.61364	0.61364	0.04683
28	7.50	0.363636	0.06083	0.06478	0.63636	0.63636	0.02700
29	7.50	0.340909	0.03810	0.04206	0.65909	0.65909	0.00428
30	7.40	0.318182	0.01753	0.02530	0.68182	0.68182	0.01555
31	7.10	0.295455	0.00121	0.02062	0.70455	0.70455	0.02960
32	7.00	0.272727	0.01940	0.00395	0.72727	0.72727	0.04944
33	7.00	0.250000	0.04213	0.01877	0.75000	0.41470	0.07217
34	6.50	0.227273	0.05435	0.01098	0.77273	0.44207	0.08051
35	6.40	0.204545	0.07500	0.02757	0.79545	0.47941	0.10037
36	6.10	0.181818	0.09154	0.03187	0.81818	0.53407	0.11452
37	5.50	0.159091	0.10210	0.01787	0.84091	0.84091	0.12024
38	5.50	0.136364	0.12482	0.04060	0.86364	0.86364	0.14296
39	5.40	0.113636	0.14555	0.05726	0.88636	0.88636	0.16288
40	4.90	0.090909	0.15839	0.05012	0.90909	0.90909	0.17163
41	4.50	0.068182	0.17336	0.04976	0.93182	0.93182	0.18331
42	3.00	0.045455	0.16818	0.00158	0.95455	0.95455	0.16590
43	2.80	0.022727	0.18734	0.01351	0.97727	0.97727	0.18345
X	15.87						
S	16.21						
CS	2.259						
n	43	Dmáx	0.23424	0.12745	0.97727	0.97727	0.18345
a	0.05	DCrítico > Dmax	No se ajusta	Si se ajusta	No se ajusta	No se ajusta	Si se ajusta
D crítico	0.20323	Mejor Ajuste	3	1	4	5	2

Nota: Donde X_m representa el registro de las precipitaciones máximas de 24 horas en orden descendente.

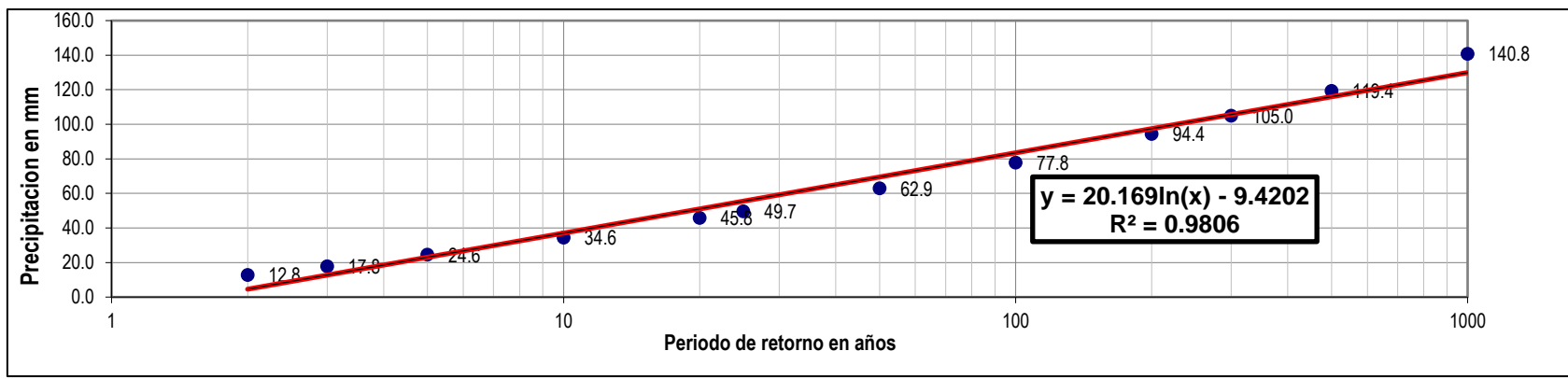
Cuadro 4

Distribución de probabilidad estadística para precipitaciones máximas

T (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm	P _{MAX (corregida)} mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	X _t	10 ^{x_T}		
2	0.500	0.0000	15.9	-0.1643	13.2	0.00	1.0531	11.3	-0.3206	10.7	-0.1191	1.0129	10.3	11.3	12.8
3	0.667	0.4307	22.9	0.2538	20.0	0.43	1.1984	15.8	0.0604	16.9	0.3216	1.1616	14.5	15.8	17.8
5	0.800	0.8416	29.5	0.7195	27.5	0.84	1.3370	21.7	0.5564	24.9	0.7854	1.3180	20.8	21.7	24.6
10	0.900	1.2816	36.7	1.3046	37.0	1.28	1.4854	30.6	1.2535	36.2	1.3312	1.5021	31.8	30.6	34.6
20	0.950	1.6449	42.5	1.8658	46.1	1.64	1.6079	40.5	1.9755	47.9	1.8220	1.6677	46.5	40.5	45.8
25	0.960	1.7507	44.3	2.0438	49.0	1.75	1.6436	44.0	2.2128	51.8	1.9720	1.7183	52.3	44.0	49.7
50	0.980	2.0537	49.2	2.5923	57.9	2.05	1.7459	55.7	2.9644	63.9	2.4197	1.8693	74.0	55.7	62.9
100	0.990	2.3263	53.6	3.1367	66.7	2.33	1.8378	68.8	3.7366	76.5	2.8458	2.0131	103.1	68.8	77.8
200	0.995	2.5758	57.6	3.6791	75.5	2.58	1.9220	83.6	4.5282	89.3	3.2556	2.1513	141.7	83.6	94.4
300	0.997	2.7131	59.9	3.9959	80.7	2.71	1.9683	93.0	4.9998	96.9	3.4894	2.2302	169.9	93.0	105.0
500	0.998	2.8782	62.5	4.3947	87.1	2.88	2.0240	105.7	5.6027	106.7	3.7785	2.3277	212.7	105.7	119.4
1000	0.999	3.0902	66.0	4.9355	95.9	3.09	2.0955	124.6	6.4357	120.2	4.1629	2.4574	286.7	124.6	140.8

Gráfico 3

Precipitación máxima anual para distintos periodos de retorno



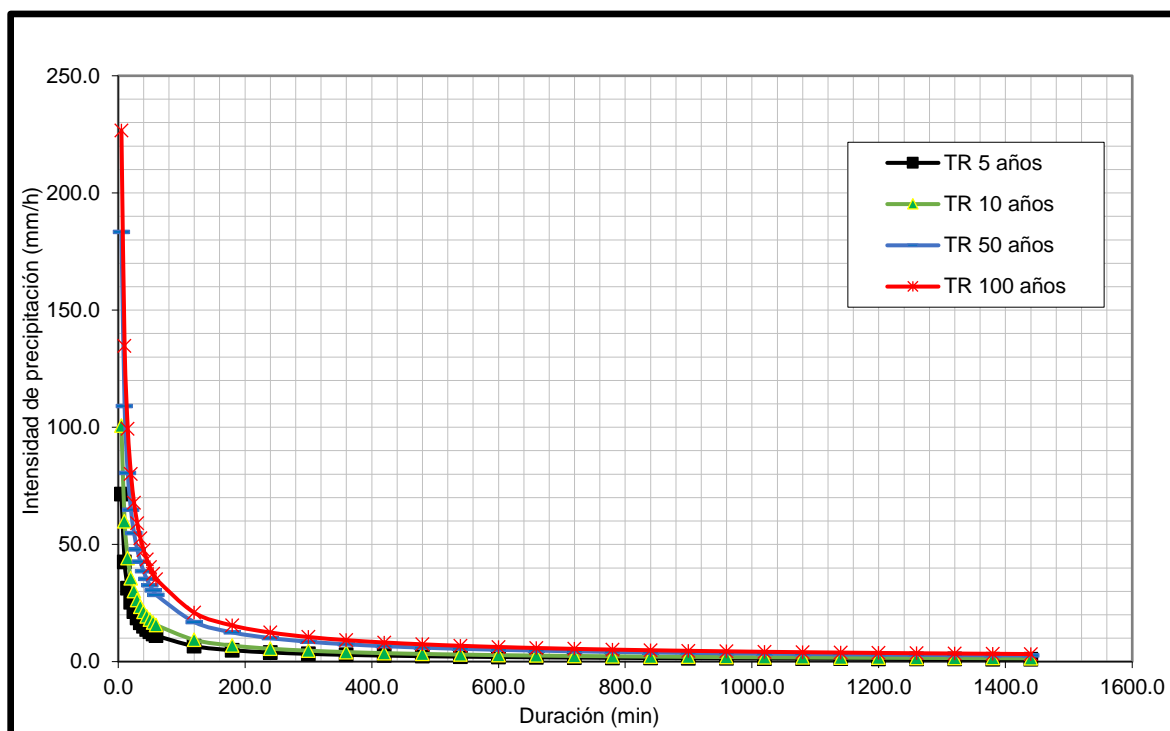
Cuadro 5

Análisis de intensidad de precipitación para 24 horas

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
		Intensidad (mm/h)								
0.083	5	37.20	71.52	100.65	144.90	183.36	226.60	275.05	347.86	410.15
0.167	10	22.12	42.52	59.85	86.16	109.02	134.74	163.55	206.84	243.88
0.250	15	16.32	31.37	44.15	63.57	80.44	99.41	120.66	152.60	179.93
0.333	20	13.15	25.28	35.58	51.23	64.83	80.11	97.25	122.99	145.01
0.417	25	11.12	21.39	30.10	43.33	54.84	67.77	82.26	104.03	122.66
0.500	30	9.70	18.65	26.25	37.80	47.83	59.11	71.75	90.74	106.99
0.583	35	8.64	16.62	23.39	33.67	42.61	52.65	63.91	80.83	95.31
0.667	40	7.82	15.03	21.16	30.46	38.55	47.64	57.82	73.13	86.22
0.750	45	7.16	13.76	19.37	27.89	35.29	43.61	52.93	66.95	78.93
0.833	50	6.61	12.72	17.90	25.77	32.61	40.30	48.91	61.86	72.94
0.917	55	6.16	11.84	16.66	23.99	30.36	37.52	45.54	57.59	67.90
1.000	60	5.77	11.09	15.61	22.47	28.44	35.15	42.66	53.95	63.61
2.000	120	3.43	6.60	9.28	13.36	16.91	20.90	25.37	32.08	37.83
3.000	180	2.53	4.87	6.85	9.86	12.48	15.42	18.71	23.67	27.91
4.000	240	2.04	3.92	5.52	7.95	10.05	12.43	15.08	19.08	22.49
5.000	300	1.73	3.32	4.67	6.72	8.51	10.51	12.76	16.14	19.03
6.000	360	1.50	2.89	4.07	5.86	7.42	9.17	11.13	14.07	16.59
7.000	420	1.34	2.58	3.63	5.22	6.61	8.17	9.91	12.54	14.78
8.000	480	1.21	2.33	3.28	4.72	5.98	7.39	8.97	11.34	13.37
9.000	540	1.11	2.13	3.00	4.33	5.47	6.76	8.21	10.38	12.24
10.000	600	1.03	1.97	2.78	4.00	5.06	6.25	7.59	9.59	11.31
11.000	660	0.96	1.84	2.58	3.72	4.71	5.82	7.06	8.93	10.53
12.000	720	0.89	1.72	2.42	3.49	4.41	5.45	6.62	8.37	9.87
13.000	780	0.84	1.62	2.28	3.28	4.15	5.13	6.23	7.88	9.29
14.000	840	0.80	1.53	2.16	3.11	3.93	4.86	5.89	7.45	8.79
15.000	900	0.76	1.46	2.05	2.95	3.73	4.61	5.60	7.08	8.35
16.000	960	0.72	1.39	1.95	2.81	3.55	4.39	5.33	6.74	7.95
17.000	1020	0.69	1.32	1.86	2.68	3.40	4.20	5.10	6.44	7.60
18.000	1080	0.66	1.27	1.79	2.57	3.25	4.02	4.88	6.17	7.28
19.000	1140	0.63	1.22	1.72	2.47	3.12	3.86	4.69	5.93	6.99
20.000	1200	0.61	1.17	1.65	2.38	3.01	3.72	4.51	5.70	6.73
21.000	1260	0.59	1.13	1.59	2.29	2.90	3.58	4.35	5.50	6.48
22.000	1320	0.57	1.09	1.54	2.21	2.80	3.46	4.20	5.31	6.26
23.000	1380	0.55	1.06	1.49	2.14	2.71	3.35	4.06	5.14	6.06
24.000	1440	0.53	1.02	1.44	2.07	2.62	3.24	3.93	4.98	5.87

Gráfico 4

Curva de intensidad, duración y frecuencia



Cuadro 6

Análisis de regresión múltiple

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.3663	n -0.7500	k 128.8202
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
5	5.0	71.52	0.70	0.70	1.85
10	5.0	42.52	1.00	0.70	1.63
15	5.0	31.37	1.18	0.70	1.50
20	5.0	25.28	1.30	0.70	1.40
25	5.0	21.39	1.40	0.70	1.33
30	5.0	18.65	1.48	0.70	1.27
35	5.0	16.62	1.54	0.70	1.22
40	5.0	15.03	1.60	0.70	1.18
45	5.0	13.76	1.65	0.70	1.14
50	5.0	12.72	1.70	0.70	1.10
55	5.0	11.84	1.74	0.70	1.07
60	5.0	11.09	1.78	0.70	1.05
120	5.0	6.60	2.08	0.70	0.82
180	5.0	4.87	2.26	0.70	0.69
240	5.0	3.92	2.38	0.70	0.59
300	5.0	3.32	2.48	0.70	0.52
360	5.0	2.89	2.56	0.70	0.46
420	5.0	2.58	2.62	0.70	0.41

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.3663	n -0.7500	k 128.8202
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
480	5.0	2.33	2.68	0.70	0.37
540	5.0	2.13	2.73	0.70	0.33
600	5.0	1.97	2.78	0.70	0.30
660	5.0	1.84	2.82	0.70	0.26
720	5.0	1.72	2.86	0.70	0.24
780	5.0	1.62	2.89	0.70	0.21
840	5.0	1.53	2.92	0.70	0.19
900	5.0	1.46	2.95	0.70	0.16
960	5.0	1.39	2.98	0.70	0.14
1020	5.0	1.32	3.01	0.70	0.12
1080	5.0	1.27	3.03	0.70	0.10
1140	5.0	1.22	3.06	0.70	0.09
1200	5.0	1.17	3.08	0.70	0.07
1260	5.0	1.13	3.10	0.70	0.05
1320	5.0	1.09	3.12	0.70	0.04
1380	5.0	1.06	3.14	0.70	0.02
1440	5.0	1.02	3.16	0.70	0.01
5	10.0	100.65	0.70	1.00	2.00
10	10.0	59.85	1.00	1.00	1.78
15	10.0	44.15	1.18	1.00	1.64
20	10.0	35.58	1.30	1.00	1.55
25	10.0	30.10	1.40	1.00	1.48
30	10.0	26.25	1.48	1.00	1.42
35	10.0	23.39	1.54	1.00	1.37
40	10.0	21.16	1.60	1.00	1.33
45	10.0	19.37	1.65	1.00	1.29
50	10.0	17.90	1.70	1.00	1.25
55	10.0	16.66	1.74	1.00	1.22
60	10.0	15.61	1.78	1.00	1.19
120	10.0	9.28	2.08	1.00	0.97
180	10.0	6.85	2.26	1.00	0.84
240	10.0	5.52	2.38	1.00	0.74
300	10.0	4.67	2.48	1.00	0.67
360	10.0	4.07	2.56	1.00	0.61
420	10.0	3.63	2.62	1.00	0.56
480	10.0	3.28	2.68	1.00	0.52
540	10.0	3.00	2.73	1.00	0.48
600	10.0	2.78	2.78	1.00	0.44
660	10.0	2.58	2.82	1.00	0.41
720	10.0	2.42	2.86	1.00	0.38
780	10.0	2.28	2.89	1.00	0.36
840	10.0	2.16	2.92	1.00	0.33
900	10.0	2.05	2.95	1.00	0.31
960	10.0	1.95	2.98	1.00	0.29

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.3663	n -0.7500	k 128.8202
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
1020	10.0	1.86	3.01	1.00	0.27
1080	10.0	1.79	3.03	1.00	0.25
1140	10.0	1.72	3.06	1.00	0.23
1200	10.0	1.65	3.08	1.00	0.22
1260	10.0	1.59	3.10	1.00	0.20
1320	10.0	1.54	3.12	1.00	0.19
1380	10.0	1.49	3.14	1.00	0.17
1440	10.0	1.44	3.16	1.00	0.16
5	50.0	183.36	0.70	1.70	2.26
10	50.0	109.02	1.00	1.70	2.04
15	50.0	80.44	1.18	1.70	1.91
20	50.0	64.83	1.30	1.70	1.81
25	50.0	54.84	1.40	1.70	1.74
30	50.0	47.83	1.48	1.70	1.68
35	50.0	42.61	1.54	1.70	1.63
40	50.0	38.55	1.60	1.70	1.59
45	50.0	35.29	1.65	1.70	1.55
50	50.0	32.61	1.70	1.70	1.51
55	50.0	30.36	1.74	1.70	1.48
60	50.0	28.44	1.78	1.70	1.45
120	50.0	16.91	2.08	1.70	1.23
180	50.0	12.48	2.26	1.70	1.10
240	50.0	10.05	2.38	1.70	1.00
300	50.0	8.51	2.48	1.70	0.93
360	50.0	7.42	2.56	1.70	0.87
420	50.0	6.61	2.62	1.70	0.82
480	50.0	5.98	2.68	1.70	0.78
540	50.0	5.47	2.73	1.70	0.74
600	50.0	5.06	2.78	1.70	0.70
660	50.0	4.71	2.82	1.70	0.67
720	50.0	4.41	2.86	1.70	0.64
780	50.0	4.15	2.89	1.70	0.62
840	50.0	3.93	2.92	1.70	0.59
900	50.0	3.73	2.95	1.70	0.57
960	50.0	3.55	2.98	1.70	0.55
1020	50.0	3.40	3.01	1.70	0.53
1080	50.0	3.25	3.03	1.70	0.51
1140	50.0	3.12	3.06	1.70	0.49
1200	50.0	3.01	3.08	1.70	0.48
1260	50.0	2.90	3.10	1.70	0.46
1320	50.0	2.80	3.12	1.70	0.45
1380	50.0	2.71	3.14	1.70	0.43
1440	50.0	2.62	3.16	1.70	0.42
5	100.0	226.60	0.70	2.00	2.36

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.3663	n -0.7500	k 128.8202
d	T	I	$x_3 = \text{Log}(d)$	$x_2 = \text{Log}(T)$	$y = \text{Log}(I)$
10	100.0	134.74	1.00	2.00	2.13
15	100.0	99.41	1.18	2.00	2.00
20	100.0	80.11	1.30	2.00	1.90
25	100.0	67.77	1.40	2.00	1.83
30	100.0	59.11	1.48	2.00	1.77
35	100.0	52.65	1.54	2.00	1.72
40	100.0	47.64	1.60	2.00	1.68
45	100.0	43.61	1.65	2.00	1.64
50	100.0	40.30	1.70	2.00	1.61
55	100.0	37.52	1.74	2.00	1.57
60	100.0	35.15	1.78	2.00	1.55
120	100.0	20.90	2.08	2.00	1.32
180	100.0	15.42	2.26	2.00	1.19
240	100.0	12.43	2.38	2.00	1.09
300	100.0	10.51	2.48	2.00	1.02
360	100.0	9.17	2.56	2.00	0.96
420	100.0	8.17	2.62	2.00	0.91
480	100.0	7.39	2.68	2.00	0.87
540	100.0	6.76	2.73	2.00	0.83
600	100.0	6.25	2.78	2.00	0.80
660	100.0	5.82	2.82	2.00	0.76
720	100.0	5.45	2.86	2.00	0.74
780	100.0	5.13	2.89	2.00	0.71
840	100.0	4.86	2.92	2.00	0.69
900	100.0	4.61	2.95	2.00	0.66
960	100.0	4.39	2.98	2.00	0.64
1020	100.0	4.20	3.01	2.00	0.62
1080	100.0	4.02	3.03	2.00	0.60
1140	100.0	3.86	3.06	2.00	0.59
1200	100.0	3.72	3.08	2.00	0.57
1260	100.0	3.58	3.10	2.00	0.55
1320	100.0	3.46	3.12	2.00	0.54
1380	100.0	3.35	3.14	2.00	0.52
1440	100.0	3.24	3.16	2.00	0.51

Cuadro 7

Resumen estadístico

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99535731
Coefficiente de determinación R^2	0.99073617
R^2 ajustado	0.99067679
Error típico	0.06107303
Observaciones	315

Cuadro 8

Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	2	124.457479	62.2287393	16683.6864	0	
Residuos	312	1.16373361	0.00372992			
Total	314	125.621212				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	2.10998398	0.01340554	157.396401	2.723E-299	2.08360729	2.13636068
Variable X 1	-0.75	0.0047467	-158.004664	8.296E-300	0.75933958	0.74066042
Variable X 2	0.36625038	0.00399567	91.6618724	1.195E-227	0.35838852	0.37411224

Nota: Donde los valores de los coeficientes de la intercepción, variable 1 y variable 2, representan los valores de m, n y k respectivamente para el análisis de la regresión múltiple

Cuadro 9

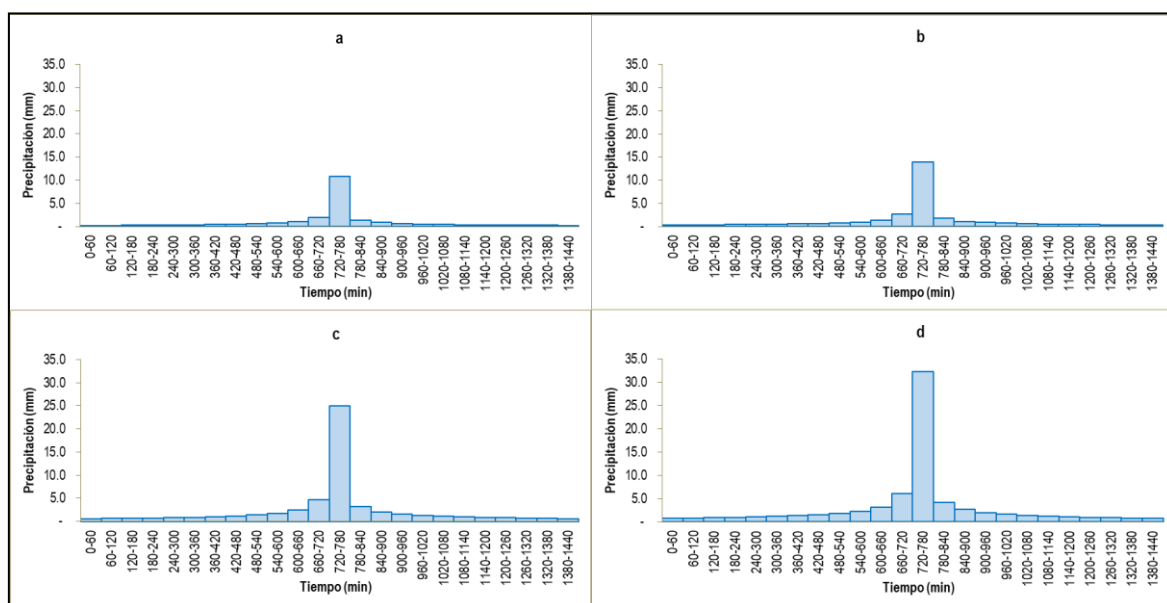
Precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno

DURACION min	INTENSIDAD mm/h	PROFUNDIDAD A ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD D INCREMENTAL mm	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
60	10.774	10.774	10.774	0.252	0.325	0.587	0.756
120	6.406	12.812	2.038	0.270	0.348	0.627	0.808
180	4.726	14.179	1.367	0.290	0.374	0.675	0.870
240	3.809	15.236	1.057	0.315	0.406	0.732	0.943
300	3.222	16.111	0.874	0.345	0.445	0.802	1.033
360	2.810	16.862	0.751	0.383	0.493	0.889	1.146
420	2.503	17.524	0.663	0.431	0.556	1.003	1.293
480	2.265	18.119	0.595	0.498	0.642	1.158	1.492
540	2.073	18.661	0.541	0.595	0.767	1.383	1.782
600	1.916	19.159	0.498	0.751	0.968	1.746	2.251
660	1.784	19.621	0.462	1.057	1.363	2.457	3.167
720	1.671	20.052	0.431	2.038	2.628	4.738	6.107
780	1.574	20.458	0.405	10.774	13.887	25.039	32.275
840	1.489	20.840	0.383	1.367	1.762	3.177	4.095
900	1.414	21.203	0.363	0.874	1.127	2.032	2.619
960	1.347	21.548	0.345	0.663	0.854	1.540	1.985
1020	1.287	21.877	0.329	0.541	0.698	1.258	1.622
1080	1.233	22.192	0.315	0.462	0.596	1.074	1.384
1140	1.184	22.493	0.302	0.405	0.522	0.942	1.214

DURACION min	INTENSIDAD mm/h	PROFUNDIDAD A ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD D INCREMENTAL mm	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
1200	1.139	22.784	0.290	0.363	0.467	0.843	1.086
1260	1.098	23.063	0.280	0.329	0.424	0.765	0.986
1320	1.061	23.333	0.270	0.302	0.389	0.702	0.905
1380	1.026	23.594	0.261	0.280	0.360	0.650	0.838
1440	0.994	23.846	0.252	0.261	0.336	0.606	0.781

Gráfico 5

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

Cuadro 10

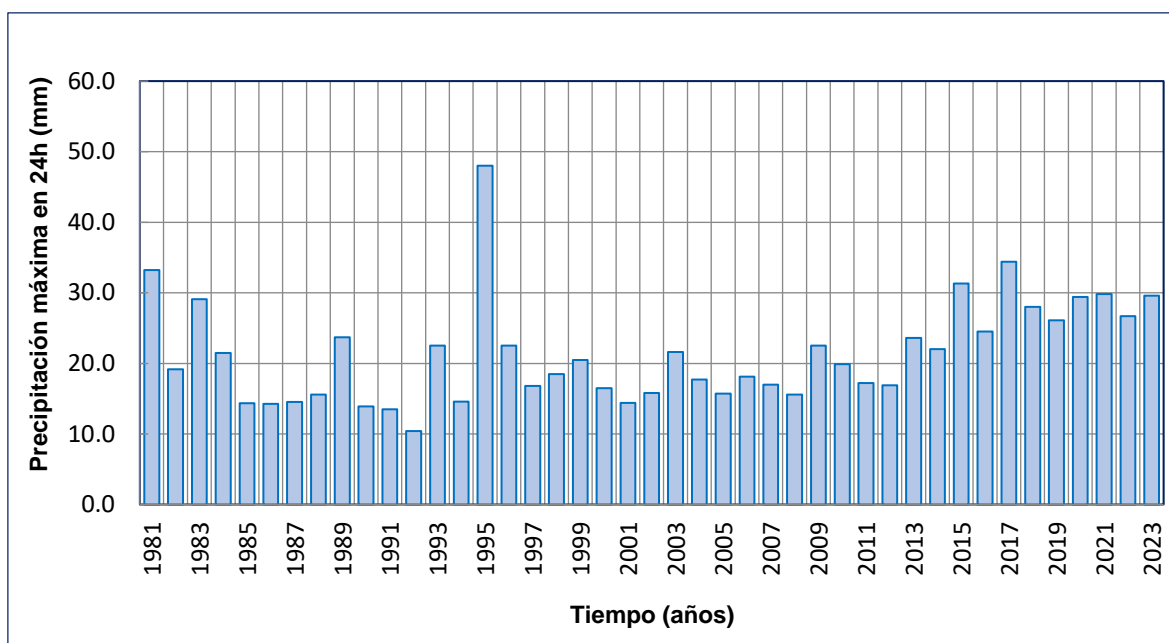
Datos completados y proyectados de precipitación máxima de la estación meteorológica Mayorarca

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
1981	7.00	12.30	17.00	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.98	33.23	33.23
1982	18.94	18.09	19.18	9.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	9.01	19.18
1983	16.01	29.10	18.38	9.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	9.01	29.10
1984	14.78	21.49	16.36	9.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	9.94	21.49
1985	13.55	13.88	14.34	9.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.78	12.97	14.34
1986	13.28	13.95	12.64	9.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	14.25	14.25
1987	14.53	14.27	11.97	9.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.29	9.01	14.53
1988	7.70	15.60	10.00	7.50	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	5.90	8.00	15.60
1989	10.00	12.60	11.60	10.10	7.60	0.00	0.00	5.30	5.40	13.30	3.10	23.70	23.70
1990	8.40	13.90	10.00	1.00	2.70	5.60	0.00	0.00	2.20	11.50	8.10	10.00	13.90
1991	8.90	12.70	10.00	6.40	13.30	0.00	0.00	0.70	0.00	13.50	11.00	8.00	13.50
1992	10.00	10.00	10.40	7.20	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	5.20	2.00	10.40
1993	13.00	20.00	22.50	13.20	4.10	0.00	0.00	0.00	3.00	12.00	11.00	11.40	22.50
1994	11.00	13.80	14.60	10.60	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	13.30	9.60	14.60
1995	48.00	8.70	11.40	8.60	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	6.70	14.50	48.00
1996	22.50	17.50	19.50	5.40	5.80	0.00	0.00	0.00	3.50	5.40	5.60	14.20	22.50
1997	15.90	15.20	16.80	5.40	4.30	0.00	0.00	0.00	4.40	13.30	11.30	12.50	16.80
1998	17.70	17.80	18.50	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	9.60	2.60	5.40	18.50
1999	16.60	20.50	7.90	5.60	5.40	4.50	3.50	0.00	4.40	7.40	11.10	10.70	20.50
2000	9.50	16.50	15.50	7.40	4.50	0.00	0.00	3.40	4.60	5.60	7.90	11.20	16.50
2001	13.90	14.40	9.40	5.70	3.50	0.00	0.00	0.00	5.40	12.20	11.70	7.80	14.40
2002	6.60	15.80	10.60	8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	11.60	12.50	8.30	15.80
2003	8.70	21.60	10.50	10.20	0.30	0.00	1.20	0.00	0.10	9.40	5.80	10.70	21.60
2004	8.50	12.40	7.60	17.70	0.00	1.20	0.60	0.00	2.30	7.50	8.90	12.00	17.70
2005	11.10	6.70	7.10	3.40	2.20	0.00	0.00	1.30	0.00	2.90	9.20	15.70	15.70
2006	17.10	18.10	15.10	9.80	0.00	0.00	0.00	4.20	1.20	4.00	5.30	14.20	18.10
2007	9.00	17.00	13.00	16.20	8.70	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	5.00	8.50	17.00
2008	15.60	12.00	10.00	4.20	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	4.30	7.00	15.30	15.60
2009	19.70	22.50	18.50	5.80	1.40	0.00	0.00	1.30	0.00	17.60	13.00	10.30	22.50
2010	17.20	9.30	19.90	7.20	1.80	2.40	0.00	1.10	2.80	7.70	9.10	18.00	19.90
2011	13.80	12.20	9.30	17.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	8.90	13.40	17.20
2012	11.90	15.80	11.50	10.40	3.10	0.00	0.00	0.00	5.60	3.90	7.60	16.90	16.90
2013	15.20	16.60	23.60	7.40	0.50	0.00	0.70	0.00	0.00	11.40	8.30	10.00	23.60
2014	13.20	13.10	15.10	8.00	7.80	0.00	0.00	2.10	3.00	4.30	11.20	22.00	22.00
2015	16.40	16.00	23.70	23.50	8.60	4.90	0.00	3.60	1.00	10.70	13.40	31.30	31.30
2016	10.30	20.40	24.50	10.90	3.90	0.00	0.00	0.00	2.80	3.50	0.00	21.20	24.50
2017	19.40	19.00	34.40	25.40	6.40	2.50	0.00	0.00	6.40	8.60	6.10	9.50	34.40
2018	22.00	11.00	28.00	18.50	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.60	1.70	28.00

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
2019	15.60	26.10	14.80	6.40	3.70	0.00	0.00	0.00	4.30	10.50	4.90	15.30	26.10
2020	17.10	18.70	23.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	15.10	8.40	29.40	29.40
2021	27.20	14.40	29.80	18.20	0.00	0.00	0.00	1.20	2.10	15.60	20.60	17.60	29.80
2022	12.10	15.70	26.70	18.70	11.70	0.00	0.00	0.00	1.60	3.40	0.60	8.80	26.70
2023	17.30	22.40	29.60	29.40	7.20	1.20	0.00	0.00	3.20	19.60	20.40	21.20	29.60

Gráfico 6

Histograma del registro histórico



Cuadro 11

Datos estadísticos

Numero de datos <i>n</i>	43	43
Suma Σ	923.1	56.2946
Máximo	48.00	1.7007
Mínimo	10.4	1.0170
Promedio \bar{x}	21.5	1.3092
Desviación estándar <i>s</i>	7.5159	0.1386
Coficiente asimetría <i>Cs</i>	1.5086	0.4671
<i>Cs/6 k</i>	0.2514	0.0779

Cuadro 12

Prueba de datos dudosos

$n =$	43
$K_n =$	2.71 *
<i>Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)</i>	
➤ Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)	
$x_H = \bar{x} + K_n \cdot s$	$x_H = 1.68$
Precipitación máxima aceptada	
$PH = 10^{x_H}$	PH = 48.4 mm
➤ Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)	
$x_L = \bar{x} - K_n \cdot s$	$x_L = 0.93$
Precipitación mínima aceptada	
$PL = 10^{x_L}$	PL = 8.6 mm

Nota: Se observa que los valores de precipitación máxima de 24 horas están dentro de los límites de precipitación máxima aceptada (PH) y precipitación mínima aceptada (PL), es decir no existen datos dudosos.

Cuadro 13

Prueba de bondad de ajuste

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ GEV I
1	48.00	0.977273	0.02259	0.01939	0.01639	0.02491	0.01741
2	34.40	0.954545	0.00738	0.00309	0.05466	0.06121	0.01065
3	33.23	0.931818	0.01495	0.00763	0.05056	0.05589	0.00019
4	31.30	0.909091	0.00240	0.00406	0.04258	0.04689	0.00371
5	29.80	0.886364	0.01245	0.00044	0.28822	0.02717	0.00763
6	29.60	0.863636	0.00453	0.01812	0.26043	0.25914	0.01106
7	29.40	0.840909	0.02134	0.03655	0.19674	0.19855	0.02962
8	29.10	0.818182	0.03497	0.05266	0.14181	0.18070	0.04595
9	28.00	0.795455	0.02028	0.04784	0.20072	0.20454	0.04216
10	26.70	0.772727	0.00798	0.03175	0.22708	0.22727	0.02777
11	26.10	0.750000	0.01119	0.03403	0.24999	0.25000	0.03100
12	24.50	0.727273	0.06410	0.00628	0.27273	0.27273	0.00630
13	23.70	0.704545	0.08212	0.01988	0.29545	0.29545	0.01820
14	23.60	0.681818	0.06460	0.00192	0.31818	0.31818	0.00003
15	22.50	0.659091	0.10029	0.03491	0.34091	0.34091	0.03060
16	22.50	0.636364	0.07756	0.01219	0.36364	0.36364	0.00788
17	22.50	0.613636	0.05484	0.01054	0.38636	0.38636	0.01485
18	22.00	0.590909	0.05917	0.00602	0.40909	0.40909	0.01142

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ GEV I
19	21.60	0.568182	0.05821	0.00613	0.43182	0.43182	0.01238
20	21.49	0.545455	0.04131	0.02270	0.45455	0.45455	0.02917
21	20.50	0.522727	0.07257	0.01392	0.47727	0.47727	0.00553
22	19.90	0.500000	0.08208	0.02865	0.50000	0.50000	0.01925
23	19.18	0.477273	0.09727	0.05195	0.52273	0.52273	0.04156
24	18.50	0.454545	0.10940	0.07344	0.54545	0.54545	0.06235
25	18.10	0.431818	0.10658	0.07677	0.56818	0.56818	0.06539
26	17.70	0.409091	0.10328	0.07999	0.59091	0.59091	0.06841
27	17.20	0.386364	0.10407	0.08935	0.61364	0.61364	0.07767
28	17.00	0.363636	0.09050	0.07930	0.63636	0.63636	0.06761
29	16.90	0.340909	0.07230	0.06286	0.65909	0.65909	0.05119
30	16.80	0.318182	0.05406	0.04640	0.68182	0.68182	0.03473
31	16.50	0.295455	0.04456	0.04224	0.70455	0.70455	0.03065
32	15.80	0.272727	0.05127	0.06131	0.72727	0.72727	0.05007
33	15.70	0.250000	0.03258	0.04435	0.75000	0.41470	0.03318
34	15.60	0.227273	0.01385	0.02732	0.77273	0.44207	0.01623
35	15.60	0.204545	0.00888	0.00460	0.79545	0.47941	0.00650
36	14.60	0.181818	0.00595	0.03526	0.81818	0.53407	0.02514
37	14.53	0.159091	0.01435	0.01595	0.84091	0.84091	0.00592
38	14.40	0.136364	0.03253	0.00041	0.86364	0.86364	0.01029
39	14.34	0.113636	0.05314	0.02018	0.88636	0.88636	0.02998
40	14.25	0.090909	0.07294	0.03882	0.90909	0.90909	0.04852
41	13.90	0.068182	0.08407	0.04559	0.93182	0.93182	0.05484
42	13.50	0.045455	0.09429	0.05151	0.95455	0.95455	0.06020
43	10.40	0.022727	0.04344	0.00590	0.97727	0.97727	0.00184
X	21.42						
S	7.32						
CS	1.334						
n	43	Dmáx	0.10940	0.08935	0.97727	0.97727	0.07767
a	0.05	Dcritico > Dmax	Si se ajusta	Si se ajusta	No se ajusta	No se ajusta	Si se ajusta
Dcritico	0.20323	Mejor Ajuste	3	2	4	5	1

Nota: Donde X_m representa el registro de las precipitaciones máximas de 24 horas en orden descendente.

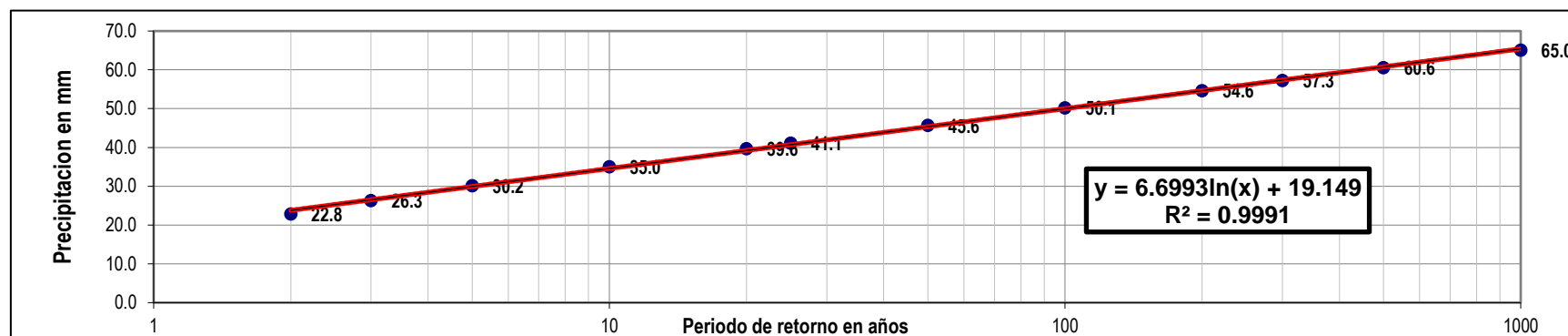
Cuadro 14

Distribución de probabilidad estadística para precipitaciones máximas

T (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm	P _{MAX} (corregida) mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	X _t	10 ^{x_T}		
2	0.500	0.0000	21.4	-0.1643	20.2	0.00	1.3087	20.4	-0.2111	19.9	-0.0678	1.2994	19.9	20.2	22.8
3	0.667	0.4307	24.6	0.2538	23.3	0.43	1.3679	23.3	0.2186	23.0	0.3717	1.3598	22.9	23.3	26.3
5	0.800	0.8416	27.6	0.7195	26.7	0.84	1.4243	26.6	0.7089	26.6	0.8150	1.4206	26.3	26.7	30.2
10	0.900	1.2816	30.8	1.3046	31.0	1.28	1.4847	30.5	1.3286	31.1	1.3165	1.4895	30.9	31.0	35.0
20	0.950	1.6449	33.5	1.8658	35.1	1.64	1.5346	34.2	1.9202	35.5	1.7521	1.5493	35.4	35.1	39.6
25	0.960	1.7507	34.2	2.0438	36.4	1.75	1.5491	35.4	2.1068	36.8	1.8827	1.5673	36.9	36.4	41.1
50	0.980	2.0537	36.5	2.5923	40.4	2.05	1.5908	39.0	2.6786	41.0	2.2663	1.6199	41.7	40.4	45.6
100	0.990	2.3263	38.4	3.1367	44.4	2.33	1.6282	42.5	3.2419	45.1	2.6233	1.6690	46.7	44.4	50.1
200	0.995	2.5758	40.3	3.6791	48.4	2.58	1.6624	46.0	3.7999	49.2	2.9604	1.7153	51.9	48.4	54.6
300	0.997	2.7131	41.3	3.9959	50.7	2.71	1.6813	48.0	4.1246	51.6	3.1500	1.7413	55.1	50.7	57.3
500	0.998	2.8782	42.5	4.3947	53.6	2.88	1.7040	50.6	4.5327	54.6	3.3821	1.7732	59.3	53.6	60.6
1000	0.999	3.0902	44.0	4.9355	57.5	3.09	1.7331	54.1	5.0851	58.6	3.6868	1.8150	65.3	57.5	65.0

Gráfico 7

Precipitación máxima anual para distintos periodos de retorno



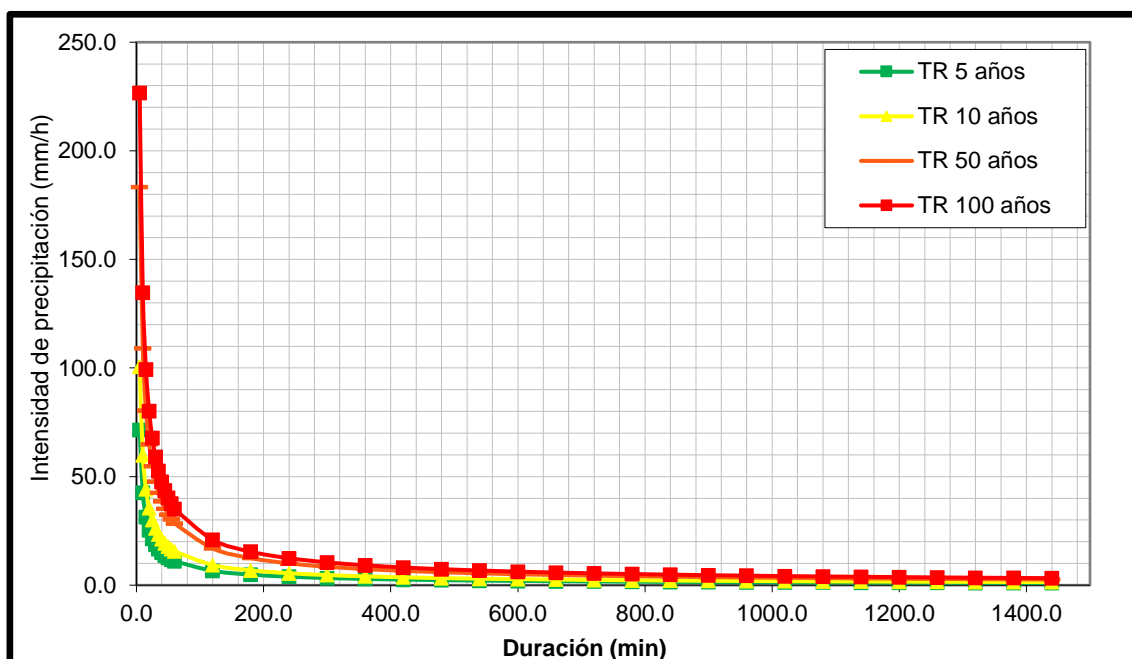
Cuadro 15

Análisis de intensidad de precipitación para 24 horas

Duración (min)	Periodo de retorno (Años)								
	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
	Intensidad (mm/h)								
5	66.60	88.46	102.94	121.23	134.80	148.27	161.69	179.39	192.77
10	39.60	52.60	61.21	72.08	80.15	88.16	96.14	106.67	114.62
15	29.22	38.81	45.16	53.18	59.13	65.04	70.93	78.70	84.57
20	23.55	31.28	36.39	42.86	47.66	52.42	57.16	63.42	68.15
25	19.92	26.46	30.79	36.26	40.31	44.34	48.36	53.65	57.65
30	17.37	23.08	26.85	31.62	35.16	38.67	42.18	46.79	50.28
35	15.48	20.56	23.92	28.17	31.32	34.45	37.57	41.68	44.79
40	14.00	18.60	21.64	25.49	28.34	31.17	33.99	37.71	40.52
45	12.82	17.03	19.81	23.33	25.94	28.53	31.12	34.52	37.10
50	11.84	15.73	18.31	21.56	23.97	26.37	28.75	31.90	34.28
55	11.03	14.65	17.04	20.07	22.32	24.55	26.77	29.70	31.91
60	10.33	13.72	15.97	18.80	20.91	23.00	25.08	27.82	29.90
120	6.14	8.16	9.49	11.18	12.43	13.67	14.91	16.54	17.78
180	4.53	6.02	7.00	8.25	9.17	10.09	11.00	12.21	13.12
240	3.65	4.85	5.64	6.65	7.39	8.13	8.87	9.84	10.57
300	3.09	4.10	4.77	5.62	6.25	6.88	7.50	8.32	8.94
360	2.69	3.58	4.16	4.90	5.45	6.00	6.54	7.26	7.80
420	2.40	3.19	3.71	4.37	4.86	5.34	5.83	6.47	6.95
480	2.17	2.88	3.36	3.95	4.40	4.83	5.27	5.85	6.29
540	1.99	2.64	3.07	3.62	4.02	4.43	4.83	5.35	5.75
600	1.84	2.44	2.84	3.34	3.72	4.09	4.46	4.95	5.32
660	1.71	2.27	2.64	3.11	3.46	3.81	4.15	4.61	4.95
720	1.60	2.13	2.48	2.92	3.24	3.57	3.89	4.32	4.64
780	1.51	2.00	2.33	2.75	3.05	3.36	3.66	4.06	4.37
840	1.43	1.90	2.21	2.60	2.89	3.18	3.46	3.84	4.13
900	1.36	1.80	2.09	2.47	2.74	3.02	3.29	3.65	3.92
960	1.29	1.72	2.00	2.35	2.61	2.87	3.13	3.48	3.74
1020	1.23	1.64	1.91	2.25	2.50	2.75	3.00	3.32	3.57
1080	1.18	1.57	1.83	2.15	2.39	2.63	2.87	3.18	3.42
1140	1.14	1.51	1.75	2.07	2.30	2.53	2.76	3.06	3.29
1200	1.09	1.45	1.69	1.99	2.21	2.43	2.65	2.94	3.16
1260	1.05	1.40	1.63	1.92	2.13	2.34	2.56	2.84	3.05
1320	1.02	1.35	1.57	1.85	2.06	2.26	2.47	2.74	2.94
1380	0.98	1.31	1.52	1.79	1.99	2.19	2.39	2.65	2.85
1440	0.95	1.27	1.47	1.73	1.93	2.12	2.31	2.57	2.76

Gráfico 8

Curva de intensidad, duración y frecuencia



Cuadro 16

Análisis de regresión múltiple

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1629	n -0.7500	k 225.2028
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
5	5.0	88.46	0.70	0.70	1.95
10	5.0	52.60	1.00	0.70	1.72
15	5.0	38.81	1.18	0.70	1.59
20	5.0	31.28	1.30	0.70	1.50
25	5.0	26.46	1.40	0.70	1.42
30	5.0	23.08	1.48	0.70	1.36
35	5.0	20.56	1.54	0.70	1.31
40	5.0	18.60	1.60	0.70	1.27
45	5.0	17.03	1.65	0.70	1.23
50	5.0	15.73	1.70	0.70	1.20
55	5.0	14.65	1.74	0.70	1.17
60	5.0	13.72	1.78	0.70	1.14
120	5.0	8.16	2.08	0.70	0.91
180	5.0	6.02	2.26	0.70	0.78
240	5.0	4.85	2.38	0.70	0.69
300	5.0	4.10	2.48	0.70	0.61
360	5.0	3.58	2.56	0.70	0.55
420	5.0	3.19	2.62	0.70	0.50
480	5.0	2.88	2.68	0.70	0.46

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1629	n -0.7500	k 225.2028
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
540	5.0	2.64	2.73	0.70	0.42
600	5.0	2.44	2.78	0.70	0.39
660	5.0	2.27	2.82	0.70	0.36
720	5.0	2.13	2.86	0.70	0.33
780	5.0	2.00	2.89	0.70	0.30
840	5.0	1.90	2.92	0.70	0.28
900	5.0	1.80	2.95	0.70	0.26
960	5.0	1.72	2.98	0.70	0.23
1020	5.0	1.64	3.01	0.70	0.21
1080	5.0	1.57	3.03	0.70	0.20
1140	5.0	1.51	3.06	0.70	0.18
1200	5.0	1.45	3.08	0.70	0.16
1260	5.0	1.40	3.10	0.70	0.15
1320	5.0	1.35	3.12	0.70	0.13
1380	5.0	1.31	3.14	0.70	0.12
1440	5.0	1.27	3.16	0.70	0.10
5	10.0	102.94	0.70	1.00	2.01
10	10.0	61.21	1.00	1.00	1.79
15	10.0	45.16	1.18	1.00	1.65
20	10.0	36.39	1.30	1.00	1.56
25	10.0	30.79	1.40	1.00	1.49
30	10.0	26.85	1.48	1.00	1.43
35	10.0	23.92	1.54	1.00	1.38
40	10.0	21.64	1.60	1.00	1.34
45	10.0	19.81	1.65	1.00	1.30
50	10.0	18.31	1.70	1.00	1.26
55	10.0	17.04	1.74	1.00	1.23
60	10.0	15.97	1.78	1.00	1.20
120	10.0	9.49	2.08	1.00	0.98
180	10.0	7.00	2.26	1.00	0.85
240	10.0	5.64	2.38	1.00	0.75
300	10.0	4.77	2.48	1.00	0.68
360	10.0	4.16	2.56	1.00	0.62
420	10.0	3.71	2.62	1.00	0.57
480	10.0	3.36	2.68	1.00	0.53
540	10.0	3.07	2.73	1.00	0.49
600	10.0	2.84	2.78	1.00	0.45
660	10.0	2.64	2.82	1.00	0.42
720	10.0	2.48	2.86	1.00	0.39
780	10.0	2.33	2.89	1.00	0.37
840	10.0	2.21	2.92	1.00	0.34
900	10.0	2.09	2.95	1.00	0.32
960	10.0	2.00	2.98	1.00	0.30
1020	10.0	1.91	3.01	1.00	0.28
1080	10.0	1.83	3.03	1.00	0.26

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1629	n -0.7500	k 225.2028
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
1140	10.0	1.75	3.06	1.00	0.24
1200	10.0	1.69	3.08	1.00	0.23
1260	10.0	1.63	3.10	1.00	0.21
1320	10.0	1.57	3.12	1.00	0.20
1380	10.0	1.52	3.14	1.00	0.18
1440	10.0	1.47	3.16	1.00	0.17
5	50.0	134.80	0.70	1.70	2.13
10	50.0	80.15	1.00	1.70	1.90
15	50.0	59.13	1.18	1.70	1.77
20	50.0	47.66	1.30	1.70	1.68
25	50.0	40.31	1.40	1.70	1.61
30	50.0	35.16	1.48	1.70	1.55
35	50.0	31.32	1.54	1.70	1.50
40	50.0	28.34	1.60	1.70	1.45
45	50.0	25.94	1.65	1.70	1.41
50	50.0	23.97	1.70	1.70	1.38
55	50.0	22.32	1.74	1.70	1.35
60	50.0	20.91	1.78	1.70	1.32
120	50.0	12.43	2.08	1.70	1.09
180	50.0	9.17	2.26	1.70	0.96
240	50.0	7.39	2.38	1.70	0.87
300	50.0	6.25	2.48	1.70	0.80
360	50.0	5.45	2.56	1.70	0.74
420	50.0	4.86	2.62	1.70	0.69
480	50.0	4.40	2.68	1.70	0.64
540	50.0	4.02	2.73	1.70	0.60
600	50.0	3.72	2.78	1.70	0.57
660	50.0	3.46	2.82	1.70	0.54
720	50.0	3.24	2.86	1.70	0.51
780	50.0	3.05	2.89	1.70	0.48
840	50.0	2.89	2.92	1.70	0.46
900	50.0	2.74	2.95	1.70	0.44
960	50.0	2.61	2.98	1.70	0.42
1020	50.0	2.50	3.01	1.70	0.40
1080	50.0	2.39	3.03	1.70	0.38
1140	50.0	2.30	3.06	1.70	0.36
1200	50.0	2.21	3.08	1.70	0.34
1260	50.0	2.13	3.10	1.70	0.33
1320	50.0	2.06	3.12	1.70	0.31
1380	50.0	1.99	3.14	1.70	0.30
1440	50.0	1.93	3.16	1.70	0.29
5	100.0	148.27	0.70	2.00	2.17
10	100.0	88.16	1.00	2.00	1.95
15	100.0	65.04	1.18	2.00	1.81
20	100.0	52.42	1.30	2.00	1.72

duración (min)	Tiempo de retorno (años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1629	n -0.7500	k 225.2028
d	T	I	$x3=\text{Log}(d)$	$x2=\text{Log}(T)$	$y=\text{Log}(I)$
25	100.0	44.34	1.40	2.00	1.65
30	100.0	38.67	1.48	2.00	1.59
35	100.0	34.45	1.54	2.00	1.54
40	100.0	31.17	1.60	2.00	1.49
45	100.0	28.53	1.65	2.00	1.46
50	100.0	26.37	1.70	2.00	1.42
55	100.0	24.55	1.74	2.00	1.39
60	100.0	23.00	1.78	2.00	1.36
120	100.0	13.67	2.08	2.00	1.14
180	100.0	10.09	2.26	2.00	1.00
240	100.0	8.13	2.38	2.00	0.91
300	100.0	6.88	2.48	2.00	0.84
360	100.0	6.00	2.56	2.00	0.78
420	100.0	5.34	2.62	2.00	0.73
480	100.0	4.83	2.68	2.00	0.68
540	100.0	4.43	2.73	2.00	0.65
600	100.0	4.09	2.78	2.00	0.61
660	100.0	3.81	2.82	2.00	0.58
720	100.0	3.57	2.86	2.00	0.55
780	100.0	3.36	2.89	2.00	0.53
840	100.0	3.18	2.92	2.00	0.50
900	100.0	3.02	2.95	2.00	0.48
960	100.0	2.87	2.98	2.00	0.46
1020	100.0	2.75	3.01	2.00	0.44
1080	100.0	2.63	3.03	2.00	0.42
1140	100.0	2.53	3.06	2.00	0.40
1200	100.0	2.43	3.08	2.00	0.39
1260	100.0	2.34	3.10	2.00	0.37
1320	100.0	2.26	3.12	2.00	0.35
1380	100.0	2.19	3.14	2.00	0.34
1440	100.0	2.12	3.16	2.00	0.33

Cuadro 17

Resumen estadístico

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99889429
Coeficiente de determinación R^2	0.99778981
R^2 ajustado	0.99777564
Error típico	0.02655443
Observaciones	315

Cuadro 18

Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	2	99.3200707	49.6600354	70426.01	0	
Residuos	312	0.22000297	0.00070514			
Total	314	99.5400737				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	2.35257385	0.0058287	403.618837	0	2.34110532	2.36404238
Variable X 1	-0.75	0.00206385	-363.397914	0	0.75406083	0.74593917
Variable X 2	0.16291815	0.00173731	93.7762024	1.245E-230	0.15949983	0.16633647

Nota: Donde los valores de los coeficientes de la intercepción, variable 1 y variable 2, representan los valores de m, n y k respectivamente para el análisis de la regresión múltiple

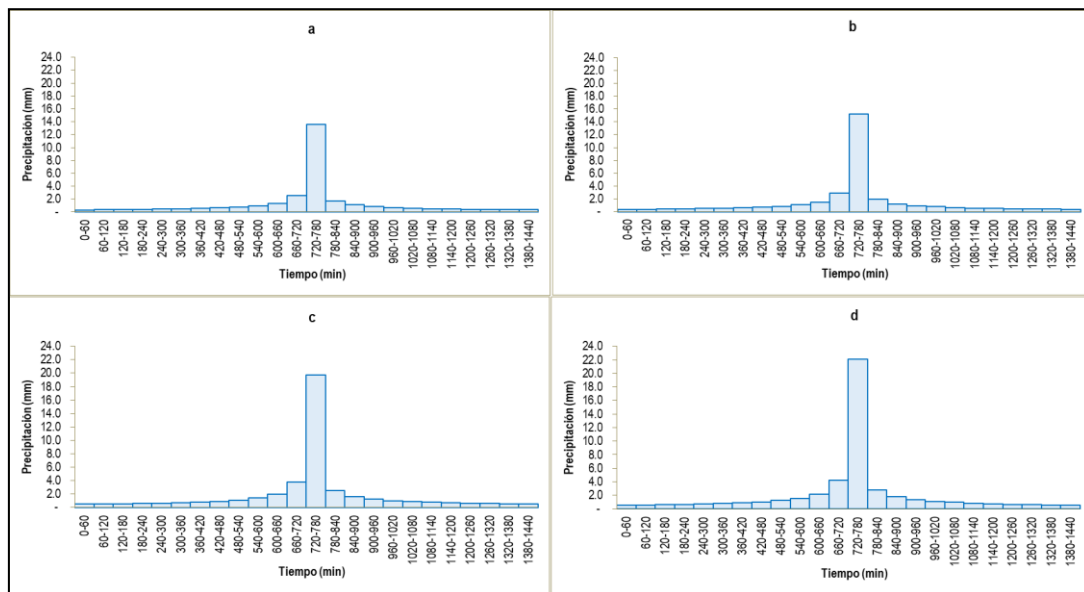
Cuadro 19

Precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno

DURACION min	INTENSIDAD mm/h	PROFUNDIDAD ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD INCREMENTAL mm	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
60	13.578	13.578	13.578	0.318	0.356	0.463	0.518
120	8.074	16.147	2.569	0.340	0.381	0.495	0.554
180	5.957	17.870	1.723	0.366	0.410	0.532	0.596
240	4.801	19.202	1.333	0.397	0.444	0.577	0.646
300	4.061	20.304	1.102	0.435	0.487	0.632	0.708
360	3.542	21.251	0.947	0.482	0.540	0.702	0.785
420	3.155	22.086	0.835	0.544	0.609	0.791	0.886
480	2.854	22.835	0.750	0.628	0.703	0.913	1.023
540	2.613	23.518	0.682	0.750	0.839	1.091	1.221
600	2.415	24.145	0.628	0.947	1.060	1.378	1.543
660	2.248	24.728	0.582	1.333	1.492	1.939	2.171
720	2.106	25.271	0.544	2.569	2.876	3.738	4.185
780	1.983	25.782	0.511	13.578	15.201	19.758	22.121
840	1.876	26.264	0.482	1.723	1.929	2.507	2.806
900	1.781	26.721	0.457	1.102	1.233	1.603	1.795
960	1.697	27.156	0.435	0.835	0.935	1.215	1.360
1020	1.622	27.571	0.415	0.682	0.764	0.993	1.112
1080	1.554	27.967	0.397	0.582	0.652	0.847	0.949
1140	1.492	28.348	0.381	0.511	0.572	0.743	0.832
1200	1.436	28.714	0.366	0.457	0.512	0.665	0.744
1260	1.384	29.066	0.352	0.415	0.464	0.603	0.676
1320	1.337	29.406	0.340	0.381	0.426	0.554	0.620
1380	1.293	29.735	0.329	0.352	0.395	0.513	0.574
1440	1.252	30.053	0.318	0.329	0.368	0.478	0.535

Gráfico 9

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

Cuadro 20

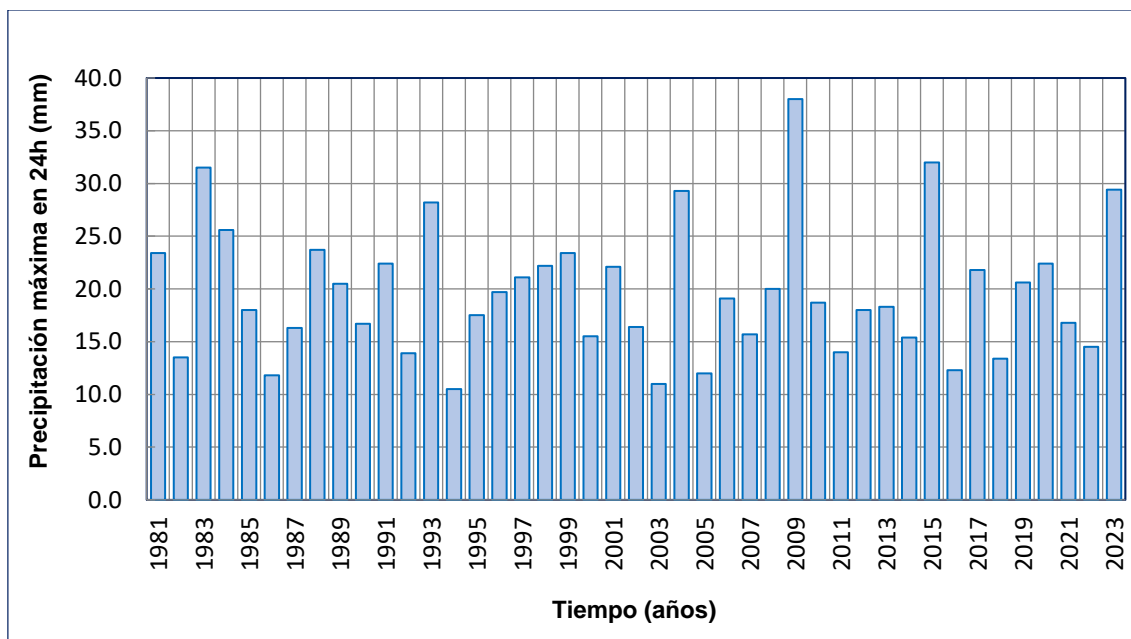
Datos completados y proyectados de precipitación máxima de la estación meteorológica Ocros

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
1981	11.60	23.40	13.80	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.20	18.90	9.50	23.40
1982	7.60	13.50	10.60	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40	10.10	12.50	13.50
1983	9.30	16.30	31.50	24.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	8.40	31.50
1984	7.50	25.60	18.20	4.50	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20	0.00	6.40	25.60
1985	0.00	18.00	9.10	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60	18.00
1986	10.90	9.70	11.80	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.30	11.80
1987	16.30	15.90	14.50	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	10.50	16.30
1988	23.70	9.10	12.20	8.40	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	23.70
1989	20.50	16.80	12.10	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	20.50
1990	10.30	4.80	12.10	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	16.70	12.10	16.70
1991	7.20	10.20	22.40	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	11.50	5.30	22.40
1992	5.30	5.10	13.90	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	8.40	13.90
1993	5.70	7.20	28.20	12.20	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	5.40	4.60	8.30	28.20
1994	6.20	10.50	10.10	3.50	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	5.70	10.50
1995	11.30	17.50	12.10	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	5.80	17.50
1996	19.70	15.80	18.60	15.00	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.70	3.40	19.70
1997	13.50	12.20	4.50	4.60	5.20	0.00	0.00	0.00	11.30	9.30	17.20	21.10	21.10
1998	20.90	22.20	17.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.10	3.10	2.80	5.50	22.20
1999	12.30	23.40	10.10	11.90	7.20	0.80	0.00	0.00	6.30	9.60	1.40	8.50	23.40
2000	11.30	15.50	13.30	7.80	2.80	0.00	0.00	0.00	1.60	4.10	5.70	13.10	15.50
2001	16.50	17.60	22.10	12.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	3.40	5.20	2.40	22.10
2002	6.00	16.40	11.60	7.10	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	4.60	6.30	6.40	16.40
2003	7.00	8.40	10.50	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	3.00	11.00	11.00
2004	11.00	29.30	9.60	4.20	2.40	0.00	0.00	0.00	2.20	5.10	3.60	9.40	29.30
2005	12.00	4.60	6.60	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	7.70	12.00
2006	19.10	9.90	10.10	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	5.80	7.50	19.10
2007	7.60	9.80	15.70	10.60	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	2.60	2.50	15.70
2008	6.60	20.00	13.40	4.00	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	1.80	5.80	3.20	20.00
2009	24.10	38.00	27.70	14.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	4.50	9.50	38.00
2010	18.70	14.00	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.60	18.70
2011	7.80	12.90	6.80	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80	5.00	14.00
2012	8.00	18.00	10.80	14.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	14.50	6.00	11.00	18.00
2013	8.00	18.30	18.10	3.20	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	1.40	4.00	18.30
2014	7.40	6.40	9.80	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	10.00	15.40	15.40
2015	14.30	16.20	32.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	2.60	3.00	10.60	32.00
2016	8.40	10.20	10.60	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	12.30	12.30
2017	17.70	13.20	21.80	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	4.20	0.00	21.80
2018	11.40	13.40	10.40	12.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	13.40
2019	9.50	20.60	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	14.58	0.00	8.40	20.60

Año	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	MAX
2020	7.60	11.00	22.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00	15.50	14.70	22.40
2021	16.80	3.60	9.20	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	6.50	5.40	7.20	16.80
2022	3.90	5.20	14.50	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	5.50	14.50
2023	4.00	16.00	29.40	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.80	3.00	17.60	29.40

Gráfico 10

Histograma del registro histórico



Cuadro 21

Datos estadísticos

<i>Numero de datos n</i>	43	43
<i>Suma Σ</i>	846.6	54.7944
<i>Máximo</i>	38.0	1.5798
<i>Mínimo</i>	10.5	1.0212
<i>Promedio \bar{x}</i>	19.7	1.2743
<i>Desviación estándar s</i>	6.1926	0.1324
<i>Coefficiente asimetría Cs</i>	0.8815	0.1498
<i>Cs/6 k</i>	0.1469	0.0250

Cuadro 22

Prueba de datos dudosos

$n =$	43
$Kn =$	2.71 *
<i>Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)</i>	
→ Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logaritmicas)	
$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s$	$x_H = 1.63$
Precipitación máxima aceptada	
$PH = 10^{x_H}$	PH = 43.0 mm
→ Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logaritmicas)	
$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s$	$x_L = 0.92$
Precipitación mínima aceptada	
$PL = 10^{x_L}$	PL = 8.2 mm

Nota: Se observa que los valores de precipitación máxima de 24 horas están dentro de los límites de precipitación máxima aceptada (PH) y precipitación mínima aceptada (PL), es decir no existen datos dudosos.

Cuadro 23

Prueba de bondad de ajuste

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ GEV I
1	38.00	0.977273	0.02117	0.01222	0.01639	0.02491	0.01015
2	32.00	0.954545	0.02206	0.00486	0.05466	0.06121	0.00256
3	31.50	0.931818	0.03995	0.02287	0.05056	0.05589	0.02072
4	29.40	0.909091	0.03250	0.01956	0.04258	0.04689	0.01853
5	29.30	0.886364	0.05332	0.04075	0.28822	0.02717	0.03981
6	28.20	0.863636	0.05172	0.04446	0.26043	0.25914	0.04453
7	25.60	0.840909	0.01079	0.00327	0.19674	0.19855	0.00695
8	23.70	0.818182	0.07674	0.04216	0.14181	0.18070	0.03518
9	23.40	0.795455	0.06992	0.03213	0.20072	0.20454	0.02464
10	23.40	0.772727	0.04719	0.00941	0.22708	0.22727	0.00191
11	22.40	0.750000	0.08074	0.03307	0.24999	0.25000	0.02400
12	22.40	0.727273	0.05801	0.01034	0.27273	0.27273	0.00127
13	22.20	0.704545	0.04707	0.00235	0.29545	0.29545	0.01169
14	22.10	0.681818	0.03029	0.01996	0.31818	0.31818	0.02943
15	21.80	0.659091	0.02565	0.02696	0.34091	0.34091	0.03680
16	21.10	0.636364	0.04620	0.01078	0.36364	0.36364	0.02125

m	x_m	$F_o(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log - Normal	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Pearson III	$ F_o(y_m) - F(y_m) $ Log Pearson III	$ F_o(x_m) - F(x_m) $ GEV I
17	20.60	0.613636	0.05512	0.00388	0.38636	0.38636	0.01458
18	20.50	0.590909	0.03877	0.02050	0.40909	0.40909	0.03123
19	20.00	0.568182	0.04811	0.01185	0.43182	0.43182	0.02256
20	19.70	0.545455	0.04471	0.01511	0.45455	0.45455	0.02569
21	19.10	0.522727	0.06057	0.00241	0.47727	0.47727	0.00762
22	18.70	0.500000	0.06340	0.00738	0.50000	0.50000	0.00207
23	18.30	0.477273	0.06597	0.01290	0.52273	0.52273	0.00421
24	18.00	0.454545	0.06198	0.01165	0.54545	0.54545	0.00364
25	18.00	0.431818	0.03925	0.01107	0.56818	0.56818	0.01908
26	17.50	0.409091	0.04719	0.00240	0.59091	0.59091	0.00428
27	16.80	0.386364	0.06591	0.03066	0.61364	0.61364	0.02621
28	16.70	0.363636	0.04894	0.01520	0.63636	0.63636	0.01110
29	16.40	0.340909	0.04321	0.01420	0.65909	0.65909	0.01117
30	16.30	0.318182	0.02605	0.00132	0.68182	0.68182	0.00399
31	15.70	0.295455	0.03568	0.01857	0.70455	0.70455	0.01812
32	15.50	0.272727	0.02332	0.00974	0.72727	0.72727	0.01003
33	15.40	0.250000	0.00569	0.00610	0.75000	0.41470	0.00545
34	14.50	0.227273	0.02621	0.03043	0.77273	0.44207	0.03414
35	14.00	0.204545	0.02539	0.03804	0.79545	0.47941	0.04313
36	13.90	0.181818	0.00685	0.02112	0.81818	0.53407	0.02645
37	13.50	0.159091	0.00027	0.02065	0.84091	0.84091	0.02680
38	13.40	0.136364	0.01858	0.00324	0.86364	0.86364	0.00956
39	12.30	0.113636	0.00278	0.03179	0.88636	0.88636	0.03888
40	12.00	0.090909	0.01629	0.02064	0.90909	0.90909	0.02760
41	11.80	0.068182	0.03318	0.00504	0.93182	0.93182	0.01185
42	11.00	0.045455	0.03485	0.00618	0.95455	0.95455	0.01191
43	10.50	0.022727	0.04621	0.00522	0.97727	0.97727	0.00044
X	19.69						
S	6.19						
CS	0.881						
n	43	Dmáx	0.08074	0.04446	0.97727	0.97727	0.04453
a	0.05	Dcrítico > Dmax	Si se ajusta	Si se ajusta	No se ajusta	No se ajusta	Si se ajusta
D crítico	0.20323	Mejor ajuste	3	1	4	5	2

Nota: Donde X_m representa el registro de las precipitaciones máximas de 24 horas en orden descendente.

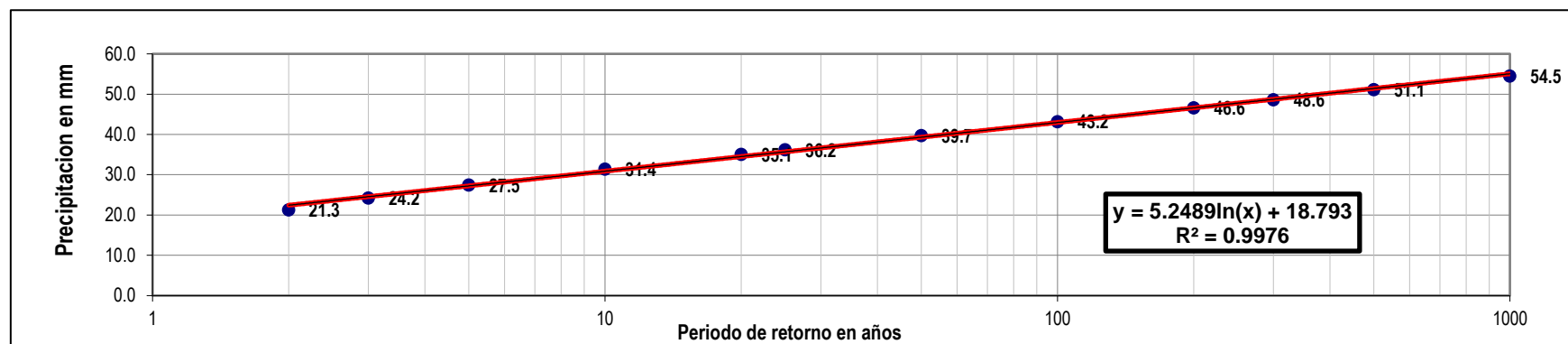
Cuadro 24

Distribución de probabilidad estadística para precipitaciones máximas

T (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm	P _{MAX} (corregida) mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	X _t	10 ^{x_T}		
2	0.500	0.0000	19.7	-0.1643	18.7	0.00	1.2743	18.8	-0.1437	18.8	-0.0250	1.2710	18.7	18.8	21.3
3	0.667	0.4307	22.4	0.2538	21.3	0.43	1.3313	21.4	0.2959	21.5	0.4099	1.3286	21.3	21.4	24.2
5	0.800	0.8416	24.9	0.7195	24.1	0.84	1.3857	24.3	0.7681	24.4	0.8334	1.3846	24.2	24.3	27.5
10	0.900	1.2816	27.6	1.3046	27.8	1.28	1.4440	27.8	1.3343	28.0	1.2964	1.4459	27.9	27.8	31.4
20	0.950	1.6449	29.9	1.8658	31.2	1.64	1.4920	31.0	1.8518	31.2	1.6863	1.4975	31.4	31.0	35.1
25	0.960	1.7507	30.5	2.0438	32.3	1.75	1.5061	32.1	2.0114	32.1	1.8011	1.5127	32.6	32.1	36.2
50	0.980	2.0537	32.4	2.5923	35.7	2.05	1.5462	35.2	2.4909	35.1	2.1333	1.5567	36.0	35.2	39.7
100	0.990	2.3263	34.1	3.1367	39.1	2.33	1.5823	38.2	2.9518	38.0	2.4361	1.5968	39.5	38.2	43.2
200	0.995	2.5758	35.6	3.6791	42.5	2.58	1.6153	41.2	3.3988	40.7	2.7168	1.6340	43.0	41.2	46.6
300	0.997	2.7131	36.5	3.9959	44.4	2.71	1.6335	43.0	3.6552	42.3	2.8725	1.6546	45.1	43.0	48.6
500	0.998	2.8782	37.5	4.3947	46.9	2.88	1.6553	45.2	3.9738	44.3	3.0613	1.6796	47.8	45.2	51.1
1000	0.999	3.0902	38.8	4.9355	50.3	3.09	1.6834	48.2	4.3995	46.9	3.3058	1.7119	51.5	48.2	54.5

Gráfico 11

Precipitación máxima anual para distintos periodos de retorno

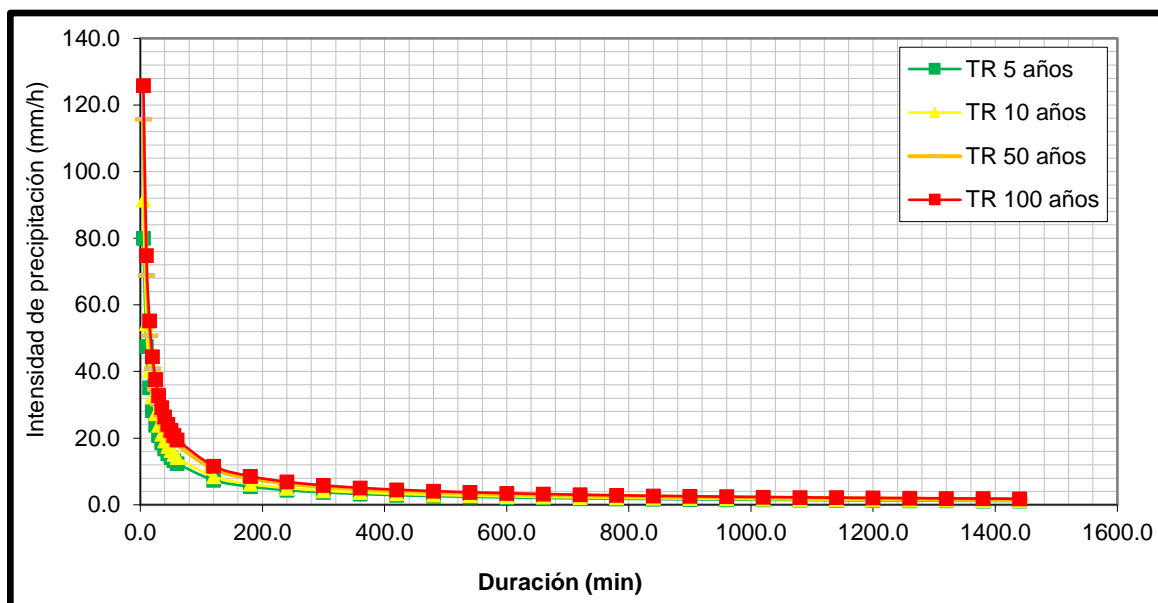


Cuadro 25*Análisis de intensidad de precipitación para 24 horas*

Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
		Intensidad (mm/h)								
0.083	5	61.90	80.01	91.49	105.55	115.77	125.80	135.74	148.85	158.79
0.167	10	36.81	47.57	54.40	62.76	68.84	74.80	80.71	88.50	94.41
0.250	15	27.16	35.10	40.13	46.31	50.79	55.19	59.55	65.30	69.66
0.333	20	21.89	28.29	32.35	37.32	40.93	44.48	47.99	52.62	56.14
0.417	25	18.51	23.93	27.36	31.57	34.62	37.62	40.60	44.52	47.49
0.500	30	16.15	20.87	23.86	27.53	30.20	32.81	35.41	38.83	41.42
0.583	35	14.38	18.59	21.26	24.53	26.90	29.23	31.54	34.59	36.90
0.667	40	13.01	16.82	19.23	22.19	24.34	26.45	28.54	31.29	33.38
0.750	45	11.91	15.40	17.61	20.31	22.28	24.21	26.12	28.65	30.56
0.833	50	11.01	14.23	16.27	18.77	20.59	22.37	24.14	26.47	28.24
0.917	55	10.25	13.25	15.15	17.48	19.17	20.83	22.47	24.64	26.29
1.000	60	9.60	12.41	14.19	16.37	17.96	19.51	21.05	23.09	24.63
2.000	120	5.71	7.38	8.44	9.73	10.68	11.60	12.52	13.73	14.64
3.000	180	4.21	5.44	6.22	7.18	7.88	8.56	9.24	10.13	10.80
4.000	240	3.39	4.39	5.02	5.79	6.35	6.90	7.44	8.16	8.71
5.000	300	2.87	3.71	4.24	4.90	5.37	5.84	6.30	6.90	7.37
6.000	360	2.50	3.24	3.70	4.27	4.68	5.09	5.49	6.02	6.42
7.000	420	2.23	2.88	3.30	3.80	4.17	4.53	4.89	5.36	5.72
8.000	480	2.02	2.61	2.98	3.44	3.77	4.10	4.43	4.85	5.18
9.000	540	1.85	2.39	2.73	3.15	3.46	3.76	4.05	4.44	4.74
10.000	600	1.71	2.21	2.52	2.91	3.19	3.47	3.74	4.11	4.38
11.000	660	1.59	2.05	2.35	2.71	2.97	3.23	3.49	3.82	4.08
12.000	720	1.49	1.92	2.20	2.54	2.78	3.03	3.27	3.58	3.82
13.000	780	1.40	1.81	2.07	2.39	2.62	2.85	3.08	3.37	3.60
14.000	840	1.33	1.71	1.96	2.26	2.48	2.70	2.91	3.19	3.40
15.000	900	1.26	1.63	1.86	2.15	2.36	2.56	2.76	3.03	3.23
16.000	960	1.20	1.55	1.77	2.05	2.24	2.44	2.63	2.89	3.08
17.000	1020	1.15	1.48	1.69	1.96	2.14	2.33	2.51	2.76	2.94
18.000	1080	1.10	1.42	1.62	1.87	2.05	2.23	2.41	2.64	2.82
19.000	1140	1.05	1.36	1.56	1.80	1.97	2.14	2.31	2.54	2.71
20.000	1200	1.02	1.31	1.50	1.73	1.90	2.06	2.23	2.44	2.60
21.000	1260	0.98	1.26	1.45	1.67	1.83	1.99	2.15	2.35	2.51
22.000	1320	0.95	1.22	1.40	1.61	1.77	1.92	2.07	2.27	2.42
23.000	1380	0.91	1.18	1.35	1.56	1.71	1.86	2.00	2.20	2.34
24.000	1440	0.89	1.14	1.31	1.51	1.66	1.80	1.94	2.13	2.27

Gráfico 12

Curva de intensidad, duración y frecuencia



Cuadro 26

Análisis de regresión múltiple

duración (min)	Tiempo de retorno(años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1437	n -0.7500	k 209.8556
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
5	5.0	80.01	0.70	0.70	1.90
10	5.0	47.57	1.00	0.70	1.68
15	5.0	35.10	1.18	0.70	1.55
20	5.0	28.29	1.30	0.70	1.45
25	5.0	23.93	1.40	0.70	1.38
30	5.0	20.87	1.48	0.70	1.32
35	5.0	18.59	1.54	0.70	1.27
40	5.0	16.82	1.60	0.70	1.23
45	5.0	15.40	1.65	0.70	1.19
50	5.0	14.23	1.70	0.70	1.15
55	5.0	13.25	1.74	0.70	1.12
60	5.0	12.41	1.78	0.70	1.09
120	5.0	7.38	2.08	0.70	0.87
180	5.0	5.44	2.26	0.70	0.74
240	5.0	4.39	2.38	0.70	0.64
300	5.0	3.71	2.48	0.70	0.57
360	5.0	3.24	2.56	0.70	0.51
420	5.0	2.88	2.62	0.70	0.46
480	5.0	2.61	2.68	0.70	0.42
540	5.0	2.39	2.73	0.70	0.38
600	5.0	2.21	2.78	0.70	0.34
660	5.0	2.05	2.82	0.70	0.31
720	5.0	1.92	2.86	0.70	0.28
780	5.0	1.81	2.89	0.70	0.26

duración (min)	Tiempo de retorno(años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1437	n -0.7500	k 209.8556
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
840	5.0	1.71	2.92	0.70	0.23
900	5.0	1.63	2.95	0.70	0.21
960	5.0	1.55	2.98	0.70	0.19
1020	5.0	1.48	3.01	0.70	0.17
1080	5.0	1.42	3.03	0.70	0.15
1140	5.0	1.36	3.06	0.70	0.13
1200	5.0	1.31	3.08	0.70	0.12
1260	5.0	1.26	3.10	0.70	0.10
1320	5.0	1.22	3.12	0.70	0.09
1380	5.0	1.18	3.14	0.70	0.07
1440	5.0	1.14	3.16	0.70	0.06
5	10.0	91.49	0.70	1.00	1.96
10	10.0	54.40	1.00	1.00	1.74
15	10.0	40.13	1.18	1.00	1.60
20	10.0	32.35	1.30	1.00	1.51
25	10.0	27.36	1.40	1.00	1.44
30	10.0	23.86	1.48	1.00	1.38
35	10.0	21.26	1.54	1.00	1.33
40	10.0	19.23	1.60	1.00	1.28
45	10.0	17.61	1.65	1.00	1.25
50	10.0	16.27	1.70	1.00	1.21
55	10.0	15.15	1.74	1.00	1.18
60	10.0	14.19	1.78	1.00	1.15
120	10.0	8.44	2.08	1.00	0.93
180	10.0	6.22	2.26	1.00	0.79
240	10.0	5.02	2.38	1.00	0.70
300	10.0	4.24	2.48	1.00	0.63
360	10.0	3.70	2.56	1.00	0.57
420	10.0	3.30	2.62	1.00	0.52
480	10.0	2.98	2.68	1.00	0.47
540	10.0	2.73	2.73	1.00	0.44
600	10.0	2.52	2.78	1.00	0.40
660	10.0	2.35	2.82	1.00	0.37
720	10.0	2.20	2.86	1.00	0.34
780	10.0	2.07	2.89	1.00	0.32
840	10.0	1.96	2.92	1.00	0.29
900	10.0	1.86	2.95	1.00	0.27
960	10.0	1.77	2.98	1.00	0.25
1020	10.0	1.69	3.01	1.00	0.23
1080	10.0	1.62	3.03	1.00	0.21
1140	10.0	1.56	3.06	1.00	0.19
1200	10.0	1.50	3.08	1.00	0.18
1260	10.0	1.45	3.10	1.00	0.16
1320	10.0	1.40	3.12	1.00	0.15
1380	10.0	1.35	3.14	1.00	0.13
1440	10.0	1.31	3.16	1.00	0.12
5	50.0	115.77	0.70	1.70	2.06
10	50.0	68.84	1.00	1.70	1.84

duración (min)	Tiempo de retorno(años)	Intensidad (mm/h)	m 0.1437	n -0.7500	k 209.8556
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
15	50.0	50.79	1.18	1.70	1.71
20	50.0	40.93	1.30	1.70	1.61
25	50.0	34.62	1.40	1.70	1.54
30	50.0	30.20	1.48	1.70	1.48
35	50.0	26.90	1.54	1.70	1.43
40	50.0	24.34	1.60	1.70	1.39
45	50.0	22.28	1.65	1.70	1.35
50	50.0	20.59	1.70	1.70	1.31
55	50.0	19.17	1.74	1.70	1.28
60	50.0	17.96	1.78	1.70	1.25
120	50.0	10.68	2.08	1.70	1.03
180	50.0	7.88	2.26	1.70	0.90
240	50.0	6.35	2.38	1.70	0.80
300	50.0	5.37	2.48	1.70	0.73
360	50.0	4.68	2.56	1.70	0.67
420	50.0	4.17	2.62	1.70	0.62
480	50.0	3.77	2.68	1.70	0.58
540	50.0	3.46	2.73	1.70	0.54
600	50.0	3.19	2.78	1.70	0.50
660	50.0	2.97	2.82	1.70	0.47
720	50.0	2.78	2.86	1.70	0.44
780	50.0	2.62	2.89	1.70	0.42
840	50.0	2.48	2.92	1.70	0.39
900	50.0	2.36	2.95	1.70	0.37
960	50.0	2.24	2.98	1.70	0.35
1020	50.0	2.14	3.01	1.70	0.33
1080	50.0	2.05	3.03	1.70	0.31
1140	50.0	1.97	3.06	1.70	0.30
1200	50.0	1.90	3.08	1.70	0.28
1260	50.0	1.83	3.10	1.70	0.26
1320	50.0	1.77	3.12	1.70	0.25
1380	50.0	1.71	3.14	1.70	0.23
1440	50.0	1.66	3.16	1.70	0.22

Cuadro 27

Resumen estadístico

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99908628
Coeficiente de determinación R ²	0.9981734
R ² ajustado	0.99816169
Error típico	0.02396814
Observaciones	315

Cuadro 28

Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F	
Regresión	2	97.9457611	48.9728805	85248.5273	0	
Residuos	312	0.17923522	0.00057447			
Total	314	98.1249963				

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	2.32192055	0.00526101	441.344892	0	2.311569	2.3322721
Variable X 1	-0.75	0.00186284	-402.610427	0	0.75366532	0.74633468
Variable X 2	0.14373514	0.0015681	91.6618724	1.195E-227	0.14064975	0.14682054

Nota: Donde los valores de los coeficientes de la intercepción, variable 1 y variable 2, representan los valores de m, n y k respectivamente para el análisis de la regresión múltiple

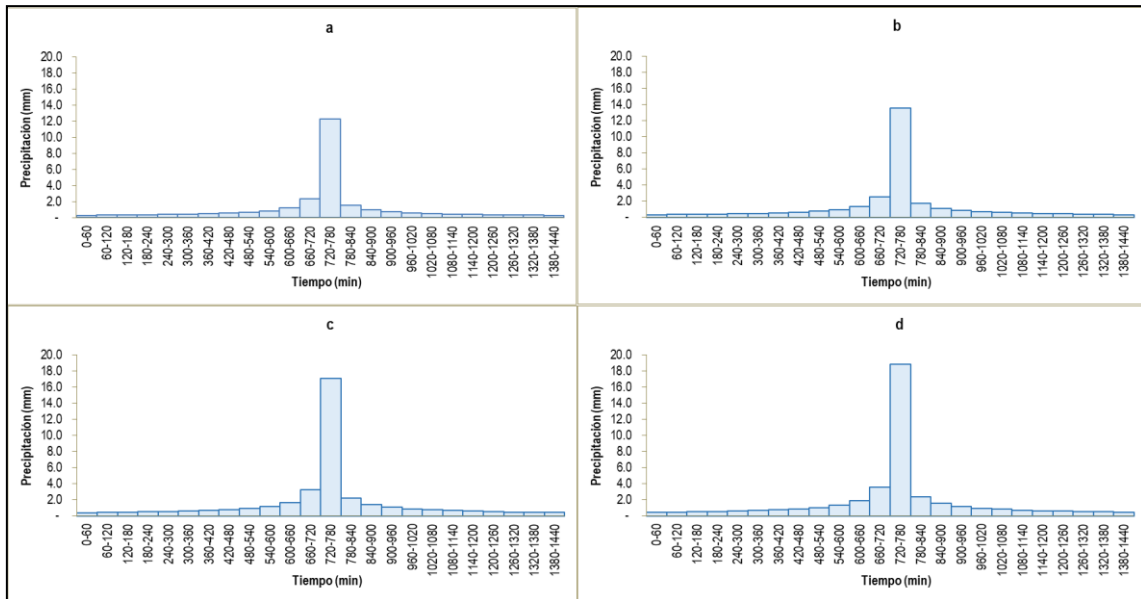
Cuadro 29

Precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno

DURACION min	INTENSIDAD mm/h	PROFUNDIDAD ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD INCREMENTAL mm	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
60	12.268	12.268	12.268	0.287	0.317	0.400	0.442
120	7.295	14.589	2.321	0.307	0.339	0.428	0.473
180	5.382	16.146	1.556	0.331	0.365	0.460	0.508
240	4.337	17.350	1.204	0.359	0.396	0.499	0.551
300	3.669	18.345	0.995	0.393	0.434	0.547	0.604
360	3.200	19.200	0.856	0.436	0.481	0.606	0.670
420	2.851	19.955	0.754	0.491	0.543	0.684	0.756
480	2.579	20.632	0.677	0.567	0.627	0.790	0.872
540	2.361	21.249	0.617	0.677	0.748	0.943	1.042
600	2.182	21.816	0.567	0.856	0.945	1.191	1.316
660	2.031	22.342	0.526	1.204	1.330	1.676	1.852
720	1.903	22.833	0.491	2.321	2.564	3.232	3.570
780	1.792	23.295	0.462	12.268	13.553	17.081	18.870
840	1.695	23.730	0.436	1.556	1.719	2.167	2.394
900	1.610	24.143	0.413	0.995	1.100	1.386	1.531
960	1.533	24.536	0.393	0.754	0.833	1.050	1.160
1020	1.465	24.911	0.375	0.617	0.681	0.858	0.948
1080	1.404	25.269	0.359	0.526	0.581	0.732	0.809
1140	1.348	25.613	0.344	0.462	0.510	0.643	0.710
1200	1.297	25.944	0.331	0.413	0.456	0.575	0.635
1260	1.251	26.262	0.318	0.375	0.414	0.522	0.576
1320	1.208	26.569	0.307	0.344	0.380	0.479	0.529
1380	1.168	26.866	0.297	0.318	0.352	0.443	0.490
1440	1.131	27.154	0.287	0.297	0.328	0.413	0.457

Gráfico 13

Hietograma de precipitación máxima de 24 horas para distintos periodos de retorno



Nota: (a) corresponde al periodo de retorno de 5 años, (b) al periodo de retorno de 10 años, (c) al periodo de retorno de 50 años y (d) al periodo de retorno de 100 años.

ANEXO 2

INFORME DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA



GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

PEYTON COMPANY SAC
GEO CENTER LAB

RUC: T-2001047884
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 50016193 - RESOLUCIÓN N° 007404-2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 339.128-1999)

Pag. 01 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO **Fecha** : 15/10/2024

Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH **Muestreado por** : Consultor

Técnico : M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACION **Coordenadas** : --- **Materia** : SM

Calicata : C-01 **Muestra** : Mab-01 **Profundidad** : 1.40

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa inicial seca (gr) = 3700.00 **% que pasa N°200** = 22.60

Masa Lavada y Seca (gr) = 2863.70 **Tamaño Max** = 3/4"

Masa Retenido 3" (gr) = 0.00

Abertura de tamices	RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
	ASTM E11	mm	Masa (gr)	%
BOLONES				
3"	75.000	0.00	0.00	0.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00
GRAVA				
Gruesa	3/4"	19.008	202.50	5.47
	3/8"	9.500	120.90	3.27
	# 4	4.750	240.10	6.49
	# 8	2.360	570.60	15.42
ARENA				
Media	# 16	1.180	608.50	16.45
	# 30	0.600	470.40	12.71
	# 50	0.300	269.50	7.28
	# 100	0.150	330.60	8.94
	# 200	0.075	50.60	1.37
Limos y Arcilla	< 200	0.000	836.3	22.60

DESCRIPCIÓN DE DATOS

Límite Líquido, LL: 19.65
Límite Plástico, LP: 16.34
Ind. de plasticidad, IP: 3.31
Cont. Humedad (%): 3.50

Clasificación SUCS : Arena limosa con grava SM

Clasificación AASHTO : A-1-b
Fragmentos de roca, grava y arena

Granulometría

Abertura Tamiz (mm)	% Grava	% Arena	% Fines
150	15.23	62.17	22.60
75	5.47	15.42	17.59
47.5	9.76	29.16	17.59
25	15.42	29.16	17.59
15	16.45	29.16	17.59
7.5	16.45	29.16	17.59
4.75	16.45	29.16	17.59
2.5	16.45	29.16	17.59
1.5	16.45	29.16	17.59
0.75	16.45	29.16	17.59
0.425	16.45	29.16	17.59
0.25	16.45	29.16	17.59
0.15	16.45	29.16	17.59
0.075	16.45	29.16	17.59

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
NICOLÉS HYDROSTRUCT SAC

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C, LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH Cel: 932203111 www.peytoncompany.com

GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

PEYTON COMPANY SAC
GEO CENTER LAB

RUC: T-2001047884
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 50016193 - RESOLUCIÓN N° 007404-2023

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
(NTP 339.127-1998)

Pag. 02 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO **Fecha** : 15/10/2024

Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH **Muestreado por** : Consultor

Técnico : M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACION **Coordenadas** : --- **Materia** : SM

Calicata : C-01 **Muestra** : Mab-01 **Profundidad** : 1.40

DESCRIPCIÓN	M-01	M-02
Peso Suelo Humedo + Contenedor	Mcws	111.30
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs	107.90
Peso Contenedor	Mc	11.10
Peso Suelo Seco (Ms=Mcs - Mc)	Ms	96.80
Peso del Agua (Mw=Mcs - Mcs)	Mw	3.40
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w	3.51

HUMEDAD PROMEDIO (%) **3.50**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
NICOLÉS HYDROSTRUCT SAC

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C, LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH Cel: 932203111 www.peytoncompany.com



GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE


 RUC: N° 20010467866
 REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 300161193 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
 (NTP 339.129-1999)

Pag.03 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"
Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO **Fecha** : 15/10/2024
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH **Muestreado por** : Consultor Técnico: M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACIÓN **Coordenadas** : --- **Materia** : SW SM
Calicata : C-03 **Muestra** : Mab-01 **Profundidad** : 1.50

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

ENSAYO DE LABORATORIO / DATOS	LÍMITE LÍQUIDO
N° de frasco	NP
N° de golpes	
(1) P. Suelo Húmedo + Rec. (gr)	
(2) P. Suelo Seco + Rec. (gr)	
(3) Peso del Recipiente (gr)	
(4) Peso del agua (gr) (1) - (2)	
(5) P. Suelo Seco (gr) (2) - (3)	
(6) C. de Humedad (%) (4) / (5)	

LÍMITE LÍQUIDO



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

ENSAYO DE LABORATORIO / DATOS	LÍMITE PLÁSTICO		
N° de frasco	1	2	3
(1) P. Suelo Húmedo + Rec. (gr)	NP		
(2) P. Suelo Seco + Rec. (gr)			
(3) Peso del Recipiente (gr)			
(4) Peso del agua (gr) (1) - (2)			
(5) P. Suelo Seco (gr) (2) - (3)			
(6) C. de Humedad (%) (4) / (5)			

Límite Líquido (L.L.) = NP Límite Plástico (L.P.) = NP Índice Plasticidad (I.P.) = NP

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C, LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH Cat: 932203111 geo-center.lab@gmail.com www.peytoncompany.com

GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE


 RUC: N° 20010467866
 REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 300161193 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS DE UN SUELO
 (NTP 339.131-1998)

Pag.04 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"
Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO **Fecha** : 15/10/2024
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH **Muestreado por** : Consultor Técnico: M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACIÓN **Coordenadas** : --- **Materia** : SW SM
Calicata : C-03 **Muestra** : Mab-01 **Profundidad** : 1.50

MUESTRA DE ENSAYO	M-01	M-02
Porción de muestra de ensayo	Pasa Malla #4	Pasa Malla #4
Tipo de frasco Utilizado	Picnometro 500 ml	Picnometro 500 ml
Masa picnometro + agua	650.00	650.00
Masa picnometro + agua + suelo	728.50	728.00
Masa muestra seco al horno + recp.	130.00	130.00
Masa recipiente	0.00	0.00
Masa muestra de suelo seco al horno (M _s)	130.00	130.00
Peso Especifico Relativo de Solidos (G _s =M _s /(M ₀ -M _s))	2.92	2.50

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS (G_s) **2.51**

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C, LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH Cat: 932203111 geo-center.lab@gmail.com www.peytoncompany.com



GOTÉCNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company Sac
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010472866
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 501616185 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 339.128-1999)

Pag. 01 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"
Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha : 15/10/2024
Muestreado por : Consultor
Técnico : M.E.C

Descripción : CLASIFICACION **Coordenadas** : **Muestra** : Mab-01 **Material** : GW GC
Calicata : C-04 **Profundidad** : 1.50

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa inicial seca (gr)	= 3700.00	% que pasa N°200 = 5.81
Masa Lavada y Seca (gr)	= 3484.90	Tamaño Max = 1 1/2"
Masa Retenido 3" (gr)	= 0.00	

Abertura de tamices	RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
	ASTM E11	mm	Masa (gr)	%
BOLONES				
3"	37.500	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	23.400	443.10	11.98	88.02
3/4"	19.000	399.50	10.80	77.23
3/8"	9.500	474.20	12.82	64.41
# 4	4.750	429.30	11.60	52.81
ARENA				
Gruesa # 10	2.000	473.10	12.79	59.98
Media # 16	1.180	527.40	14.25	74.23
# 40	0.425	420.60	11.37	85.60
# 60	0.300	131.20	3.55	89.15
Fina # 100	0.150	126.40	3.42	92.56
# 200	0.075	60.10	1.62	94.19
< 200	0.000	215.10	5.81	100.00

DESCRIPCIÓN DE DATOS

Limite Líquido, LL : NP
Limite Plástico, LP : NP
Índ. de plasticidad, IP : NP
Cont. Humedad (%) : 2.24

Clasificación SUCS : Grava bien graduada con arcilla y limo con arena GW GC
Clasificación AASHTO : A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

Granulometría

Abertura Tamiz (mm)	% Grava	% Arena	% Finos
100.00	47.19	47.00	5.81

% Gruesa :	22.77	D60 (mm) =	7.69
% Fina :	24.42	D30 (mm) =	1.42
% Gruesa :	12.79	D10 (mm) =	0.26
% Media :	25.62	Coefficiente uniformidad (Cu) =	29.31
% Fina :	8.59	Coefficiente compacidad (Cc) =	1.00

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
NH NICOLÉS HYDROECONSTRUCT SAC.

LABORATORIO VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUÁRAZ - HUÁRAZ - ANCASH

Tel: 932203111 geocenter.lab@gmail.com www.peytoncompany.com

GOTÉCNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company Sac
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010472866
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 501616185 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
(NTP 339.127-1998)

Pag. 02 de 04 Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"
Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha : 15/10/2024
Muestreado por : Consultor
Técnico : M.E.C

Descripción : CLASIFICACION **Coordenadas** : **Muestra** : Mab-01 **Material** : GW GC
Calicata : C-04 **Profundidad** : 1.50

DATOS DE LA MUESTRA

DESCRIPCIÓN	M-01	M-02
Peso Suelo Humedo + Contenedor	Mcws 214.60	136.50
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs 210.50	134.10
Peso Contenedor	Mc 31.20	24.70
Peso Suelo Seco (Ms=Mcs - Mc)	Ms 179.30	109.40
Peso del Agua (Mw=Mws - Mcs)	Mw 4.10	2.40
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w 2.29	2.19

HUMEDAD PROMEDIO (%) 2.24

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
NH NICOLÉS HYDROECONSTRUCT SAC.

LABORATORIO VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUÁRAZ - HUÁRAZ - ANCASH

Tel: 932203111 geocenter.lab@gmail.com www.peytoncompany.com



GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company Sac
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010467866
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 500160165 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 339.128-1999)

Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha : 15/10/2024
Muestreado por : Consultor
Técnico : M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACION
Calicata : C-05

Coordenadas : ---
Muestra : Mab-01

Material : SM
Profundidad : 1.50

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Masa inicial seca (gr) = 3650.00
Masa Lavada y Seca (gr) = 2792.50
Masa Retenido 3" (gr) = 0.00

% que pasa N°200 = 23.49
Tamaño Max = 1 1/2"

Abertura de tamices	RETENIDO EN CADA TAMIZ		PORCENTAJE ACUMULADO	
	ASTM E11	mm	Masa (gr)	%
				P
				Pasante
GRAVA				
	1"	37.500	0.00	0.0
	1 1/2"	23.400	130.20	3.57
	3/4"	19.000	86.10	2.36
	3/8"	9.500	132.60	3.69
	# 4	4.750	243.20	6.66
	# 10	2.000	550.10	15.07
ARENA				
	# 16	1.180	563.10	15.43
	# 40	0.425	470.20	12.88
	# 50	0.300	253.40	6.94
	# 100	0.150	315.10	8.63
	# 200	0.075	48.50	1.33
	< 200	0.000	857.50	23.49
			100.00	0.00
LIPOS Y ARCILLA				

Granulometría

DESCRIPCIÓN DE DATOS

Limite Líquido, LL : 23.47
Limite Plástico, LP : 20.03
Ind. de plasticidad, IP : 3.44
Cont. Humedad (%) : 4.64

Clasificación SUCS : Arena limosa con grava SM

Clasificación AASHTO : A-1-b
Fragmentos de roca, grava y arena

% GRAVA	16.23	% Gruesa :	5.93	D60 (mm) =	1.54
		% Fina :	10.30	D30 (mm) =	0.24
% ARENA	60.28	% Gruesa :	15.07	D10 (mm) =	0.03
		% Media :	28.31	Coefficiente uniformidad (Cu) =	48.15
		% Fina :	16.90	Coefficiente compacidad (Cc) =	1.17
% FINOS	23.49				

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH
Tel: 932203111 | geocenter.lab@gmail.com | www.peytoncompany.com

GEOTECNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company Sac
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010467866
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 500160165 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
(NTP 339.127-1998)

Solicitud N° H-1175-2024

Proyecto : "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita : HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar : CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha : 15/10/2024
Muestreado por : Consultor
Técnico : M.E.C

DATOS DE LA MUESTRA

Descripción : CLASIFICACION
Calicata : C-05

Coordenadas : ---
Muestra : Mab-01

Material : SM
Profundidad : 1.50

DESCRIPCIÓN	M-01	M-02
Peso Suelo Humedo + Contenedor	Mws	117.30
Peso Suelo Seco + Contenedor	Mcs	114.40
Peso Contenedor	Mc	53.10
Peso Suelo Seco (Ms=Mcs - Mc)	Ms	61.30
Peso del Agua (Mw=Mws - Ms)	Mw	2.90
Contenido de Humedad (w=Mw/Ms)	w	4.73

HUMEDAD PROMEDIO (%) : 4.64

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH
Tel: 932203111 | geocenter.lab@gmail.com | www.peytoncompany.com



GEOTÉCNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company SAc
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010467886
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 50010185 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
(NTP 339.129-1999)

Solicitud N°: H-1175-2024

Proyecto: "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita: HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar: CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha: 15/10/2024
Muestreado por: Consultor
Técnico: M.E.C

Descripción: CLASIFICACION
Calicata: C-05

Coordenadas: ---
Muestra: Mab-01

Material: SM
Profundidad: 1.50

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO

ENSAYO DE LABORATORIO / DATOS	LÍMITE LIQUIDO			
	1	2	P	4
N° de frasco	11	17	27	37
N° de golpes				
(1) P. Suelo Húmedo + Rec. (gr)	44.42	44.32	43.44	43.62
(2) P. Suelo Seco + Rec. (gr)	41.31	41.29	40.77	41.18
(3) Peso del Recipiente (gr)	29.90	29.27	29.20	29.95
(4) Peso del agua (gr) (1) - (2)	3.11	3.03	2.67	2.44
(5) P. Suelo Seco (gr) (2) - (3)	11.41	12.02	11.57	11.23
(6) C. de Humedad (%) (4) / (5)	27.26	25.21	23.08	21.73

LÍMITE LIQUIDO

DETERMINACION DEL LIMITE PLÁSTICO

ENSAYO DE LABORATORIO / DATOS	LÍMITE PLÁSTICO		
	1	2	3
N° de frasco	36.31	36.93	36.62
(1) P. Suelo Húmedo + Rec. (gr)	35.18	35.66	35.39
(2) P. Suelo Seco + Rec. (gr)	29.51	29.28	29.32
(3) Peso del Recipiente (gr)	1.13	1.27	1.23
(4) Peso del agua (gr) (1) - (2)	5.67	6.38	6.07
(5) P. Suelo Seco (gr) (2) - (3)	19.93	19.91	20.26
(6) C. de Humedad (%) (4) / (5)			

Limite Líquido (L.L.) = 23.47 | Limite Plástico (L.P.) = 20.03 | Índice Plasticidad (I.P.) = 3.44

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH | Tel: 932203111 | geo-center.lab@gmail.com | www.peytoncompany.com

GEOTÉCNIA Y ENSAYO DE MATERIALES
ANÁLISIS DE AGUA, SUELO Y MEDIO AMBIENTE

Peyton Company SAc
GEO CENTER LAB

RUC: N° 28010467886
REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 50010185 - RESOLUCIÓN N° 007804-2023

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LAS PARTICULAS SOLIDAS DE UN SUELO
(NTP 339.131-1998)

Solicitud N°: H-1175-2024

Proyecto: "MODELO DE PROPAGACIÓN DEL FLUJO DE DETRITOS POR LLUVIAS EXTREMAS EN CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH"

Solicita: HILDEBRANT YHOLINO FLORES TRUJILLO
Lugar: CHASQUITAMBO - BOLOGNESI - ANCASH

Fecha: 15/10/2024
Muestreado por: Consultor
Técnico: M.E.C

Descripción: CLASIFICACION
Calicata: C-05

Coordenadas: ---
Muestra: Mab-01

Material: SM
Profundidad: 1.50

DATOS DE LA MUESTRA

	M-01	M-02
MUESTRA DE ENSAYO		
Porción de muestra de ensayo	Pasa Malla #4	Pasa Malla #4
Tipo de frasco Utilizado	Picnometro 500 ml	Picnometro 500 ml
Masa picnometro + agua	gr (Ma) 850.00	P 650.00
Masa picnometro + agua + suelo	gr (Mb) 720.10	P
Masa muestra seca al horno + recip.	gr (A) 130.00	130.00
Masa recipiente	gr (B) 0.00	0.00
Masa muestra de suelo seco al horno (Mo=A-B)	130.00	130.00
Peso Especifico Relativo de Solidos (Gs=Ma)/(M+Ma-Mb)	2.16	2.16

PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Gs) 2.16

LABORATORIO: VILLÓN ALTO MZ. C. LOTE 7 - HUARAZ - HUARAZ - ANCASH | Tel: 932203111 | geo-center.lab@gmail.com | www.peytoncompany.com



ANEXO 3

PANEL FOTOGRAFICO





Fotografía 1: Emergencia del 12 de marzo del 2023 a consecuencias del fenómeno Yaku

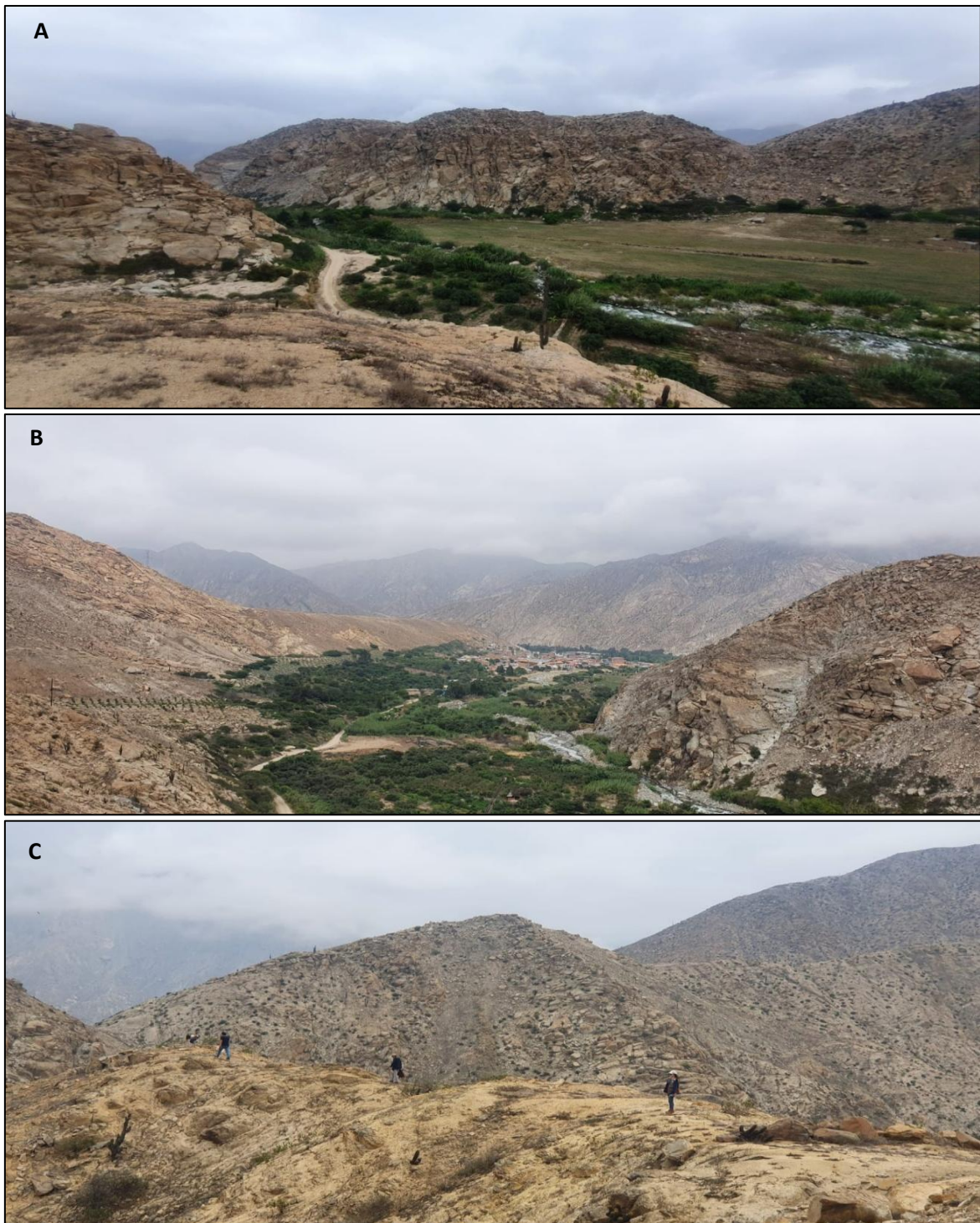
Nota: (A) Pérdida de cultivos permanentes, (B) Inserción del flujo de detritos hacia la zona urbana y (C) daños a la línea de conducción del sistema de agua potable.



Fotografía 2

Fotogrametría en el área de estudio

Nota: (A) vista de la localidad de Chasquitambo, (B), (C) y (D) establecimiento de puntos de control con un GPS diferencial, y (E) levantamiento topográfico mediante uso de RPAS.



Fotografía 3

Identificación de áreas de aporte de sedimentos

Nota: (A) área de aporte de sedimentos con huellas hídricas recientes, (B) aguas arriba del río Purísima, y (C) cimas de la UH purísima con signos de erosión pluvial marcado.



Fotografía 4

Calicatas para la extracción de muestras de suelo

Nota: (A) muestreo en CA1, (B) muestreo en CA2, (C) muestreo en CA3, (D) muestreo en CA4 y (E) muestreo en CA5.