

# UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



---

**UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA  
EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA  
QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO –  
DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO**

---

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

INGENIERÍA HIDRÁULICA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

INGENIERO CIVIL

**TESISTA:**

SANTIAGO TORRES, ELIZABETH MILAGROS

**ASESOR:**

ING. PAUCAR Y MONTENEGRO, CLIFTON

HUÁNUCO – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis, primero a Dios por darme vida, salud, fuerza y valor para lograr mis metas. Asimismo, a mi madre Estela Torres Romero, por su gran amor y apoyo incondicional, y ser la persona que siempre ha estado a mi lado alentándome para estudiar y vencer todos los obstáculos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios, por su amor, cuidado y las bendiciones, con las cuales me ha colmado siempre. A mi mamá Estela y mi sobrinito Yair, los cuales llenan de alegría mi vida. A mi asesor de tesis, ing. Clifton Paucar y Montenegro, por brindarme su tiempo; así como los consejos y guía para mejorar la presente investigación.

## RESUMEN

Los flujos de detritos desencadenados por precipitaciones de lluvia son uno de los tipos de movimientos en masa más frecuentes y devastadores, tanto en nuestro país como alrededor del mundo. De igual forma, tal como ocurre en la zona de estudio de esta investigación, estos flujos se originan en regiones montañosas y luego se depositan en abanicos o llanuras aluviales, donde se encuentran ubicados los asentamientos humanos. Además, si se sabe que la lluvia es el evento que dispara con mayor frecuencia estos movimientos; ya que, un aumento en las presiones de los poros del suelo reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas, esto equivale a una reducción de resistencia al corte y, con ello una baja en la estabilidad y un eventual fenómeno de movimientos de flujo de detritos. Por tal motivo, es fundamental investigar sobre la relación entre la precipitación de lluvia y la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos. Asimismo, se han realizado diversas investigaciones para entender mejor esta relación; además, para la aplicación de umbrales empíricos de lluvia es esencial encontrar umbrales propios para cada región, de acuerdo a sus condiciones locales, así como combinarlos con las condiciones de amenaza de la región para la cual fueron definidos. Por ende, con estas herramientas sería posible con antelación tomar acciones preventivas y de mitigación; con el fin de diseñar modelos de seguimiento, pronóstico y sistemas de alerta temprana, que permitan controlar y reducir los efectos de estos procesos.

En relación con este tema, se realizó una investigación aplicada, de tipo cuantitativa y nivel explicativo; igualmente, también es de tipo campo, preexperimental, hipotético-deductivo, longitudinal-retrospectiva y diacrónica. Asimismo, tuvo como objetivo determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.



Por otro lado, el presente trabajo desarrolló el método científico para la demostración de las hipótesis formuladas mediante la observación, que busca obtener información cuantificable y verificable, y la experimentación; siguiendo un proceso lógico y sistemático, por ende, esto ayudó a verificar los resultados obtenidos y ampliar los conocimientos, en cuanto a movimientos de flujo de detritos detonados por precipitaciones de lluvia (LA y LAA), definidos a partir de un modelo empírico-estadístico. Luego de realizar la metodología y los procedimientos respectivos, se hallaron los siguientes resultados: los umbrales críticos mínimos, más catastróficos, que detonan movimientos de flujo de detritos resultan ser la lluvia acumulada (LA1) de 18 días, que varía desde 7.12 mm hasta 64.60 mm; y LA2 de 5 días, en un rango de 12.91 mm hasta 47.18 mm. Adicionalmente, la hipótesis general se comprobó mediante un enfoque empírico-estadístico que relaciona la precipitación de lluvia con movimientos de flujo de detritos, a esta relación se incorporó la condición de humedad antecedente del suelo; así como algunos parámetros geomorfológicos y geotécnicos (parámetros físicos). Asimismo, a través de la calibración y la validación se definió umbrales de forma objetiva, tal como maximizar y mejorar la capacidad de desempeño predictivo. Con lo cual, se logró reducir los posibles errores referentes al seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco. También, a través del análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED), se determinó que en la parte baja de la quebrada se encuentran los niveles muy alto y alto; en la parte media, se hallaron los niveles alto y medio; y en la parte alta, se encontró un nivel alto de peligrosidad, asimismo, estos niveles poseen la mayor predominancia de área en cada una de las partes de la quebrada. Por otra parte, también se hicieron los mapas de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos detonados por la precipitación máxima en 24 horas y el umbral crítico de lluvia acumulada (LA1) de 18 días, en función de las

máximas profundidades y velocidades que genera el flujo de detritos, en la simulación computacional del programa FLO-2D. Este modelo mencionado, presentó tres niveles, los cuales son bajo, medio y alto, teniendo como preponderante los niveles de peligro medio y alto, en los recorridos de los cauces.

**Palabras claves:** calibración y validación de umbrales de lluvia, flujo de escombros, lluvia acumulada antecedente, lluvia acumulada detonante, niveles de peligro ante movimientos de flujo de detritos.

## ABSTRACT

Debris flows caused by rainfall events are one of the most frequent and devastating types of mass movements, both in our country and around the world. As in the case of the study area, these flows originate in mountainous regions and then deposit on fans or alluvial plains where human settlements are located. It is also known that rainfall is the most common event that triggers these movements. An increase in the pore pressure of the soil reduces the effective stresses between the particles, leading to a decrease in shear strength and, consequently, a decrease in stability and the eventual occurrence of debris flow phenomena. For this reason, it is essential to investigate the relationship between rainfall and the occurrence of debris flows. Numerous studies have been conducted to better understand this relationship. In addition, for the application of empirical rainfall thresholds, it is crucial to find specific thresholds for each region based on its local conditions and to combine them with the hazard conditions of the region for which they have been defined. With these tools, it would then be possible to take preventive and mitigating measures in advance in order to develop monitoring models, forecasts, and early warning systems that make it possible to control and reduce the effects of these processes.

It was an applied research study, quantitative and explanatory in nature. It was also a field study, pre-experimental, hypothetical-deductive, longitudinal-retrospective, and diachronic. Its objective was to identify rainfall thresholds as triggering factors for monitoring and forecasting debris flow movements in the Rosayoc/Batán ravine, San Rafael district, Ambo province, and Huánuco department. In addition, this study developed the scientific method of testing hypotheses formulated through observation with the aim of obtaining quantifiable and verifiable information through experimentation, following a logical and systematic process. In this way, the results obtained could be verified, and the

knowledge of rain-induced debris flow movements (LA and LAA), defined on the basis of an empirical-statistical model, could be extended. After implementing the appropriate methodology and procedures, the following results were obtained: the critical minimum thresholds that trigger the most catastrophic debris flow movements were found to be the accumulated rainfall (LA1) over 18 days, ranging from 7.12 mm to 64.60 mm, and LA2 over 5 days, ranging from 12.91 mm to 47.18 mm. In addition, the general hypothesis was confirmed by an empirical-statistical approach that relates rainfall to debris flow movements, taking into account the antecedent soil moisture condition as well as certain geomorphological and geotechnical (physical) parameters. Calibration and validation establish objectively defined thresholds to maximize and improve forecast performance. This has helped to reduce potential errors in monitoring and forecasting debris flow movements in the Rosayoc/Batán ravine, San Rafael district, Ambo province, and Huánuco department. Furthermore, by analyzing and evaluating the hazard levels for debris flow movements according to the hierarchical analysis process (CENEPRED), it was determined that the lower part of the ravine has very high and high hazard levels, the middle part has high and moderate levels, and the upper part has a high hazard level. In addition, these levels have the highest predominance of area in each section of the gorge. Hazard maps were also produced for debris flow movements triggered by the maximum 24-hour rainfall and the critical threshold of accumulated rainfall (LA1) over 18 days, based on the maximum depths and velocities generated by the debris flow in the computational simulation using the FLO-2D program. This model represented three levels: low, moderate, and high, with the moderate and high hazard levels prevailing along the channel paths.

**Keywords:** calibration and validation of rainfall thresholds; debris flow; antecedent accumulated rainfall; triggering accumulated rainfall; hazard levels for debris flow movements.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>18</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>25</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>26</b>
<b>LISTA DE ECUACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>44</b>
1.1 Fundamentación del problema de investigación .....	44
1.2 Formulación del problema de investigación general y específicos .....	46
1.2.1 Problema General. ....	47
1.2.2 Problemas Específicos. ....	47
1.3 Formulación del objetivo general y específicos.....	48
1.3.1 Objetivo General. ....	48
1.3.2 Objetivos Específicos. ....	48
1.4 Justificación .....	48
1.5 Limitaciones .....	54
1.6 Formulación de hipótesis general y específica.....	62
1.6.1 Hipótesis General.....	62
1.6.2 Hipótesis Específicas. ....	62
1.7 Variables .....	63
1.8 Definición teórica y operacionalización de variables .....	64
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>66</b>
2.1 Antecedentes .....	66
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	66
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	69

2.1.3 Antecedentes locales. ....	71
<b>2.2 Bases teóricas</b> .....	<b>73</b>
2.2.1 Movimientos en masa.....	73
2.2.1.1 Tipos de movimientos en masa. ....	74
2.2.2 Los flujos.....	79
2.2.2.1 Tipos de flujos. ....	80
2.2.2.2 Flujos canalizados. ....	83
2.2.3 Evaluación de la lluvia como factor detonante a movimientos de flujos de detritos. ....	85
2.2.4 Umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos.....	87
2.2.4.1 Umbrales empíricos-estadísticos de precipitación de lluvia.....	88
2.2.4.1.1 Determinación de los umbrales de precipitación de lluvia.....	92
A. Construcción de series parciales de los umbrales empíricos de precipitación de lluvia.....	92
B. Umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (ecuación de umbrales).....	94
2.2.4.2 Calibración de umbrales estadísticos de precipitación de lluvia. ....	95
2.2.4.3 Validación de umbrales estadísticos de precipitación de lluvia.....	97
2.2.4.4 Umbral mínimo o máximo de precipitación de lluvia.....	102
2.2.4.5 Análisis hidrológico de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia, que detonan movimientos de masa. ....	102
2.2.5 Factores geotécnicos y morfométricos. ....	103
2.2.5.1 Conceptos de la Mecánica de Suelos. ....	104
2.2.6 Hidráulica torrencial: flujo de detritos. ....	107
2.2.6.1 Tipos de fluidos. ....	107
2.2.6.2 Taxonomía de flujos de lodo y escombros. ....	109
2.2.6.3 Clasificación del tipo de material y flujos de escombros según la concentración de sedimento.....	111
2.2.6.4 Flujo de detritos o escombros (Debris flows).....	112
2.2.6.5 Hidrología de los flujos de detritos. ....	119
2.2.6.5.1 Determinación del caudal líquido proveniente de precipitaciones de lluvia. ....	126
2.2.6.5.2 Método del hidrograma de escorrentía superficial (Hidrograma unitario sintético del SCS). ....	128
A. Hietograma sintético de la SCS para la distribución de tormentas. ....	128

B. Hidrograma unitario sintético triangular según el método SCS. ....	130
C. Corrección según el grado de humedad previa del suelo. ....	133
D. Hidrograma adimensional sintético de la SCS para la determinación del caudal líquido. ....	137
2.2.6.6 Hidráulica de los Flujos de Detritos. ....	140
2.2.6.6.1 Mecánica de los flujos de detritos. ....	140
2.2.6.6.2 Ecuaciones generales de gobierno en los flujos de detritos. ....	143
2.2.6.6.3 Reología de los flujos de detritos. ....	145
A. Parámetros reológicos. ....	148
2.2.6.6.4 Modelo Reológico. ....	152
2.2.6.6.5 Concentración volumétrica de sólidos. ....	157
A. Propiedades de los flujos de sedimentos hiperconcentrados (FLO-2D Software, Inc., 2021):. ....	158
2.2.6.6.6 Volumen de sólidos del flujo de detritos. ....	163
2.2.6.6.7 Estimación de los caudales máximos de los flujos de detritos. ....	164
A. Obtención del caudal de flujo según O'Brien (2006). ....	164
2.2.7 Gestión del Riesgo de Desastres (GRD). ....	166
2.2.7.1 Medidas de control, prevención y reducción ante movimientos de masa. ....	167
2.2.7.2 Sistemas de Alerta Temprana en la prevención de movimientos de flujo de detritos (SAT). ....	168
2.2.7.3 Susceptibilidad. ....	170
2.2.7.3.1 Detonante: ....	170
2.2.7.3.2 Peligrosidad o Amenaza: ....	170
2.2.7.4 Protocolo de CENEPRED. ....	171
2.2.7.5 Determinación del Peligro. ....	173
2.2.7.5.1 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización de movimientos en masa: ....	173
2.2.7.5.2 Parámetros y descriptores ponderados para la estimación de la susceptibilidad: ....	176
2.2.7.5.3 Estimación de la susceptibilidad: ....	182
2.2.7.5.4 Estimación de la peligrosidad: ....	182
2.2.8 Sistemas de Información Geográfica (QGIS). ....	184
2.2.8.1 QGIS. ....	184
2.2.8.2 ArcGis. ....	184
2.2.9 Modelos numéricos de simulación. ....	185

2.2.9.1 Modelo Flo-2D: Simulación de Flujos de Detritos.....	185
<b>2.3 Bases conceptuales.....</b>	<b>187</b>
2.3.1 Cuenca hidrográfica.....	187
2.3.1.1 Divisoria de aguas.....	188
2.3.1.2 Río principal.....	189
2.3.1.3 Afluentes.....	191
2.3.1.4 Efluentes.....	191
2.3.1.5 Partes de una cuenca.....	191
2.3.1.6 Clases o tipos de cuencas hidrográficas.....	192
2.3.2 Definición de quebrada.....	196
2.3.3 Flujo turbulento.....	198
2.3.4 Talud o Ladera.....	199
2.3.5 Precipitación.....	199
2.3.6 Pronóstico.....	200
2.3.7 Servicio de seguimiento.....	200
<b>2.4 Bases epistemológicas, o bases antropológicas.....</b>	<b>200</b>
2.4.1 Bases epistemológicas.....	200
2.4.2 Bases antropológicas.....	200
<b>CAPÍTULO III. METODOLÓGÍA .....</b>	<b>202</b>
<b>3.1 Ámbito.....</b>	<b>202</b>
3.1.1 Zonas críticas con peligro inminente de movimientos de masa en el distrito de San Rafael. ...	202
3.1.2 Descripción de la zona de estudio.....	207
3.1.3 Características generales de la zona de estudio.....	209
3.1.4 Pobladores de la localidad cercana al área de estudio.....	217
<b>3.2 Población .....</b>	<b>218</b>
<b>3.3 Muestra .....</b>	<b>218</b>
3.3.1 Muestreo.....	218
<b>3.4 Nivel y tipo de estudio.....</b>	<b>219</b>
3.4.1 Por el fin que persiguen.....	219
3.4.2 Por los tipos de datos analizados.....	220
3.4.3 Por el nivel de profundidad.....	220
3.4.4 Por los medios para obtener los datos.....	220
3.4.5 Por la manipulación de variables.....	220



3.4.6 Según el tipo de inferencia.....	221
3.4.7 Por el período de tiempo en el que se realiza.....	221
3.4.8 Por el tiempo en que se efectúa.....	221
3.5 Diseño de investigación.....	221
3.6 Métodos, técnicas e instrumentos.....	222
3.6.1 Métodos.....	222
3.6.2 Técnicas.....	227
3.6.3 Instrumentos.....	229
3.7 Validación y confiabilidad del instrumento.....	229
3.8 Procedimiento.....	240
3.8.1 Primer paso: determinación de las estaciones meteorológicas de la quebrada para la realización del estudio hidrológico de la quebrada Rosayoc/Batán.....	240
3.8.1.1 Características de la cuenca.....	240
3.8.1.1.1 Delimitación hidrográfica de las subcuencas del distrito de San Rafael.....	240
3.8.1.1.2 Zonas climáticas de la microcuenca Rosayoc/Batán.....	244
3.8.1.1.3 Zonas ecológicas o zonas de vida biogeográficas de la microcuenca Rosayoc/Batán.....	245
3.8.1.2 Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco en funcionamiento para la regionalización.....	247
3.8.1.3 Red de estaciones hidrometeorológicas.....	247
3.8.1.4 Determinación de las regiones homogéneas del departamento de Huánuco y la zona de estudio.....	251
3.8.1.4.1 Agrupación de las estaciones meteorológicas mediante el método clúster.....	252
3.8.1.4.2 Estaciones que se ubican en regiones homogéneas a la región donde se encuentra la estación San Rafael.....	259
3.8.1.4.3 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico.....	261
3.8.2 Segundo paso: determinación de umbrales críticos de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos.....	263
3.8.2.1 Relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos.....	263
3.8.2.2 Construcción de las series parciales de los umbrales empíricos de lluvia.....	265
3.8.2.3 Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA).....	271

3.8.2.4 Validación de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA). ....	275
3.8.2.5 Análisis hidrológico de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA). .....	284
3.8.3 Tercer paso: análisis hidrológico y determinación de las precipitaciones máximas de 24 horas para distintos periodos de retorno. ....	285
3.8.3.1 Tratamiento y evaluación de la información pluviométrica. ....	285
3.8.3.2 Análisis de consistencia y análisis estadístico de consistencia de las estaciones seleccionadas. ....	287
3.8.3.3 Calidad, extensión y consistencia de la información meteorológica (datos de precipitación).....	290
3.8.3.3.1 Métodos de completación o relleno de datos faltantes (pluviométricos): .....	290
3.8.3.4 Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss).....	298
3.8.3.5 Prueba de datos dudosos (Outliers).....	301
3.8.3.6 Análisis hidrológico estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990- 2019) en 24 horas. ....	305
3.8.3.6.1 Ajuste de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) a distintas funciones de probabilidad. ....	305
3.8.3.6.2 Prueba de bondad de ajuste. ....	307
3.8.3.6.3 Cálculo de precipitaciones máximas en 24 horas, con sus respectivas intensidades, para distintos periodos de retorno.....	310
3.8.3.7 Diseño de tormentas mediante relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). .....	313
3.8.4 Cuarto paso: estudio morfométrico de la microcuenca Rosayoc/Batán. ....	317
3.8.5 Quinto paso: hidrograma unitario del SCS para la determinación del caudal líquido de escorrentía. .....	318
3.8.6 Sexto paso: simulación computacional con FLO-2D mediante la hidráulica de los flujos de detritos .....	318
3.8.7 Séptimo paso: gestión de riesgo de desastres – análisis y evaluación de la peligrosidad. ....	319
3.8.8 Octavo paso: mapa de peligro. ....	319
3.9 Tabulación y análisis de datos.....	319
3.10 Consideraciones éticas.....	320
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.....</b>	<b>321</b>

4.1 Umbrales críticos de precipitación de lluvia (LA y LAA), que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán .....	321
4.4.1 Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA).....	321
4.4.2 Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA). .....	322
4.2 Precipitaciones máximas multianuales en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán .....	323
4.3 Parámetros morfométricos de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	325
4.4 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir de los umbrales críticos de lluvia .....	333
4.4.1 Clasificación de las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC), en función de los umbrales mínimos de la lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán.....	333
4.4.2 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir del umbral mínimo de lluvia acumulada antecedente (LAA). .....	335
4.4.3 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir del umbral mínimo de lluvia acumulada (LA).....	341
4.5 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir de la precipitación máxima multianual en 24 horas .....	357
4.6 Resultados de la simulación computacional (FLO-2D) del movimiento de flujos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán .....	360
4.6.1 Parámetros geotécnicos.....	360
4.6.2 Parámetros reológicos.....	363
4.6.3 Gravedad específica del suelo.....	369
4.6.4 Coeficiente de rugosidad de Manning (n). .....	370
4.6.5 Datos para la simulación computacional (FLO-2D) del movimiento de flujos de detritos.....	371
4.7 Volúmenes y caudales del flujo de detritos detonado por los umbrales críticos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán.....	376
4.8 Máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por los umbrales críticos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	390
4.9 Volúmenes y caudales del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán .....	392

4.10 Máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán .....	396
4.11 Análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED) .....	397
4.11.1 Mapa de peligro ante movimientos de flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán a escala local, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED) .....	413
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>423</b>
5.1 Comparación de los resultados .....	423
5.1.1 Comparación entre los umbrales mínimos LA y las precipitaciones máximas diarias .....	423
5.1.2 Comparación de los volúmenes, las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, detonados por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, así como LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 25 años. ....	424
5.1.3 Comparación de los volúmenes, las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años. ....	432
5.1.4 Comparación entre los volúmenes de sedimentos del flujo de detritos, encontrados por la municipalidad distrital de San Rafael y detonados por los umbrales mínimos LA1 de 5 y LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 20 años.....	437
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>441</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>447</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>450</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>474</b>
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	
ANEXO 02: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	
ANEXO 03: CONSENTIMIENTO INFORMADO .....	
ANEXO 04: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	
ANEXO 05: CONSTANCIA DE SIMILITUD DE LA TESIS.....	
ANEXO 06: ACTA DE DEFENSA DE TESIS .....	
ANEXO 07: AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y D.J. DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	

ANEXO 08: FICHAS DE REGISTRO DE PRECIPITACIONES DIARIAS – SENAMHI ..	504
ANEXO 09: FICHAS DE REGISTRO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS - SENAMHI.....	
ANEXO 10: LUEGO DEL TRATAMIENTO, CONSISTENCIA, CALIDAD Y EXTENSIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS, SE TIENE LA SIGUIENTE INFORMACIÓN .....	
ANEXO 11: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: AÑOS 1994, 1998, 2011, 2013 Y 2016 .....	
ANEXO 12: RESUMEN DE LOS PORCENTAJES DE ERROR RESPECTO DE LOS DATOS GRILLADOS DE PRECIPITACIÓN de Piscop V2.1 .....	
ANEXO 13: CERTIFICADO DEL LABORATORIO DONDE SE REALIZÓ LOS ENSAYOS DE SUELO.....	
ANEXO 14: RESULTADOS DE LABORATORIO.....	
ANEXO 15: PLANO DE PLANIMETRIA Y PERFIL LONGITUDINAL REALIZADO POR LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL – AÑO 2019.....	
ANEXO 16: PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES REALIZADO POR LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL – AÑO 2019.....	
ANEXO 17: MAPA DE PELIGRO ANTE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS, EN CONDICIONES NORMALES (AMCII) DEL SUELO PARA UN PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10 AÑOS .....	
ANEXO 18: MAPA DE PELIGRO ANTE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL LA1 DE 18 DÍAS, EN CONDICIONES HÚMEDAS (AMCIII) DEL SUELO PARA UN PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10 AÑOS .....	
ANEXO 19: FOTOGRAFÍAS DE LA VISITA A CAMPO.....	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resumen del porcentaje de error respecto a los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1.....	59
<b>Tabla 2</b> Variables de investigación.....	63
<b>Tabla 3</b> Definición teórica de la operacionalización de variables .....	64
<b>Tabla 4</b> Tipos de movimientos en masa .....	74
<b>Tabla 5</b> Escala de velocidades de los movimientos de masa.....	76
<b>Tabla 6</b> Clasificación de los movimientos de masa en función del tipo de material y velocidad ...	77
<b>Tabla 7</b> Descripción de los tipos de flujos .....	80
<b>Tabla 8</b> Descripción de los tipos de flujos canalizados .....	83
<b>Tabla 9</b> <i>Umbrales determinados a nivel global para la relación precipitación – movimiento en masa</i> .....	90
<b>Tabla 10</b> Tabla de contingencia para un modelo de clasificador binario .....	99
<b>Tabla 11</b> Índices de puntuación para validación de umbrales .....	100
<b>Tabla 12</b> Propiedades índices de los suelos.....	105
<b>Tabla 13</b> Clasificación USDA del tamaño de las partículas del suelo .....	111
<b>Tabla 14</b> Clasificación según Costa (1988) .....	112
<b>Tabla 15</b> Distribuciones de lluvia SCS .....	128
<b>Tabla 16</b> Precipitación Acumulada según las Condiciones de Humedad Antecedente (AMC)...	133
<b>Tabla 17</b> Clasificación hidrológica de los suelos.....	134
<b>Tabla 18</b> Coeficientes para el hidrograma unitario adimensional .....	138
<b>Tabla 19</b> Parámetros de resistencia para flujo laminar .....	149
<b>Tabla 20</b> Esfuerzo de fluencia y viscosidad en función de la concentración de sedimentos (Cv) .....	151
<b>Tabla 21</b> Comportamiento del flujo en función de la concentración de sedimentos.....	161
<b>Tabla 22</b> Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: textura.....	174

<b>Tabla 23</b> Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: pendiente .....	174
<b>Tabla 24</b> Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: erosión .....	175
<b>Tabla 25</b> Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: velocidad de desplazamiento .....	176
<b>Tabla 26</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: relieve .....	177
<b>Tabla 27</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: tipo de suelo .....	178
<b>Tabla 28</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: cobertura vegetal .....	178
<b>Tabla 29</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: uso actual de suelos .....	179
<b>Tabla 30</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: hidrometeorológicos .....	180
<b>Tabla 31</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: geológicos.....	181
<b>Tabla 32</b> Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: inducidos por la acción humana .....	181
<b>Tabla 33</b> Clasificación de cuencas, según unidades y rangos de áreas geográficas .....	194
<b>Tabla 34</b> Clasificación de tamaños de cuencas .....	195
<b>Tabla 35</b> Ubicación política y geográfica de la zona de estudio .....	210
<b>Tabla 36</b> Accesibilidad a la localidad de San Rafael .....	212
<b>Tabla 37</b> Características de los principales climas en la provincia de Ambo .....	212
<b>Tabla 38</b> Precipitaciones acumuladas aleatoriamente del año 2017 para la validación y confiabilidad del instrumento – estación meteorológica convencional San Rafael .....	230

<b>Tabla 39</b> Precipitaciones acumuladas aleatoriamente del año 2019 para la validación y confiabilidad del instrumento - estación meteorológica convencional San Rafael.....	232
<b>Tabla 40</b> Umbrales de precipitación de una variable (E) – región Andes 2.....	237
<b>Tabla 41</b> Resumen comparativo entre los umbrales a escala regional y los umbrales a escala local de la quebrada Rosayoc/Batán .....	238
<b>Tabla 42</b> <i>Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco – según la Autoridad Administrativa del Agua – [ANA].....</i>	248
<b>Tabla 43</b> Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco y Cerro de Pasco – según el SENAMHI desde el año 2016 hasta la actualidad.....	250
<b>Tabla 44</b> Agrupación de las estaciones mediante el método clúster.....	254
<b>Tabla 45</b> Agrupación clúster de las estaciones de Huánuco y Pasco, según las zonas climáticas y ecológicas a las que pertenecen. ....	256
<b>Tabla 46</b> Estaciones que se ubican en regiones homogéneas a la región donde se encuentra la estación San Rafael.....	260
<b>Tabla 47</b> Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico.....	262
<b>Tabla 48</b> Datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico ..	262
<b>Tabla 49</b> Relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos del distrito de San Rafael .....	264
<b>Tabla 50</b> Resumen de datos para la calibración y validación de los umbrales de precipitación de lluvia de la quebrada Rosayoc/Batán .....	272
<b>Tabla 51</b> Número de eventos de precipitación para la calibración y validación de los umbrales de precipitación de lluvia de la quebrada Rosayoc/Batán.....	272
<b>Tabla 52</b> Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia acumulada detonante (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán.....	273
<b>Tabla 53</b> Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	274
<b>Tabla 54</b> Validación de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada detonante (LA), mediante los índices de puntuación, de la quebrada Rosayoc/Batán .....	277



<b>Tabla 55</b> Validación de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA), mediante los índices de puntuación, de la quebrada Rosayoc/Batán .....	279
<b>Tabla 56</b> Umbrales estadísticos de lluvia acumulada (LA) calibrados y validados .....	281
<b>Tabla 57</b> Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) calibrados y validados .....	282
<b>Tabla 58</b> Umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA) calibrados y validados .....	283
<b>Tabla 59</b> Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA) calibrados y validados ...	284
<b>Tabla 60</b> Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) para distintos periodos de retorno.....	321
<b>Tabla 61</b> Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA) para distintos periodos de retorno.....	322
<b>Tabla 62</b> Precipitaciones máximas en 24 horas, según las partes baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán, con diferentes periodos de retorno (TR) .....	323
<b>Tabla 63</b> Precipitaciones máximas en 24 horas, con diferentes periodos de retorno (TR), de la quebrada Rosayoc/Batán .....	324
<b>Tabla 64</b> Umbrales de precipitación máxima diaria de la estación San Rafael - SENAMHI .....	324
<b>Tabla 65</b> Parámetros físicos asociados a la geometría de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	325
<b>Tabla 66</b> Parámetros morfométricos asociados a la forma de la microcuenca Rosayoc/Batán..	326
<b>Tabla 67</b> Parámetros morfométricos asociados al relieve de la microcuenca Rosayoc/Batán ...	327
<b>Tabla 68</b> Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la microcuenca Rosayoc/Batán.....	328
<b>Tabla 69</b> Datos de la curva hipsométrica de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	330
<b>Tabla 70</b> Datos del histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca Rosayoc/Batán	332
<b>Tabla 71</b> Clasificación de las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC) en función de los umbrales mínimos de la lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	333
<b>Tabla 72</b> Datos requeridos para el cálculo del hidrograma del caudal líquido, a partir del umbral mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años .....	336

<b>Tabla 73</b> Precipitación de escorrentía del umbral mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años .....	337
<b>Tabla 74</b> Caudal líquido de escorrentía del umbral mínimo LAA2 de 12 días y la determinación de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC), con distintos periodos de retorno (TR)	339
<b>Tabla 75</b> Humedad antecedente resultante del suelo para el análisis de los umbrales mínimos LA .....	342
<b>Tabla 76</b> Hietogramas de la precipitación de lluvia acumulada (LA1) de 5 días, con distintos periodos de retorno (TR) .....	344
<b>Tabla 77</b> Datos requeridos para el cálculo del hidrograma del caudal líquido, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 15 años .....	345
<b>Tabla 78</b> Número de curva representativo de la quebrada Rosayoc/Batán, con diferentes usos de suelo en su interior.....	347
<b>Tabla 79</b> Caudal líquido de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR) .	347
<b>Tabla 80</b> Caudales líquidos de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, con distintos periodos de retorno (TR) y en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) .....	350
<b>Tabla 81</b> Caudal líquido de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR) .	353
<b>Tabla 82</b> Caudal líquido de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR) .	355
<b>Tabla 83</b> Caudal líquido de escorrentía, a partir de las precipitaciones máximas de la quebrada Rosayoc/Batán, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR) .....	357
<b>Tabla 84</b> Análisis granulométrico de la quebrada Rosayoc/Batán .....	360
<b>Tabla 85</b> Clasificación general de los suelos de la quebrada Rosayoc/Batán .....	360
<b>Tabla 86</b> Coeficientes de permeabilidad de la quebrada Rosayoc/Batán .....	361

<b>Tabla 87</b> Parámetros reológicos de la quebrada Rosayoc/Batán.....	364
<b>Tabla 88</b> Concentración volumétrica (Cv) y factor de abultamiento (BF) de la quebrada Rosayoc/Batán.....	366
<b>Tabla 89</b> Distribución y ajuste de la concentración volumétrica (Cv) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	367
<b>Tabla 90</b> Gravedad específica del suelo (Gs) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	369
<b>Tabla 91</b> Coeficiente de rugosidad de Manning (n) de la quebrada Rosayoc/Batán .....	370
<b>Tabla 92</b> Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR).....	376
<b>Tabla 93</b> Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 18 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR) .....	378
<b>Tabla 94</b> Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA2 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR).....	381
<b>Tabla 95</b> Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA2 de 7 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR).....	383
<b>Tabla 96</b> Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán.....	385
<b>Tabla 97</b> Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo (LA1) de 18 días de la quebrada Rosayoc/Batán .....	386
<b>Tabla 98</b> Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán.....	387
<b>Tabla 99</b> Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días de la quebrada Rosayoc/Batán.....	389

<b>Tabla 100</b> Máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, para distintos escenarios, detonado por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán .	390
<b>Tabla 101</b> Volumen del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR) .....	392
<b>Tabla 102</b> Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir de la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán .....	394
<b>Tabla 103</b> Máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos de la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán, para diferentes escenarios.....	396
<b>Tabla 104</b> Matriz de comparación del parámetro de evaluación .....	397
<b>Tabla 105</b> Matriz de comparación de los factores condicionantes .....	399
<b>Tabla 106</b> Matriz de comparación del factor condicionante pendiente.....	401
<b>Tabla 107</b> Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades geológicas .....	402
<b>Tabla 108</b> Descripción de los depósitos geológicos en la quebrada Rosayoc/Batán .....	404
<b>Tabla 109</b> Descripción del grupo geológico de la quebrada Rosayoc/Batán .....	404
<b>Tabla 110</b> Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades geomorfológicas...	406
<b>Tabla 111</b> Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades de cobertura vegetal .....	407
<b>Tabla 112</b> Matriz de comparación del factor detonante .....	409
<b>Tabla 113</b> Niveles de peligro en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán.....	413
<b>Tabla 114</b> Intensidades para flujos de detritos .....	415
<b>Tabla 115</b> Eventos históricos del fenómeno EL NIÑO en los años 1991 - 2019.....	437
<b>Tabla 116</b> Volumen total del material excedente generado por los movimientos de flujo de detritos, encontrado en el año 2019, en la quebrada Rosayoc/Batán .....	439

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Cuadro comparativo entre los umbrales mínimos (LA) y las precipitaciones máximas en 24 horas .....	424
<b>Cuadro 2</b> Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años .....	425
<b>Cuadro 3</b> Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	426
<b>Cuadro 4</b> Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años.....	426
<b>Cuadro 5</b> Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	427
<b>Cuadro 6</b> Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años .....	432
<b>Cuadro 7</b> Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años .....	433
<b>Cuadro 8</b> Cuadro comparativo entre los volúmenes de sedimentos del flujo de detritos, encontrados en el año 2019 por la municipalidad distrital de San Rafael y detonados por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA1) de 5 y (LA2) de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 20 años.....	440

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros en el Perú a nivel de departamentos (2003-2015) .....	50
<b>Figura 2</b> Comparativo de las ocurrencias de peligros según su clasificación a nivel de cada departamento (2003-2015) .....	51
<b>Figura 3</b> Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros de geodinámica externa (Huaycos y Deslizamientos) por provincias del departamento de Huánuco (1970-2018) .....	52
<b>Figura 4</b> Ranking de la cantidad total de ocurrencias de fenómenos meteorológicos (precipitación de lluvia y avenida torrencial) por provincias del departamento de Huánuco (1970-2018) .....	53
<b>Figura 5</b> Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros de geodinámica externa (huaycos y deslizamientos) por distritos de la provincia de Ambo - departamento de Huánuco (1970-2018) .....	53
<b>Figura 6</b> Mapa de los datos de precipitación grillada de Piscop V2.1 .....	58
<b>Figura 7</b> Resumen sintético de las propiedades mecánicas de las mezclas de grano en agua ...	79
<b>Figura 8</b> Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996) .....	85
<b>Figura 9</b> Espacio ROC, con un resultado del modelo hipotético .....	101
<b>Figura 10</b> Suelo en su estado natural y sus fases .....	105
<b>Figura 11</b> Taxonomía de flujos no newtonianos, con modelos reológicos y ecuaciones utilizadas para modelarlos .....	110
<b>Figura 12</b> Vista esquemática de las diferentes partes de un oleaje típico de flujo de escombros (forma lobular).....	115
<b>Figura 13</b> Diferentes regiones dentro de un flujo de detritos o escombros (diagrama de Pierson, 1986).....	117
<b>Figura 14</b> Esquema de una cuenca como sistema hidrológico .....	120
<b>Figura 15</b> Variables del método SCS para abstracciones de precipitación: $I_a$ , $P_e$ , $F_a$ , $P$ .....	123
<b>Figura 16</b> Hidrograma unitario según el SCS .....	126
<b>Figura 17</b> Curvas de distribuciones adimensionales SCS.....	130

<b>Figura 18</b> Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración .....	132
<b>Figura 19</b> Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (AMCII, $I_a = 0.2s$ ) .....	135
<b>Figura 20</b> Hidrograma Unitario Triangular del SCS .....	137
<b>Figura 21</b> Relación entre los coeficientes de tiempo y caudal .....	140
<b>Figura 22</b> Relación esfuerzo - deformación para diferentes tipos de fluido .....	143
<b>Figura 23</b> Zonas y mecanismos de flujos de escombros.....	147
<b>Figura 24</b> Clasificación de los flujos de sedimentos hiperconcentrados .....	161
<b>Figura 25</b> Concentración de sedimentos vs. factores de engrosamiento.....	166
<b>Figura 26</b> Esquema de las relaciones entre conceptos relacionados a la peligrosidad .....	171
<b>Figura 27</b> Parámetros de evaluación de la erosión del suelo del fenómeno de movimiento de masa. .....	173
<b>Figura 28</b> Factores condicionantes generales del peligro .....	177
<b>Figura 29</b> Factores desencadenantes generales del peligro.....	180
<b>Figura 30</b> Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos naturales...	182
<b>Figura 31</b> Matriz de Peligro.....	183
<b>Figura 32</b> Cuenca hidrológica e hidrográfica .....	187
<b>Figura 33</b> La Cuenca como Sistema .....	188
<b>Figura 34</b> Divisoria de aguas .....	188
<b>Figura 35</b> Divisoria de aguas .....	190
<b>Figura 36</b> Partes de una Cuenca Hidrográfica .....	192
<b>Figura 37</b> División de una Cuenca Hidrográfica .....	194
<b>Figura 38</b> División Hidrográfica e Hidrológica de la Cuenca .....	196
<b>Figura 39</b> Esquema de una Quebrada Típica.....	198
<b>Figura 40</b> Sector Quebrada Rosayoc/Batán – Pomabamba – río Huallaga.....	203
<b>Figura 41</b> Peligros geológicos de las quebradas Rosayoc/Batán y Pomabamba.....	203
<b>Figura 42</b> Margen izquierda de la quebrada Rosayoc/Batán, presenta una intensa erosión en cárcavas.....	204

<b>Figura 43</b> Margen derecha de la quebrada Rosayoc/Batán, muestra sectores con erosiones de ladera .....	205
<b>Figura 44</b> Quebrada Ricapa – Centenario – San Rafael – Ambo .....	205
<b>Figura 45</b> Zonas Críticas con peligro inminente de Movimientos de masa en el Distrito de San Rafael.....	206
<b>Figura 46</b> Represamiento del río Huallaga en forma de media luna-Informe técnico .....	207
<b>Figura 47</b> Zona de Estudio - Localidad de San Rafael .....	208
<b>Figura 48</b> Canalización de la quebrada Rosayoc/Batán.....	208
<b>Figura 49</b> En la margen izquierda de la quebrada Rosayoc/Batán, se observa una cárcava que está aportando material suelto al cauce principal de la quebrada .....	209
<b>Figura 50</b> Mapa de localización y ubicación del área de estudio. ....	211
<b>Figura 51</b> <i>Mapa de Cuencas Hidrográficas del Perú</i> .....	213
<b>Figura 52</b> <i>Sub Cuencas en el Departamento de Huánuco</i> .....	214
<b>Figura 53</b> <i>Mapa Hidrológico del distrito de San Rafael – provincia de Ambo – departamento de Huánuco</i> .....	215
<b>Figura 54</b> <i>Diseño de investigación</i> .....	222
<b>Figura 55</b> Diagrama metodológico para discretizar movimientos en masa .....	224
<b>Figura 56</b> <i>Metodología para determinar umbrales de precipitación de lluvia</i> .....	224
<b>Figura 57</b> <i>Diagrama de la metodología del trabajo de investigación</i> .....	226
<b>Figura 58</b> <i>Metodología para la simulación del movimiento de flujo de detritos mediante el programa flo-2d</i> .....	226
<b>Figura 59</b> Resumen del número de eventos de deslizamientos superficiales y los umbrales con los mejores resultados, para una y dos variables, por cada región .....	235
<b>Figura 60</b> Área de estudio, según las once regiones de susceptibilidad a deslizamientos del Perú, y distribución de deslizamientos de calibración (azul) y validación (amarillo).....	236
<b>Figura 61</b> <i>Tipos de unidades de drenaje</i> . ....	242
<b>Figura 62</b> Microcuenca Rosayoc/Batán perteneciente a la Subcuenca San Rafael .....	243
<b>Figura 63</b> Números de orden de la red de drenaje de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	243



<b>Figura 64</b> Mapa de clasificación climática de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	244
<b>Figura 65</b> Mapa Ecológico de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	246
<b>Figura 66</b> Parte baja, media y alta de la microcuenca Rosayoc/Batán según sus zonas climáticas y ecológicas .....	247
<b>Figura 67</b> Clasificación de la metodología de análisis clúster .....	252
<b>Figura 68</b> Dendrograma de agrupamiento en base al método de Ward .....	254
<b>Figura 69</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 1994 .....	266
<b>Figura 70</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 1998 .....	266
<b>Figura 71</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 1999 .....	267
<b>Figura 72</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 2006 .....	267
<b>Figura 73</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2010 .....	268
<b>Figura 74</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2011 .....	268
<b>Figura 75</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2013 .....	269
<b>Figura 76</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2016 .....	269
<b>Figura 77</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2017 .....	270
<b>Figura 78</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2018 .....	270
<b>Figura 79</b> Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2019 .....	271
<b>Figura 80</b> Relación logarítmica para determinar los datos de contingencia de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada (LA) que detona flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Ejemplo: $E = D^{(0.568 \pm 0.034)}$ .....	276
<b>Figura 81</b> Relación logarítmica para determinar los datos de contingencia de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA) que detonan flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Ejemplo: $E = (0.05 \pm 0.02) * (D^{(0.821 \pm 0.126)})$ .....	277
<b>Figura 82</b> Curva ROC de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada detonante (LA) .....	279
<b>Figura 83</b> Curva ROC de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA) ...	281
<b>Figura 84</b> Registro de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla .....	286
<b>Figura 85</b> Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico. ....	288

<b>Figura 86</b> Análisis visual de las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla.....	289
<b>Figura 87</b> Análisis de doble masa de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla .....	289
<b>Figura 88</b> Análisis de salto: corrección de los datos de la estación San Rafael (estación base)	290
<b>Figura 89</b> Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación San Rafael (estación base), asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS.....	291
<b>Figura 90</b> Regresión de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, en función de la estación base (estación San Rafael) .....	293
<b>Figura 91</b> Regresión de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla, en función de la estación base (estación San Rafael) .....	293
<b>Figura 92</b> Estación San Rafael con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas .....	294
<b>Figura 93</b> Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación Yanahuanca, asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS .....	295
<b>Figura 94</b> Estación Yanahuanca con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas .....	296
<b>Figura 95</b> Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación Chaglla, asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS.....	297
<b>Figura 96</b> Estación Chaglla con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas	298
<b>Figura 97</b> Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael .....	299
<b>Figura 98</b> Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca .....	299
<b>Figura 99</b> Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla .....	300

<b>Figura 100</b> Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael .....	302
<b>Figura 101</b> Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, asimismo con su respectiva corrección de datos.....	303
<b>Figura 102</b> Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla.....	304
<b>Figura 103</b> <i>Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael, a distintas distribuciones de probabilidad .....</i>	305
<b>Figura 104</b> Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, a distintas distribuciones de probabilidad .....	306
<b>Figura 105</b> Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla, a distintas distribuciones de probabilidad .....	307
<b>Figura 106</b> <i>Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael.....</i>	308
<b>Figura 107</b> Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca .....	309
<b>Figura 108</b> Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla .....	309
<b>Figura 109</b> <i>Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación San Rafael. ....</i>	310
<b>Figura 110</b> Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación Yanahuanca.....	312
<b>Figura 111</b> Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación Chaglla .....	313
<b>Figura 112</b> <i>Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación San Rafael.....</i>	314
<b>Figura 113</b> Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación Yanahuanca .....	315

<b>Figura 114</b> Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación Chaglla.....	316
<b>Figura 115</b> DEM y red de drenaje de la microcuenca Rosayoc/Batán.....	330
<b>Figura 116</b> Gráfica de la curva hipsométrica de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	331
<b>Figura 117</b> Gráfica del histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca Rosayoc/Batán .....	333
<b>Figura 118</b> Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 20 años .....	338
<b>Figura 119</b> Gráficas: Hietogramas de la precipitación de lluvia acumulada (LA1) de 5 días, con distintos periodos de retorno (TR) .....	345
<b>Figura 120</b> Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 15 años .....	349
<b>Figura 121</b> Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 10 años .....	352
<b>Figura 122</b> Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 15 años .....	352
<b>Figura 123</b> Hidrograma de escorrentía, e histograma de la precipitación, de escorrentía del umbral mínimo LA2 de 5 días, con periodo de retorno (TR) de 25 años y en condiciones húmedas del suelo (AMCIII).....	355
<b>Figura 124</b> Hidrograma de escorrentía, e histograma de la precipitación, de escorrentía del umbral mínimo LA2 de 7 días, con periodo de retorno (TR) de 20 años y en condiciones húmedas del suelo (AMCIII).....	357
<b>Figura 125</b> Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 10 años .....	359

<b>Figura 126</b> Coeficientes de permeabilidad – Tabla 9-1 .....	362
<b>Figura 127</b> Propiedades de las matrices de flujos de lodo (arcillas y limos) – Tabla 1 .....	363
<b>Figura 128</b> Esfuerzo de fluencia y viscosidad en función de la concentración de sedimentos (Cv) – Tabla 13 .....	364
<b>Figura 129</b> Comportamiento del flujo de lodo en función de la concentración de volumétrica – Tabla 11 .....	366
<b>Figura 130</b> Gráfica de la distribución y ajuste de la concentración volumétrica (Cv) de la quebrada Rosayoc/Batán.....	369
<b>Figura 131</b> Datos de entrada: control de variables en el programa QGIS .....	371
<b>Figura 132</b> Datos de entrada: parámetros de estabilidad numérica en el programa QGIS .....	372
<b>Figura 133</b> Datos de entrada: parámetros del flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán en el programa QGIS.....	372
<b>Figura 134</b> Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 15 años .....	373
<b>Figura 135</b> Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 10 años .....	373
<b>Figura 136</b> Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 25 años .....	374
<b>Figura 137</b> Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años .....	375
<b>Figura 138</b> Matriz de normalización del parámetro de evaluación .....	398
<b>Figura 139</b> Relación de consistencia del parámetro de evaluación .....	399
<b>Figura 140</b> Matriz de normalización de los factores condicionantes .....	400
<b>Figura 141</b> Relación de consistencia de los factores condicionantes .....	400

<b>Figura 142</b> Pendientes de la quebrada Rosayoc/Batán .....	402
<b>Figura 143</b> Unidades geológicas de la quebrada Rosayoc/Batán.....	403
<b>Figura 144</b> Unidades geomorfológicas de la quebrada Rosayoc/Batán .....	407
<b>Figura 145</b> Unidades de cobertura vegetal de la quebrada Rosayoc/Batán .....	408
<b>Figura 146</b> Matriz de normalización del factor detonante.....	410
<b>Figura 147</b> Relación de consistencia del factor detonante .....	410
<b>Figura 148</b> Factor detonante: Porcentajes de las precipitaciones máximas en 24 horas de quebrada Rosayoc/Batán.....	411
<b>Figura 149</b> Determinación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán.....	411
<b>Figura 150</b> Matriz de peligro por movimiento de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán .....	412
<b>Figura 151</b> Mapa de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, realizado según los criterios del CENEPRED, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán .....	414
<b>Figura 152</b> Parámetros de profundidad y velocidad del flujo de detritos para el mapa de peligros en el programa FLO-2D.....	416
<b>Figura 153</b> Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: velocidad de desplazamiento .....	416
<b>Figura 154</b> Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad (FLO-2D), a partir de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones normales (AMCII) del suelo para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	417
<b>Figura 155</b> Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos a partir de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	417
<b>Figura 156</b> Comparación de los mapas de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, detonado por la precipitación máxima en 24 horas, y el mapa de peligro mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	418

<b>Figura 157</b> Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad (FLO-2D), a partir del umbral mínimo (LA1) de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	419
<b>Figura 158</b> Comparación de los mapas de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, detonado por el umbral LA1 de 18 días, y el mapa de peligro mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	420
<b>Figura 159</b> Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos a partir del umbral mínimo (LA1) de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años .....	421
<b>Figura 160</b> Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años .....	428
<b>Figura 161</b> Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años .....	428
<b>Figura 162</b> Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años .....	429
<b>Figura 163</b> Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años .....	429
<b>Figura 164</b> Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	430
<b>Figura 165</b> Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	430
<b>Figura 166</b> Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	431
<b>Figura 167</b> Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .....	431
<b>Figura 168</b> Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años .....	434

- Figura 169** Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años ..... 435
- Figura 170** Máxima profundidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años .... 435
- Figura 171** Máxima velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años .... 436
- Figura 172** Máxima profundidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .... 436
- Figura 173** Máxima velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años .... 437



**LISTA DE ECUACIONES**

Ecuación_(1).....	90
Ecuación_(2).....	91
Ecuación_(3).....	95
Ecuación_(4).....	95
Ecuación_(5).....	97
Ecuación_(6).....	108
Ecuación_(7).....	109
Ecuación_(8).....	120
Ecuación_(9).....	121
Ecuación_(10).....	122
Ecuación_(11).....	122
Ecuación_(12).....	122
Ecuación_(13).....	122
Ecuación_(14).....	124
Ecuación_(15).....	124
Ecuación_(16).....	124
Ecuación_(17).....	124
Ecuación_(18).....	125
Ecuación_(19).....	125
Ecuación_(20).....	125
Ecuación_(21).....	125
Ecuación_(22).....	131
Ecuación_(23).....	131
Ecuación_(24).....	131
Ecuación_(25).....	131
Ecuación_(26).....	132

Ecuación_(27).....	132
Ecuación_(28).....	132
Ecuación_(29).....	133
Ecuación_(30).....	133
Ecuación_(31).....	136
Ecuación_(32).....	136
Ecuación_(33).....	144
Ecuación_(34).....	144
Ecuación_(35).....	148
Ecuación_(36).....	148
Ecuación_(37).....	150
Ecuación_(38).....	150
Ecuación_(39).....	153
Ecuación_(40).....	154
Ecuación_(41).....	154
Ecuación_(42).....	155
Ecuación_(43).....	155
Ecuación_(44).....	156
Ecuación_(45).....	158
Ecuación_(46).....	158
Ecuación_(47).....	158
Ecuación_(48).....	159
Ecuación_(49).....	159
Ecuación_(50).....	159
Ecuación_(51).....	163
Ecuación_(52).....	164
Ecuación_(53).....	164
Ecuación_(54).....	165

Ecuación_(55).....	165
Ecuación_(56).....	182
Ecuación_(57).....	182

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales como los movimientos de flujos de detritos, también conocidos como huaycos, tienen el potencial de causar destrucción y peligro en muchas partes del mundo, especialmente en el Perú. Por ello, resulta fundamental analizar y estudiar la amenaza que representan los movimientos de flujos de detritos, así como la capacidad de pronosticar dichos movimientos. Por lo tanto, es necesario definir primero lo que es un flujo de detritos; en consecuencia, podemos decir que es un flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada (Hungry, 2005; Hungry et al., 2001; Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Varnes, 1978).

Adicionalmente, estos flujos de detritos, pueden iniciar su movimiento de dos maneras: por deslizamientos superficiales en las cabeceras de las cuencas (Iverson et al., 1997, citados en Yang et al., 2023) o cuando el material acumulado en las laderas, o canales, se erosiona y es movilizado por la escorrentía (Gregoretti et al., 2016, citados en Yang et al., 2023). Por ende, los flujos de detritos incorporan gran cantidad de sedimentos gruesos saturados, en su trayectoria, a medida que descienden por el canal, y finalmente, los depositan en abanicos de detritos (Hungry et al., 2001; Ilinca, 2021; Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Pierson, 2005). Además, la ocurrencia de movimientos de flujo de detritos puede atribuirse a diversas causas, como los factores condicionantes y desencadenantes. Estos factores mencionados pueden variar de localidad en localidad, así como, presentar diferentes grados de complejidad e intensidad de uno a otro ambiente. De los estudios realizados, para entender mejor la relación entre la precipitación de lluvia y los movimientos de flujo de detritos, surgen los umbrales de precipitación de lluvia; los cuales pueden ser empíricos-estadísticos, que asocian la precipitación acumulada del evento (E en mm) con

la duración (D en horas), o de bases físicas. No obstante, esta investigación se basó y profundizó en el tema de umbrales empíricos-estadísticos que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Asimismo, tomando en consideración que, la integración de modelos empíricos con modelos físicos permite una adecuada caracterización de la amenaza en términos de probabilidades de ocurrencia en tiempo y espacio (Salinas Jasso, 2016). Así también, con el fin de obtener una mejor predicción de los movimientos de flujo de detritos para este tipo de umbrales, se requirió información hidrológica, litológica, morfológica y características de los suelos que controlan la activación de estos movimientos (Crosta, 1998; Montgomery & Dietrich, 1994; Wilson & Wieczorek, 1995). Por tal motivo, esta investigación utilizó métodos empíricos que relacionan la lluvia con los movimientos de flujo de detritos; los cuales, consisten en series de lluvia acumulada que detonan estos movimientos. Además, mediante métodos estadísticos, se procedió a establecer los umbrales estadísticos mediante la ley de la potencia en coordenadas lineales (relación logarítmica) y la estadística no paramétrica. En consecuencia, se estableció los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).

Por otro parte, la razón por la cual se escogió el distrito de San Rafael como zona de estudio fue porque es el primer distrito con mayor número de registros de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, específicamente Huayco-Aluvión; mientras que Ambo es la segunda provincia con mayor número de registros de ocurrencia de estos fenómenos (huaycos), así como, también ocupa el cuarto lugar, a nivel provincial, en fenómenos meteorológicos como lluvias y avenidas torrenciales; finalmente, el departamento de Huánuco está dentro de los 10 departamentos con más incidentes registrados de peligros, ocasionados por fenómenos naturales según su tipo. Además, la quebrada Rosayoc/Batán se encuentra al margen derecho de la localidad de San Rafael (capital del distrito), siendo una zona muy susceptible a movimientos de flujo de detritos;

los cuales son detonados, generalmente, por precipitaciones de lluvia. Así también, las consecuencias que puede traer este problema son muchos; debido a que, la quebrada se encuentra ubicada cerca de la localidad de San Rafael (capital del distrito), la carretera central, el río Huallaga y el Asentamiento Humano 07 de Junio (quebrada Pomabamba). Adicionalmente, esta investigación estuvo enfocada en la determinación de umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujos de detritos, con la finalidad de contribuir con la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD). Además de ofrecer información técnica sobre la dinámica que podrían presentar estos movimientos, a fin de producir mecanismos que sirvan para la elaboración de los diseños de las medidas de control, prevención y reducción de desastres, ante la probable ocurrencia de este evento, que ocasionaría varios problemas como pérdidas de vidas humanas y económicas; obstaculización del tránsito, dejando a varias localidades y ciudades sin comunicación; asimismo de generar daños en la infraestructura vial.

Finalmente, luego se emplearon sistemas de información geográfica para el geoprocésamiento de datos espaciales; así como el análisis y evaluación de las zonas susceptibles donde se genera movimientos de flujo de detritos, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED), considerando algunos factores condicionantes como la pendiente, unidades geológicas, geomorfológicas (relieve), cobertura vegetal y uso de suelo. Este último, se usó para elegir los números de curva (CN), siendo uno de los datos importantes en la determinación de los caudales líquidos de escorrentía. Además, para la simulación del flujo de detritos se empleó el modelo matemático FLO-2D; con lo cual, se determinó para cada escenario (AMC y TR), el área de inundación, máximas profundidades y velocidades del flujo sobre las potenciales zonas de depositación. Con los resultados de la simulación se realizó el mapa de peligro, en función de las

profundidades y velocidades del flujo de detritos, teniendo como base el mapa de peligro según los criterios del CENEPRED.

## CAPÍTULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Fundamentación del problema de investigación

En todo el mundo han ocurrido fenómenos naturales devastadores como los movimientos de masa, dentro de los cuales está los movimientos de flujo de detritos, que al igual que los deslizamientos pueden llegar a ser extremadamente rápidos (más de 5 m por segundo) y destructores. Asimismo, entre los países más aquejados por catástrofes debidas a movimientos de masa, se hallan las regiones andinas de Perú, países como Chile, Colombia, Ecuador y Venezuela (Schuster, 1996; Suárez Díaz, 2009). Estos eventos han evidenciado ampliamente mediante la historia su capacidad destructora, causando la destrucción de numerosas carreteras y, también del mismo modo, parte importante de los poblados en América del Sur; así como, considerables pérdidas humanas y económicas. Crozier (2010), Glade y Crozier (2005), y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [con su sigla en inglés, IPPC] (2007), nos informan que, los efectos catastróficos de los movimientos de masa han aumentado en las últimas décadas, debido a la expansión urbana y a la ubicación de actividades económicas en áreas susceptibles a estos movimientos, incrementando así la recurrencia y los daños. Además, los desastres debido a peligros hidrometeorológicos y movimientos de masas también han ocurrido como resultado de la variabilidad climática y el cambio ambiental global, los cuales han perturbado los patrones climáticos previamente establecidos. Por esta razón, la comunidad científica ha mostrado un gran interés en la investigación y estudio de los riesgos presentados por los movimientos de masas, así como en la capacidad de predecir dichos movimientos. Así también, la ocurrencia de movimientos de flujo de detritos puede atribuirse a diversas causas, como los factores condicionantes y desencadenantes. Estos factores mencionados pueden variar de localidad en localidad, así como, presentar diferentes grados de complejidad e



intensidad de uno a otro ambiente. Sin embargo, para el marco de este estudio, se asumió como agente detonante la precipitación de lluvia, ya que es el factor que activa con mayor frecuencia los movimientos de flujo de detritos. Por esta razón, se han llevado a cabo varios estudios para comprender mejor la conexión entre la precipitación y el desarrollo de los procesos de movimientos en masa, según lo señalado por Hong et al. (2005), Ibsen & Casagli (2004) y Segoni et al. (2014); con la finalidad de diseñar modelos de seguimiento, pronóstico y sistemas de alerta temprana que permitan controlar y reducir los efectos de estos procesos.

El Perú debería contar con un clima tropical, ya que se sitúa entre la línea ecuatorial y el trópico de Capricornio, sin embargo, numerosos factores como la Corriente Peruana o de Humboldt, la cordillera de los Andes, y la dinámica de los ciclones y anticiclones generan un clima heterogéneo (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014). Conforme a lo que indica la clasificación de Thornthwaite, nuestro país tiene 27 de los 32 tipos de clima existentes en el planeta, lo cual significa que nuestro territorio posee una diversidad de climas y microclimas. Por ello, el clima del Perú responde de manera muy variada a los cambios de patrones climáticos que directa o indirectamente se encuentran relacionados con el calentamiento global (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 1988). De lo mencionado anteriormente, podemos decir que, la variabilidad climática y el calentamiento global generan movimientos de masa muy frecuentes en el Perú, y el distrito de San Rafael ubicado en la provincia de Ambo, departamento de Huánuco, no es la excepción. Además, según los pobladores de este distrito, y en concordancia con los reportes del INDECI, INGEMMET, COEN, noticias locales y nacionales, es normal encontrar movimientos de flujos de detritos, o comúnmente conocidos como huaycos, entre los meses de diciembre a abril aproximadamente, siendo los meses de mayor precipitación, lo cual evidencia una posible correlación entre las precipitaciones y dichos eventos.

La quebrada Rosayoc/Batán, ubicada al margen derecho de la localidad de San Rafael (capital del distrito), es una zona muy susceptible a movimientos de flujo de detritos; los cuales son detonados, generalmente, por precipitaciones de lluvia. Así también, las consecuencias que puede traer este problema son muchos; debido a que, la quebrada se encuentra ubicada cerca de la localidad de San Rafael (capital del distrito), la carretera central, el río Huallaga y el Asentamiento Humano 07 de Junio (quebrada Pomabamba); pero entre las que hemos considerado como destacadas para este estudio son: las pérdidas de vidas humanas y económicas; obstaculización del tránsito, dejando a varias localidades y ciudades sin comunicación; además de generar daños en la infraestructura vial. De lo mencionado, también hay que considerar, que parte de la masa de flujo de detritos terminan desembocando al río Huallaga; con ello, generando un aumento en el caudal del río, por ende, puede producir desbordes o inundaciones que afectarían a las viviendas que se encuentran ubicadas en la parte baja de la quebrada Rosayoc/Batán, al borde de la carretera; así como, de la quebrada Pomabamba (Núñez Juárez, 2011).

Finalmente, esta investigación aporta en la Gestión del Riesgo de Desastres (GDR) de la localidad de San Rafael, lo cual, conlleva a la implementación de Medidas de Control de Orden No Estructural, en específico de mapas de peligro, debido al alto poder destructivo que tienen los movimientos de flujo de detritos; ya que permiten reducir los riesgos antes estos fenómenos, en beneficio de las poblaciones asentadas en zonas de alta amenaza.

## **1.2 Formulación del problema de investigación general y específicos**

De lo expuesto anteriormente, este estudio pretende contestar las siguientes preguntas:

### **1.2.1 Problema General.**

¿De qué modo los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, determinarán el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

- ¿De qué manera se establecerá la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos para obtener los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA)?
- ¿Cómo se determinará la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA)?
- ¿De qué modo se asociará los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo?
- ¿De qué manera se precisará los umbrales mínimos más catastróficos que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán?
- ¿Cómo se relacionará los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos para obtener la máxima profundidad y velocidad, así como los volúmenes y caudales del flujo de detritos?
- ¿De qué forma se hallará los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán?

### **1.3 Formulación del objetivo general y específicos**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Establecer la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos, con el propósito de obtener los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).
- Determinar la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).
- Asociar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo.
- Precisar los umbrales mínimos más catastróficos que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán.
- Relacionar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos para obtener la máxima profundidad y velocidad, así como los volúmenes y caudales del flujo de detritos.
- Hallar los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán.

### **1.4 Justificación**

Por lo general, los movimientos de masa y sus provenidos como son los flujos de escombros o detritos, o huaycos como se les conoce comúnmente en nuestro país, son causantes de al menos un 14% de muertes anuales a nivel mundial (Aleotti & Chowdhury,

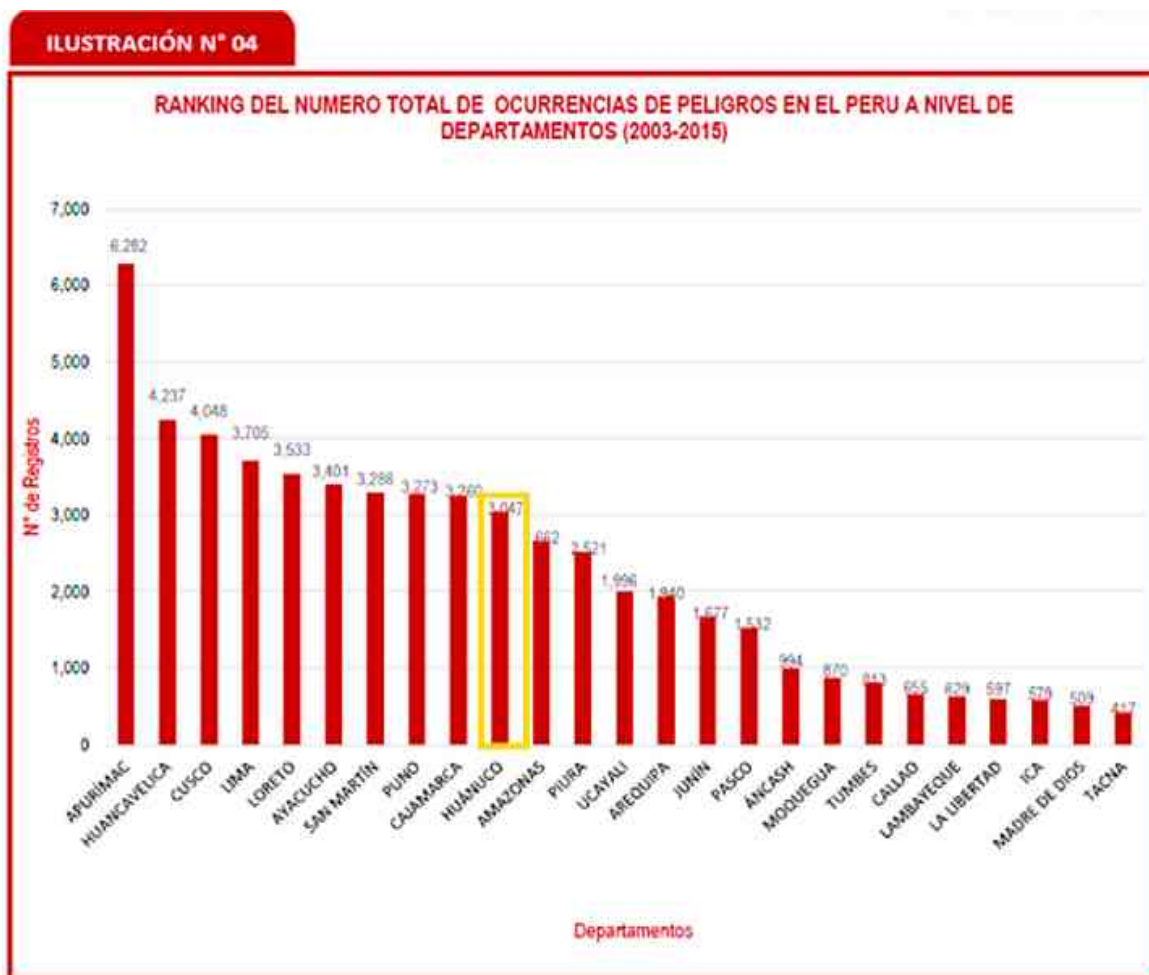
1999). Estos tipos de fenómenos son frecuentes en el Perú, debido a la condición climática del país, y esto añadido a factores locales como el fenómeno del Niño ocasionan persistentes lluvias que detonan diferentes tipos de remoción de masa (Fidel et al., 2006).

El motivo por el cual se escogió el distrito de San Rafael como zona de estudio fue porque es el primer distrito con mayor número de registros de ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, específicamente Huayco-Aluvión; mientras que Ambo es la segunda provincia con mayor número de registros de ocurrencia de estos fenómenos (huaycos), así como, también ocupa el cuarto lugar, a nivel provincial, en fenómenos meteorológicos como lluvias y avenidas torrenciales; finalmente, el departamento de Huánuco está dentro de los 10 departamentos con más incidentes registrados de peligros, ocasionados por fenómenos naturales según su tipo (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2016; DesInventar.org, 2022). Además, la quebrada Rosayoc/Batán se encuentra al margen derecho de la localidad de San Rafael (capital del distrito), siendo una zona muy susceptible a movimientos de flujo de detritos; los cuales son detonados, generalmente, por precipitaciones de lluvia. Así también, las consecuencias que puede traer este problema son muchos; debido a que, la quebrada se encuentra ubicada cerca de la localidad de San Rafael (capital del distrito), la carretera central, el río Huallaga y el Asentamiento Humano 07 de Junio (quebrada Pomabamba). Por lo que, entre las que hemos considerado como destacadas para este estudio son: las pérdidas de vidas humanas y económicas; obstaculización del tránsito, dejando a varias localidades y ciudades sin comunicación; además de generar daños en la infraestructura vial (Núñez Juárez, 2011). Por lo tanto, esta investigación no solo beneficiará a la población que reside en esta localidad; sino, también a otras localidades, asentamientos humanos y ciudades. Además, contribuirá en el establecimiento de diseños de Medidas de Control de Orden No Estructural, que serán de utilidad para las futuras construcciones de obras de

prevención (Medidas de Control de Orden Estructural) y mitigación, así como serán herramientas esenciales en el ordenamiento territorial del lugar.

### Figura 1

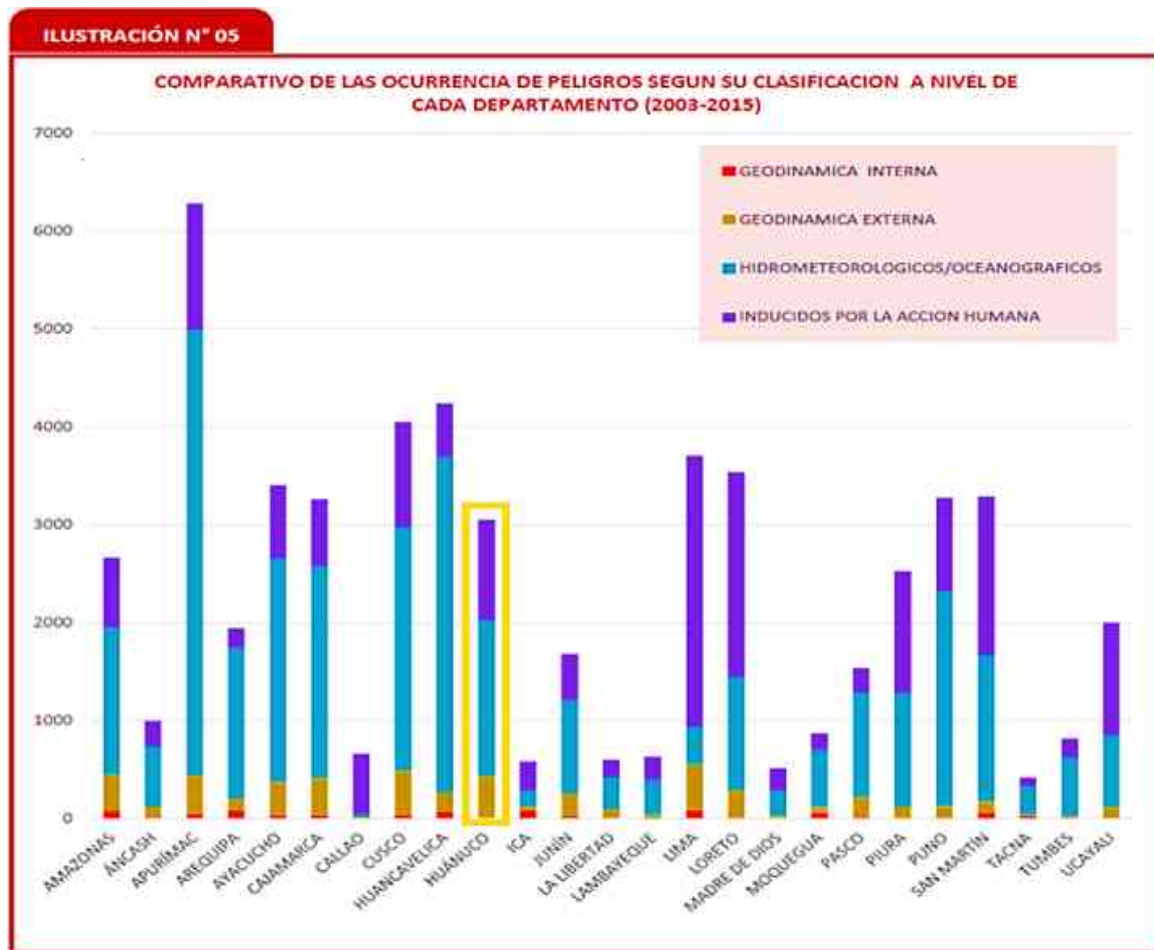
*Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros en el Perú a nivel de departamentos (2003-2015)*



Fuente: INDECI-Compendio Estadístico 2016 Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación-Centro de Operaciones de Emergencia Nacional Sub Dirección de Aplicaciones Estadísticas del INDECI -DIPPE, citado en [PCM] (2019).

Figura 2

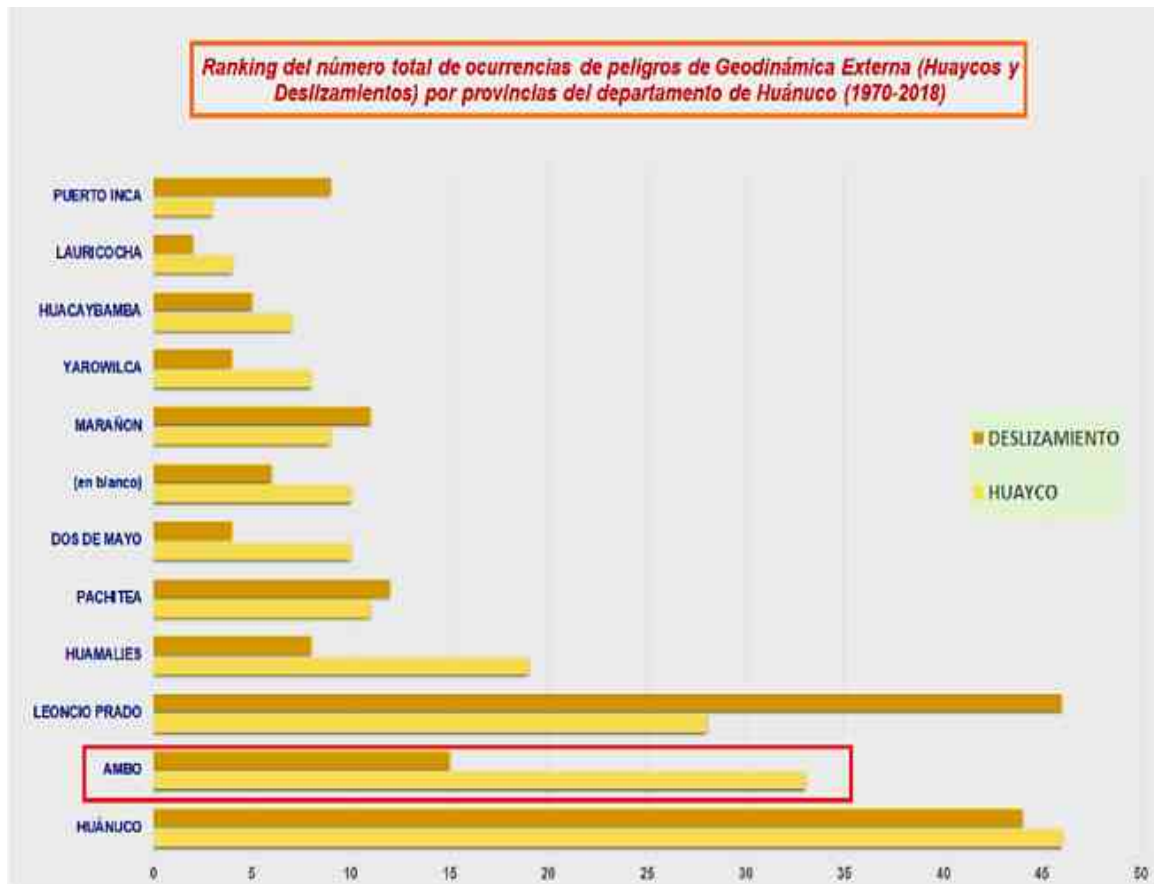
Comparativo de las ocurrencias de peligros según su clasificación a nivel de cada departamento (2003-2015)



Fuente: INDECI-Compendio Estadístico 2016 Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación-Centro de Operaciones de Emergencia Nacional Sub Dirección de Aplicaciones Estadísticas del INDECI -DIPPE, citado en [PCM] (2019).

**Figura 3**

*Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros de geodinámica externa (Huaycos y Deslizamientos) por provincias del departamento de Huánuco (1970-2018)*

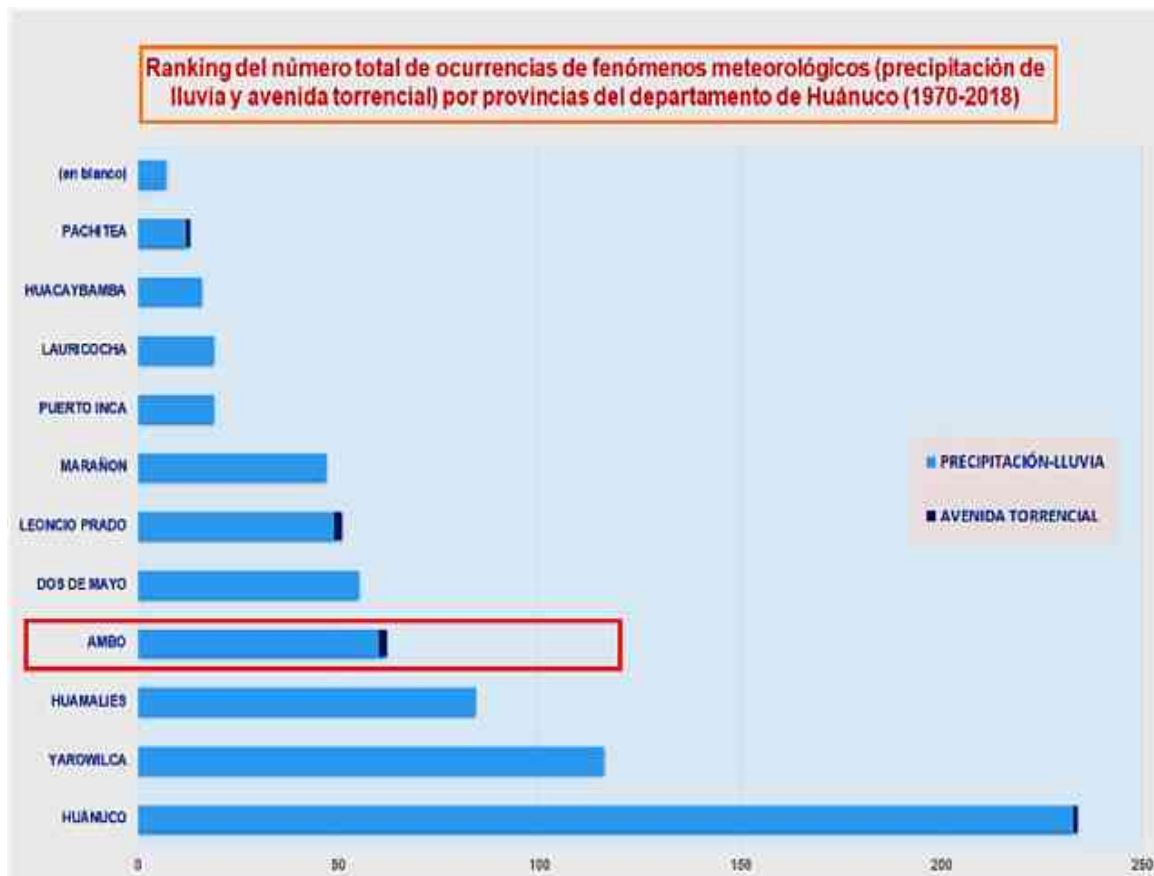


Fuente: Elaboración propia, basada en los registros históricos de los peligros generados por fenómenos naturales (según su tipo) del INDECI (2016) - SINPAD v2.0 y DesInventar.org (2022).



**Figura 4**

*Ranking de la cantidad total de ocurrencias de fenómenos meteorológicos (precipitación de lluvia y avenida torrencial) por provincias del departamento de Huánuco (1970-2018)*



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros históricos de los fenómenos meteorológicos (según su tipo) del INDECI (2016) - SINPAD v2.0 y DesInventar.org (2022).

**Figura 5**

*Ranking de la cantidad total de ocurrencias de peligros de geodinámica externa*

(huaycos y deslizamientos) por distritos de la provincia de Ambo - departamento de Huánuco (1970-2018)



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros históricos de los fenómenos meteorológicos (según su tipo) del INDECI (2016) - SINPAD v2.0 y DesInventar.org (2022).

### 1.5 Limitaciones

- La primera limitación importante, se explica a continuación: en base al estudio realizado por Aybar et al. (2020) quienes señalan que, aunque resulta tentador emplear datos grillados con cobertura espacial y temporal completa, como PISCO Prec V2p1 o PISCOp V2.1, deben tenerse en cuenta todas las faltas de homogeneidad inherentes a este producto. Por lo tanto, al igual que con otros

productos de datos reticulares o grillados de precipitaciones (GRD) combinados (Yanto et al., 2017; Beck et al., 2017a, citados en Aybar et al., 2020), se recomienda especial cuidado al utilizar PISCO Prec V2p1 para el análisis de tendencias, eventos extremos u otras aplicaciones relacionadas, por ejemplo, con el cambio climático (Aybar et al., 2020). Así también, según la investigación propuesta por Yang et al. (2023), se puede decir que, las mediciones de pluviómetros se utilizan para establecer umbrales de precipitación de lluvia. Sin embargo, obtener datos precisos de precipitación en regiones montañosas es un gran desafío (Guo et al., 2021, citados en Yang et al., 2023); debido a que, varios factores topográficos (altitud, pendiente, orientación, proximidad a fuentes de humedad y exposición) influyen en la distribución espacial de la precipitación (Al-Ahmadi & Al-Ahmadi, 2013, citados en Yang et al., 2023). Asimismo, los umbrales de precipitación que detonan movimientos de flujo de detritos, generalmente, se derivan de las observaciones de pluviómetros cercanos (Fan et al., 2018, citados en citados en Yang et al., 2023). Por lo cual, este método tiende a subestimar la cantidad de precipitación que causa flujos de escombros (Abancó et al., 2016; Guo et al., 2021, citados en citados en Yang et al., 2023). En las últimas tres décadas, se han utilizado técnicas de teledetección, como el radar y los satélites, para proporcionar estimaciones de precipitación con una mayor resolución y, precisión espacial y temporal (Brunetti et al., 2018, citados en citados en Yang et al., 2023). Esto se ilustra con la Medición Global Integrada de Precipitación IMERG a 10 km; en comparación, con las redes de radar de precipitación en tierra, los satélites pueden estimar la precipitación a escala global y pueden utilizarse en áreas con datos limitados en tierra. Desde el trabajo pionero de Hong et al. (2006), se ha utilizado la información de precipitación basada en satélites para determinar umbrales regionales y globales de geopeligros impulsados por la lluvia (Bhusan et al., 2014; Mathew et al., 2014; Kirschbaum y Stanley, 2018; Chikalomo et al., 2020; He et al., 2020; Jia et al.,

2020; Abancó et al., 2021; Wang et al., 2021b; Li et al., 2022, citados en citados en Yang et al., 2023). Una comparación de umbrales basados en pluviómetros y umbrales basados en satélites reveló que el ajuste de los productos de precipitación por satélite (ya sea basado en pluviómetros o mediante un modelo de error) junto con la resolución espacial puede mejorar la estimación de los umbrales de precipitación (Nikolopoulos et al., 2017, citados en citados en Yang et al., 2023). Por último, se concluye que, los umbrales basados en pluviómetros tienen un mejor rendimiento en regiones densamente monitoreadas (Brunetti et al., 2018, citados en citados en Yang et al., 2023); mientras que, los umbrales basados en satélites funcionan mejor en regiones escasamente monitoreadas (Brunetti et al., 2021, citados en citados en Yang et al., 2023). Teniendo en cuenta que, tanto las mediciones de lluvia de los pluviómetros como las observaciones por satélite presentan mayores incertidumbres en regiones montañosas (Tan et al., 2017; Bulovic et al., 2020; Lu et al., 2021; Pradhan et al., 2022, citados en citados en Yang et al., 2023). Además, para evaluar la viabilidad de los umbrales basados en satélites sería muy útil comparar los umbrales de precipitación derivados de diferentes pluviómetros con los umbrales de estimaciones satelitales a escala local. Sin embargo, ha habido pocos estudios de este tipo (Yang et al., 2023).

Adicionalmente, para la comparación de los datos pluviométricos con los datos grillados que se requirieron para el desarrollo de esta investigación, se tomó datos diarios de precipitación de lluvia de la segunda versión de PISCO (v2.0), el cual es un conjunto de datos operativos de precipitación que comprende los datos interpolados peruanos de Observaciones Climatológicas e Hidrológicas del SENAMHI (PISCO) con datos en grillados sobre la precipitación de lluvia (Aybar et al., 2020, citados en Millán Arancibia & Lavado-Casimiro, 2023), en otros datos hidrometeorológicos. Por lo cual, presenta soporte para su continuidad en comparación con la primera versión

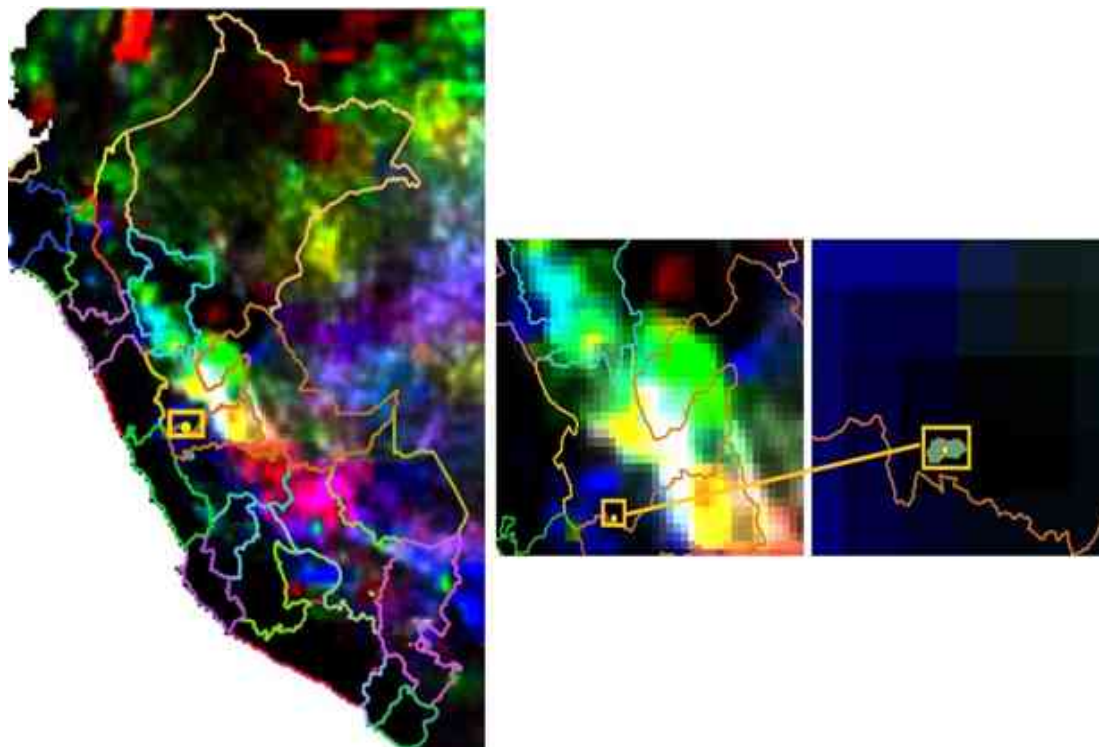
del producto PISCO (v1.x). Esta segunda versión del producto Pisco (PISCOp V2.1) genera datos mensuales y diarios, asimismo, el cambio más significativo radica en que el control de calidad ha sido mucho más riguroso; además de rellenar los datos faltantes tanto para las series diarias como las mensuales, por lo que, se ha cambiado la covariable de CHIRPS a CHIRPM a fin de mejorar la predicción de las intensidades (Aybar et al., 2017). Asimismo, tiene una resolución espacial de  $0.1^\circ$  y una resolución temporal diaria, agregando la precipitación diaria (desde las 07:00 hasta las 07:00 hora local, LT) generada por 416 redes convencionales de pluviómetros del SENAMHI. Adicionalmente, PISCO Prec, se genera utilizando el método de interpolación genRE (van Osnabrugge et al., 2017, citados en Millán Arancibia & Lavado-Casimiro, 2023), que consiste en una interpolación utilizando ponderación inversa de la distancia (IDW) y multiplicadores basados en la climatología mensual de PISCOp (Millán Arancibia & Lavado-Casimiro, 2023).

Por todo lo expuesto, este estudio usó datos de precipitación obtenidos de la estación meteorológica convencional de San Rafael, por ser la única estación cercana a la zona de estudio; así como, la utilización de la hidrología convencional para el análisis de los datos. Esto debido a que, la estación pluviométrica de San Rafael posee una extensión amplia de datos abarcando todo el rango (1990 - 2019) requerido para esta investigación; en comparación con los datos de precipitación del Producto Piscop V2.1 – variante estable con un rango de años de 1981 – 2016. Asimismo, se comparó los datos pluviométricos con los datos grillados de precipitación (Piscop V2.1) de la muestra de años 1994, 1998, 2011, 2013 y 2016, estas comparaciones se muestran en los Anexos 11 y 12. Finalmente, en general, se puede concluir que el 23.73% de los datos pluviométricos posee un error menor al 10% respecto de los datos grillados de precipitación diaria; así como, el 41.81% de los datos pluviométricos tiene un error menor al 50%. Esto quiere decir que, los datos pluviométricos de la estación San

Rafael presentan el 41.81% de confiabilidad, por cada año, con un error menor al 50% respecto de los datos de Piscop V2.1. De lo mencionado, se concluye que, aún sigue siendo útil trabajar con estos datos pluviométricos a escala de cuenca; ya que, estas estaciones convencionales cuentan con una gran extensión histórica de datos. Lo cual, es importante para este tipo de estudio longitudinal-retrospectivo; puesto que, se requiere recolectar datos cuantitativos del pasado de un periodo largo de tiempo para poder realizar predicciones y tendencias más acertadas.

### Figura 6

*Mapa de los datos de precipitación grillada de Piscop V2.1*



*Nota*, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**Tabla 1**

*Resumen del porcentaje de error respecto a los datos grillados de precipitación de Pisco V2.1*

AÑOS	1994	1998	2011	2013	2016	RESUMEN: % ERROR - RESPECTO A PISCO
% ERROR - RESPECTO A PISCO	% TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS	PROM
<= 10%	24.11%	31.78%	19.18%	20.00%	23.56%	23.73%
10% - < 50%	14.79%	13.15%	23.01%	22.47%	16.99%	18.08%
<b>% TOTAL</b>	<b>38.90%</b>	<b>44.93%</b>	<b>42.19%</b>	<b>42.47%</b>	<b>40.55%</b>	<b>41.81%</b>
> 50% - 100%	7.40%	7.95%	16.99%	17.81%	14.25%	12.88%
>= 100%	53.70%	47.12%	40.82%	39.73%	45.21%	45.32%
<b>% TOTAL</b>	<b>61.10%</b>	<b>55.07%</b>	<b>57.81%</b>	<b>57.53%</b>	<b>59.45%</b>	<b>58.19%</b>

*Nota*, la información más detallada, en referencia a esta tabla, se muestra en los Anexos 11 y 12.

- La segunda limitación importante, se explica a continuación: las investigaciones referentes a mejorar la predicción de datos de precipitación de lluvia, siguen hasta la actualidad en proceso de desarrollo; como por ejemplo, una de estas investigaciones fue propuesto por Huerta et al. (2022), que muestra el desarrollo de un conjunto de datos grillados de alta resolución con información de precipitación por hora en Perú, el cual es llamado PISCOp\_h. Asimismo, los datos de precipitación horaria observados y utilizados en el estudio mencionado, se obtuvieron del SENAMHI, el cual opera una red de 323 estaciones meteorológicas automáticas (AWS) en todo el

Perú. Aunque las AWS existen desde el año 2000, la cantidad de estaciones ha aumentado sustancialmente desde 2015. Para esta investigación citada, solo se utilizaron 309 AWS, que representan al menos el 5% de los datos para el período 2015-2020 (Huerta et al., 2022). Debido a lo anterior, se puede decir que, incluso con esta cantidad de AWS seguirán existiendo distritos, cuencas y/o localidades sin estaciones automatizadas. Así también, la quebrada Rosayoc/Batán es un área donde es escasa la densidad de estaciones; puesto que, solo cuenta con una estación meteorológica convencional (estación San Rafael), la cual es no automática y no posee precisión horaria; además, esta estación se encuentra ubicada muy cerca de la zona de estudio y, presenta series de datos completos y con buena extensión histórica. Por otro lado, las estaciones cercanas y con la misma característica climática y ecológica, también son convencionales. Por tal motivo, este estudio se desarrolló con datos de precipitación diaria y no horaria.

Por otra parte, para efectuar la presente investigación se añaden las siguientes limitaciones:

- La falta de estaciones meteorológica en la parte media y alta de la microcuenca Rosayoc/Batán; además, aunque se consideraran otras estaciones con características climáticas y ecológicas similares, no sería de mucha ayuda; ya que, existe información incompleta de las series de precipitación diaria de varios años requeridos para este estudio.
- La carencia de catálogos, registros y/o inventarios con clasificación de los diversos tipos de movimientos en masa que ocurren en la zona de estudio, con el fin de obtener información exacta, en específico, solo del tipo de movimiento requerido para este estudio, que en este caso es flujo de detritos.



- En la localización precisa del fenómeno, que presentan los registros de movimientos de masa recopilados; ya que, la ubicación de los movimientos de masa que se reportan, en coordenadas geográficas (longitud y latitud) no necesariamente pertenecen al lugar exacto donde ocurrió el suceso.
- En la obtención de umbrales físicos, dado que, estos umbrales no solo requieren parámetros pluvio-meteorológicos sino también parámetros físicos (geomorfológicos, geotécnicos); ya que, se obtienen de procesos donde se relacionan lluvias, infiltración, presiones de poros y estabilidad de taludes. No se profundizó en el estudio de este tema, porque se tendría que ahondar y añadir otra en línea de investigación (ingeniería geotécnica). Además, a parte del estudio de suelo, se necesita seguir pautas metodológicas para la obtención de las presiones de poros (utilizando los piezómetros de hincado y la consola de lectura de cuerda vibrante). Este tema, también se centra en el estudio de la estabilidad de taludes, para suelos saturados o no saturados, mediante el uso de los métodos de elementos finitos y equilibrio límite basado en el criterio de falla de Mohr Coulomb, que estiman el factor de seguridad de la pendiente y las variables críticas que originan la falla.
- En cuanto a la realización del estudio topográfico, se evaluó que podría resultar un costo en exceso y adicional, al costo del estudio de suelo realizado, puesto que se requiere aplicar a una zona de gran extensión. Por ende, se optó por elegir la información del estudio topográfico proporcionado por la municipalidad distrital de San Rafael, teniendo en cuenta que se puede corroborar y contrastar la información mediante la topografía satelital (geomática). Finalmente, esto permitirá que el costo para efectuar esta investigación sea más asequible.
- En caso sea un diseño completamente experimental-laboratorio, dado que, al realizar este diseño se tendría que incurrir en costos altos; debido a que, se necesitaría hacer

una modelación física a escala, en un laboratorio. Por tal motivo, optamos por seguir una simulación computacional, el cual es un diseño preexperimental que está dentro del tipo de una investigación experimental.

## **1.6 Formulación de hipótesis general y específica**

### **1.6.1 Hipótesis General.**

Al determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, se logra el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.

### **1.6.2 Hipótesis Específicas.**

- Al establecer la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos, se obtienen los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).
- Al determinar la capacidad predictiva de los umbrales mínimos LA y LAA, se logra validar y diferenciar eventos de lluvia desencadenantes, y no desencadenantes, de flujo de detritos.
- Al asociar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo, se demuestra que, este factor contribuye a desencadenar movimientos de flujo de detritos; asimismo es fundamental para el cálculo de los caudales de escorrentía líquida a partir de los umbrales de lluvia acumulada (LA).
- Al precisar los umbrales mínimos más catastróficos, que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, estos resultan ser la lluvia acumulada (LA1) de 18 días y LA2 de 5 días.

- Al relacionar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos, se consigue obtener la máxima profundidad y velocidad; así como, los volúmenes y caudales del flujo de detritos.
- Al hallar los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán, se obtienen los niveles medio, alto y muy alto de peligrosidad con mayor predominancia de área.

## 1.7 Variables

Según su función en una **relación causal**, de acuerdo con la Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco [UNHEVAL] (2019), y por la predominancia del nivel explicativo que presenta esta investigación; se considera que las variables de investigación se clasifican en dos: **variables independiente y dependiente**. Asimismo, existen las **variables intervinientes**, las cuales influyen en el desencadenamiento de los movimientos de flujo de detritos (Arias, 2006).

De acuerdo a nuestro estudio de investigación tenemos lo siguiente:

**Tabla 2**

*Variables de investigación*

VARIABLES	
<b>Variable Independiente (x):</b>	Umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante.
<b>Variable Dependiente (y):</b>	Seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos.
<b>Variables intervinientes</b>	Factores condicionantes: parámetros físicos (geotécnicos y morfométricos)

## 1.8 Definición teórica y operacionalización de variables

Tabla 3

*Definición teórica de la operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
<p><b><u>Variable Independiente (x):</u></b></p> <p>Umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante.</p>	<p>Reichenbach et al. (1998) definieron el término umbral crítico de lluvia como el mínimo o máximo nivel crítico de lluvia, a partir de la cual ocurre un movimiento de flujo de detritos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Seguimiento:</b> El término seguimiento se refiere a la observación o monitoreo minucioso sobre un tema o el desarrollo de un proceso.</li> <li>- <b>Pronóstico:</b> El término pronóstico refiere a aquel conocimiento anticipado de lo que sucederá en un futuro mediante ciertos indicios, señales, estudio, historia previa, entre otros.</li> <li>- <b>Medidas de control, prevención y reducción ante movimientos de masa:</b> debido al alto poder destructivo que tienen los movimientos de masa es necesario implementar medidas de protección o prevención (anticipo), que les permitan a las poblaciones asentadas en zonas de alta amenaza reducir los riesgos que pueden correr ante estos sucesos.</li> </ul>	<p>La variable de umbrales de precipitación de lluvia se va a medir mediante los pluviómetros de cada estación meteorológica requerida.</p>
<p><b><u>Variable Dependiente (y):</u></b></p> <p>Seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Flujos de detritos:</b> los flujos de detritos, también denominados flujos de escombros o huaycos, son considerados como flujos de detritos saturados muy rápidos a extremadamente rápidos, no plásticos (Índice de Plasticidad menor al 5%), que transcurren principalmente a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Asimismo, presentan un fuerte arrastre de material y agua en la trayectoria del flujo hasta ser depositados en abanicos aluviales. Además, los flujos de escombros recogen y depositan material continuamente a lo largo de su recorrido; lo que les permite cambiar, a medida que avanzan, su estado de presión de poros interna y su mecánica.</li> </ul>	<p>La variable del seguimiento y pronóstico de movimientos de flujo de detritos se va a medir en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo.</p> <p>La variable de movimientos de flujo de detritos se va a medir mediante volúmenes.</p>

---

**Variables Intervinientes:**

Factores condicionantes:  
parámetros físicos  
(geotécnicos y  
morfométricos).

- **Parámetros geotécnicos y morfométricos:** De acuerdo con Jakob (1996), para estudiar y caracterizar correctamente una cuenca relacionada a flujos de escombros, se debe combinar los factores hidrológicos con los factores geotécnicos y morfométricos. Por tal motivo, no solo se debe efectuar un análisis de series de precipitación de duración parcial basado en varios supuestos estadísticos; ya que, la falta de varias estimaciones de magnitud fiables impide seguir analizando únicamente con este método.

- Los parámetros geotécnicos se van a medir a través de la extracción de la muestra in situ y los ensayos de laboratorio.

- Los parámetros morfométricos se van a medir mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis de imágenes satelitales, análisis topográfico y análisis hidrológico (longitud del cauce, pendiente media, red de drenaje).

---

**Nota,** la operacionalización de variables completa se muestra en el Anexo 02.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 *Antecedentes internacionales.*

Aristizábal et al. (2022) en su investigación titulada: “Umbrales de lluvia como detonante de movimientos en masa en el piedemonte de la cordillera Central en los Andes colombianos” tuvieron como objetivo establecer umbrales de lluvia basados en datos satelitales con una resolución temporal diaria y espacial de 25 km<sup>2</sup>; con el fin de hallar un modelo de lluvia acumulada antecedente a 90 días, en relación con la ocurrencia de cada uno de los 100 movimientos en masa registrados. Esto se logró utilizando la metodología de análisis de datos satelitales, lo que permitió construir series gráficas de lluvia acumulada Antecedente Detonante (AD) a 90 días, incluido el día que se produjo cada uno de los movimientos en masa estudiados. Así como, series gráficas de lluvia acumulada Antecedente Histórica (AH), que representan precipitaciones ocurridas antes de la lluvia acumulada antecedente detonante. Luego, al superponer la serie AD sobre la serie AH, se obtienen gráficas que permiten realizar el análisis de las condiciones de lluvia antecedente de los tres últimos meses anteriores al suceso del evento y su relación con las condiciones históricas de precipitación en la zona. Estas relaciones entre las series AD y AH, que se descubrieron para cada registro de movimiento en masa presentan tendencias muy variadas. En consecuencia, los resultados indican que la relevancia de la lluvia como factor principal detonante está controlado por la granulometría y permeabilidad de los suelos que componen las laderas. La lluvia antecedente es esencial en los suelos finos (limos y arcillas), pero es secundaria en los suelos arenosos. Esta relación permite el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) basado en la lluvia detonante y las condiciones de lluvia antecedente histórica. Las conclusiones de esta investigación muestran que este trabajo propone un sistema de alerta temprana fundamentado en las

condiciones de precipitación AD y AH utilizando criterios cuantitativos como el AUC. Este tipo de sistema puede ayudar a las entidades territoriales a tomar medidas preventivas para disminuir los niveles de vulnerabilidad y riesgo en las comunidades. Finalmente, es importante enfatizar la necesidad de seguir estudiando la relación entre las lluvias y la ocurrencia de movimientos en masa, teniendo en cuenta los factores detonantes (lluvia), así como los factores condicionantes que influyen en gran medida la respuesta de una ladera a tales eventos.

Wang et al. (2022) en su investigación titulada: "Rainfall thresholds of debris flows based on varying rainfall intensity types in the mountain areas of Beijing [Umbrales de lluvia de flujos de escombros basados en diferentes tipos de intensidad de lluvia en las áreas montañosas de Beijing]" tuvieron los siguientes objetivos: establecer el umbral de precipitación en función de la intensidad en tiempo real ( $I_t$ ) en las zonas montañosas de Beijing, evaluar las eficiencias de los umbrales derivados de diferentes tipos de intensidades de lluvia e investigar la dinámica de los flujos de escombros en la región montañosa de Beijing. Esto se logró mediante el método de inferencia bayesiano, que es utilizado para un pequeño conjunto de datos. Los resultados que se obtuvieron muestran que, existen claras diferencias en precipitación, duración e intensidad máxima entre las tormentas del 21 de julio de 2012, 20 de julio de 2016 y 16 de julio de 2018. La precipitación promedio de todas las precipitaciones registradas de las tres tormentas es de alrededor de 170 mm para la tormenta del 21 de julio de 2012, 203 mm para la tormenta del 20 de julio de 2016 y 102 mm para la tormenta del 16 de julio de 2018. Por último, esta investigación concluye que, al analizar sistemáticamente la evolución de tres tormentas recientes y su asociación con el inicio del flujo de escombros en las áreas montañosas de Beijing, estos eventos se produjeron durante los intervalos con altas intensidades de lluvia, pero no siempre correspondieron con la intensidad máxima de las precipitaciones; por lo cual, algunas de ellas mostraron un retraso de 3-4 horas respecto a la intensidad

máxima. Todos los flujos de escombros se desencadenaron cuando tanto las intensidades como las precipitaciones acumuladas alcanzaron un determinado nivel simultáneo, lo que indica una influencia combinada de la intensidad de las precipitaciones y de las precipitaciones acumuladas.

Pan et al. (2018) en su estudio titulado: “Rainfall threshold calculation for debris flow early warning in areas with scarcity of data [Cálculo del umbral de lluvia para alerta temprana de flujo de escombros en áreas con escasez de datos]” tuvieron como objetivo calcular umbrales de lluvia confiables y precisos; así como mejorar la precisión de la alerta temprana de flujo de escombros en áreas con escasez de datos. Por lo cual, la metodología que se utilizó fue la iniciación del flujo de escombros, primero para analizar las características de lluvia de la cuenca mediante el uso de los datos de monitoreo de campo y luego para calcular el rendimiento de la escorrentía. Además, de los métodos como el patrón de precipitaciones y características de la distribución espacio-temporal, el cálculo del índice de precipitación antecedente (API) y la curva del umbral de lluvia de los flujos de detritos. Los resultados que se obtuvieron nos muestran que, cuando la suma del API y la precipitación de 1 h ( $I_{60}$ ) alcanza los 107 mm (área de alerta temprana), la cárcava puede desencadenar un flujo de escombros. Finalmente, las conclusiones de este estudio señalan que, se determinó el umbral de lluvia del flujo de escombros y se presentó un nuevo método para calcular el umbral de lluvia. El cual consiste en analizar las características de las precipitaciones, características hidrológicas y algunas otras condiciones topográficas. Además, de acuerdo con el mecanismo de iniciación del flujo de escombros impulsado hidráulicamente, combinado con el rendimiento de la escorrentía y las leyes de concentración de la cuenca, este estudio promovió un nuevo método para calcular el umbral de lluvia del flujo de escombros. Por último, la condición hidrológica para el inicio de un flujo de detritos es el resultado tanto de lluvias intensas de corta duración ( $I$ ) y la API. Todo lo mencionado, contribuye al enfoque propuesto de resolver el



problema de la alerta temprana de flujo de escombros en áreas con datos escasos y se puede utilizar para establecer sistemas de alerta de flujos de escombros para cuencas similares en áreas con datos escasos, aunque aún necesita modificaciones adicionales.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales.**

Castro Garro (2022) en su tesis titulada: “Umbral de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac” tuvo como objetivo establecer umbrales de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac. En tal sentido, utilizando el método de remuestreo Bootstrap, se evaluaron los umbrales a distintos niveles de probabilidad de excedencia y se calcularon las incertidumbres relativas asociadas a los parámetros del modelo ( $E = \alpha \cdot D^{\gamma}$ ). Asimismo, se realizaron las validaciones de los umbrales, a diferentes niveles de probabilidad de excedencia, utilizando tablas de contingencia, índices de puntuación y un análisis ROC. Para ello, se examinó un catálogo de 57 condiciones de precipitación que detonaron en, al menos, 110 deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac para el periodo 2005-2017. Teniendo como resultados, umbrales para condiciones de lluvia de 1 a 180 horas de duración (D) y de 1.5 a 116.4 mm de precipitación acumulada (E), con incertidumbre relativa  $\alpha$ , que oscila entre 29.4 a 50%;  $\gamma$ , incertidumbre relativa  $\gamma$  de 15.4%. Finalmente, se obtuvieron umbrales de precipitación para valores promedio de 57.1 horas de duración y 25 mm de precipitación acumulada, con valores de incertidumbre relativa mayores a los recomendados por Peruccacci et al. (2012, citados en Castro Garro, 2022). Además, se concluye que, cuando existen valores altos de incertidumbre relativa no se producen suficientes eventos de precipitaciones desencadenantes de deslizamientos, esto conlleva a no tener umbrales confiables que puedan ser usados en un sistema de alerta temprana.

Millán & Lavado (2023) en su investigación titulada: “Estimación de umbrales de lluvia para deslizamientos superficiales en Perú a partir de datos diarios cuadrículados”

tuvieron como objetivo generar y evaluar umbrales regionales de precipitación obtenidos a partir de la combinación de datos de precipitación grillada de alta resolución (PISCOpd\_Op), desarrollado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), con la información de eventos de deslizamientos superficiales detonados por lluvias (SL). Además, los umbrales hallados se determinan para 11 regiones pluviométricas a escala regional-nacional; asimismo, el método de determinación de los umbrales se basa en un enfoque empírico-estadístico, y el rendimiento predictivo de los umbrales se evalúa mediante “True Skill Statistic” (TSS) y el Área Bajo la Curva ROC (AUC). Adicionalmente, la validación del desempeño de los umbrales se realiza con eventos ocurridos durante el 2020 y se enfoca en evaluar la operatividad de estos umbrales en los sistemas de alerta de deslizamientos en Perú. En conclusión, esta investigación contribuye al monitoreo y pronóstico de deslizamientos superficiales causados por lluvias intensas, así como, brindar apoyo en las acciones de la gestión del riesgo de desastres (GDR).

Ordoñez Gálvez (2019) en su estudio titulado: “Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú” tuvo como objetivo caracterizar los impactos causados por los movimientos de masa en el país, durante el período 2003/2018. Para lo cual, se utilizó la metodología del análisis integral de las variables, el análisis a nivel temporal y el análisis a nivel de regiones naturales. Por último, en referencia a los resultados obtenidos y en conclusión, se ha demostrado que el comportamiento espacial de los impactos causados por movimientos en masa presenta una proporcionalidad inversa con la altitud. Es decir, los mayores impactos se registran en provincias con un rango de altitud de 0 msnm a 2000 msnm; mientras que, para altitudes mayores a los 2000 msnm los impactos son menos severos, no obstante, generan de igual modo fuertes daños a la población y la infraestructura física. Asimismo, esto queda consolidado en el perfil longitudinal de

impactos por provincias, evidenciando que la mayoría de las provincias afectadas por eventos extremos están relacionadas a impactos por inundaciones y lluvias intensas.

Damian Ancasi y Huaman Llamoca (2017) en su tesis titulada: “Estimación de umbrales de precipitación, para un sistema de alerta temprana en deslizamiento de laderas, en el distrito de Cuenca, provincia y región de Huancavelica” tuvieron como objetivo determinar los umbrales de precipitación de lluvia que generan deslizamiento de laderas para un sistema de alerta temprana en el distrito de Cuenca. Esto se alcanzó a través de una metodología que empleó el monitoreo pluviométrico asociado a la ocurrencia de los deslizamientos; así como el procesamiento simple o complejo de datos espaciales mediante la utilización de las herramientas de análisis proporcionadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los resultados muestran que el umbral de 4 días está clasificado con alerta verde, ya que representa el 25% de la lluvia crítica acumulada, que equivale a 30 mm. El umbral de 6 días representa el 50% de la lluvia acumulada crítica, lo cual da una alerta amarilla, que corresponde a 50 mm. El umbral de 10 días corresponde al 75% de la lluvia acumulada crítica y da una alerta roja, además se sitúa entre 70 y 100 milímetros. Asimismo, las precipitaciones máximas acumuladas de 16 días de la serie analizada son igual a 100.3 mm y representan el 75% de la lluvia acumulada crítica, por ende, emitirá una alerta roja. En conclusión, este estudio se basa en el monitoreo de precipitaciones de lluvia que desencadenan deslizamientos, con el propósito de aportar al sistema de alerta temprana en la subcuenca Mantaro; así como en la determinación de las áreas más vulnerables, en términos de pérdidas de vidas humanas y daños a infraestructuras.

### **2.1.3 Antecedentes locales.**

Acha Alhuay (2022) en su tesis titulada: “Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco” tuvo

como objetivo estimar los umbrales de lluvia desencadenantes de los deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado. Para ello, se realizó las metodologías de identificación de los deslizamientos históricos durante el periodo 2000 al 2020 en la provincia de Leoncio Prado y la aproximación de precipitaciones antecedentes con los deslizamientos observados. Asimismo, en la investigación se utilizó la probabilidad bayesiana unidimensional utilizando un solo parámetro que fue las lluvias antecedentes a la ocurrencia de los deslizamientos para determinar la probabilidad de ocurrencia de los deslizamientos de tierra. En cuanto a los resultados y conclusiones, se obtuvieron los siguientes datos: primero, se identificaron 151 deslizamientos históricos (112 deslizamientos, 13 derrumbes y 26 huaycos) durante el periodo 2000 al 2020 en la provincia de Leoncio Prado. Con un mapa de inventario de pequeña escala (1:150,00), tipo de archivo y geomorfológico (histórico y de eventos). Luego, mediante el método de interpolación de Ponderación de Distancia Inversa (IDW), se consiguieron las aproximaciones de las precipitaciones antecedentes con deslizamientos observados en la zona de estudio. Finalmente, los umbrales de lluvia detonante de los deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado resultaron con una probabilidad alta entre 0.71 y 0.85, con un periodo de retorno de 2 años, para todas las lluvias antecedentes de 3, 5, 7, 10, 15 y 30 días; mientras que mostraron una probabilidad baja que varía entre 0.00 y 0.26 para periodos de retorno más largos de 5, 10, 25 y 50 años. Por lo cual, los deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado son desencadenados con mayor frecuencia por los umbrales de lluvias antecedentes, con un período de retorno de 2 años. De lo mencionado, podemos agregar que, el mejor umbral de lluvia detonante de los deslizamientos fue la lluvia antecedente de 5 días presentando una probabilidad de ocurrencia de 0.85 con un umbral mínimo de 98.25 mm y un umbral máximo 282.29 mm.

Referente a investigaciones específicas sobre el tema de umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos, en el distrito de San

Rafael – provincia de Ambo; aún no existe ningún antecedente semejante al que se pretende desarrollar, debido a ello, este trabajo será un gran aporte para otros estudios.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Movimientos en masa.**

Selby (1993, citado en Guerra et al., 2017) describió de manera concisa a los movimientos en masa, o también denominados desgaste de masas de suelos, como el movimiento de una masa de rocas fracturadas y/o meteorizadas, o depósitos inconsolidados, suelo residual y sedimentos, que se desplazan por una pendiente hacia niveles inferiores, debido a la acción directa de la fuerza de gravedad (Coates, 1990; Juvenal, 1993, como se citaron en Mayorga Márquez, 2003).

Asimismo, un movimiento en masa puede desencadenarse por deslizamientos a lo largo de un plano de deslizamiento o por licuefacción de la masa saturada (o casi saturada). Tales procesos de deslizamiento y licuefacción son causados principalmente por el desarrollo de presiones intersticiales excesivas que acompañan al aumento de la saturación durante la infiltración del agua o el aumento del nivel freático. De hecho, el alto contenido de agua de la masa aumenta su peso y, en particular, reduce su resistencia al corte efectivo, lo cual lleva a que las partículas del suelo pierdan su adherencia y terminen deslizándose hacia la parte baja de la ladera (Laigle & Bardou, 2022). Además, las múltiples causas internas del suelo del talud como la geología, geomorfología, aspectos físicos y antrópicos producen movimientos en masa. Sin embargo, factores como la lluvia o un sismo son denominados como factores detonantes, los cuales son estímulos externos que generan una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman el talud o ladera. De estos dos factores mencionados, la lluvia es su factor desencadenante más común y el análisis de las condiciones críticas de lluvia es una tarea de investigación fundamental (Abancó et al., 2016).

### 2.2.1.1 Tipos de movimientos en masa.

Tabla 4

*Tipos de movimientos en masa*

Tipo	Descripción	Subtipo
<b>Caídas</b>	Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.	Caída de roca (detritos o suelo)
<b>Volcamiento</b>	En este movimiento hay una rotación, generalmente, hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto de giro en su parte inferior; ya sea, por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.	Volcamiento de roca (bloque)  Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
<b>Deslizamiento de roca o suelo</b>	Se trata de un movimiento en masa de suelo o roca que ocurre, en una ladera, principalmente a lo largo de una superficie de falla o una zona estrecha donde se produce una gran deformación cortante.	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña  Deslizamiento rotacional

<b>Propagación lateral</b>	<p>La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo.</p>	Propagación lateral lenta
<b>Flujo</b>	<p>Es un tipo de movimiento en masa que exhibe un comportamiento similar al de un fluido, durante su desplazamiento; asimismo, puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos, son causados por otro tipo de movimiento como un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Estos flujos se caracterizan en base al tipo y propiedades del material involucrado; así como la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otros factores distinguibles (Hungr et al., 2001).</p>	<p>Propagación lateral por licuación (rápida)</p> <p><b>Flujo de detritos</b></p> <p>Flujo Hiperconcentrado o Crecida de detritos</p> <p>Flujo de lodo</p> <p>Flujo de tierra</p> <p>Flujo de turba</p> <p>Avalancha de detritos</p> <p>Avalancha de rocas</p> <p>Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)</p>
<b>Reptación</b>	<p>La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de</p>	Reptación de suelos

	delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.	Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)
<b>Deformaciones gravitacionales profundas</b>	Estos movimientos presentan rasgos de deformación, pero sin el desarrollo de una superficie de ruptura definida y usualmente con muy baja magnitud de velocidad y desplazamiento.	

Fuente: Hungr et al. (2001); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007); Varnes (1978).

**Tabla 5**

*Escala de velocidades de los movimientos de masa*

Clases de velocidad	Descripción	Tipo de movimiento de masa	Velocidad (m/s)	Velocidad típica
7	<b>Extremadamente rápido</b>	Caídas, Volcamiento de bloque, Deslizamiento traslacional, Deslizamiento rotacional, Propagación lateral por licuación, Flujo de detritos, Flujo de lodo, Deslizamiento por flujo, Avalancha de detritos, Avalancha de rocas.	Mayor o igual a 5	5 m/s
6	<b>Muy rápido</b>	Caídas, Volcamiento de bloque, Deslizamiento traslacional, Deslizamiento	0.05	3 m/min



		rotacional, Flujo de detritos, Flujo hiperconcentrado, Flujo de lodo, Deslizamiento por flujo, Avalancha de detritos.		
5	<b>Rápido</b>	Deslizamiento traslacional, Deslizamiento rotacional, flujos.	$5 \times 10^{-4}$	1.8 m/h
4	<b>Moderada</b>	Volcamiento flexural, Deslizamiento rotacional, flujos.	$5 \times 10^{-6}$	13 m/mes
3	<b>Lenta</b>	Volcamiento flexural, Deslizamiento rotacional, flujos, Reptación.	$5 \times 10^{-8}$	1.6 m/año
2	<b>Muy lenta</b>	Deformaciones gravitacionales profundas.	$5 \times 10^{-10}$	16 mm/año
1	<b>Extremadamente lenta</b>	Propagación lateral lenta.	Menor a $5 \times 10^{-10}$	Menor a 16 mm/año

Fuente: Cruden & Varnes (1996); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007).

**Tabla 6**

*Clasificación de los movimientos de masa en función del tipo de material y velocidad*

<b>Tipos de movimiento de masa</b>	<b>Características del tipo de material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de velocidad</b>

---

<b>Caída de rocas (Rock fall)</b>	Fragmento de roca.	Caída vertical, o que desciende verticalmente o casi verticalmente (frecuentemente se presenta con rebotes).	Muy rápido (> 10 m/s)
<b>Deslizamiento de rocas (Rock slide)</b>	Un gran cuerpo de roca.	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie plana (deslizamiento traslacional).	Normalmente muy lento (mm/año 0 cm/año) pero algunos puede ser más rápidos
<b>Avalancha de rocas (Rock avalanche)</b>	Un gran cuerpo de roca que se desliza y luego se rompe en pequeños fragmentos.	Flujo (altas velocidades, la masa de fragmentos de roca se suspende en un colchón de aire).	Muy rápido (> 10 m/s)
<b>Fluencia o soliflucción (Creep or solifluction)</b>	Suelo u otra sobrecarga: en algunos casos, mezclado con hielo.	Flujo (aunque también puede ocurrir un movimiento deslizante).	Muy lento (mm/año o cm/año)
<b>Depresión o desprendimiento (Slump)</b>	Depósitos gruesos (de un metro a decenas de metros) de sedimentos no consolidados.	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie curva (deslizamiento de rotación).	Lento (cm/año a m/año)
<b>Flujo de lodo (Mudflow)</b>	Sedimento suelto con un importante componente de limo y arcilla.	Flujo (una mezcla de sedimento y agua se mueve por un canal).	Moderado a rápido (cm/s a m/s)

---

<b>Flujos de escombros o detritos (Debris Flow)</b>	Arena, grava y fragmentos más grandes.	Flujo (similar a un flujo de lodo, pero típicamente más rápido).	Rápido (m/s)
---	--	--	--------------

Fuente: Earle (2019, pp. 493, Chapter 15); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007); Ordoñez Gálvez (2019).

### Figura 7

*Resumen sintético de las propiedades mecánicas de las mezclas de grano en agua*



Fuente: Laigle & Bardou (2022).

### 2.2.2 Los flujos.

Los flujos son un tipo de movimiento en masa que muestran un comportamiento similar al de un fluido, durante su desplazamiento; asimismo, este desplazamiento puede

ser saturado o seco, así como variar de extremadamente rápido a lento. Sin embargo, actúan diferente a los fluidos newtonianos convencionales como el agua. Además, en muchos casos, son causados por otro tipo de movimiento como un deslizamiento o una caída (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Varnes, 1978).

### 2.2.2.1 Tipos de flujos.

Es muy relevante poder distinguir los distintos tipos de flujo; ya que, cuando se analiza la amenaza de una área o zona, el potencial destructivo es característico de cada tipo (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

**Tabla 7**

*Descripción de los tipos de flujos*

Tipo	Subtipo	Descripción
	<b>Flujo seco</b>	El término flujo trae naturalmente a la mente la idea de contenido de agua, y de hecho para la mayoría de los movimientos de este tipo se requiere cierto contenido de agua. Sin embargo, ocurren con alguna frecuencia pequeños flujos secos de material granular y se ha registrado un número considerable de flujos grandes y catastróficos en materiales secos (Varnes, 1978).
	<b>Flujo de detritos</b>	Flujo canalizado, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Asimismo, es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de gran cantidad de sedimentos gruesos saturados, o mucho mayor que la cantidad de sedimentos gruesos que tiene un flujo hiperconcentrado, y poca cantidad de sedimentos finos, por lo cual son no plásticos (índice de plasticidad menor al 5%).

---

<p><b>Flujo Hiperconcentrado o crecida de detritos</b></p>	<p>Flujo canalizado muy rápido, que transporta una gran carga de sedimentos gruesos y agua a lo largo de un cauce (Hungar et al., 2001). Es difícil distinguir entre un flujo de detritos y una crecida de detritos con base en la concentración de sedimentos, por lo que deben diferenciarse según el caudal pico observado o potencial. Las crecidas de detritos se caracterizan por caudales pico 2 o 3 veces mayores que el de una crecida de agua o inundación.</p>
<p><b>Flujos</b></p>	<p>Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido, donde predomina los sedimentos finos saturados o plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor en comparación al material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material.</p>
<p><b>Flujo de lodo</b></p>	<p>Flujo no canalizado de suelo arcilloso plástico, que posee un movimiento intermitente y puede ir de lento a rápido o viceversa (Hungar et al., 2001). Asimismo, generalmente desarrolla velocidades moderadas, o hasta puede llegar a velocidades lentas o extremadamente lentas (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).</p>
<p><b>Flujo de tierra o deslizamiento de tierra</b></p>	<p>Este flujo, en sí es alargado y, usualmente, se da en condiciones de saturación de los materiales de grano fino o rocas arcillosas en pendientes moderadas; es decir, ocurre cuando el material que conforma el talud, se licua y escurre formando una depresión en la cabecera del talud. En otras palabras, después de la falla inicial (el origen del movimiento es geológico), un flujo de tierra puede moverse estacionalmente en respuesta al aumento de la saturación causado por la lluvia y/o el agua subterránea, siendo el detonante de la aceleración del movimiento (Laigle &amp; Bardou, 2022).</p>

---

---

<b>Deslizamiento por flujo</b>	Flujo no canalizado, muy rápido a extremadamente rápido de una masa de suelo, con estructura granular ordenada o desordenada. Ocurre en taludes de pendiente moderada e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento en masa (Hungry et al. (2001).
<b>Avalancha de detritos</b>	Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungry et al., 2001).
<b>Avalancha de rocas</b>	Flujo no canalizado de gran longitud y extremadamente rápidos, el cual está compuesto de rocas fracturadas, que resultan de deslizamientos de rocas de magnitud considerable (Hungry et al., 2001). Además, pueden ser extremadamente móviles y, esta movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria.

---

*Nota,* La descripción de los distintos tipos de flujo que se muestran en esta tabla, se realizó en base a lo indicado por los autores Hungry (2005); Hungry et al. (2001); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007); Varnes (1978).

### 2.2.2.2 Flujos canalizados.

Aunque los flujos en las laderas (no canalizados) son, en principio, similares a los flujos canalizados, el entorno de la ladera difiere del entorno del canal en que suele ser: (1) más escarpado, (2) no confinado y (3) posee características muy diferentes de un evento a otro. Los dos primeros factores no causan necesariamente actividades de flujo diferentes de las, de los canales, pero el último sí; esto se debe a que muchos flujos de ladera son considerados como flujos primerizos, en el sentido de que, incluso si un flujo se ha producido previamente en el mismo lugar, su huella de recorrido puede haber sido eliminada por otros procesos que surgen en la ladera antes de que se produzca el siguiente. En consecuencia, la actividad de un flujo de ladera suele ser menos predecible que la de un flujo de canal (Laigle & Bardou, 2022).

**Tabla 8**

*Descripción de los tipos de flujos canalizados*

Tipo	Subtipo	Descripción
<b>Flujos canalizados</b>	<b>Flujo hiperconcentrado</b>	Los depósitos de crecidas de detritos están compuestos comúnmente por mezclas de arena gruesa y grava pobremente estratificada (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Pierson, 2005). Asimismo, es un tipo de flujo que se diferencia del flujo de detritos, por tener un menor contenido de sedimentos y, por ende, mayor volumen de agua (Ilinca, 2021). Se diferencian de los depósitos de flujos de detritos en que las gravas que los forman presentan una textura uniforme con cambio progresivo en el tamaño de granos gruesos de un lado a otro, sin granos finos o en cantidad ínfima, en todo el depósito; además, presentan en su composición clasto y bloques superpuestos (Proyecto Multinacional Andino:

---

Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Pierson, 2005).

**Flujo de detritos o  
escombros**

Es un flujo que puede iniciar su movimiento de dos maneras: por deslizamientos superficiales en las cabeceras de las cuencas (Iverson et al., 1997, citados en Yang et al., 2023) o cuando el material acumulado en las laderas, o canales, se erosiona y es movilizado por la escorrentía (Gregoretto et al., 2016, citados en Yang et al., 2023). Por ende, los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender por el canal y, finalmente, los depositan en abanicos de detritos.

**Flujo de lodo**

Es un flujo rápido que surge de la licuefacción completa de un deslizamiento de tierra. En general, moviliza un volumen menor que un flujo de escombros, debido a la cantidad ínfima de sedimentos gruesos; además todo el material que lo compone está suficientemente húmedo para fluir rápidamente, ya que, posee mayor volumen de agua en comparación a los flujos de detritos, así como mayor cantidad de material plástico con una gran fracción de clastos finos (partículas del tamaño de arena, limo y arcilla) (Hung et al., 2001; Laigle & Bardou, 2022). Asimismo, Pierson & Costa (1987, citados en Ilinca, 2021) consideraron el flujo de lodo como una subcategoría de flujo de escombros con una proporción de gravas <50%.

Finalmente, en términos de mecánica, los flujos de lodo son bastante similares a los flujos de escombros (al menos del tipo viscoso), pero la fracción arcillosa modifica la reología del material (Laigle & Bardou, 2022). También, se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento de tierra ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua (Proyecto

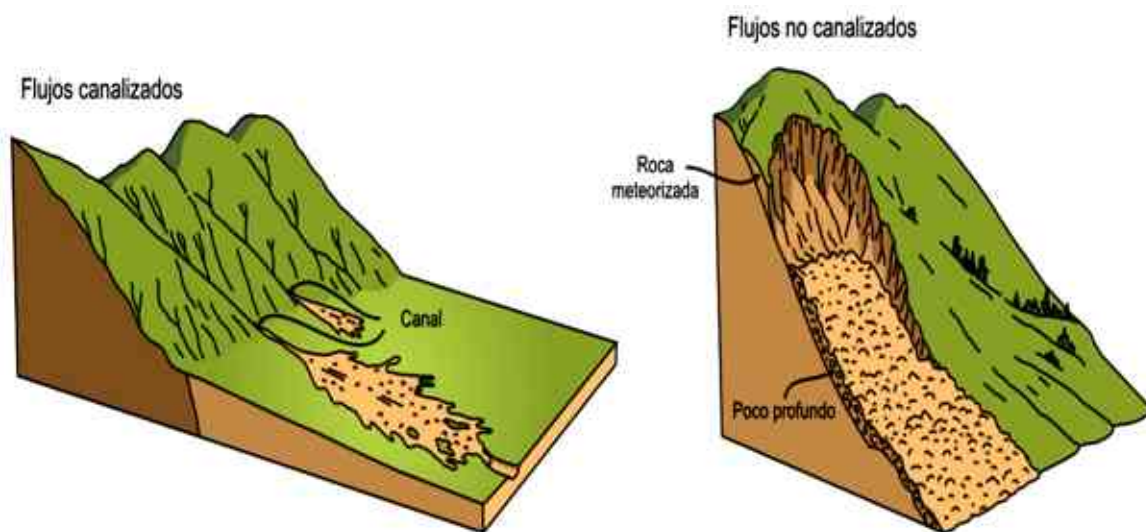
---



Fuente: Hungr et al. (2001); Ilinca (2021); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007); Pierson (2005).

### Figura 8

*Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996)*



Fuente: Cruden y Varnes (1996); Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007).

### **2.2.3 Evaluación de la lluvia como factor detonante a movimientos de flujos de detritos.**

Las múltiples causas internas del suelo del talud como la geología, geomorfología, aspectos físicos y antrópicos producen movimientos de flujo de detritos; sin embargo, factores como la lluvia o un sismo son denominados como factores detonantes, los cuales son estímulos externos, que generan una respuesta casi inmediata al movilizar los materiales que conforman el talud o ladera. Asimismo, si se sabe que la lluvia es el evento que dispara con mayor frecuencia estos movimientos; entonces, el estudio de la relación

de este elemento meteorológico con la ocurrencia de los movimientos de flujo de escombros es de gran importancia (Mayorga Márquez, 2003).

Adicionalmente, si se considera que, el agua se encuentra íntimamente asociado a la estabilidad y movimientos de tierra; tal como, la infiltración y el movimiento del agua, dentro del suelo del talud, aumenta el contenido de humedad, lo que produce un considerable aumento en el peso unitario total de la masa de suelo. Además, la complejidad en encontrar las probabilidades de alcanzar una profundidad de saturación crítica y; por lo tanto, pronosticar la ocurrencia de movimientos de flujo de escombros detonado por lluvias, es función de una gran cantidad de parámetros involucrados e íntimamente relacionados. Algunos de estos parámetros son el flujo de agua que entra al suelo, la morfología de la ladera; las características hidráulicas y la succión (propiedades dominantes del suelo); mientras que, la precipitación de lluvia acumulada (E) y su duración (D) son condiciones externas que influyen en la saturación del suelo. Asimismo, el contenido de humedad del suelo y la lluvia antecedente inciden en el control de la duración y cantidad de la precipitación crítica (Aristizábal et al., 2010a). Por otra parte, la permeabilidad es una propiedad básica del suelo, e indudablemente juega un papel esencial, desde el punto de vista del balance que debe existir entre la generación de la presión de poros y su disipación, lo cual es fundamental para la inicialización del movimiento (Wang & Shibata, 2007, citados en Aristizábal et al., 2010a). De lo anterior, un aumento en las presiones de los poros del suelo reduce los esfuerzos efectivos entre las partículas, esto equivale a una reducción de resistencia al corte y, con ello una baja en la estabilidad y un eventual fenómeno de movimientos de flujo de detritos. Por esta razón, todos los suelos se afectan al aumentar la presión de poros y, el tiempo requerido para que se produzcan cambios en la presión de poros depende de la permeabilidad del suelo. Consecuentemente, en suelos con permeabilidades altas, los cambios pueden ocurrir rápidamente y en pocos minutos, ya que, las presiones de poros pueden ascender

en forma sustancial durante una lluvia de gran intensidad; mientras que, en suelos arcillosos con permeabilidades bajas los cambios son más lentos, pero igualmente dañinos (Aristizábal et al., 2010a).

#### **2.2.4 Umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos.**

Los umbrales de precipitación lluvia para el pronóstico de los movimientos en masa (flujo de detritos) pueden ser definidos de dos maneras: la primera, usando el método empírico-estadístico, muy conocidos dentro de los sistemas de alerta temprana por su fácil implementación; y la segunda, a partir de modelos físicos numéricos de mayor complejidad en su definición y aplicación (Guzzetti et al., 2008).

De lo mencionado, podemos añadir que, los umbrales empíricos se establecen en la identificación de áreas donde ha ocurrido o no un movimiento de masa, el cual está relacionado con un evento de precipitación; mientras que los umbrales físicos, se basan en modelos numéricos que incorporan el resultado de la combinación de un análisis hidrológico y geotécnico, los cuales toman en cuenta las relaciones entre precipitación (lluvias), infiltración, presiones de poros y estabilidad de la ladera. Asimismo, con el fin de obtener una mejor predicción de los movimientos de masa para este tipo de umbrales, se requiere información hidrológica, litológica, morfológica y características de los suelos que controlan la activación de estos movimientos (Crosta, 1998; Montgomery & Dietrich, 1994; Wilson & Wieczorek, 1995). Este tipo de modelos pueden determinar la cantidad de precipitación necesaria para desencadenar superficies de falla en laderas, la localización y tiempo en los cuales un movimiento pueda presentarse, volviéndolos de gran interés como base para el desarrollo de Sistemas de Alerta Temprana (SAT). Sin embargo, la necesidad de tener información sobre grandes áreas y el uso de equipos especializados

(pluviómetros, tensiómetros, piezómetros) hacen que estos, tengan ciertas limitantes en su implementación (Aleotti, 2004; Crosta, 1998).

Adicionalmente, para la definición de los umbrales de precipitación de lluvia, se realizará el análisis de dos de los parámetros de la precipitación (Aristizábal et al., 2010a; Mayorga Márquez, 2003):

**1. Lluvia Crítica:** Es el volumen de la precipitación acumulada o el valor límite para que se presente un deslizamiento. Este tipo de lluvia se basa en el análisis de la precipitación acumulada o antecedente de días previos a la ocurrencia del evento.

- **La Lluvia Acumulada o lluvia de corto plazo (LA):** también denominada como lluvia crítica. Representa la cantidad de lluvia caída en los días inmediatamente previos a la ocurrencia del evento, incluyendo el día de su ocurrencia (lluvia de evento: corresponde a la precipitación registrada durante el día de la ocurrencia del evento o movimiento de masa).

- **Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) o lluvia del largo plazo:** corresponde a la cantidad de lluvia caída en los días precedentes a los que se consideraron en la Lluvia Acumulada (LA).

**2. Duración Crítica:** Es el tiempo de duración necesario para que la precipitación alcance el valor crítico.

#### **2.2.4.1 Umbrales empíricos-estadísticos de precipitación de lluvia.**

Los umbrales empíricos y estadísticos, como son conocidos en la literatura, representan un excelente indicador de tiempo, ya que pretenden responder a la pregunta de cuándo ocurrirán los movimientos en masa, sin embargo, no intentan responder al segundo elemento, dónde ocurrirán. Para la aplicación de umbrales de lluvia empíricos es fundamental, además de encontrar los umbrales propios para cada región de acuerdo a sus condiciones locales, combinarlos con cartografía detallada de las condiciones de

amenaza y vulnerabilidad de la región para la cual fueron definidos. Con estas herramientas sería posible con antelación tomar acciones preventivas y de mitigación que logren minimizar los impactos generados por la ocurrencia de los movimientos en masa. En cuanto a las variables o parámetros investigados para la aplicación de estos métodos tenemos: la intensidad de la lluvia, la duración de la lluvia, la lluvia acumulada (LA), lluvia acumulada antecedente (LAA), o la combinación de estos (Guzzetti et al., 2005). Para los umbrales empíricos resulta necesario disponer de una base de datos de calidad, tanto del inventario de movimientos de masa como del historial de lluvias, si esta información es escasa o no existe, son recomendables los umbrales físicos (Hung et al., 1999). En este sentido la combinación de modelos empíricos con modelos físicos permite una adecuada caracterización de la amenaza en términos de probabilidades de ocurrencia en tiempo y espacio (Salinas Jasso, 2016).

Los primeros acercamientos para los cálculos de umbrales empíricos, como detonantes de movimientos de masa, fueron presentadas por Campbell (1975) y Starkel (1978), citados en Aristizábal et al. (2010a); pero fue Caine (1980, citado en Aristizábal et al., 2010a), el primero en utilizar una relación estadística entre la ocurrencia de movimientos en masa y las características de la precipitación de lluvia (intensidad y duración) proponiendo umbrales de intensidad y duración a nivel mundial (Aristizábal et al., 2010a). Esta relación estadística se representa mediante la ecuación de ley de potencia, que define las condiciones críticas de lluvia por encima de las cuales es probable que se observe un flujo de escombros. La ecuación mencionada, se define como  $I = \alpha \times (D^{-\beta})$ , donde  $I$  es la intensidad media y  $D$  la duración de la precipitación; asimismo  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros estimados de la curva potencial (Caine, 1980; Cannon et al., 2011; Jakob et al., 2012a; Staley et al., 2013; Nikolopoulos et al., 2014; Giannecchini et al., 2016; Staley et al., 2017; Huang et al., 2019, citados en Martinengo et al., 2023).

- **Ecuación de Caine:** El primer estudio en relacionar este tipo de umbrales con el desencadenamiento de movimientos en masa fue publicado por Caine (1980). En este trabajo, el autor relaciona un total de 73 movimientos superficiales (menores a 3 m), con la intensidad y duración, a partir de una interesante recopilación bibliográfica, donde se generaron flujos de detritos, de artículos publicados desde 1943 a 1979 en Europa. Los movimientos superficiales del estudio ocurrieron en laderas inalteradas por procesos antrópicos (construcciones, agricultura) y naturales (erosión en la base de ladera) a nivel global con registros locales de precipitación en donde las condiciones climatológicas y geológicas son variadas. Esta ecuación se usa cuando se tienen datos de movimientos superficiales y series continuas de lluvias asociadas a procesos de remoción en masa (Aristizábal et al., 2010a). La ecuación propuesta por Caine es aplicable en forma global, representado en la ecuación (1)

Ecuación de Caine - Umbral empírico de lluvia

$$I = 14.82 \times D^{-0.39} \quad (1)$$

A partir del trabajo de Caine (1980, citado en Salinas Jasso, 2016), una gran cantidad de autores han propuesto diferentes umbrales ID a escala global para la relación de la precipitación y el movimiento en masa. Entre los más importantes autores se encuentran los siguientes:

### Tabla 9

*Umbrales determinados a nivel global para la relación precipitación – movimiento en masa*

Autor	Tipo de movimiento	Función (mm/h)	Duración (horas)
-------	--------------------	----------------	------------------

---

	Deslizamientos		
Caine (1980)	superficiales y flujo de derrubios	$I = 14.82 \times D^{-0.39}$	$0.167 < D < 500$
Innes (1983)	Flujo de derrubios	$I = 4.93 \times D^{-0.5}$	$0.1 < D < 100$
Clarizia et al. (1996)	Deslizamientos superficiales	$I = 10 \times D^{-0.77}$	$0.1 < D < 1000$
Crosta & Frattini (2001)	Deslizamientos superficiales	$I = 7.68 \times D^{-1}$	$0.1 < D < 1000$
	Deslizamientos		
Aleotti (2004)	superficiales y flujo de derrubios	$I = 19 \times D^{-0.5}$	$7 < D < 112$
	Flujos de derrubios		
Cannon & Gartner (2005)	relacionados a incendios forestales	$I = 7 \times D^{-0.6}$	$0.1 < D < 3$

---

Fuente: Caine (1980), Innes (1983), Clarizia et al. (1996), Crosta & Frattini (2001), Aleotti (2004) y Cannon & Gartner (2005), citados en Salinas Jasso (2016).

- **Ecuación de Guzzetti:** Recientemente Guzzetti et al. (2008) propone un nuevo umbral Intensidad-Duración a nivel mundial, menor al propuesto por Caine, soportado en una base de datos de 2 626 eventos detonados por lluvias. La ecuación propuesta por Guzzetti está representado en la ecuación (2).

Ecuación de Guzzetti - Umbral crítico de lluvia

$$I = 2.20 \times D^{-0.44} \quad (2)$$

Otro importante número de trabajos se han realizado, con el fin de generar pronósticos de ocurrencia de movimientos en diferentes partes del mundo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que estos umbrales no consideran condiciones antecedentes (umbrales LAA), y no son aplicables para movimientos de superficies profundas, o donde existe complejas condiciones asociadas a flujos subterráneos que se presentan dentro de las vertientes o taludes, o detonadas por precipitaciones continuas de baja intensidad (Crozier, 1999; Glade et al., 2000; Jakob & Weatherly, 2003; Reichenbach et al., 1998).

#### ***2.2.4.1.1 Determinación de los umbrales de precipitación de lluvia.***

##### **A. Construcción de series parciales de los umbrales empíricos de precipitación de lluvia.**

Generalmente, las características empleadas para describir y calcular los umbrales de un evento de lluvia son la duración de la lluvia (D) y la precipitación acumulada (o su intensidad promedio) (Segoni et al., 2018, citado en Martinengo et al., 2023). Por ende, este método basado en la precipitación de lluvia acumulada de días, que pueden llegar a ser semanas y/o meses, es muy útil en la predicción de movimientos de masa; además difiere según las condiciones locales de los suelos y del régimen climático, por tanto, debe ser aplicado en forma particular para cada zona de estudio. Para la realización de un análisis correcto, a cada movimiento de masa se debe asociar su precipitación de lluvia detonante; por lo cual, se debe contar con registros históricos completos de precipitación de lluvia, con un buen período de registro a nivel diario. Luego se podrá generar series de lluvia acumulada con sus respectivas duraciones; con el fin de sintetizar un modelo de comportamiento de la zona por estudiar y así contribuir al pronóstico de los movimientos mencionados, para esto se seleccionan los sitios con



mayores eventos de movimientos de masa causados por la precipitación lluvia (Mayorga Márquez, 2003).

La construcción de estas series parciales de lluvia diaria acumulada, con sus respectivos valores de duración, nos dan como resultado umbrales empíricos precipitación de lluvia. Las series, mencionadas, son sumas acumuladas de los valores de precipitaciones diarias de lluvia, que han detonado los movimientos de masa; por lo que, cada serie construida posee una duración (D). Este método consiste en la elaboración de una curva regresiva de lluvias acumuladas cuyo procedimiento en general es lo siguiente, según Castellanos (1996), Castellanos & González (1996, 1997), y Wieczorek et al. (1987), citados en Mayorga Márquez (2003):

- A partir de la serie histórica de precipitación diaria regresiva para el evento, se elabora una serie de sumas acumuladas regresivas, iniciando desde el día en que ocurrió el movimiento de flujo de detritos hasta el día en que no hay lluvia, para este momento se lee la precipitación acumulada en mm y la duración en días, siendo este el umbral de precipitación empírico hallado (Mayorga Márquez, 2003); ya sea 1, 3, 5 y 7 días para la Lluvia Acumulada (LA) o 5, 10, 15, 30 y 90 días para la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA) (Torres Guzmán, 2013), o finalmente dependiendo del análisis de cada caso. Esta curva se graficará en forma regresiva, para cada el evento generado, a partir de lluvias acumuladas diarias, tomando como origen el día en que ocurrió el movimiento de flujo de detritos; asimismo, se pueden obtener varias series de umbrales de precipitación de lluvia, es decir, después de períodos cortos de no-lluvia se puede reactivar otro período de lluvia, los cuales dependen de la intensidad de lluvia de la zona (Mayorga Márquez, 2003).

### **B. Umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (ecuación de umbrales).**

Guzzetti et al. (2007) y Brunetti et al. (2010) sostienen que, los umbrales existentes y nuevos son difíciles, o imposibles, de comparar y evaluar cuantitativamente. Asimismo, Gariano et al. (2015), al realizar una inspección de la literatura respecto a los umbrales empíricos, evidencian que la mayoría de estos umbrales fueron definidos usando métodos no objetivos y pobremente reproducibles; por tal motivo, esto dificulta el uso de umbrales en los sistemas operativos de alerta de movimientos de flujo de escombros. Para superar este problema, los investigadores han propuesto nuevos métodos y procedimientos; con el fin de definir objetiva y reproducible los umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos.

Adicionalmente, Guzzetti et al. (2007) citados por Gariano et al. (2015), emplearon un enfoque bayesiano para obtener umbrales de precipitación reproducibles, a partir de un catálogo de condiciones de lluvia (D, I), que han dado lugar a deslizamientos de tierra en el sur de Europa. También, Gariano et al. (2015) mencionan que Brunetti et al. (2010) propusieron un método basado en un análisis estadístico frecuencial de condiciones de lluvia (D, I), que han desencadenado en deslizamientos de tierra en Italia. Además, mencionan que Peruccacci et al. (2012) han ampliado el método para: (1) examinar las condiciones de lluvia (D, E), (2) determinar la incertidumbre asociada a los umbrales empíricos y (3) evaluar el número mínimo de datos empíricos necesarios para determinar umbrales confiables.

Para establecer las ecuaciones de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia, se utiliza la metodología desarrollada por Gariano et al. (2015), la cual adopta el enfoque propuesto por Brunetti et al. (2010) y modificado por Peruccacci et al. (2012). Este enfoque utilizado por los autores es frecuentista, el cual es usado para determinar los parámetros de interceptación ( $\alpha$ ) y forma ( $\gamma$ ) de la curva de la ley de potencia; es decir,

este método está basado en un análisis de frecuencias de las condiciones empíricas de la precipitación de lluvia, que han resultado en movimientos de flujo de escombros. Asimismo, la modificación realizada por Peruccacci et al. (2012), asume que la curva del umbral es una relación de ley de potencia (3) que vincula la precipitación acumulada del evento (E), en mm, con la duración (D), en horas.

$$E = \alpha \times D^\gamma \quad (3)$$

Así también, Peruccacci et al. (2012) señalan que, cuando nuevos eventos de precipitación de lluvia asociados a movimientos de flujo de escombros son registrados en el área de estudio, la población de datos cambia y, por consiguiente, el umbral debe ser recalculado. La nueva curva puede diferir del umbral anterior, especialmente, si la población inicial de datos es pequeña. Por tal motivo, para conocer la significancia y extensión de estas diferencias, se toman en cuenta las incertidumbres asociadas a los parámetros  $\alpha$  y  $\gamma$ , los cuales también pueden decidir si uno o más umbrales son estadísticamente diferentes, así como se muestra en la ecuación (4).

$$E = (\alpha \pm \Delta\alpha) \times D^{(\gamma \pm \Delta\gamma)} \quad (4)$$

Donde,  $\alpha$  es la constante de escalamiento (interceptación),  $\gamma$  es el parámetro de forma (que controla la pendiente de la curva del umbral),  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  representan las incertidumbres de  $\alpha$  y  $\gamma$ , respectivamente.

#### **2.2.4.2 Calibración de umbrales estadísticos de precipitación de lluvia.**

A partir de los registros, o catálogos, de eventos de precipitación de lluvia asociados con movimientos de flujo de escombros y/o deslizamientos (huaycos), se utiliza el grupo de datos (D, E), obtenidos de la construcción de series parciales de los umbrales

empíricos, para la calibración de los mismos. Luego, se realizó una transformación logarítmica de los datos empíricos E y D, en base a lo indicado por Peruccacci et al. (2012); por ende, la distribución de las condiciones de precipitación ( $\log(E)$  vs  $\log(D)$ ) que detonaron movimientos de flujo de escombros fueron ajustados por el método de mínimos cuadrados a una ecuación lineal del tipo  $\log(E) = \log(\alpha) + [\gamma \times \log(D)]$ , la cual es equivalente a la ley de potencia en coordenadas lineales. Asimismo, los valores medios de  $\alpha$  (interceptación) y  $\gamma$  (pendiente), así como las incertidumbres asociadas  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$  fueron estimadas usando la técnica bootstrap, la cual es un método estadístico basado en el remuestreo o muestreos repetidos (resampling), que se engloba dentro de la estadística no paramétrica, ya que no requieren de ninguna hipótesis previa sobre la distribución de las poblaciones estudiadas. Esta técnica se utiliza para evaluar la distribución media de varias muestras de una población, a partir de un conjunto empírico de datos. Esta genera una serie de repeticiones (k) de una selección aleatoria de eventos (m) de una población de data empírica (n). Para esta investigación, la población de estudio para la calibración fueron los umbrales empíricos hallados, con un nivel de confianza del 95%; además se utilizó  $k = 5000$  y  $m = n$ .

Posteriormente, para determinar las probabilidades de excedencia de los umbrales estadísticos, se usa la estadística no paramétrica mediante la estimación de la densidad de Kernel (KDE), con la cual establece la función de densidad de probabilidad (PDF) de una variable aleatoria. Para poder realizar lo mencionado, a cada punto con coordenadas D y E, se le calcula una diferencia entre E y el ajuste calculado con la ecuación estadística de umbrales. Finalmente, estas diferencias se modelan con la función gaussiana de Kernel ((5)

$$f_{(x)} = a \times e^{\left(\frac{(x-b)^2}{2c^2}\right)}$$

$$u = \frac{x-b}{c} = \frac{x-x_i}{h}$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$$

Para un caso univariado (función con una sola variable), (5)  
generalmente, se calcula así:

$$\widehat{f}_{(x)} = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

La función Kernel Gaussiano es la siguiente:

$$f_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times e^{\left(-\frac{1}{2}u^2\right)}$$

Finalmente, de acuerdo con lo propuesto por Peruccacci et al. (2012), la confiabilidad de un umbral estadístico de precipitación de lluvia que detona movimientos de flujo de escombros está relacionado con las incertidumbres relativas  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ . Por lo cual, también, sugieren que estas incertidumbres deben ser menor o igual al 10 por ciento; con el objetivo, de obtener resultados confiables.

#### **2.2.4.3 Validación de umbrales estadísticos de precipitación de lluvia.**

La confiabilidad de un umbral de lluvia es crucial para su uso operativo y, para evaluarlo, se requiere un procedimiento de validación adecuado (Gariano et al., 2015, citados en Martinengo et al., 2023). Por ello, la validación tiene como objetivo verificar la

capacidad de un umbral estadístico de precipitación de lluvia calibrado, que detona (o no) un flujo de escombros y puede realizarse considerando diferentes enfoques (Martinengo et al., 2023). De lo mencionado, estos enfoques, difieren principalmente de las consideraciones sobre los eventos de lluvia; ya que, se puede evaluar solo los eventos de lluvia que resultaron en un fenómeno peligroso (Gioia et al., 2015, citados en Martinengo et al., 2023) o todos los eventos de lluvia registrados durante un período de referencia (Gariano et al., 2015; Brunetti et al. al., 2018, citados en Martinengo et al., 2023); así como estrategias y parámetros utilizados para cuantificar el umbral de rendimiento; como por ejemplo, la curva ROC, que analiza la capacidad predictiva de los umbrales estadísticos calibrados (Martinengo et al., 2023).

Adicionalmente, podemos decir que, después de determinar los umbrales estadísticos y las incertidumbres asociadas, así como su calibración, se procede a validar el desempeño de estos umbrales estadísticos calibrados. Para poder realizar esto, se utiliza la metodología definida por Gariano et al. (2015), quienes señalan que para propósitos de validación, un umbral de precipitación de lluvia puede ser considerado como un clasificador binario de las condiciones de precipitación, ya que pueden ser probables, o no probables, de resultar en movimientos de flujo de detritos.

Respecto, a la utilización de eventos de precipitación de lluvia, como base de estudio, es debido a que la documentación sobre movimientos de flujo de escombros es inherentemente incompleta; por lo cual, el número de eventos documentados es un subgrupo del total de eventos que ocurrieron en la cuenca para el periodo evaluado. Es decir, que los movimientos de flujo de escombros pueden haber ocurrido, pero no reportados; o reportados, pero no incluidos en los registros porque:

- Tenían una pobre o imprecisa ubicación geográfica.
- No se determinó un pluviómetro representativo.

- Se contaba con uno o más pluviómetros, pero no con un registro de precipitación.

Para desarrollar la metodología de validación de los umbrales estadísticos se usa el clasificador binario, propuesto por Gariano et al. (2015), el cual determina cuatro posibles resultados o contingencias, los cuales son: los verdaderos positivos (TP) representan los datos empíricos (umbral empírico acumulado LA o antecedente LAA) ubicados por encima de la ecuación del umbral estadístico, que han resultado en al menos un movimiento de flujo de escombros; mientras que, los verdaderos negativos (TN) se dan cuando las condiciones de precipitación se encuentran debajo de la ecuación del umbral estadístico, que no han resultado en un movimiento de flujo de escombros. Los falsos positivos (FP) ocurren cuando las condiciones de precipitación exceden a la ecuación del umbral estadístico, sin embargo, el movimiento de flujo de escombros no ocurre, o no es reportado; en tanto que, los falsos negativos (FN) son datos empíricos (umbral empírico acumulado LA o antecedente LAA) que se encuentran por debajo del umbral, pero ocurren movimientos de flujo de escombros. Los FP, también, se conocen como falsas alarmas y los FN como alarmas perdidas. En la Tabla 10 se presenta la tabla de contingencia del clasificador binario.

**Tabla 10**

*Tabla de contingencia para un modelo de clasificador binario*

EVENTO PRONOSTICADO	EVENTO OBSERVADO		TOTAL
	Sí	No	
Sí	TP	FP	(TP + FP)
No	FN	TN	(FN + TN)
Total	(TP + FN)	(FP + TN)	

Fuente: Gariano et al. (2015).

En función a las cuatro contingencias, se calcularon los siguientes índices de puntuación (skill scores) (Gariano et al., 2015; Martinengo et al., 2023):

- POD (Probabilidad de detección), también conocido como tasa de acierto, que es la proporción de eventos que fueron predichos correctamente.
- POFD (Probabilidad de falsa detección), también conocido como tasa de falsa alarma, que es la proporción de predicciones correctas cuando el evento no ocurre.
- POFA (Probabilidad de falsa alarma), también conocido como la proporción de falsa alarma, es la relación entre el número de falsas alarmas y el número total de pronósticos correctos.
- Puntuación de Hanssen y Kuipers (HK o TSS), que mide el rendimiento predictivo del modelo, o precisión, para eventos con y sin movimientos de masa. El HK depende linealmente de POD y POFD (HK=POD-POFD).

Asimismo, en la Tabla 11 se presenta las fórmulas y valores óptimos de los índices de puntuación utilizados en la validación de los umbrales.

**Tabla 11**

*Índices de puntuación para validación de umbrales*

ÍNDICE DE PUNTUACIÓN	FÓRMULA	RANGO	VALOR ÓPTIMO
Probabilidad de detección	$POD = \frac{TP}{TP + FN}$	[0, 1]	1
Probabilidad de falsa detección	$POFD = \frac{FP}{FP + TN}$	[0, 1]	0
Probabilidad de falsa alarma	$POFA = \frac{FP}{TP + FP}$	[0, 1]	0
Puntuación de Hanssen y Kuipers	$POD = \left( \frac{TP}{TP + FN} \right) - \left( \frac{FP}{FP + TN} \right)$	[-1, 1]	1

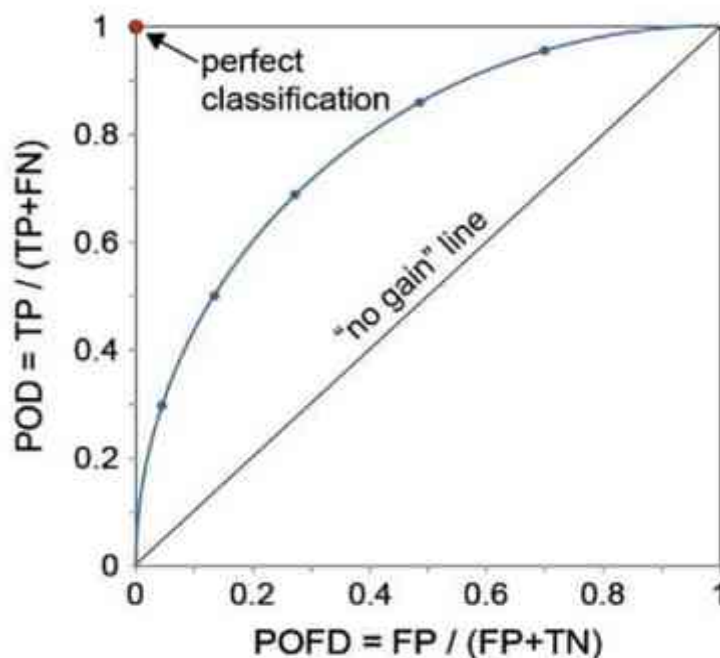


Fuente: Gariano et al. (2015).

Además, mediante el análisis ROC (Receiver Operating Characteristic o característica operativa del receptor), se evalúa la capacidad predictiva de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia, para diferentes niveles de probabilidad de excedencia. Este análisis consiste en evaluar la precisión de las predicciones y la construcción de modelo, al trazar la sensibilidad (POD) frente a la especificidad (POFD) de una prueba de clasificación, en donde cada punto representa la capacidad de predicción de un único umbral de precipitación. Por último, se determina la distancia euclidiana ( $\delta$ ) de cada punto, correspondiente a cada umbral estadístico de precipitación de lluvia, con respecto a la clasificación perfecta. El mejor desempeño de pronóstico corresponde a la esquina superior izquierda del ROC (clasificación perfecta, punto rojo en la Figura 9). Por lo que, cuanto más cerca se esté de la clasificación perfecta, mejor será la habilidad de predicción del modelo.

### Figura 9

*Espacio ROC, con un resultado del modelo hipotético*



Fuente: Gariano et al. (2015).

#### **2.2.4.4 Umbral mínimo o máximo de precipitación de lluvia.**

Reichenbach et al. (1998) definieron el término umbral como el mínimo o máximo nivel crítico de la cantidad de lluvia, a partir de la cual un proceso ocurre. En el caso de los umbrales de lluvia para el pronóstico de movimientos de flujo de detritos, el umbral mínimo representa la cantidad de lluvia por encima de la cual, la probabilidad de ocurrencia de un movimiento, se incrementa drásticamente; por el contrario, para el umbral máximo corresponde a la cantidad de lluvia en la cual ha ocurrido el mayor porcentaje de movimientos en masa (Glade et al., 2000).

#### **2.2.4.5 Análisis hidrológico de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia, que detonan movimientos de masa.**

Se definen las probabilidades de excedencia de cada umbral estadístico de precipitación de lluvia mediante la estadística no paramétrica de la densidad de probabilidad Kernel (KDE). Asimismo, se determinan precipitaciones con sus respectivos periodos de retorno ( $TR = 1/f(x)$ ), para cada umbral estadístico, utilizando métodos de inferencia estadística y la teoría de probabilidades de la hidrología convencional.

Complementariamente, para el análisis hidrológico, se sistematizan los datos diarios de cada umbral, para cada distribución estadística (distribución normal, log-normal, log-normal de 3 parámetros, gamma de 2 parámetros, gamma de 3 parámetros, log-pearson III, Gumbel y log-gumbel) con sus respectivos periodos de retorno y probabilidades de excedencia. Luego, se distribuye los datos de precipitación con el método de Weibull, ya que nos ayuda a ordenar de menor a mayor, para una probabilidad empírica de excedencia ( $P_{(X \geq x_m)} = m/(n + 1)$ ), siendo importante para esta distribución el número de datos (n) y orden de los datos (m). Después, se determina la probabilidad

observada ( $P_{(X \geq x_m)}$ ), o experimental (fórmula de Weibull), y la probabilidad teórica ( $F_{(z)}$ ) (obtenida de tablas estadísticas), para así obtener la diferencia máxima de estas probabilidades. Al final, podremos seleccionar la mínima de todas las diferencias máximas de cada distribución estadística, asimismo comparar cada diferencia máxima con el valor crítico de la prueba Kolmogorov – Smirnov, con lo cual se elige la distribución estadística que mejor se ajusta. Además, se sugiere evaluar los umbrales mínimos estadísticos, debido a que, si se presenta valores superiores al umbral mínimo, se aumenta la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa en la zona de estudio (Glade et al., 2000; Reichenbach et al., 1998).

### ***2.2.5 Factores geotécnicos y morfométricos.***

De acuerdo con Jakob (1996), acerca del estudio que realizó sobre los controles morfométricos y geotécnicos de la frecuencia y magnitud de los flujos de detritos en 34 cuencas del suroeste de la Columbia Británica. Se concluyó que, para estudiar y caracterizar correctamente una cuenca relacionada a flujos de escombros, se debe combinar los factores hidrológicos con los factores geotécnicos y morfométricos. Por tal motivo, no solo se debe efectuar un análisis de series de precipitación de duración parcial basado en varios supuestos estadísticos; ya que, la falta de varias estimaciones de magnitud fiables impide seguir analizando únicamente con este método. Asimismo, la mayoría de los datos sobre fenómenos de flujos de detritos deben recopilarse mediante investigaciones de campo, los cuales requieren mucho trabajo y tiempo, así como, también dependen en gran medida de la documentación indirecta de los fenómenos mediante pruebas de tipo sedimentario y botánico. Sin embargo, muchas de estas pruebas desaparecen con el tiempo debido a la erosión, los incendios, la tala o el enterramiento por eventos posteriores. Además, en un escenario extremo de gran magnitud de escala, los fenómenos suelen ocurrir fuera de la escala temporal del estudio

que se va a realizar. Por lo cual, todas estas limitaciones justifican la adopción de un enfoque diferente de análisis, en el que la frecuencia y la magnitud de los flujos de escombros se relacionan con las características morfométricas y geotécnicas de las cuencas donde se generan los flujos de detritos.

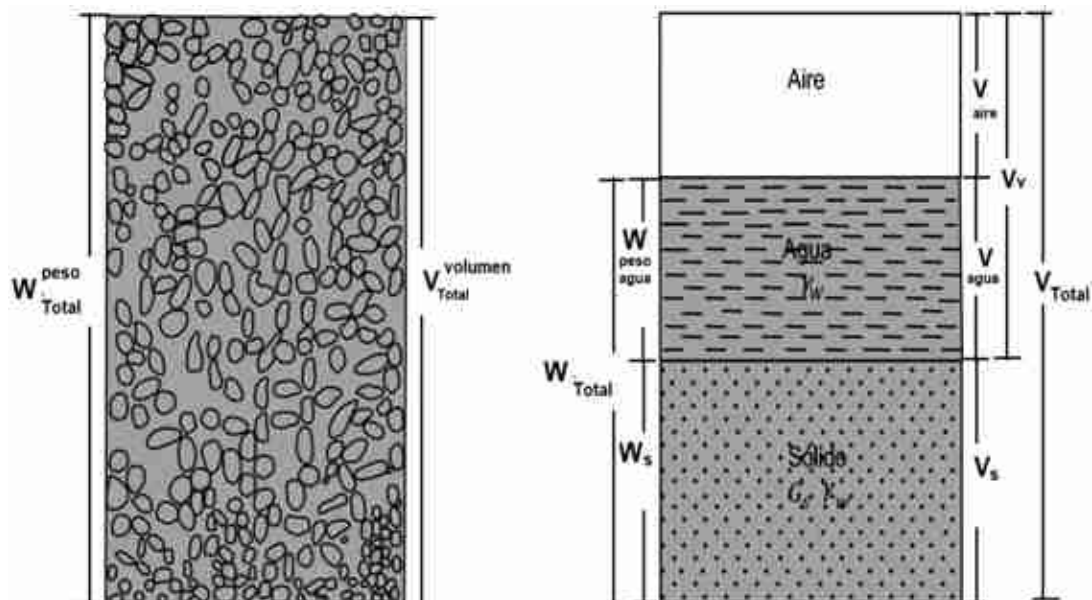
### **2.2.5.1 Conceptos de la Mecánica de Suelos.**

Con respecto a la mecánica de suelos, las propiedades físicas de un suelo en su estado natural se fundamentan en los estados de sólido, agua y aire. Por ejemplo, si se tiene una muestra de suelo, la cual puede ser dividida en las tres fases mencionadas anteriormente, según volúmenes y peso, siendo los volúmenes  $V_{aire}$ ,  $V_{agua}$  y  $V_{suelo}$ . Asimismo, la suma de estas tres cantidades representa el volumen total de la muestra de suelo ( $V_{Total}$ ). De igual modo, al sumar los pesos de agua  $W_{agua}$  y suelo  $W_s$ , se determina el peso total del suelo ( $W_{Total}$ ); esto debido a que, se considera despreciable el peso del aire ( $W_{aire} = 0$ ) para efectos prácticos (Das, 2014).

Como se muestra en la Figura 10, el suelo en estado natural está compuesto por tres fases que se dividen en sólido, agua y aire (Das, 2014).

Figura 10

*Suelo en su estado natural y sus fases*



Fuente: Adaptado de Das (2014, pág. 50).

Adicionalmente, dado los volúmenes y pesos totales, que posee el material a estudiar, se puede establecer las denominadas propiedades índices de los suelos (Terzaghi et al., 1996), las cuales son relaciones entre los tres constituyentes del material. A partir de estas relaciones, sería suficiente conocer solo uno de estos elementos para calcular las proporciones de cada fase del suelo de cualquier volumen dado. Estas relaciones se muestran en la Tabla 12 (Das, 2014; Terzaghi et al., 1996).

Tabla 12

*Propiedades índices de los suelos*

Propiedad	Fórmula
Relación de vacíos ( $e_v$ )	$\frac{V_v}{V_s} = \frac{V_{aire} + V_{agua}}{V_s}$

---

Porosidad ( $\eta_p$ )	$\frac{V_v}{V_{Total}} = \frac{V_{aire} + V_{agua}}{V_s + V_{agua} + V_{aire}}$
Grado de saturación ( $S_r$ )	$\frac{V_{agua}}{V_v} = \frac{V_{agua}}{V_{aire} + V_{agua}}$
	$V_v$ : volumen de vacíos
Contenido de humedad ( $\omega$ )	$\frac{W_{agua}}{W_s}$
Peso específico ( $\gamma$ )	$\frac{W_{Total}}{V_{Total}} = \frac{W_s + W_{agua}}{V_{Total}}$
Peso específico seco ( $\gamma_s$ )	$\frac{W_s}{V_{Total}}$
Gravedad específica del sólido ( $G_s$ )	$\frac{\gamma_s}{\gamma_{agua}}$
	$\frac{W_s}{V_s \times \gamma_{agua}}$
Peso específico saturado ( $\gamma_{sat}$ )	$\frac{(G_s + e_v) \times \gamma_{agua}}{1 + e_v}$

---

**Nota**, las fórmulas mostradas en esta tabla, se basaron en lo indicado por Das (2014) y Terzaghi et al. (1996)

De lo anterior, dichas propiedades son válidas para el suelo en su estado natural y, en el caso de un flujo de detritos, la única constante que permanece durante su recorrido es valor de  $G_s$ , ya que esta depende solo de la matriz sólida. Además, en los flujos de detritos, rige la interacción estática y dinámica de sus componentes, tanto para sus propiedades físicas, así como, en su mecánica.

### **2.2.6 Hidráulica torrencial: flujo de detritos.**

Los flujos torrenciales como los flujos de escombros e hiperconcentrados consisten en mezclas de agua que se mueven rápidamente, con diferentes cantidades de material sólido sin clasificar. Asimismo, estos fenómenos se dan en torrentes escarpados, regiones montañosas y, suponen un alto riesgo para las infraestructuras y los asentamientos humanos. Adicionalmente, la lluvia es el factor desencadenante más común (Wieczorek y Glade, 2005, citados en Abancó et al., 2016) y el análisis de las condiciones pluviales desencadenantes es una labor fundamental de las investigaciones referentes a movimientos de masas detonados por precipitación de lluvias (Abancó et al., 2016) .

#### **2.2.6.1 Tipos de fluidos.**

Los fluidos se pueden clasificar según su comportamiento en el tiempo, cuando están sometidos a esfuerzos viscosos. Este comportamiento se puede explicar claramente mediante diagramas reológicos que muestran la relación entre el esfuerzo cortante ( $x$ ) y la velocidad de deformación ( $y$ ). Además, en un fluido ideal la viscosidad será igual a cero ( $\mu = 0$ ), adicionalmente, su diagrama reológico muestra que la línea de abscisas corresponde a la línea de ordenadas ( $x \neq 0, y = 0$ ); por tanto, este diagrama representa un sólido perfectamente elástico. En fluidos reales, casi siempre, se cumplirá las siguientes condiciones: la viscosidad será diferente de cero ( $\mu \neq 0$ ), así como constante (de las Heras Jiménez, 2012).

La clasificación general de los fluidos es la siguiente:

- **Fluido Newtoniano:** un fluido newtoniano es un fluido en el que las tensiones viscosas que emergen de su flujo son linealmente proporcionales a la tasa de cambio local de su deformación a lo largo del tiempo (Amani et al., 2020).

- **Fluido no Newtoniano:** el fluido no newtoniano, en cambio, no obedece la regla del fluido newtoniano y, en la mayoría de los casos, su viscosidad depende de la velocidad de corte o de su historia previa. Estos tipos de fluidos suelen mostrar muchas características excepcionales como el adelgazamiento por cizallamiento (pseudoplásticos), espesamiento por cizallamiento (dilatantes), viscoelasticidad, etc. El tipo más común de fluidos no newtonianos independientes del tiempo son los fluidos de cizallamiento o pseudoplásticos, en los que su viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento. Por otra parte, los fluidos espesantes por cizallamiento, se conocen como fluidos en los que su viscosidad aparente aumenta con la velocidad de cizallamiento (Amani et al., 2020).

La mayoría de los fluidos no newtonianos e independientes del tiempo, se comportan de acuerdo a la ley de la potencia de Ostwald-de Waele. Esta ley se expresa en la ecuación (6) (de las Heras Jiménez, 2012, pág. 43):

$$\tau = k \left( \frac{dV}{dy} \right)^n \quad (6)$$

$$\tau = \mu_a \frac{dV}{dy}$$

Donde  $k$  y  $n$  son los índices de consistencia y fluencia del flujo respectivamente. Además, un fluido con índice de fluencia menor a 1 ( $n < 1$ ) se denomina pseudoplástico, el cual posee una viscosidad que disminuye al aumentar el gradiente de velocidad. Asimismo, un fluido con índice de fluencia mayor a 1 ( $n > 1$ ) es dilatante y su viscosidad aumenta al incrementar el gradiente de velocidad. La viscosidad aparente se define en la ecuación siguiente (de las Heras Jiménez, 2012, pág. 43):



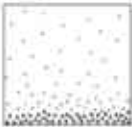

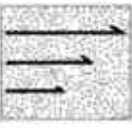
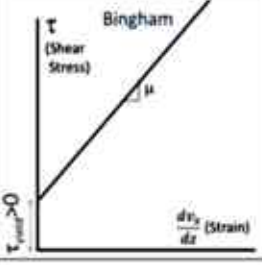

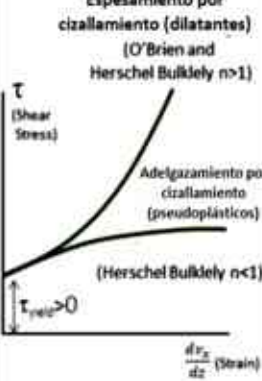
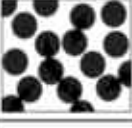
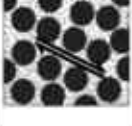
$$\mu_a = k \left( \frac{dV}{dy} \right)^{n-1} \quad (7)$$

### 2.2.6.2 Taxonomía de flujos de lodo y escombros.

Según la clasificación realizada por Gibson et al. (2020, citado en Gibson S. & Sánchez A., 2020), nos indican que, a medida que la carga de sedimentos aumenta y se vuelve más gruesa, el flujo se convierte de fluido newtoniano a flujo hiperconcentrado, lodo, escombros y clástico. Del mismo modo, el modelo reológico también cambia desde newtoniano a Bingham (lineal con un límite elástico), así como a otros modelos no lineales.

Figura 11

Taxonomía de flujos no newtonianos, con modelos reológicos y ecuaciones utilizadas para modelarlos

Clasificación de los flujos	Proceso	Límites	O'Brien <i>et al.</i> (1993) Componente de corte	Hershel Bulkeley Componente de corte	Modelo Reológico/Geotécnico	
Transporte de sedimentos Avenida de agua	Carga del lecho y carga en suspensión 	$C_v < 5\%$	None	None $\tau_y = 0$	Fluido Newtoniano 	Menor concentración Sedimento más fino
Flujo hiperconcentrado	Tensión de fluencia y pérdida de viscosidad 	$C_v > 5\%$	Bingham $\tau_y + \mu(\dot{\gamma})$ $\tau_y$ : fluencia o límite elástico	Linear $\tau_y + K(\dot{\gamma})^{n=1}$ $\tau_y > 0$	Bingham 	
Flujo de lodo	Turbulencia entre partículas 		$\rho_m l_m^2 (\dot{\gamma})^2$	$K(\dot{\gamma})^{n \neq 1}$ $\tau_y > 0$	Espesamiento por cizallamiento (dilatantes) (O'Brien and Hershel Bulkley $n > 1$ ) Adelgazamiento por cizallamiento (pseudoplásticos) (Hershel Bulkley $n < 1$ ) 	Mayor concentración Sedimento más grueso
Flujo de escombros o flujo de detritos	Colisión de granos 	Número de Bagnold $N_{BAG} > 40$	$\frac{0.01 \rho_p d_p^2 (\dot{\gamma})^2}{((\frac{0.615}{C_v})^{1/3} - 1)^2}$			
Flujo clástico	Rigidez de la matriz 	Número de fricción $N_{fr} > 100^*$	Reemplaza el límite de fluencia ( $\tau_y$ ) en cualquiera de los modelos por un modelo de Coulomb (geotécnico): $\tau_y = \tau_c + \sigma \tan \phi$			

Fuente: Gibson et al. (2020, citado en Gibson S. & Sánchez A., 2020).

### 2.2.6.3 Clasificación del tipo de material y flujos de escombros según la concentración de sedimento.

**Tabla 13**

*Clasificación USDA del tamaño de las partículas del suelo*

<b>Tipo</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
Bolones	> 256
Cantos rodados	75 - 256
Grava	2.00 - 75
Arena	0.05 – 2.00
Limo	0.002 - 0.05
Arcilla	< 0.002

*Nota*, esta tabla se obtuvo de lo indicado por Soil Survey Staff (1975, citado en Yolcubal et al., 2004, Tabla 12.1); asimismo, la clasificación de los cantos rodados y bolones se extrajo de la Figura 3-2 mostrada en el United States Department of Agriculture [USDA] (2022).

Una clasificación para flujos de escombros depende del tipo de mecanismo del material, el movimiento y la concentración del sedimento. Por tal motivo, Costa (1988) distingue tres tipos de flujo: avenidas de agua, flujos hiperconcentrados y Flujos de escombros o huaycos.

**Tabla 14***Clasificación según Costa (1988)*

Flujo	Concentración de sedimentos (Cv)	Densidad de sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\tau_y$ (dn/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fluido
Avenida de Agua	1 – 40% en peso 0.40 – 20% en volumen ○ < 5% en volumen	1.01 – 1.33	0 – 100	Newtoniano
Flujo hiperconcentrado	40 – 70% en peso 20 – 47% en volumen ○ > 5% en volumen	1.33 – 1.80	100 – 400	No Newtoniano
Flujo de escombros	70 – 90% en peso 47 – 77% en volumen	1.80 – 2.30	> 400	Viscoplástico

**Fuente:** Costa (1988); Gibson et al. (2020, citado en Gibson S. & Sánchez A., 2020).

#### 2.2.6.4 Flujo de detritos o escombros (Debris flows).

Los flujos de detritos se inician de dos maneras: (1) por deslizamientos superficiales en las cabeceras de las cuencas (Iverson et al., 1997, citados en Yang et al., 2023), (2) o cuando el material acumulado en las laderas, o canales, se erosiona y es movilizado por la esorrentía (Gregoretti et al., 2016, citados en Yang et al., 2023). Por ende, los flujos de detritos incorporan una gran cantidad de material saturado en su trayectoria, mientras descienden por el canal y finalmente lo depositan en abanicos de detritos. Estos depósitos se distinguen por tener diques longitudinales, canales en forma

lobular, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. También, a menudo, generan pulsos con acumulación de bloques en el frente de onda. Asimismo, debido a la formación de pulsos, el caudal pico de los flujos de detritos puede superar el caudal pico de inundaciones grandes en varios niveles de magnitud. Por lo tanto, esta cualidad hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

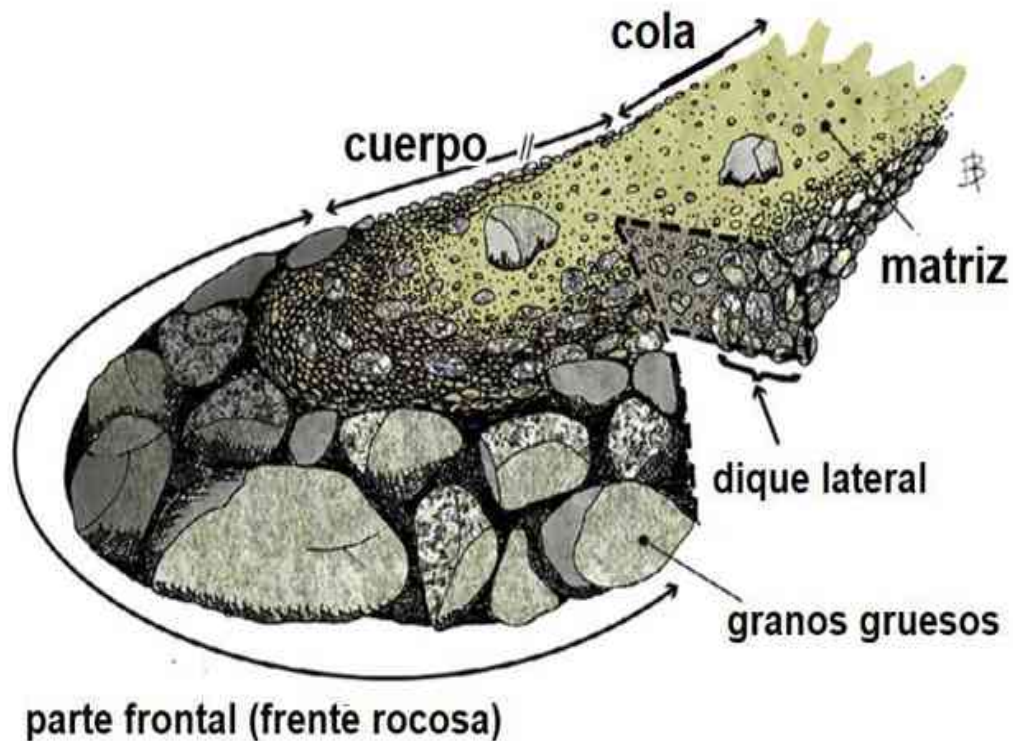
Desde una perspectiva mecánica, el flujo de detritos se define generalmente como “un flujo de escombros no plásticos saturados, que varía de muy rápido a extremadamente rápido, en un canal empinado” (Hungry, 2005; Iverson, 2005, citados en Laigle & Bardou, 2022). Los escombros no plásticos se refieren a material grueso suelto sin clasificar que consiste en una mezcla de arena, grava, adoquines, cantos rodados y material orgánico (desechos leñosos grandes). Sin embargo, el flujo de escombros también puede contener una matriz fangosa hecha de sedimentos finos como limo y arcilla (escombros plásticos). Si bien son mezclas estrictas de agua y sedimento, se puede considerar de manera realista que comprenden sólidos gruesos en una suspensión densa y de alta viscosidad de sedimento fino en agua (Davis et al., 2013, citados en Laigle & Bardou, 2022), que es probable que afecte el comportamiento del flujo a granel (Phillips y Davies, 1991; Jan y Shen, 1997; Iverson et al., 1997; Ancey, 2007, citados en Laigle & Bardou, 2022). Por tal motivo, esto llevó a varios autores (Takahashi, 2014; Coussot & Meunier, 1996; Bonnet Staub, 1999; Ancey, 2001, citados en Laigle & Bardou, 2022), a proponer al menos dos categorías principales: (1) flujos de escombros viscosos o fangosos y (2) pedregosos o granulares (Laigle & Bardou, 2022). De acuerdo con esta clasificación, la forma geomórfica y, en particular, la apariencia de los depósitos de flujo de detritos y la pendiente de frenado serían diferentes (Bardou et al., 2003, citado en Laigle & Bardou, 2022): (1) el flujo de escombros viscosos presenta depósitos cohesivos una vez seco con diques de forma redondeada y la pendiente de frenado generalmente es  $>5\%$ ; (2) el flujo de

escombros granulares presenta un depósito no cohesivo una vez seco con diques de forma triangular y la pendiente de frenado usualmente es  $>15\%$  (Laigle & Bardou, 2022).

Después del paso del flujo de escombros, la ruta del flujo está muy erosionada y, generalmente, flanqueada por depósitos de diques, en particular compuestos por cantos rodados que fueron empujados a un lado por la masa en movimiento (Johnson y Rodine, 1984, citados en Laigle & Bardou, 2022). Cuando no están diluidos por flujos posteriores, los depósitos típicos de flujo de detritos generalmente muestran una forma lobulada con material sin clasificar, a menudo, cementado a causa de las partículas finas presentes. Los depósitos también pueden presentar clastos muy grandes, los cuales no pueden ser arrastrados por ningún otro flujo natural líquido. Por lo cual, estos elementos constituyen una característica geomórfica típica de un flujo de detritos. Sin embargo, un flujo de escombros, rara vez es el único fenómeno presente en una ladera o cauce de montaña, ya que, otros eventos o flujos pueden ocurrir después y alterar la evidencia de la huella del recorrido del flujo de escombros. Esto hace que el análisis posterior de un evento de flujo de escombros sea particularmente difícil; además, una cuenca de flujo de detritos generalmente presenta un abanico aluvial grande y escarpado (Laigle & Bardou, 2022).

**Figura 12**

Vista esquemática de las diferentes partes de un oleaje típico de flujo de escombros (forma lobular)



*Nota*, generalmente, se observan varias oleadas durante un solo evento. El cuerpo es más largo de lo que aparece en la figura. Fuente: Laigle & Bardou (2022).

Durante su desarrollo, el flujo de detritos exhibe una morfología típica, como la siguiente (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Iverson, 1997; Iverson, 2014; Laigle & Bardou, 2022; Pierson, 1986; Takahashi & Das, 2014):

- **La región de la cola**, muestra la transición a flujos menos concentrados, bifásicos y generalmente más turbulentos (con mayor concentración de sedimentos gruesos). Es

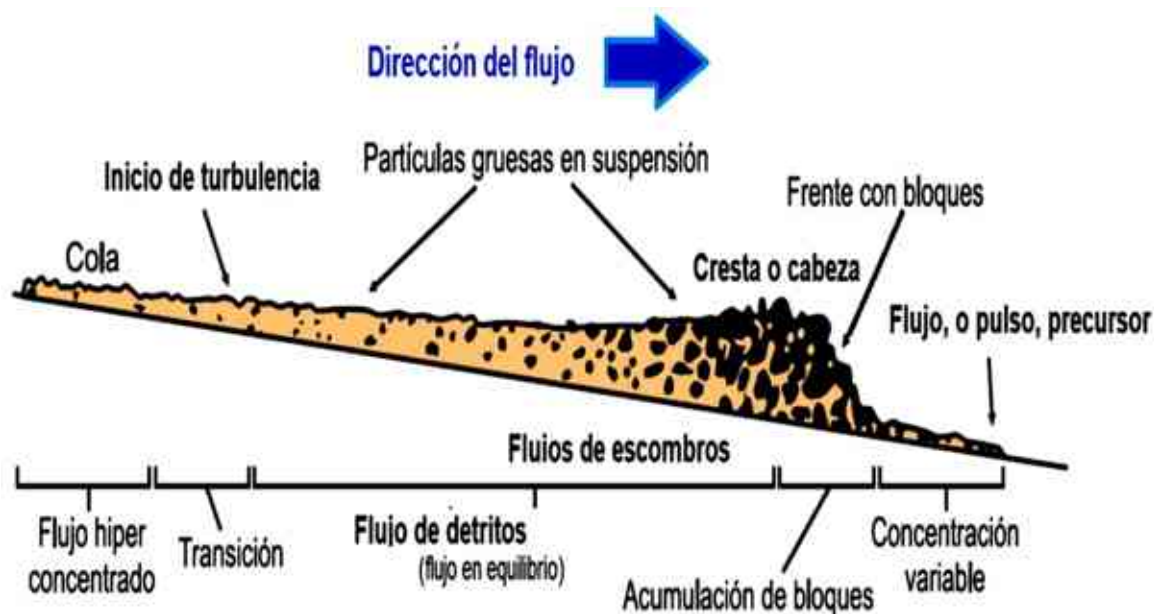
- decir, el desarrollo del flujo en esta zona suele ser un flujo inmaduro, que tiende a convertirse en un cauce en estado de hiperconcentración o un flujo de lodos.
- **Región de transición**, se encuentra entre la región de la cola y el cuerpo, en donde existe una transición entre un flujo hiperconcentrado y un flujo de detritos; asimismo, es el lugar donde la turbulencia es relevante (empieza el aumento de velocidades del flujo) o aumenta la turbulencia.
  - **Región del cuerpo**, donde el flujo está completamente desarrollado, por ende, la mayor parte del volumen de oleaje está constituido por una mezcla muy concentrada de agua y material a granel con gran distribución granulométrica. Además, en esta zona se desarrolla el flujo de detritos propiamente tal, transportando partículas gruesas incluso en suspensión. Debido a la turbulencia generada en esta zona y las fuerzas dispersivas, se pueden encontrar gravas en la parte superior del flujo como si estas flotaran en el mismo.
  - **Región de la cabeza** (parte frontal del flujo), la cual está compuesta principalmente por bloques que forman una cresta; asimismo, esta resulta de la migración de grandes clastos hacia el frente de oleaje donde se transportan y acumulan los clastos de mayor tamaño (bolones y bloques), los cuales parecen un muro de piedra en movimiento. Esta sección representa, normalmente, la mayor altura del flujo; y, en consecuencia, su movimiento está gobernado por las fuerzas de inercia. En la experiencia, la longitud de dicha región se extiende como máximo 15 m.
  - **Región de concentración variable**, en ocasiones, después del paso del frente del flujo, pueden existir pulsos precursores de concentraciones volumétricas ( $C_v$ ) variables, pero de alturas menores. Aquí se suele depositar los sedimentos más finos acarreados por el paso de las regiones previamente descritas.



Asimismo, la concentración de los sólidos, así como su comportamiento varía notablemente en función a la región que se evalúa. También, podemos agregar que, cuando las concentraciones de las partículas gruesas son bajas, los materiales se concentran cerca al lecho (parte inferior del flujo) al igual que el transporte de sedimentos en un cauce; pero al aumentar la concentración, las partículas se dispersan a través de todo el flujo (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007; Pierson, 1986). En la Figura 13, se muestra la morfología descrita anteriormente:

### Figura 13

*Diferentes regiones dentro de un flujo de detritos o escombros (diagrama de Pierson, 1986)*



Fuente: Pierson (1986).

Finalmente, otro factor que se debe añadir al desencadenamiento de flujo de detritos es el contenido de humedad antecedente del suelo (AMC); puesto que, tanto las simulaciones físicas como las mediciones in situ han resaltado la importancia de este factor; debido a que, si el contenido de humedad se incrementa, en consecuencia, el peso

del suelo aumenta y se reduce la succión matricial (Tsai and Tsai and Chen, 2010; Hawke and McConchie, 2011; Mirus et al., 2018; Marino et al., 2020; Wicki et al., 2020, citados en Yang et al., 2023). Por tal motivo, se espera que las condiciones antecedentes de humedad del suelo (AMC), también impacten desencadenando flujos de escombros; los cuales, generalmente, se originan con los deslizamientos de tierra (Johnson y Sitar, 1990, citados en Yang et al., 2023). Adicionalmente, debido a la falta de observaciones de la humedad del suelo, esta suele sustituirse por la lluvia acumulada antecedente (LAA) en los modelos de pronóstico de flujo de escombros (Tien Bui et al., 2013; Vasu et al., 2014; Garcia-Urquia, 2016; Chikalomo et al., 2020; Ni y Song, 2020, citados en Yang et al., 2023). No obstante, aunque es conocida la lluvia antecedente como un factor importante que predispone las condiciones de inestabilidad de una ladera, su influencia es difícil de cuantificar, ya que depende de diferentes agentes, entre ellos la heterogeneidad de los suelos y las variaciones regionales del clima (Aristizábal et al., 2010a). Asimismo, algunos autores aún mantienen un debate sobre la importancia de la humedad antecedente del suelo, o la lluvia acumulada antecedente (LAA), en la activación de los flujos de escombros generados por la escorrentía (Deganutti et al., 2000; Coe et al., 2008; Hirschberg et al., 2021, citados en Yang et al., 2023). Sin embargo, diferentes trabajos alrededor del mundo han obtenido conclusiones diferentes; debido a que, varios investigadores consideran que la importancia de la lluvia acumulada antecedente (LAA) es igual a la lluvia acumulada detonante (LA), o la intensidad de la lluvia, y depende de la permeabilidad del suelo (Aristizábal et al., 2010a). Por ejemplo, un estudio del Réal Torrent en los Prealpes del sur de Francia mostró que la lluvia antecedente contribuye a desencadenar el flujo de escombros (Bel et al., 2017, citados en Yang et al., 2023).

#### **2.2.6.5 Hidrología de los flujos de detritos.**

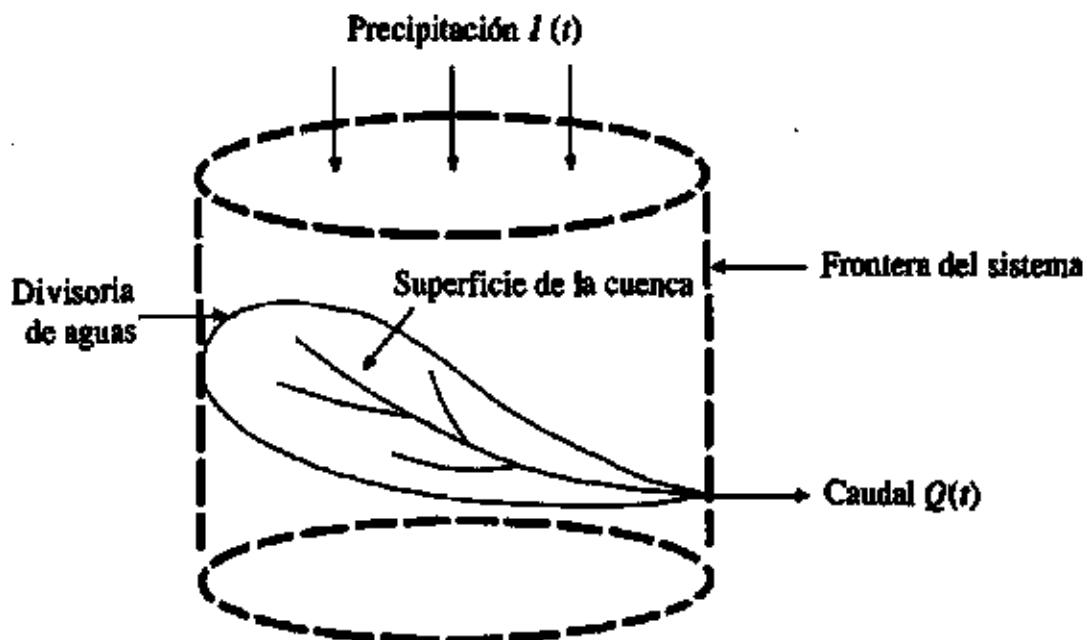
La Hidrología en su definición más simple es la ciencia que estudia la distribución, cuantificación y utilización de los recursos hídricos que están disponibles en el globo terrestre. Estos recursos se distribuyen en la atmósfera, la superficie terrestre y las capas del suelo (Silva Medina, 1998). La hidrología tiene como finalidad el adquirir conocimientos teóricos básicos de los fenómenos hidrológicos, conocer la cantidad, la frecuencia y naturaleza de ocurrencia del proceso lluvia-escorrentía sobre la superficie terrestre; asimismo, determinar eventos de diseño, a partir de los datos obtenidos de los diferentes fenómenos hidrológicos que son registrados en las redes de medición (Breña Puyol y Jacobo Villa, 2006).

#### **2.2.6.5 Hidrología de los flujos de detritos.**

Para este estudio, el desarrollo de los movimientos de flujo de detritos ocurre dentro de una quebrada, la cual forma parte de un sistema hidrológico denominado cuenca hidrográfica. Por esta razón, es esencial entender los procesos que se desarrollan dentro dicha superficie; al igual, que los factores que condicionan y desencadenan estos movimientos, asimismo, dentro de los factores desencadenantes los más comunes son las precipitaciones de lluvia o avenidas extremas. Además, se realiza un análisis hidrológico para diferentes períodos de retorno a fin de calcular la magnitud de dichas avenidas (Chow et al., 1994). La ecuación de continuidad se fundamenta en la conservación de la masa, lo que permite determinar la cantidad de material en un volumen de control, en donde, se conoce los ingresos, salidas y efectos dentro del mismo volumen (Batchelor, 2000, como se citó en Escusa Arosquipa, 2016). Esto significa que la diferencia entre la entrada y la salida debe ser igual al cambio en el volumen de agua almacenada, teniendo en cuenta que la cuenca hidrográfica es un volumen de control (Escusa Arosquipa, 2016). Finalmente, lo explicado en el precedente, se muestra en el siguiente esquema (Figura 14):

Figura 14

*Esquema de una cuenca como sistema hidrológico*



Fuente: Adaptado de Chow et al. (1994).

Asimismo, en términos generales, tanto los ingresos como los egresos son una función del tiempo. Cabe destacar que, el ingreso de agua al sistema es dado, generalmente, por la precipitación y la salida es, normalmente, mediante el caudal del río ( $Q$ ); de este modo, se logra lo descrito anteriormente, en la ecuación (8) (Escusa Arosquipa, 2016).

$$\frac{dV}{dt} = Q_{\text{ingreso}} - Q_{\text{salida}} \quad (8)$$

Donde:

$\frac{dV}{dt}$  : Define la tasa de acumulación o pérdida de agua en el sistema.

$Q_{\text{ingreso}}$ : Caudal de ingreso (engloba todos los ingresos de agua tales como la precipitación, el aporte por aguas freáticas y otros procesos no considerados).

$Q_{\text{salida}}$ : Caudal de salida (considera el agua que sale del sistema, tales como la escorrentía, la infiltración y evaporación).

De la ecuación precedente, la dificultad en su resolución radica en la definición de las entradas y salidas del sistema. Debido a esto, esta investigación se enfocará en las aguas de escorrentía superficial; ya que, son las que interactúan directamente con los flujos de detritos (Takahashi, 1991, Escusa Arosquipa, 2016).

Adicionalmente, el método de abstracciones desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos es uno de los métodos que se utiliza para determinar la transformación de la precipitación de lluvia en escorrentía e infiltración. Por lo que, este método estima el exceso de precipitación de lluvia, en cual se usa el modelo del Número de Curva (CN), a partir de factores como la precipitación acumulada, la cobertura del suelo, el uso de la tierra y la humedad antecedente. Finalmente, para entender mejor, se tiene en cuenta la siguiente hipótesis (Chow et al., 1994; Feldman, 2000):

- **Hipótesis del método del SCS:** Se fundamenta, en la relación de igualdad de dos proporciones, una referente a las abstracciones y la otra, al exceso de precipitaciones.

Es decir:

$$\frac{\text{Abstracción producida}}{\text{Abstracción máxima}} = \frac{P_e \text{ producida}}{P_e \text{ máxima}} \quad (9)$$

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (10)$$

Del principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (11)$$

$$F_a = (P - I_a) - P_e \quad (12)$$

Donde:

**P:** Precipitación total registrada.

**P<sub>e</sub>:** Precipitación efectiva o en exceso.

**I<sub>a</sub>:** Abstracción inicial o pérdida inicial (son pérdidas que se han producido antes de la escorrentía).

**F<sub>a</sub>:** Abstracción producida o continuada durante la escorrentía.

**S:** Potencial máximo de infiltración o máxima abstracción posible (Chow et al., 1994; Feldman, 2000).

Fusionando las ecuaciones (10) y (11), y resolviendo para la precipitación en exceso (P<sub>e</sub>), se obtiene la ecuación (13); siendo esta, básica para el cálculo de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta (Chow et al., 1994).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (13)$$

Donde:

**P<sub>e</sub>:** Precipitación efectiva o en exceso (precipitación que genera la escorrentía).

**P:** Precipitación total registrada o profundidad de la precipitación acumulada en el momento t.

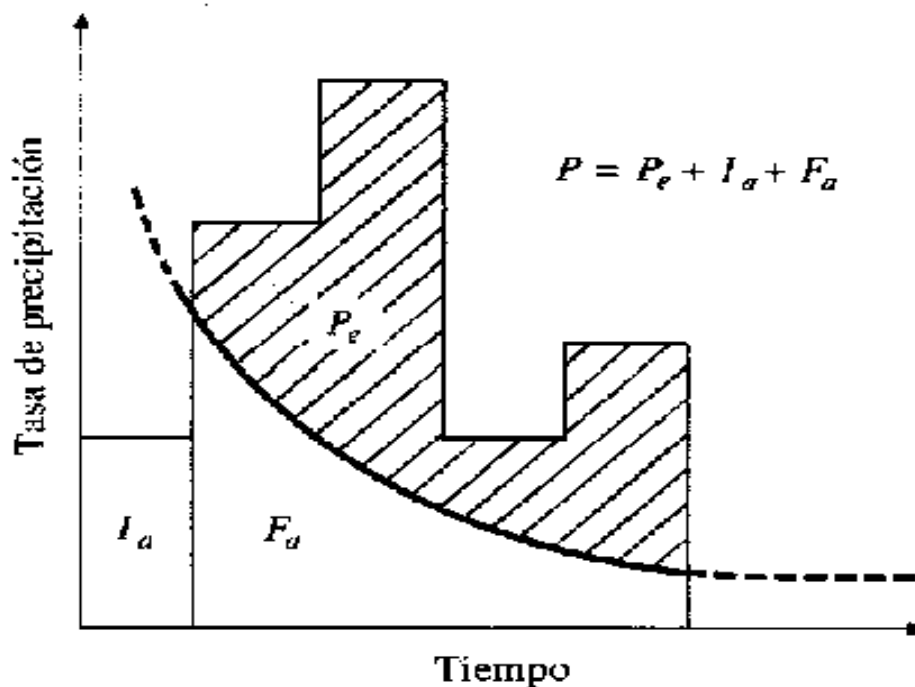
$I_a$ : Abstracción inicial (las abstracciones son consideradas como pérdidas o precipitaciones que no producen escorrentía directa, debido a que son retenidas superficialmente o infiltradas en el suelo).

$S$ : Potencial máximo de infiltración o máxima abstracción posible (capacidad de una cuenca para abstraer y retener la precipitación de la tormenta) (Chow et al., 1994; Feldman, 2000).

Variables del método SCS para abstracciones de precipitación:  $I_a$ ,  $P_e$ ,  $F_a$ ,  $P$ .

### Figura 15

Variables del método SCS para abstracciones de precipitación:  $I_a$ ,  $P_e$ ,  $F_a$ ,  $P$



Fuente: Chow et al. (1994).

De la ecuación (13), podemos decir que, si la precipitación acumulada, o precipitación en exceso, no supera la abstracción inicial, entonces no se producirá escorrentía directa (Escorrentía=0) (Feldman, 2000).

Como acotación final, el SCS desarrolló una relación empírica entre la abstracción inicial y el potencial máximo de infiltración; donde se considera que la abstracción inicial es el 20% del potencial máximo de infiltración, como se muestra en la ecuación (14), la cual se obtuvo como resultado del análisis de varios experimentos en cuencas pequeñas (Chow et al., 1994; Feldman, 2000).

$$I_a = 0.2 \times S \quad (14)$$

Por lo tanto, el exceso acumulado en el momento  $t$  es:

Para una  $I_a = 0.2 \times S$

$$P_e = \left[ \frac{(P - 0.20S)^2}{P + 0.80S} \right] \quad (15)$$

$P_e$ : Precipitación efectiva o en exceso, en milímetros (mm).

Sin embargo, existe otra expresión como la ecuación (16), en donde la relación entre la abstracción inicial y el potencial máximo de infiltración es de 5%. Asimismo, de acuerdo con la investigación de Woodward et al. (2002, 2003), este valor de 0.05 ha sido analizado en numerosas ocasiones frente a un clásico valor de 0.2, concluyendo que, el valor de 0.05 se ajusta mejor a los datos y es más apropiado para su uso en la escorrentía (Woodward et al., 2002, 2003).

$$I_a = 0.05 \times S \quad (16)$$

De lo anterior, se añade el cambio que se debe hacer al Número de Curva (NC), por lo cual surge la siguiente ecuación (Woodward et al., 2002, 2003):

$$S_{0.05} = 1.33 \times S_{0.2}^{1.15} \quad (17)$$

Para una  $I_a = 0.05 \times S$



$$P_e = \left[ \frac{(P - 0.05S)^2}{P + 0.95S} \right] \quad (18)$$

$P_e$ : Precipitación efectiva o en exceso, en milímetros (mm).

Asimismo, el potencial máximo de infiltración (S) y las características de la cuenca están relacionadas a través de un parámetro intermedio, denominado número de curva (comúnmente abreviado CN), el cual depende del tipo de uso que posee el suelo además de su permeabilidad. Los valores de CN oscilan entre 100 (para masas de agua) y aproximadamente 30 (para suelos permeables con altas tasas de infiltración) (Feldman, 2000). Estos valores, se obtiene de tablas que son posibles de encontrar en cualquier manual de hidrología (Chow et al., 1994). La expresión que relaciona estos términos es la mostrada en la ecuación (19) (Feldman, 2000):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254; \text{ en milímetros} \quad (19)$$

De la anterior expresión se obtiene lo siguiente:

Para una  $I_a = 0.05 \times S$

$$I_a = 0.05 \times \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (20)$$

Para una  $I_a = 0.2 \times S$

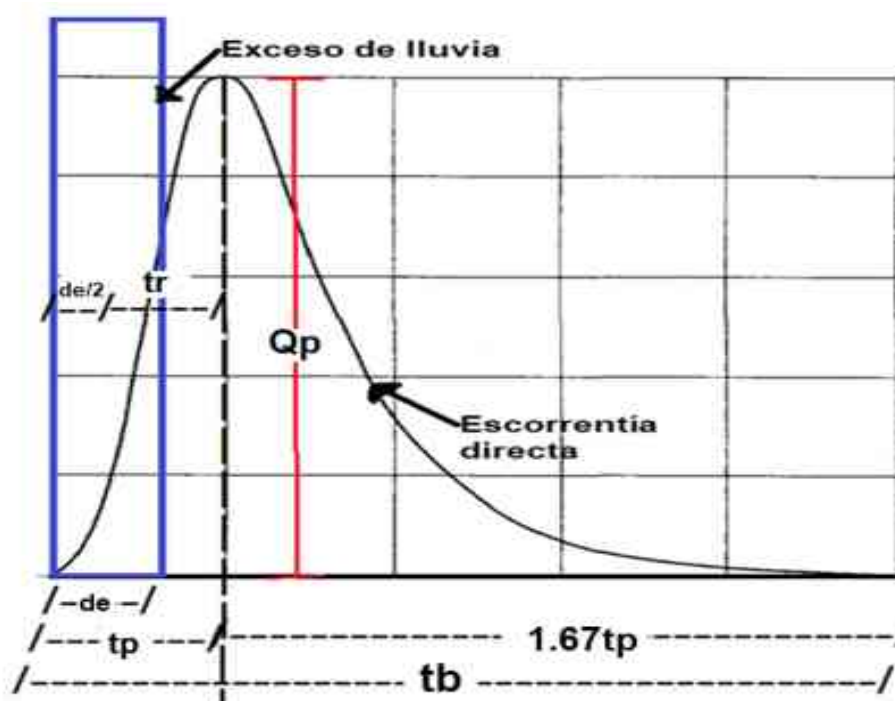
$$I_a = 0.2 \times \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (21)$$

Cabe destacar que, una vez conocida la precipitación excedente y determinando correctamente el uso y tipo de suelo, dentro de la cuenca hidrográfica, se puede generar el hidrograma resultante mediante la suma de varios hidrogramas unitarios adimensionales. En este caso, se está utilizando la metodología del SCS

para calcular las precipitaciones excedentes (precipitación de escorrentía); por ende, lo apropiado es utilizar los hidrogramas unitarios propuestos por el SCS, considerando que su limitación se aplica únicamente a cuencas con un área máxima de 500 km<sup>2</sup> (Maidment, 1993, como se citó en Escusa Arosquipa, 2016). Esta metodología se muestra en la Figura 16.

**Figura 16**

*Hidrograma unitario según el SCS*



Fuente: Adaptado de Chow et al. (1994).

#### ***2.2.6.5.1 Determinación del caudal líquido proveniente de precipitaciones de lluvia.***

- **Estimación de caudales:** Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca, que producen un caudal  $Q$ . Es decir, cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva;

infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial (MTC, 2011).

- **Métodos de estimación de caudal:** Los métodos de estimación de caudal que se utilizan, de acuerdo a las características fisiográficas y parámetros geométricos de la cuenca, son los siguientes: Racional, Hidrograma de escorrentía superficial (Hidrograma unitario sintético triangular del SCS) y el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System) (MTC, 2011).
  - **Método racional:** Se cree que, el método racional fue utilizado por primera vez, en Irlanda, en 1851. Luego, por Emil Kuichlin, en 1889, para estudiar y determinar el comportamiento de varios sistemas de captación de escorrentía pico; para el diseño de una alcantarilla en Rochester, Nueva York - Estados Unidos, durante el periodo de 1877 a 1888 (Kuichling, 1889). Asimismo, este método fue introducido en Inglaterra en 1906, donde se le conocía como método de Lloyd-Davies (Brière, 2005). El método racional se utiliza para calcular rápidamente el caudal máximo de escorrentía, originado por una lluvia uniforme de intensidad constante, en pequeñas cuencas; también, podemos decir que, consiste en la estimación del caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente denominado coeficiente de escorrentía (C), el cual se determina en función de las características de la cuenca. El método racional es continuamente usado y recomendable, en cuencas con áreas menores a 10 km<sup>2</sup> ( $A < 10 \text{ Km}^2$ ). Considerar que la duración de la precipitación es igual a tiempo de concentración ( $t_c$ ) (MTC, 2011).
    - **Limitaciones del método racional:**
      - ✓ Como se mencionó, el método racional solo se aplica en pequeñas cuencas, donde Viessman & Hammer (1993, como se citó en Brière,

2005) recomiendan su uso límite para cuencas con superficies inferiores a 5km<sup>2</sup>.

- ✓ Según la Norma Técnica CE.040 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] (2021), el método racional se aplicará en áreas de drenaje iguales o menores a 3 km<sup>2</sup>; caso contrario, se utilizará el método del hidrograma unitario, siendo aplicado para áreas mayores a 0.5 km<sup>2</sup>.

### **2.2.6.5.2 Método del hidrograma de escorrentía superficial (Hidrograma unitario sintético del SCS).**

#### **A. Hietograma sintético de la SCS para la distribución de tormentas.**

El Soil Conservation Service (SCS) desarrolló hietogramas sintéticos de tormentas, en los Estados Unidos, para poder observar sus distribuciones a lo largo de sus duraciones (6 y 24 horas). Para el caso de las tormentas de 24 horas, existe cuatro tipos de tormentas (tipo I, IA, II y III). Los tipos I y IA corresponden al clima marítimo del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos. El tipo III corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas. El tipo II es para el resto del país (Chow et al., 1994).

**Tabla 15**

*Distribuciones de lluvia SCS*

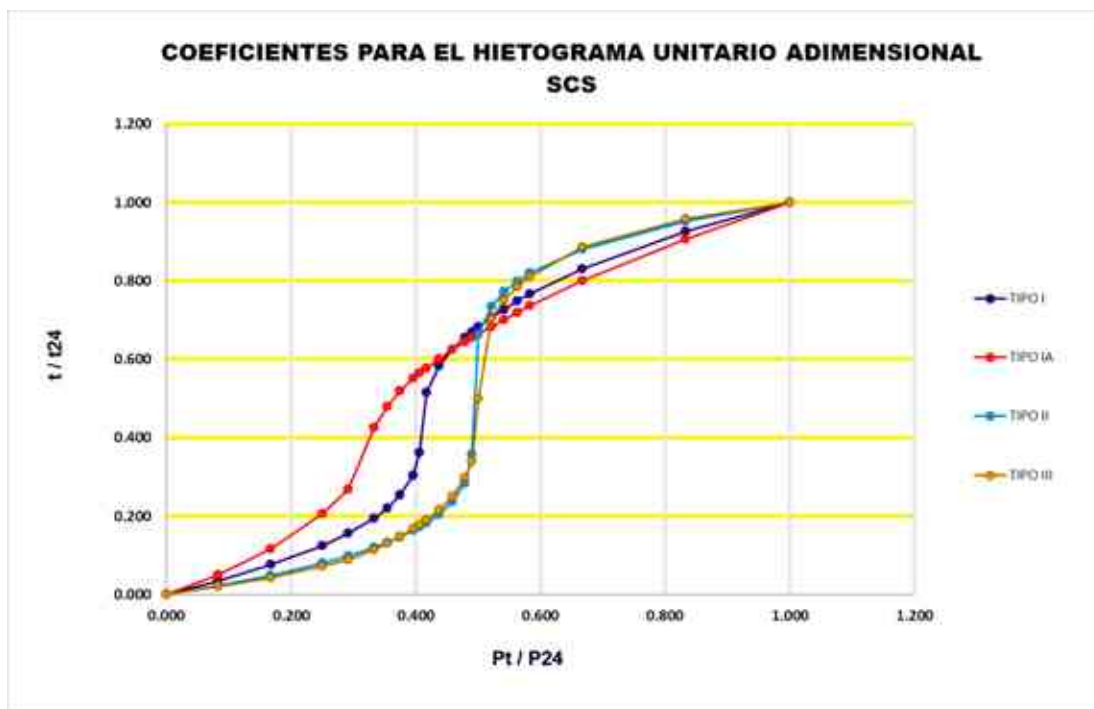
<b>METODO SCS</b>					
<b>FACTOR ADIMENSIONAL SEGÚN EL TIPO (P/P24)</b>					
<b>Hora t</b>	<b>9/24</b>	<b>TIPO I</b>	<b>TIPO IA</b>	<b>TIPO II</b>	<b>TIPO III</b>

0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.00	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.00	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.00	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.00	0.292	0.158	0.268	0.098	0.089
8.00	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.50	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.00	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.50	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.75	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.00	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.50	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.00	0.458	0.624	0.624	0.235	0.250
11.50	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.75	0.490	0.669	0.655	0.357	0.339
12.00	0.500	0.682	0.664	0.683	0.500
12.50	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.00	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.50	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.00	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.00	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.00	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

*Nota*, esta tabla se tomó de la Tabla 14.3.1: Distribuciones de lluvia SCS del libro de Hidrología Aplicada, página 473, Chow et al. (1994). Fuente: U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, 1986, citado en Chow et al. (1994).

Figura 17

Curvas de distribuciones adimensionales SCS



Nota, la figura se realizó en base TABLA 14.3.1 del libro de Hidrología Aplicada, página 473, Chow et al. (1994).

### B. Hidrograma unitario sintético triangular según el método SCS.

El hidrograma unitario se obtiene a partir de: una tormenta con una intensidad moderadamente uniforme, una duración predeterminada y un volumen de escorrentía de 10 mm (o 1 cm). Asimismo, estos hidrogramas pueden establecerse a través de valores naturales registrados (hidrogramas naturales) o hidrogramas sintéticos, los cuales son simulados, artificiales y se elaboran usando las características fisiográficas y parámetros de la cuenca de estudio. Por último, su objetivo es representar o simular un hidrograma que refleje los fenómenos hidrológicos de la cuenca, con el fin de predecir el caudal pico para propósitos de diseño (MTC, 2011).

Con base en la revisión de un gran número de Hidrogramas unitarios, el United States Soil Conservation Service (SCS) sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en m<sup>3</sup>/s.mm (MTC, 2011). Del análisis de varios hidrogramas, Mockus (como se citó en Aparicio Mijares, 1992), concluye que el tiempo base y el tiempo de pico  $t_p$  se relacionan mediante la expresión. De esta relación podemos obtener el tiempo de recesión ( $t_{rec}$ ):

$$t_b = t_p + t_{rec} = 2.67 \times t_p \quad (22)$$

$$t_{rec} = 1.67 \times t_p \quad (23)$$

A su vez, el tiempo de ocurrencia del pico,  $TP$ , puede expresarse como (Aparicio Mijares, 1992):

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (24)$$

Donde:

$d_e$ : duración de la lluvia o duración en exceso de la lluvia, en horas (h).

$t_r$ : el tiempo de retardo, el cual se estima mediante el tiempo de concentración

Adicionalmente, un estudio de muchas cuencas ha demostrado que (Aparicio Mijares, 1992; MTC, 2011):

$$t_p = 0.6 \times t_c \quad (25)$$

Donde:

$t_r$ : Tiempo de retardo (entre el centroide del hidrograma y el pico de caudal), en horas (h).

$t_c$ : Tiempo de concentración de la cuenca, en horas (h).

Además, la duración en exceso con la que se tiene mayor gasto de pico, a falta de mejores datos, se puede calcular aproximadamente como (Aparicio Mijares, 1992):

$$d_e = 2 \times \sqrt{t_c} \quad (26)$$

Para cuencas grandes, o bien  $d_e = t_c$  para las pequeñas. Todos los tiempos y la duración en exceso deben estar en horas (h) (Aparicio Mijares, 1992).

Donde se tiene:

$$t_p = \sqrt{t_c} + (0.6 \times t_c), \text{ para cuencas grandes} \quad (27)$$

$$t_p = \frac{t_c}{2} + (0.6 \times t_c), \text{ para cuencas pequeñas} \quad (28)$$

Las ecuaciones para calcular el tiempo de concentración se muestran en la Figura 18 como se muestra a continuación:

**Figura 18**

*Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración*

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA $t_c$ (minutos)	OBSERVACIONES
<b>Kirpich (1940)</b>	$t_c = 0.01947.L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio del cauce principal, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar $t_c$ por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
<b>California Culverts Practice (1942)</b>	$t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

*Nota*, esta figura se tomó de la Tabla N° 05: Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Fuente: MTC (2011).



### C. Corrección según el grado de humedad previa del suelo.

Las diferentes condiciones de humedad antecedente (AMC) o previas del suelo, son necesarias para el método de abstracciones de lluvia del SCS; por ende, este método depende de la precipitación acumulada de 5 días previos al evento, en milímetros, considerando que existen condiciones normales (AMC II), condiciones secas (AMC I) y condiciones húmedas (AMC III). Todo esto se muestra en la siguiente tabla (MTC, 2011):

**Tabla 16**

*Precipitación Acumulada según las Condiciones de Humedad Antecedente (AMC)*

Condiciones de Humedad Antecedente (AMC)	Precipitación Acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (mm)
AMCI	0 – 36
AMCII	36 – 53
AMCIII	Mayor a 53

Por tal motivo, los números de curva equivalentes pueden calcularse con las siguientes ecuaciones, teniendo en cuenta que, para cada condición de humedad (AMCII: CNII, AMCI: CNI, AMCIII: CNIII) existe un Número de Curva (CN) correspondiente, tal como se observa a continuación (Chow et al., 1994, pág. 152; Martínez Álvarez, 1999, pág. 76):

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - (0.013 \times CN_{II})}, \text{ para milímetros} \quad (29)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + (0.0057 \times CN_{II})}, \text{ para milímetros} \quad (30)$$

De lo anterior, se podrá calcular los números de curva en condiciones seca (CNI) y húmedas (CNII), en función del número de curva en condiciones normales (CNII); para

ello, estos números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service (SCS) con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos (MTC, 2011):

**Tabla 17**

*Clasificación hidrológica de los suelos*

<b>CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS</b>	
<b>GRUPOS</b>	<b>TIPOS DE SUELO</b>
<b>Grupo A:</b>	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados. Tienen altos porcentajes de infiltración y de humedad (bajo porcentaje de escorrentía).
<b>Grupo B:</b>	Suelos poco profundos depositados por el viento, margas arenosa. Tienen moderados porcentajes de infiltración y son moderadamente bien drenados (moderadamente bajo porcentaje de escorrentía).
<b>Grupo C:</b>	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla. Tienen bajos porcentajes de infiltración (lenta), los cuales cuentan con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo (moderadamente alto porcentaje de escorrentía).
<b>Grupo D:</b>	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Tienen muy bajos porcentajes de infiltración (muy lenta), suelos arcillosos expansivos con un nivel freático alto permanente (alto porcentaje de escorrentía).

Fuente: Clasificación hidrológica de los suelos según el Servicio de Conservación del Suelo (SCS, siglas en inglés) ahora conocido como el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés), como se citó en el MTC, 2011.

Figura 19

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (AMCII,  $I_a = 0.2s$ )

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación con tratamiento de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena <sup>2</sup>	45 25	66 55	77 70	83 77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote      Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>				
1/8 acre o menos                      65	77	85	90	92
1/4 acre                                      38	61	75	83	87
1/3 acre                                      30	57	72	81	86
1/2 acre                                      25	54	70	80	85
1 acre                                        20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Nota, esta figura se tomó de la Tabla N° 07: Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II,  $I_a = 0.2s$ ) del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Fuente: MTC (2011).

El número de curva representativo para una cuenca, con diferentes usos de suelo en su interior, se halla con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\sum A_i \times N_i}{\sum A_i} \quad (31)$$

Donde:

**N**: Número de curva promedio.

$A_i$ : Área de la superficie i.

$N_i$ : Numero de curva de la superficie i

Como el área bajo el Hidrograma Unitario (HU) debe ser igual a una escorrentía de 10 mm, puede demostrarse que (Aparicio Mijares, 1992; MTC, 2011):

$$Q_P = \frac{0.208 \times A}{t_P}, \text{ para 1 mm de lluvia} \quad (32)$$

Donde:

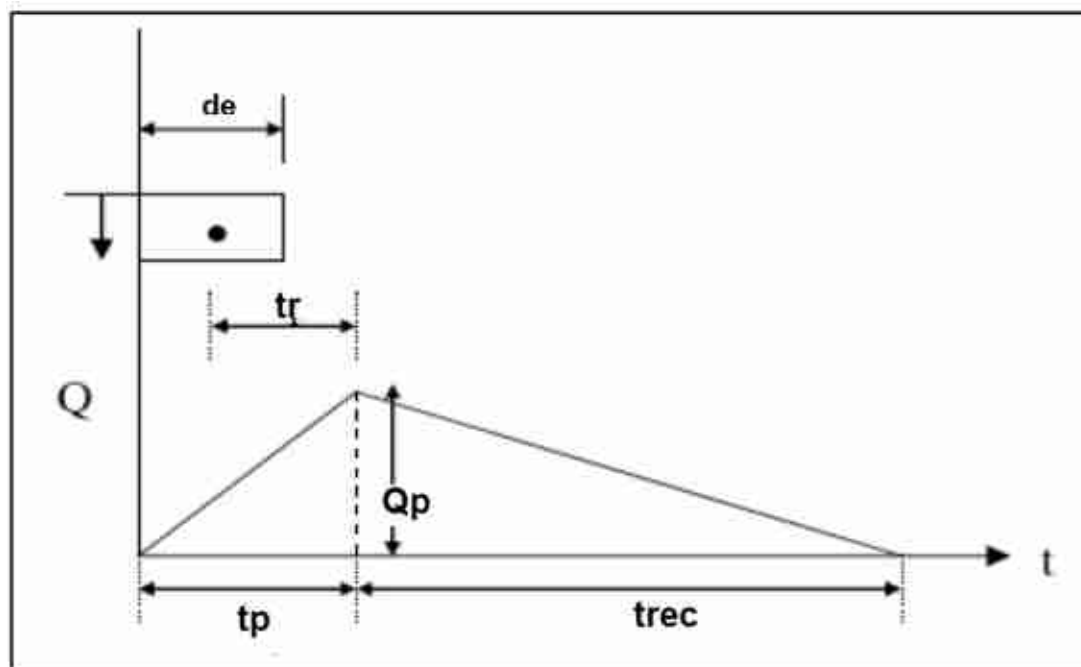
$Q_P$ : Caudal pico del hidrograma unitario para 1mm. De precipitación efectiva, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s)

**A**: Área de drenaje de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$t_P$ : Tiempo al pico del hidrograma triangular, en horas (h)

**Figura 20**

*Hidrograma Unitario Triangular del SCS*



Fuente: Chow et al. (1994).

Este método es recomendable tan solo para cuencas de hasta a 30 Km<sup>2</sup>. Es muy usado en cuencas sin muchos datos hidrológicos.

#### **D. Hidrograma adimensional sintético de la SCS para la determinación del caudal líquido.**

Una vez obtenido el hidrograma unitario sintético triangular, conviene darle una forma similar a la de los hidrogramas reales, que derivan de datos medidos en la realidad. Los técnicos del SCS observaron que la mayoría de los hidrogramas de crecida tenían una forma similar a la de la Figura 21. Además, a partir de una gran cantidad de hidrogramas, pudieron relacionar el hidrograma real con el hidrograma unitario sintético triangular; de esta relación se obtuvo la proporción entre el tiempo del caudal real y el tiempo pico del hidrograma triangular ( $t/t_p$ ), y la proporción entre el caudal real y caudal

pico del hidrograma triangular ( $Q/Q_p$ ). Asimismo, se consideró que estas proporciones serían  $t/t_p = 1$  y  $Q/Q_p = 1$ , de modo que las coordenadas en el pico del hidrograma adimensional e hidrograma triangular fueran del mismo tamaño. Finalmente, se multiplicó cada proporción obtenida ( $t/t_p$  y  $Q/Q_p$ ), con las coordenadas en el pico del hidrograma unitario sintético triangular ( $t_p$  y  $Q_p$ ). Y así se produjo como resultado el hidrograma adimensional, que puede esperarse en una cuenca real, en lugar de un geométrico triángulo (USDA, 2007 - Natural Resources Conservation Service [NRCS]).

Donde:

**Q:** Caudal real del hidrograma adimensional.

**Q<sub>p</sub>:** Caudal pico del hidrograma triangular.

**t:** Tiempo del caudal real del hidrograma adimensional.

**t<sub>p</sub>:** Tiempo pico del hidrograma triangular.

**Tabla 18**

*Coefficientes para el hidrograma unitario adimensional*

<b>t / t<sub>p</sub></b>	<b>Q / Q<sub>p</sub></b>
0.00	0.000
0.10	0.030
0.20	0.100
0.30	0.190
0.40	0.310
0.50	0.470
0.60	0.660
0.70	0.820
0.80	0.930
0.90	0.990

---

1.00	1.000
1.10	0.990
1.20	0.930
1.30	0.860
1.40	0.780
1.50	0.680
1.60	0.560
1.70	0.460
1.80	0.380
1.90	0.330
2.00	0.280
2.20	0.207
2.40	0.147
2.60	0.107
2.80	0.077
3.00	0.055
3.20	0.040
3.40	0.029
3.60	0.021
3.80	0.015
4.00	0.011
4.50	0.005
5.00	0.000

---

Fuente: USDA (2007) - NRCS.

Figura 21

Relación entre los coeficientes de tiempo y caudal



### 2.2.6.6 Hidráulica de los Flujos de Detritos.

#### 2.2.6.6.1 Mecánica de los flujos de detritos.

El comportamiento de un **flujo hiperconcentrado** es como una matriz de fluido que consiste en partículas granulares y finas de sedimento, y agua; en donde el efecto de la carga de sedimentos sobre la mecánica del flujo puede variar sustancialmente, según el material dominante (fino o granular), durante el transporte del flujo. Por tal razón, si en un flujo hiperconcentrado dominan los sedimentos finos, este flujo se convertirá en un flujo de lodos; en caso, los sedimentos gruesos dominen el flujo se convertirá en un flujo de detritos o escombros (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Por otro lado, las investigaciones de O'Brien y Julien (1988, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), Julien y Lan (1991, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) y, Major



y Pierson (1992, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), en referencia a los **flujos de lodos** con altas concentraciones de sedimentos finos en la matriz del fluido, mostraron que estos flujos se comportan como fluidos Bingham con bajas tasas de cizallamiento. Es decir, si la cohesión del sedimento fino controla el comportamiento no newtoniano de la matriz del fluido, este se comportará como un fluido Bingham con bajas tasas de esfuerzo de corte. Esta cohesión contribuye a la tensión de fluencia ( $\tau_y$ ) que debe ser superada por la tensión aplicada para iniciar el movimiento del fluido. Finalmente, podemos concluir que, combinando los componentes de la tensión de fluencia y la tensión viscosa, se prescribe el conocido modelo reológico de Bingham (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Los **flujos de detritos o escombros** implican la compleja interacción de los procesos de fluidos y sedimentos (finos y gruesos), incluyendo la turbulencia, el cizallamiento viscoso, el intercambio de momentos entre fluidos y partículas de sedimentos; asimismo, las partículas de sedimento grueso pueden colisionar, moler y rotar en su movimiento de paso. En este tipo de flujos, en donde las matrices de fluidos poseen bajas concentraciones de sedimentos finos, los esfuerzos turbulentos dominan el flujo del núcleo. Además, se requieren altas concentraciones de partículas gruesas (no cohesivas) combinadas con bajas concentraciones de partículas finas para generar esfuerzos dispersivos (FLO-2D Software, Inc., 2021). Adicionalmente, para grandes velocidades de cizallamiento como las que pueden darse en los abanicos aluviales (flujos de detritos) de gran pendiente ( $10^\circ$  a  $50^\circ$ ), se pueden generar tensiones turbulentas. En el flujo turbulento, un componente adicional de tensión de cizallamiento es el esfuerzo cortante dispersivo, que puede surgir de la colisión de las partículas de sedimento. Este esfuerzo dispersivo se produce cuando las partículas de sedimento grueso (no cohesivo) dominan el flujo y el porcentaje de sedimento fino cohesivo (limos y arcillas) es pequeño en comparación con la concentración de partículas gruesas. No obstante, al aumentar las

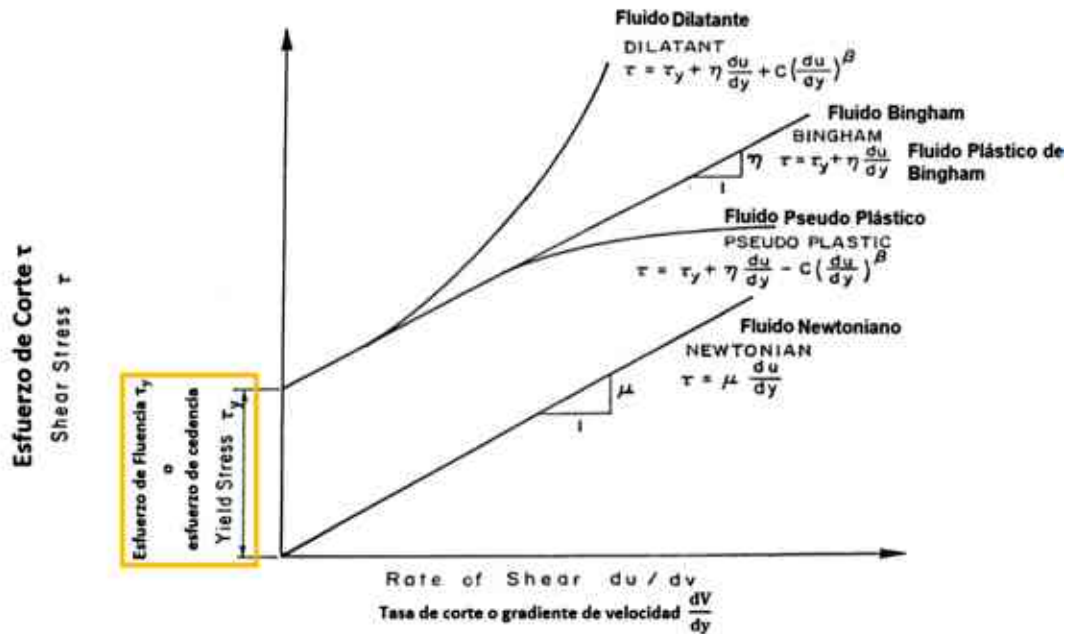
concentraciones de sedimentos finos, la turbulencia del fluido y el impacto de las partículas se suprimen, por ende, el flujo se aproxima a ser laminar. Por último, podemos decir que, la concentración de sedimentos en un movimiento de flujos puede variar dramáticamente y, como resultado, las tensiones viscosas y turbulentas pueden dominar alternativamente produciendo oleadas de flujo (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Adicionalmente, Takahashi y Tsujimoto (1985, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) propusieron un modelo bidimensional de diferencias finitas para los flujos de escombros, basado en un modelo de fluido dilatante acoplado a la resistencia al flujo de Coulomb. Este modelo, se derivó de la teoría de la tensión dispersiva de Bagnold (1954, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), que describe la tensión resultante de la colisión de las partículas de sedimento grueso. Posteriormente, Takahashi y Nakagawa (1989, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) modificaron el modelo de flujo de escombros para incluir la turbulencia.

De todo lo expuesto, podemos concluir, que el comportamiento de un flujo hiperconcentrado puede variar significativamente en función de la concentración de sedimentos de la mezcla (agua – sólido), la distribución granulométrica y del tipo de sólidos que compone al flujo.

Figura 22

Relación esfuerzo - deformación para diferentes tipos de fluido



Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021).

### 2.2.6.6.2 Ecuaciones generales de gobierno en los flujos de detritos.

Las ecuaciones generales constitutivas son la ecuación de continuidad y las ecuaciones de movimiento (ecuación de momentum de onda dinámica o momento lineal). Generalmente, la extensión de los flujos de detritos predomina más que su altura en la escala, y la traslación predomina sobre la rotación. Por ello, es razonable asumir que las ecuaciones de gobierno pueden ser integradas a lo largo de la profundidad (Sepúlveda Bello et al., 2016).

FLO-2D es una herramienta adoptada a nivel mundial para la simulación de fenómenos de flujo de detritos e inundaciones hidráulicas de áreas urbanas (Bertolo y Wieczorek, 2005, Boniello et al., 2010, Stancanelli et al., 2017, Stancanelli y Foti, 2015, citados en Gregoretti et al., 2019). Este modelo computacional es multidireccional; pero utiliza las ecuaciones de continuidad y momentum, para la mezcla a granel, a lo largo de

la dirección de movimiento considerada  $x$ ; ya que, el dominio de flujo se discretiza en elementos cuadrados uniformes de rejilla (celdas). Las formas diferenciales de las ecuaciones (33) y (34) se resuelven por diferencias finitas. Es decir, para cada celda computacional, la forma discretizada de las ecuaciones (33) y (34) se determinan independientemente a lo largo de las ocho direcciones potenciales del flujo que resultan de la celda considerada. Asimismo, las cantidades  $h$  y  $V$  están relacionadas con una de las ocho direcciones de flujo, eligiendo la dirección  $x$  más inclinada (Gregoretto et al., 2019). Estas ecuaciones, según O'Brien & Julien (1985, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), se muestran a continuación (Gregoretto et al., 2019):

- **Ecuación de Continuidad o conservación de la masa:**

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dh}{dx} V_x = 0$$

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dh}{dx} V_x = i$$
(33)

Donde:

$h$ : profundidad del flujo.

$V_x$ : velocidad promediada en profundidad a lo largo de la dirección  $x$ .

$i$ : exceso de intensidad de lluvia o intensidad de lluvia efectiva. Esta intensidad puede ser distinta de cero en la superficie del flujo.

- **Ecuación de Movimiento o momento lineal:** estas ecuaciones bidimensionales de movimiento están dadas por (FLO-2D Software, Inc., 2021; Gregoretto et al., 2019):

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{dh}{dx} - \frac{V_x}{g} \frac{dV_x}{dx} - \frac{1}{g} \frac{dV_x}{dt}$$
(34)

Donde:

$S_{fx}$ : pendiente de fricción a lo largo de la dirección  $x$ .

$S_{ox}$ : pendiente del canal o componente de la pendiente de fondo (lecho) en la dirección  $x$ .

$g$ : aceleración de la gravedad.

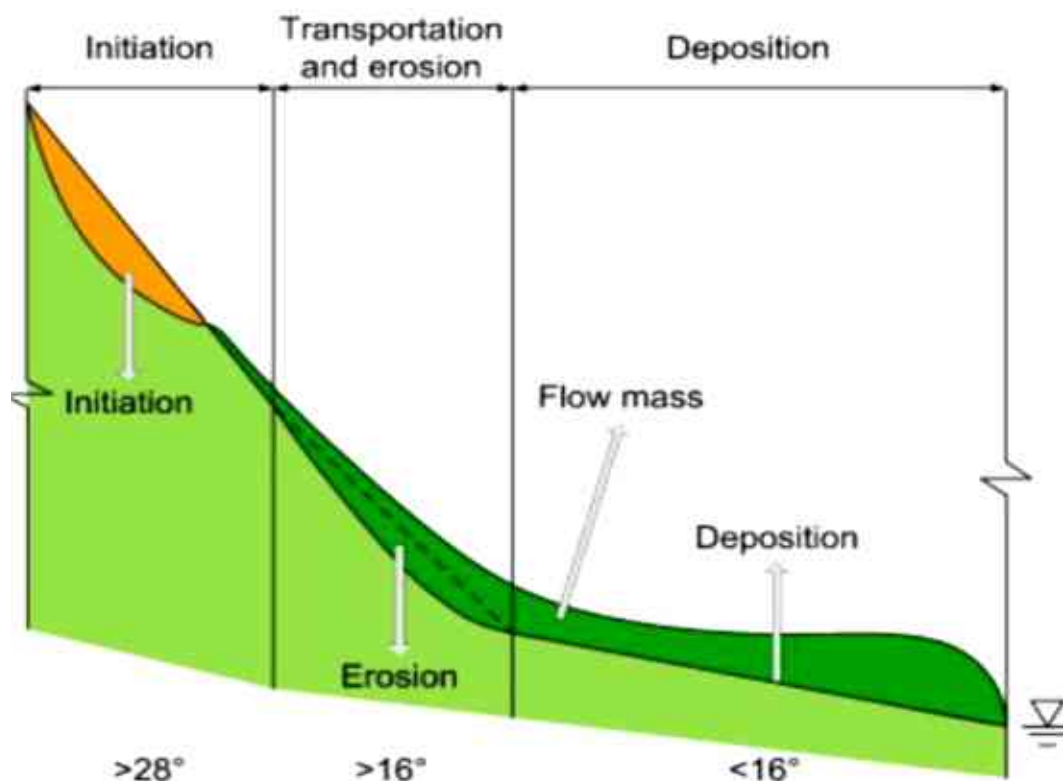
### **2.2.6.6.3 Reología de los flujos de detritos.**

Se reconoce que un proceso de flujo de escombros incluye cuatro mecanismos: iniciación en el área fuente, transporte de los escombros movilizados, arrastre del lecho y escombros adicionales, y depósito de escombros (Gao et al., 2016). Además, en la Figura 23 se observa que, uno o más de estos mecanismos pueden dominar en diferentes zonas a lo largo de la trayectoria de los escombros (Franks, 1999; Lo, 2000, citados en Gao et al., 2016). Por tal motivo, la zona de flujo se puede dividir en tres partes: iniciación, transporte y erosión, y deposición; así como, la complejidad de los mecanismos mencionados, exige un marco de modelado integrado (que incluya información hidrológica, reológica y geológica) y datos de campo fiables tanto para la calibración como para la validación. Muchos modelos utilizados en aplicaciones de ingeniería para calcular la propagación del flujo de escombros consideran una matriz fluida monofásica con una ley reológica específica, basada en coeficientes empíricos (Gregoretti et al., 2019). Sin embargo, en ausencia de tasas de erosión significativas, se ha demostrado que los modelos monofásicos que adoptan una reología de tensión viscosa o de Coulomb dan buenos resultados cuando se aplican a masas de deslizamientos de tierra (Liu y Wang, 2006; Rickenmann et al., 2006; Pirulli, 2010; Pudasaini, 2012; Di Cristo et al., 2014; Iverson y George, 2014; Tiranti y Deangeli, 2015, citados en Gregoretti et al., 2019). De lo mencionado anteriormente, se puede inferir que el modelo adoptado es para un flujo de lodo con mayor volumen de agua y predominancia de sedimentos finos, lo que claramente, no puede describir flujos de escombros, ya que usualmente son flujos canalizados que no

están completamente saturados, que ganan masa y descienden por fuertes pendientes; los cuales se desencadenan por la transformación de deslizamientos de tierra, el transporte y erosión de sedimentos hiperconcentrados por escorrentía superficial, y deposición gradual en un abanico de escombros, en donde, el volumen de sedimentos móviles disminuye (Takahashi, 2009, citado en Gao et al., 2016). Por consiguiente, en un lecho móvil (erosionable), el lecho cambia debido a la erosión y la deposición, lo que a su vez afecta al flujo de escombros cuando cambia su volumen o ruta (Gao et al., 2016). Adicionalmente, la cantidad de escorrentía que contribuye a formar el flujo de escombros es la que excede un valor crítico de descarga, asegurando el arrastre del sedimento del lecho (Gregoretti et al., 2016b; Han et al., 2017, citados en Gregoretti et al., 2019). Esta escorrentía produce un hidrograma en forma de triángulo, el cual se puede determinar definiendo el tiempo pico, siendo el área bajo el hidrograma la suma del volumen de escorrentía formativa, el volumen de sedimento arrastrado y el volumen del fluido almacenado dentro de los vacíos del lecho de sedimento erosionado. Finalmente, de todo lo expuesto, se concluye que: para mejorar la precisión de las predicciones es necesario modelar el arrastre de sedimentos (Armanini et al., 2009; Quan Luna et al., 2012; Hussin et al., 2012; Frank et al., 2015, citados en Gregoretti et al., 2019).

Figura 23

Zonas y mecanismos de flujos de escombros



*Nota*, pendientes típicas del flujo de escombros en Hong Kong. Adoptado de Franks (1999), citado en Gao et al. (2016).

Por último, de todo lo desarrollado anteriormente y, de acuerdo con los estudios de Julien y O'Brien (1997); Chen et al. (2014); Chen y Zhang (2015), citados en Gao et al. (2016), manifiestan que, una mezcla de sedimento-líquido se aproxima a un líquido monofásico, el cual supone un modelo reológico cuadrático que combina efectos friccionales, viscosos y turbulentos (Julien y Lan, 1991; O'Brien y Julien, 1988, citados en Gregoretti et al., 2019). Asimismo, este modelo se utiliza en el modelo numérico bidimensional FLO-2D, el cual predice razonablemente la distribución de los flujos de escombros canalizados.

### A. Parámetros reológicos.

A concentraciones muy altas, el esfuerzo de turbulento/dispersivo derivado del contacto y choque entre partículas de sedimento grueso, aumenta la resistencia del flujo ( $n_{td}$ ), debido a una mayor transferencia de momento lineal en la frontera del flujo. Para estimar este aumento de la resistencia al flujo, se utiliza el valor de resistencia al flujo turbulento convencional ( $n_t$ ) mediante una función exponencial de la concentración de sedimentos  $C_v$ . Donde  $n_{td}$  es el valor del coeficiente de resistencia turbulento/dispersivo de Manning equivalente, el coeficiente  $b$  es 0.0538 y el coeficiente del exponente ( $m$ ) es 6.0896 (FLO-2D Software, Inc., 2021; Gao et al., 2016; Gregoretti et al., 2019).

$$n_{td} = n_t \times b \times e^{mC_v}$$

(35)

$$n_{td} = n_t \times 0.0538 \times e^{6.0896C_v}$$

Esta ecuación se basó en un artículo no publicado de Julien y O'Brien (1998, citado FLO-2D Software, Inc., 2021), la cual define la resistencia turbulenta/dispersiva de flujos de sedimentos hiperconcentrados, en función de la relación entre la profundidad del flujo y el tamaño de los granos del sedimento. Los componentes de la pendiente de fricción total se pueden combinar de la siguiente forma (Gao et al., 2016; Gregoretti et al., 2019):

$$S_f = S_y + S_v + S_{td}$$

$$S_f = \frac{\tau_y}{\rho gh} + \frac{K\mu V}{8\rho gh^2} + \frac{n_{td}^2 V^2}{h^{\frac{4}{3}}} \quad (36)$$

Donde:

$S_f$ : pendiente de fricción total.

$S_y$ : pendiente de fricción de fluencia.



$S_v$ : pendiente de fricción viscosa.

$S_{td}$ : la pendiente de fricción turbulenta/dispersiva.

$\tau_y$ : esfuerzo de fluencia o límite elástico de Bingham.

$K$ : parámetro de resistencia para flujos laminares.

$\mu$ : viscosidad dinámica o viscosidad de Bingham.

$V$ : velocidad promediada en profundidad del flujo.

$n_{td}$ : coeficiente de resistencia turbulento/dispersivo de Manning equivalente.

Los flujos laminares y de transición (fluidos muy viscosos con altas con tensiones de fluencia) predominan cuando no hay turbulencia y, el parámetro  $K$  de resistencia al flujo laminar se vuelve importante. En el modelo FLO-2D, se puede calcular el valor de  $K$ , a partir del valor ( $n$ ) de Manning (FLO-2D Software, Inc., 2021).

**Tabla 19**

*Parámetros de resistencia para flujo laminar*

<b>Parámetros de resistencia para flujo laminar</b>	
<b>Superficie</b>	<b>Rango de K</b>
Hormigón/asfalto	24 - 106
Arena descubierta	30 - 120
Superficie graduada	90 - 400
Arcilla descubierta - suelo franco, erosionado	100 - 500
Vegetación escasa	1,000 - 4,000
Llanura de pasto corto	3,000 - 10,000
Césped de espiguilla	7,000 - 50,000

Woolhiser (1975), citado en FLO-2D Software, Inc. (2021).

*Nota*, los datos de esta tabla se encuentran en Tabla 12 en Flo-2D reference manual.

Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021).

Se ha formulado una solución de ecuación cuadrática para la ecuación de pendiente de fricción en el modelo FLO-2D, esta solución estimada sirve para hallar la velocidad que se usa en la ecuación de momento, la cual representa la velocidad del flujo calculada, a través de la llanura aluvial o el límite del elemento del canal, utilizando la profundidad promedio del flujo entre los elementos. Además, se pueden asumir valores razonables de  $K$ , el valor de Manning ( $n$ ) para el canal y la resistencia al flujo terrestre. Asimismo, el peso específico de la matriz fluida ( $\gamma_m$ ), el límite elástico ( $\tau_y$ ) y la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) varían principalmente con la concentración de sedimentos. Por lo cual, solo si se dispone de un análisis reológico y geotécnico del material de flujo in situ, se pueden usar las siguientes relaciones empíricas para calcular la viscosidad y el límite elástico (FLO-2D Software, Inc., 2021):

De igual modo, cuando las concentraciones de sedimentos finos y gruesos son altas, como en la zona de deposición, el esfuerzo de fluencia se calcula como (Gao et al., 2016; FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$\tau_y = \alpha_1 \times e^{\beta_1 c_v} \quad (37)$$

La viscosidad dinámica ( $\mu$ ) se establece como (FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$\mu = \alpha_2 \times e^{\beta_2 c_v} \quad (38)$$

Donde  $\alpha_i$  y  $\beta_i$  son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio (O'Brien y Julien, 1988, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021).

Tabla 20

*Esfuerzo de fluencia y viscosidad en función de la concentración de sedimentos (Cv)*

<b>ESFUERZO DE FLUENCIA Y VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS (Cv)</b>				
Fuente	$\tau_y = \alpha_1 \times e^{\beta_1 C_v}$		$\mu = \alpha_2 \times e^{\beta_2 C_v}$	
	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$
<b>DATOS DE CAMPO</b>				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.2
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
<b>RELACIONES DISPONIBLES EN LA LITERATURA</b>				
Ida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.6	17.48	0.0075	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.05	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	20	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.0047	22.2	-	-

*Nota*, los datos de esta tabla se encuentran en Tabla 13 en Flo-2D reference manual.

Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021, capítulo 4, pág. 108).

#### **2.2.6.6.4 Modelo Reológico.**

Takahashi y Tsujimoto (1985, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021) propusieron un modelo bidimensional de diferencias finitas para flujos de escombros (sedimentos hiperconcentrados) basado en un modelo de fluido dilatante acoplado con resistencia de flujo de Coulomb. El modelo de fluido dilatante, que derivó de la teoría del esfuerzo dispersivo de Bagnold (1954, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), describe el esfuerzo resultante de la colisión de partículas de sedimento. Posteriormente, Takahashi y Nakagawa (1989, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021) modificaron el modelo de flujo de detritos para incluir la turbulencia. Por otro lado, O'Brien y Julien (1988, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021), Julien y Lan (1991, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021) y, Major y Pierson (1992, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021) investigaron flujos de lodo con altas concentraciones de sedimento fino en la matriz fluida. Estos estudios mostraron que los flujos de lodo, se comportan como fluidos Bingham con velocidades de cizallamiento bajas ( $<10 \text{ s}^{-1}$ ). Caso contrario, en matrices fluidas con bajas concentraciones de sedimentos finos, las tensiones turbulentas dominan en el núcleo del flujo (FLO-2D Software, Inc., 2021). Adicionalmente, se requieren altas concentraciones de partículas no cohesivas (sedimentos gruesos) combinadas con bajas concentraciones de partículas finas para generar esfuerzos dispersivos (FLO-2D Software, Inc., 2021). Por último, el modelo de esfuerzo cortante cuadrático propuesto por O'Brien y Julien (1985, citados en FLO-2D Software, Inc., 2021), el cual es empleado por el modelo numérico bidimensional FLO-2D, describe el continuo movimiento y cambio de regímenes del flujo durante su recorrido, desde el viscoso hasta el turbulento/dispersivo.

Como se mencionó anteriormente, el comportamiento reológico de los flujos de escombros (sedimentos hiperconcentrados) involucra la interacción compleja de varios procesos físicos como la interacción de los fluidos y sedimentos, los cuales incluyen

turbulencia, cizallamiento viscoso, colisión e intercambio de momento de las partículas de sedimentos; es decir, las partículas que componen la parte sólida del flujo pueden chocar, rozar y rotar en su movimiento entre sí. Además, si el contenido de sedimentos finos es alto, se pueden producir fuerzas electroquímicas entre las partículas que hacen más difícil el análisis del flujo; asimismo, la cohesión de los sedimentos finos controla el comportamiento no newtoniano de la matriz fluida. Esta cohesión contribuye al límite elástico o esfuerzo de fluencia ( $\tau_y$ ), el cual debe ser superado por un esfuerzo aplicado para iniciar el movimiento del fluido. Al combinar los esfuerzos de fluencia y viscosidad, se prescribe el conocido modelo reológico de Bingham (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Por último, para el análisis reológico de un flujo de detritos (sedimentos hiperconcentrados), se relacionan cinco elementos diferentes de esfuerzos cortantes: a) el esfuerzo cortante de cedencia ( $\tau_C$ ) producto de las partículas de sedimento fino, b) el esfuerzo cortante de Mohr-Coulomb ( $\tau_{MC}$ ), c) el esfuerzo cortante viscoso ( $\tau_V$ ) (en función de la viscosidad del flujo), d) el esfuerzo cortante turbulento ( $\tau_T$ ) y e) el esfuerzo cortante dispersivo ( $\tau_D$ ). Por ende, el esfuerzo cortante total de un flujo de sedimentos hiperconcentrados, incluyendo los que se describen como flujos de escombros o detritos, flujos de lodos y las inundaciones de lodos, se puede calcular a partir de la suma de las cinco componentes del esfuerzo cortante. Finalmente, el esfuerzo cortante total se define como (FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$\tau = \tau_C + \tau_{MC} + \tau_V + \tau_T + \tau_D \quad (39)$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo cortante total.

$\tau_C$ : esfuerzo cortante de cedencia o límite elástico cohesivo.

$\tau_{MC}$ : esfuerzo cortante de Mohr-Coulomb.

$\tau_y$ : esfuerzo cortante viscoso.

$\tau_T$ : esfuerzo cortante turbulento.

$\tau_D$ : esfuerzo cortante dispersivo, debido a la colisión de los clastos.

De la ecuación anterior (39), cuando se escribe en términos de tasas de corte ( $dV/dy$ ) y considerando el esfuerzo de fluencia ( $\tau_y = \tau_C + \tau_{MC}$ ), se obtiene la siguiente ecuación cuadrática reológica (O'Brien y Julien, 1985, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$\tau = \tau_y + \mu \left( \frac{dV}{dy} \right) + C \left( \frac{dV}{dy} \right)^2 \quad (40)$$

Donde:

$\tau$ : esfuerzo cortante total.

$\tau_y$ : esfuerzo cortante de fluencia o límite elástico de Bingham.

$\mu$ : viscosidad dinámica o viscosidad de Bingham.

$C$ : coeficiente de esfuerzo cortante inercial o parámetro turbulento - dispersivo ( $\xi$ ).

$\frac{dV}{dy}$ : gradiente de velocidad normal al flujo.

El esfuerzo de fluencia se define como (FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$\tau_y = \tau_C + \tau_{mc} \quad (41)$$

$$\tau_{mc} = p_S \times \tan \varphi$$

Donde:

$\tau_y$ : esfuerzo de fluencia o límite elástico de Bingham.

$\tau_C$ : límite elástico cohesivo.

$\tau_{mc}$ : esfuerzo de Coulomb-Mohr.

$p_s$ : presión intergranular.

$\varphi$ : ángulo de reposo del material.

El coeficiente de esfuerzo cortante inercial o parámetro combinado de los esfuerzos dispersivos y turbulentos ( $C$ ) puede ser escrito como (FLO-2D Software, Inc., 2021):

$$C = \rho_m \times l^2 + f_{(\rho_m, c_v)} \times d_s^2 \quad (42)$$

Donde:

$\rho_m$ : densidad de la mezcla (flujo de detritos).

$l$ : longitud de mezcla de Prandtl.

$d_s^2$ : diámetro de las partículas de sedimento.

Bagnold (1954, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) definió la función  $f_{(\rho_m, c_v)}$  como:

$$f_{(\rho_m, c_v)} = \alpha_i \times \rho_m \left[ \left( \frac{C^*}{C_{v_s}} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (43)$$

Donde:

$\alpha_i$ : coeficiente empírico o constante empírica definida por Bagnold.

$\rho_m$ : densidad de la mezcla (flujo de detritos).

$C^*$ : concentración volumétrica estática máxima de las partículas de sedimentos.

$C_{v_s}$ : concentración volumétrica de sedimentos.

Asimismo, el valor de  $\alpha_i$  puede ser asumido como 0.01. Cabe señalar que, Takahashi (1979, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) encontró que el coeficiente  $\alpha_i$  puede variar en varios órdenes de magnitud.

No obstante, debido a la poca confiabilidad que se tiene, en referencia a la función  $f_{(\rho_m, C_v)}$ , Egashira et al. (1989, citado en FLO-2D Software, Inc., 2021) proponen la ecuación (44) con el objetivo de calcular el valor del coeficiente de esfuerzo cortante inercial (C) (FLO-2D Software, Inc., 2021).

$$f_{(\rho_m, C_v)} = \frac{\pi}{12} \times \left(\frac{6}{\pi}\right)^{1/3} \times (\sin \alpha_I)^2 \times \rho_s \times (1 - e_n^2) \times C_v^{1/3} \quad (44)$$

Donde:

$\alpha_I$ : ángulo medio de impacto entre las partículas.

$\rho_s$ : densidad de las partículas del sedimento o densidad de los sólidos.

$e_n$ : coeficiente de restitución entre las partículas o coeficiente de restitución de energía.

Este coeficiente, tras el impacto oscila entre  $0.70 < e_n < 0.850$ , para las arenas.

$C_{v_s}$ : concentración volumétrica de sedimentos o concentración volumétrica de sólidos.

Adicionalmente, cabe resaltar que, el modelo reológico cuadrático es uno de los modelos más completos que existen, el cual considera todos los fenómenos mostrados en la Figura 22. Asimismo, analizando la ecuación (40), podemos concluir lo siguiente: el primer término de la ecuación ( $\tau_y$ ), corresponde a los fluidos tipo Bingham, donde se describe el esfuerzo de fluencia debido a la cohesión entre partículas finas, este esfuerzo es considerado como una propiedad del material que no depende de la tasa de deformación. El segundo término,  $\mu(dV/dy)$ , corresponde a un fluido newtoniano, en donde se describe el esfuerzo viscoso de un fluido interactuando con las partículas dentro del flujo. El tercer término,  $C(dV/dy)^2$ , se refiere al esfuerzo turbulento/dispersivo que combina el efecto de la turbulencia y el efecto del choque entre partículas gruesas; este término corresponde a un fluido dilatante, es decir, si el flujo no presenta un valor significativo de esfuerzo de fluencia  $\tau_y$  y la viscosidad del mismo es casi despreciable,



entonces se obtendrá un dilatante. Finalmente, a la descripción de este último término, podemos añadir que, el esfuerzo turbulento se une con el esfuerzo dispersivo de Bagnold porque ambos esfuerzos son proporcionales a la segunda potencia de la tasa de deformación de corte. El propósito de combinar ambos términos de la ecuación (turbulento – dispersivo) parte del concepto de que, en grandes cantidades de partículas gruesas, los esfuerzos dispersivos serán dominantes; mientras que, en grandes concentraciones de partículas finas, los esfuerzos viscosos y de fluencia superarán a los esfuerzos turbulentos (FLO-2D Software, Inc., 2021).

En conclusión, según lo desarrollado anteriormente y, de acuerdo con los estudios de Julien y O'Brien (1997); Chen et al. (2014); Chen y Zhang (2015), citados en Gao et al. (2016), el modelo reológico cuadrático que combina efectos friccionales, viscosos y turbulentos (Julien y Lan, 1991, citados en Gao et al., 2016), el mismo que se utiliza en el modelo numérico bidimensional FLO-2D, predice razonablemente la distribución de los flujos de escombros canalizados. Por tal motivo, en esta investigación, se utiliza el modelo FLO-2D para realizar el proceso de simulación del movimiento de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán.

#### **2.2.6.6.5 Concentración volumétrica de sólidos.**

Varias relaciones importantes de concentración de sedimentos ayudan a definir la naturaleza de los flujos de sedimentos hiperconcentrados; es decir, se puede diferenciar, si estos flujos son: lodos, detritos o escombros. Estas relaciones se refieren a la concentración de sedimentos por volumen, peso, densidad, densidad de la mezcla y factor de abultamiento. Al examinar los parámetros relacionados con flujos de sedimentos hiperconcentrados es importante identificar primero la concentración de sedimentos como una medida de peso o volumen. Esta concentración de sedimentos por volumen  $C_{v_s}$ , se obtiene con las siguientes propiedades (FLO-2D Software, Inc., 2021):

### A. Propiedades de los flujos de sedimentos hiperconcentrados (FLO-2D

Software, Inc., 2021):

- La concentración volumétrica de sedimentos o sólidos, se define como:

$$Volumen_{sedimentos} = Vol_{sedimentos\ finos} + Vol_{sedimentos\ gruesos}$$

$$C_{v_s} = \frac{Vol_{sedimentos}}{Vol_{sedimentos\ y\ agua}} \quad (45)$$

- La relación entre  $C_{v_s}$  y la concentración en peso de sedimentos  $C_{w_s}$  es:

$$C_{v_s} = \frac{C_{w_s} \times \gamma_a}{[\gamma_s - C_{w_s}(\gamma_s - \gamma_a)]} \quad (46)$$

$$C_{w_s} = \frac{C_{v_s} \times \gamma_s}{[\gamma_a + C_{v_s}(\gamma_s - \gamma_a)]} \quad (47)$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_a}$$

$$C_{w_s} = \frac{C_{v_s} \times G_s}{[1 + C_{v_s}(G_s - 1)]}$$

Donde:

$\gamma_a$ : peso específico del agua.

$\gamma_s$ : peso específico de los sedimentos.

$G_s$ : gravedad específica del sedimento.

La concentración volumétrica de sedimentos también puede expresarse, en partes por millón (ppm), multiplicando la concentración en peso de sedimentos  $C_{w_s}$  por  $10^6$ .

$$C_{v_{sppm}} = 10^6 \times C_{w_s}$$

- El peso específico de la mezcla (flujo de sedimentos hiperconcentrados) es una función de la concentración volumétrica de sedimentos y está dado por:

$$\gamma_m = \gamma_a + C_{v_s}(\gamma_s - \gamma_a) \quad (48)$$

- Del mismo modo, la densidad de la mezcla está dada por:

$$\rho_m = \rho_a + C_{v_s}(\rho_s - \rho_a) \quad (49)$$

$$\rho_m = \frac{\gamma_m}{g}$$

donde

$\rho_a$ : densidad del agua.

$\rho_s$ : densidad de los sedimentos o sólidos.

$g$ : es la aceleración gravitatoria.

- Además, los estudios de flujos de sedimentos hiperconcentrados, en su mayoría, requieren estimaciones de la concentración volumétrica de sedimentos y el factor de abultamiento; para así, describir la magnitud del evento. Las concentraciones medias y máximas de sedimentos para el hidrograma de inundación son variables importantes para el diseño de la mitigación (FLO-2D Software, Inc., 2021). Asimismo, este factor de abultamiento se define como:

$$BF = \frac{1}{1 - C_{v_s}} \quad (50)$$

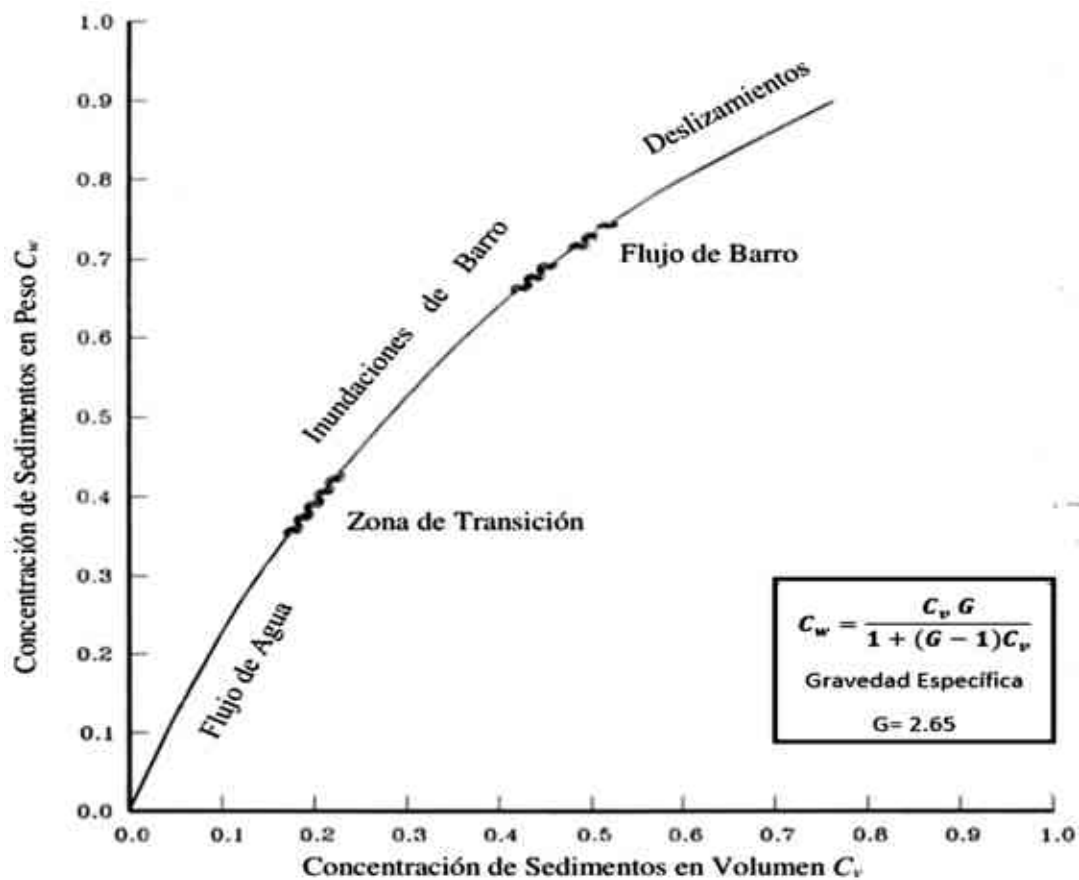
El factor de abultamiento es 2.0 para una concentración volumétrica de sedimentos del 50%. Asimismo, una concentración volumétrica de sedimentos del 7% corresponde, a la carga transportada por arrastre y en suspensión, al lecho de un río convencional. Esta concentración da como resultado un factor de abultamiento de

1.075; lo que indica que, el volumen de inundación es un 7.5% mayor que, si se considerara que la inundación es solo agua ( $BF = 1$ ) (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Finalmente, la gama completa de flujos de sedimentos hiperconcentrados abarca desde las inundaciones de agua, inundaciones de lodo, flujos de lodo, flujos de detritos o escombros, hasta los deslizamientos de tierra (FLO-2D Software, Inc., 2021). Además, la distinción entre estos eventos de inundación depende de la concentración de sedimentos medida en peso o en volumen (Figura 24). Esta concentración de sedimentos por volumen expresada en porcentaje es la medida más utilizada. La Tabla 21 enumera las cuatro categorías diferentes de flujos de sedimentos hiperconcentrados y sus características de flujo dominantes. Esta tabla, se desarrolló a partir de datos de laboratorio utilizando depósitos de flujos de lodo reales. Finalmente, cabe destacar que, puede existir alguna variación en la delimitación de las diferentes clasificaciones de flujos en función de la geología (FLO-2D Software, Inc., 2021).

Figura 24

Clasificación de los flujos de sedimentos hiperconcentrados



Nota, esta figura se encuentra en Flo-2D reference manual. Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021).

Tabla 21

Comportamiento del flujo en función de la concentración de sedimentos

Comportamiento del flujo en función de la concentración de sedimentos			
Tipo de flujo	Concentración de Sedimentos		Características del Flujo
	Por Volumen	Por Peso	

	<b>Volumen</b>		
<b>Deslizamientos</b>	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye, falla por deslizamiento de bloques.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento de bloques con deformación interna; y fluencia lenta (reptación) o movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
<b>Flujo de barro</b>	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente; fluencia lenta (reptación) sostenida del lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no ocurre esparcimiento sobre una superficie plana.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	Flujo que se extiende sobre una superficie plana. Flujo cohesivo; mezcla.
	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla con facilidad; muestra las propiedades del fluido en la deformación; se extiende en una superficie horizontal, pero mantiene una superficie de fluido inclinada; deposición de grandes partículas (cantos rodados); aparecen ondas, pero se disipan rápidamente.
<b>Inundaciones o crecidas de barro</b>	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; esparcimiento casi completo en superficies planas; aparece una superficie líquida con dos fases fluidas; las olas se desplazan por la superficie.

	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas se desplazan con facilidad; la mayor parte de la arena y la grava se ha sedimentado y se desplaza como carga del lecho (carga de fondo).
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Se distinguen claramente las ondas y olas; todas las partículas descansan en el lecho en condición de fluido en reposo (inmóvil)
<b>Inundaciones o crecidas de agua</b>	<0.20	<0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo (carga de lecho).

*Nota*, estos datos se obtuvieron de la Tabla 11 en Flo-2D reference manual. Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021, capítulo 4, pág. 103).

#### **2.2.6.6 Volumen de sólidos del flujo de detritos**

El volumen de la mezcla de agua y sedimentos, en un flujo de sedimentos hiperconcentrados puede determinarse multiplicando el volumen de agua por un factor de abultamiento, o aumento de volumen, o engrosamiento (FLO-2D Software, Inc., 2021).

$$V_m = V_a \times BF \quad (51)$$

Donde:

$V_m$ : volumen de la mezcla.

$V_a$ : volumen de agua.

$BF$ : Factor de abultamiento o engrosamiento.

### **2.2.6.6.7 Estimación de los caudales máximos de los flujos de detritos.**

Cabe destacar que, con los métodos de engrosamiento o abultamiento (BF) se puede estimar caudales de flujos hiperconcentrados, a partir de un caudal de agua clara ya conocida; asimismo, dos de los métodos comúnmente usados son: el método planteado por JICA (Japan International Cooperation Agency), basándose en las investigaciones de Takahashi; y el segundo, propuesto por O'Brien. Este último método es empleado por el software FLO-2D para la obtención del caudal de flujo con sedimentos hiperconcentrados (Niño Piña, 2015, págs. 38-39).

#### **A. Obtención del caudal de flujo según O'Brien (2006).**

La obtención del caudal de flujo propuesto por O'Brien (2006, citado en Niño Piña, 2015), indica que, el volumen total de una mezcla de agua-sedimento en un flujo de sedimentos hiperconcentrados y/o sedimentos finos puede determinarse mediante la amplificación del volumen de agua por un factor de engrosamiento ( $BF$ ), este factor es representado simplemente como la relación de una unidad volumétrica de mezcla (agua-sedimento) respecto a la porción volumétrica de agua. Por ejemplo, el caudal total de un flujo hiperconcentrado puede ser expresado como la suma de la porción líquida y de la porción sólida; además el factor de engrosamiento se representa como la relación entre el caudal total y el caudal líquido. Esta relación, para hallar el caudal total, también puede ser aplicada en flujos de detritos. La expresión y relación mencionadas son las siguientes (Niño Piña, 2015):

$$Q_{T_{BF}} = Q_a + Q_s \quad (52)$$

$$BF = \frac{Q_{T_{BF}}}{Q_a} = \frac{Q_a + Q_s}{Q_a} \quad (53)$$



Donde:

$Q_{T_{BF}}$  ( $m^3/s$ ): caudal total de flujo engrosado.

$Q_a$  ( $m^3/s$ ): caudal pico de agua clara.

$Q_s$  ( $m^3/s$ ): caudal de sedimentos volumétrico.

Por tal motivo, si el factor de engrosamiento corresponde al cociente entre el caudal engrosado y el caudal de agua clara, este se puede representar como (Niño Piña, 2015, pág. 45):

$$Q_{T_{BF}} = BF \times Q_a \quad (54)$$

Según O'Brien & Julien (1997, citado en Niño Piña, 2015, pág. 45), el factor de engrosamiento ( $BF$ ) puede ser calculado en función de la concentración volumétrica de sedimentos en el flujo, mediante la expresión:

$$BF = \left( \frac{1}{1 - C_{v_s}} \right) \quad (55)$$

Donde:

$BF$ : factor de engrosamiento (Bulking factor).

$C_{v_s}$ : concentración volumétrica de sedimentos.

Figura 25

Concentración de sedimentos vs. factores de engrosamiento



### 2.2.7 Gestión del Riesgo de Desastres (GRD).

En los últimos años, el incremento en la recurrencia y severidad de los desastres asociados a fenómenos de origen natural, o inducidos por la acción humana, es uno de los aspectos de mayor preocupación a nivel internacional y nacional; convirtiendo así, esta situación en un reto a la capacidad del hombre para adelantarse a los acontecimientos a través de una eficaz Gestión del Riesgo de Desastres. En respuesta a esta necesidad, nuestro país viene impulsando la formulación y adopción de políticas públicas para la Gestión del Riesgo de Desastres, consecuencia de lo cual, en el año 2011, se aprobó la Ley 29664. Esta ley crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, así como se viene desarrollando y aprobando lineamientos y demás normas complementarias para el

cumplimiento de los mismos. La Ley 29664, establece que el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres es uno de los principales instrumentos del SINAGERD; ya que, integra los procesos de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, además de la Preparación, Respuesta, Rehabilitación y Reconstrucción. También, tiene por objeto establecer las líneas estratégicas, objetivos, acciones, procesos y protocolos de carácter plurianual necesarios para concretar lo establecido en la Ley (CENEPRED, 2014b).

### **2.2.7.1 Medidas de control, prevención y reducción ante movimientos de masa.**

El diseño de las medidas de prevención y reducción en nuestro país, precisamente está basado en la Evaluación de Riesgos, a cargo de los organismos integradores de la función ejecutiva del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) como son: la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) en su conducción de ente rector, ministerios, gobiernos regionales y locales, entidades públicas y privadas a nivel nacional, los cuales estarán bajo la normatividad emitida por el CENEPRED (2014a). Debido al alto poder destructivo que tienen los movimientos de masa es necesario implementar medidas de protección o prevención (anticipo), que les permitan a las poblaciones asentadas en zonas de alta amenaza reducir los riesgos que pueden correr ante estos sucesos. Claro, que con esto no se garantiza una reducción total de la vulnerabilidad que presentan estas comunidades.

Las medidas de control, prevención y mitigación ante movimientos de masa se clasifican generalmente en “medidas estructurales” y “medidas no estructurales” (López, 2005; CENEPRED, 2013a, 2013b).

- **Medidas de Orden Estructural o Medidas Estructurales:** es cualquier construcción física para reducir o prevenir los riesgos, o el uso de técnicas de ingeniería para

conseguir la resistencia y resiliencia de las estructuras, o de los sistemas frente a los peligros (CENEPRED, 2013a, 2013b, 2014a).

- **Medidas de Orden No Estructurales o Medidas No Estructurales:** es cualquier medida de construcción no física que utiliza conocimientos, prácticas o acuerdos existentes para prevenir o reducir el riesgo y sus consecuencias, especialmente, mediante políticas y leyes; así como, una mayor concientización pública, capacitación y educación.

Esta medida de orden no estructural, se basa en las siguientes estrategias (CENEPRED, 2013a, 2013b, 2014a):

- Instrumentación de sistemas de monitoreo hidrometeorológico.
- Implementación de sistemas de alerta temprana para dar aviso a la población.
- Elaboración de mapas de amenazas y riesgo.
- Elaboración de planes de contingencia y evacuación de la población.
- Ejecución de programas de educación a las comunidades, que conlleven al desarrollo de una cultura de prevención para disminuir los efectos de las amenazas naturales.

### **2.2.7.2 Sistemas de Alerta Temprana en la prevención de movimientos de flujo de detritos (SAT).**

El Sistema de Alerta Temprana (SAT) es una colección de capacidades, instrumentos y procedimientos articulados, los cuales están diseñados con el fin de monitorear, procesar y sistematizar información sobre peligros predecibles en un área específica. Estos sistemas de alerta temprana por movimientos de masa proporcionan un rápido medio para comunicar y monitorear información sobre las amenazas a una comunidad vulnerable. Tales sistemas señalan con anticipación la posibilidad de

ocurrencia de un movimiento en masa, que permite una respuesta adecuada para reducir o evitar la pérdida de vidas, daños materiales y al ambiente (Larsen, 2008, citado en Aristizábal et al., 2010b; INDECI, 2015).

El objetivo principal de los SAT es evitar que las amenazas se conviertan en desastres; así como, el análisis de la recurrencia temporal de las catástrofes naturales ha demostrado que las afectaciones generadas presentan una frecuencia mayor que la capacidad de recuperación que tienen la sociedad y la economía; por ende, los nuevos enfoques se han centrado en el desarrollo e implementación de sistemas de alerta temprana y regulación de suelos que minimicen la pérdida de vidas humanas e infraestructura. Es necesario e imprescindible la participación de la población en el desarrollo del SAT ya que se tendrá una respuesta más rápida. Además, estos varían de forma distinta en cada lugar en el que se aplique y necesita ser adaptado a las condiciones locales del lugar donde se instalarán, pues tendrán sus propios requisitos y condiciones operativas. El análisis de la recurrencia temporal de las catástrofes naturales ha demostrado que las afectaciones generadas presentan una frecuencia mayor que la capacidad de recuperación que tienen la sociedad y la economía; por ende, los nuevos enfoques se han centrado en el desarrollo e implementación de sistemas de alerta temprana y regulación de suelos que minimicen la pérdida de vidas humanas e infraestructura (IEWP, 2005; Guzzetti, Peruccacci y Rossi, 2005, citados en Aristizábal et al., 2010b, pág. 159).

Arattano y Marchi (2008, citados en Aristizábal et al., 2010b, pág. 159) clasifican los sistemas de alerta temprana en dos clases principales: sistemas de alertas anticipadas y sistemas de alertas del evento. Los sistemas de alerta anticipada predicen un evento antes de su ocurrencia, monitoreando las condiciones precedentes. En tanto que los

sistemas de alerta del evento detectan el evento cuando ya ha ocurrido y generan una alarma. En general, un sistema de alerta temprana lo componen tres elementos básicos:

- 1) Sensores de lluvia y telemetría
- 2) Umbrales críticos de lluvia definidos por modelos físicos o estadísticos
- 3) Medios para la comunicación de las alertas a las autoridades y comunidad

De acuerdo al manual del CENEPRED (2014a), podemos manejar 4 niveles de alerta, que se presentan mediante los siguientes colores: Peligro bajo (verde), Peligro medio (amarillo), Peligro alto (naranja) y Peligro muy alto (rojo).

### **2.2.7.3 Susceptibilidad.**

Denota la propensión del terreno a la ocurrencia o no del fenómeno, y está influenciado por las características del terreno (topografía, geología) y la ubicación geográfica (meteorología, climatología) (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], s. f.; Moral Fernández, 2014; Rodríguez et al., 2016).

#### **2.2.7.3.1 Detonante:**

El factor detonante es la acción de inicio que genera el fenómeno, o también, se le denomina a aquellos elementos externos que causan un comportamiento dinámico activo, y que dependiendo de las condiciones iniciales, la magnitud del fenómeno será mayor o menor (Navarro Vidal, 2012).

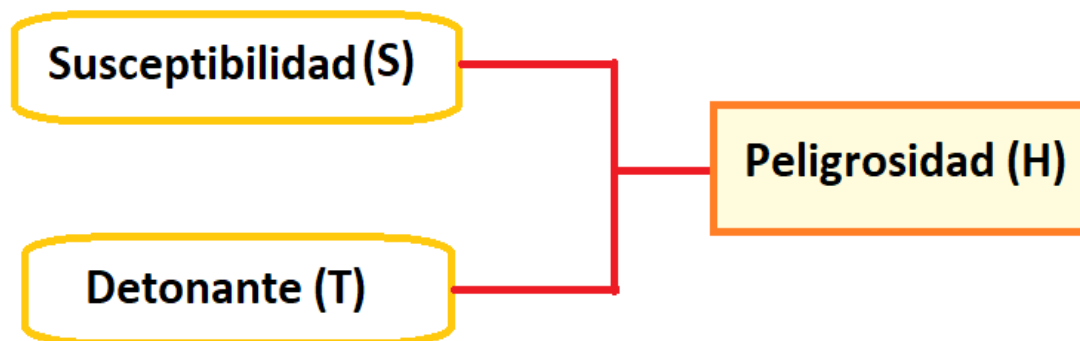
#### **2.2.7.3.2 Peligrosidad o Amenaza:**

La peligrosidad se define como la combinación de la **susceptibilidad** y el factor **detonante**; asimismo, se puede decir que, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno perjudicial durante un período de tiempo determinado y en un área específica (Moral Fernández, 2014). Por lo tanto, es necesario identificar y localizar las áreas inestables y las potencialmente inestables (Navarro Vidal, 2012). En otras palabras, se refiere a la capacidad de un proceso natural de causar daño, ya sea, debido a su magnitud

(intensidad o severidad), dimensión espacio-temporal (área afectada y durante cuánto tiempo) y/o frecuencia de recurrencia (periodicidad) (Rodríguez et al., 2016).

**Figura 26**

*Esquema de las relaciones entre conceptos relacionados a la peligrosidad*



Fuente: (García Rodríguez, 2009).

#### **2.2.7.4 Protocolo de CENEPRED.**

La Gestión del riesgo de desastres (GRD) en el Perú viene desarrollándose desde 1972, con la creación del Sistema de Defensa Civil, que luego en 1991 pasó a denominarse Sistema Nacional de Defensa Civil (SINADECI); cuyo ente rector fue el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), entidad que se encargaba de realizar todo el proceso de estimación, prevención, atención, rehabilitación y reubicación que involucra la GRD.

A partir del año 2011 se crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), cuyo ente rector es el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED); el cual viene desarrollando esfuerzos hasta la actualidad publicando manuales para la evaluación de los diferentes parámetros que conforman el sistema de gestión de riesgos de desastres.

Dentro de este contexto, ha sido publicado el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales en octubre de 2013 (primera versión), cuya aplicación es obligatoria para todas las entidades integrantes del SINAGERD.

A lo expresado anteriormente, podemos añadir que, en el año 2014 el CENEPRED publicó la segunda versión del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales publicado. Este manual es un avance en los estudios de gestión de riesgos de desastres, pues involucra una metodología cuantitativa que permite caracterizar la peligrosidad y vulnerabilidad con una mayor aproximación a la realidad. También, utiliza el Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ o conocido como AHP, por sus siglas en inglés de Analytic Hierarchy Process), el cual es una de las metodologías para el análisis de decisiones multicriterio (método multicriterio), para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad mostrando la importancia (peso) de cada parámetro en el cálculo del riesgo, y facilitando la estratificación de los niveles de riesgos (CENEPRED, 2014a).

Este método fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty (1980, citado en CENEPRED, 2014a) y consiste en descomponer un problema complejo en jerarquías, donde cada nivel es descompuesto en elementos específicos. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio de forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que como mínimo tiene tres niveles. Para la evaluación de fenómenos naturales (peligros geológicos) se debe seguir los siguientes pasos (CENEPRED, 2014a):

- Evaluación del evento (evaluación local).
- Estimación de la susceptibilidad (análisis de factores condicionantes y factores desencadenantes):  $\text{Susceptibilidad} = \text{F. Condicionantes} + \text{F. Desencadenantes}$ .
- Estimación de la peligrosidad:  $\text{Peligrosidad} = \text{Evento} + \text{Susceptibilidad}$ .



## 2.2.7.5 Determinación del Peligro.

### 2.2.7.5.1 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización de movimientos en masa:

Entre las características a evaluar para el **análisis del evento** se tiene: textura del suelo, pendiente, erosión y velocidad del desplazamiento. A continuación, se citan las tablas usadas para la evaluación (CENEPRED, 2014a).

**Figura 27**

*Parámetros de evaluación de la erosión del suelo del fenómeno de movimiento de masa.*



Fuente: Gráfico 46: Parámetros de evaluación de la erosión del suelo, citado en CENEPRED (2014a).

Tabla 22

*Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: textura*

PARÁMETRO		TEXTURA DEL SUELO	PESO PONDERADO: 0.306	
DESCRIPTORES	TX1	Finas: Suelos arcillosos (arcilloso arenoso, arcilloso limonoso, arcilloso).	PTX1	0.503
	TX2	Moderadamente fina: Suelos francos (franco arcilloso, franco limonoso arcilloso y/o franco limonoso arcilloso).	PTX2	0.260
	TX3	Mediana: Suelos francos (franco, franco limonoso y/o limonoso).	PTX3	0.134
	TX4	Moderadamente gruesa: suelos francos (franco arenoso).	PTX4	0.068
	TX5	Gruesa: Suelos arenosos: arenosos, franco arenoso.	PTX5	0.035

Fuente: Cuadro 20: Textura del suelo, citado en CENEPRED (2014a).

Tabla 23

*Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: pendiente*

PARÁMETRO		PENDIENTE	PESO PONDERADO: 0.548	
DESCRIPTORES	PN1	30° a 40°	PPN1	0.503
	PN2	25° a 45°	PPN2	0.260
	PN3	20° a 30°	PPN3	0.134
	PN4	10° a 20°	PPN4	0.068

PN5	Menor a 5°	PPN5	0.035
-----	------------	------	-------

Fuente: Cuadro 21: Pendiente, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 24**

*Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: erosión*

PARÁMETRO	EROSIÓN	PESO PONDERADO: 0.101		
DESCRIPTORES	E1	Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas fuertemente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (cárcavas).	PE1	0.503
	E2	Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intensa erosión.	PE2	0.260
	E3	Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizados.	PE3	0.134
	F4	Laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturadas.	PF4	0.068
	E5	Laderas con sustrato menos meteorizado. Se pueden presentar inestabilidades en las laderas adyacentes a los ríos y quebradas, por socavamiento y erosión.	PE5	0.035

Fuente: Cuadro 22: Erosión, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 25**

*Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: velocidad de desplazamiento*

	PARÁMETRO	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	PESO PONDERADO: 0.045	
<b>DESCRIPTORES</b>	E1	Extremadamente rápido ( $v= 5\text{m/s}$ ).	<b>PVD1</b>	0.503
	E2	Muy rápido ( $v= 0.05\text{m/s}$ )	<b>PVD2</b>	0.260
	E3	Rápido ( $v= 0.0033\text{ m/s}$ )	<b>PVD3</b>	0.134
	E4	Moderada ( $v=3.009\times 10^{-4}\text{ m/s}$ )	<b>PVD4</b>	0.068
	E5	Lenta a extremadamente lenta ( $v=5.144\times 10^{-8}\text{ m/año}$ a $5.144\times 10^{-10}\text{ m/año}$ )	<b>PVD5</b>	0.035

**Fuente:** Cuadro 23: Velocidad de desplazamiento, citado en CENEPRED (2014a).

### **2.2.7.5.2 Parámetros y descriptores ponderados para la estimación de la susceptibilidad:**

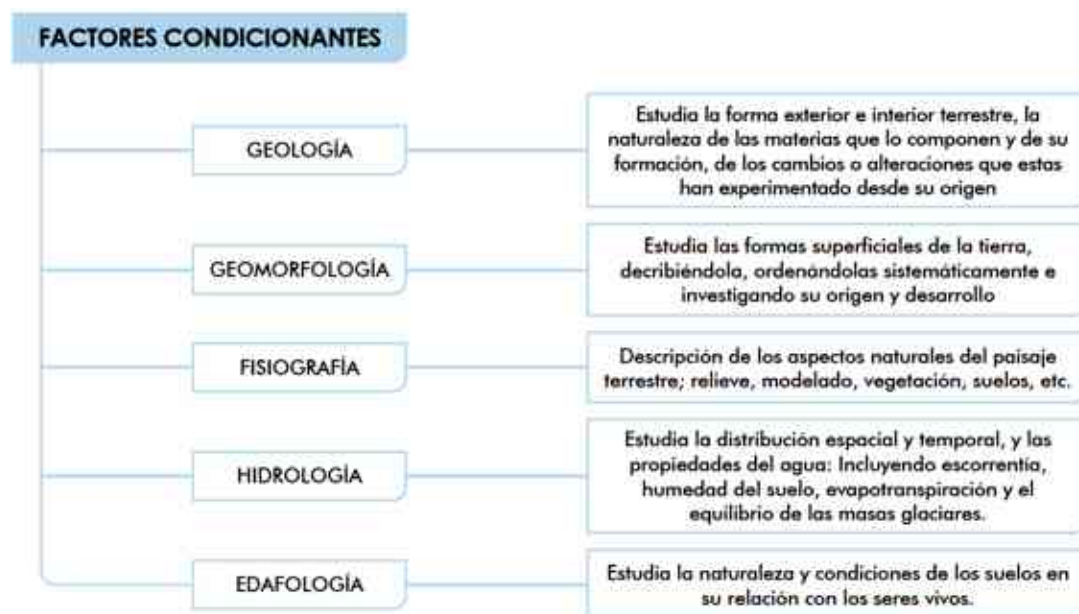
La susceptibilidad se refiere a la mayor o menor propensión para que ocurra un evento, en un determinado ámbito geográfico; es decir, la susceptibilidad depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno, de acuerdo, al ámbito geográfico establecido (CENEPRED, 2014a).

Para llevar a cabo la estimación de la susceptibilidad se debe hacer un análisis de los factores condicionantes y detonantes.

- **Parámetros a evaluar como factores condicionantes:** estos son parámetros propios de la zona de estudio, que contribuyen positiva o negativamente al desarrollo de los fenómenos de origen natural (tanto en su magnitud como en su intensidad), así como a su distribución espacial (CENEPRED, 2014a).

Figura 28

*Factores condicionantes generales del peligro*



Fuente: Gráfico 62: Factores condicionantes del peligro, citado en CENEPRED (2014a).

Tabla 26

*Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: relieve*

PARÁMETRO	RELIEVE	PESO PONDERADO: 0.145	
DESCRIPTORES	Y1	Abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares.	PY1 0.583
	Y2	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosos lagos y lagunas.	PY2 0.260
	Y3	Relieve rocoso, escarpado y empinado, el ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos.	PY3 0.134
	Y4	Relieve muy accidentado con valles estrechos y quebradas profundas, numerosas estribaciones andinas. Zona de huaycos. Generalmente montañoso y complejo.	PY4 0.068

<b>Y5</b>	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, vales; zona eminentemente árida y desértica.	<b>PY5</b>	<b>0.035</b>
-----------	--	------------	--------------

Fuente: Cuadro 39: Relieve, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 27**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: tipo de suelo*

	<b>PARÁMETRO</b>	<b>TIPO DE SUELO</b>	<b>PESO PONDERADO: 0.515</b>
<b>DESCRIPTORES</b>	<b>Y6</b>	Relleños sanitarios	<b>PY6</b> 0.503
	<b>Y7</b>	Arena Eólica y/o limo (con agua)	<b>PY7</b> 0.260
	<b>Y8</b>	Arena Eólica y/o limo (sin agua)	<b>PY8</b> 0.134
	<b>Y9</b>	Suelos granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial	<b>PY9</b> 0.068
	<b>Y10</b>	Ahorramiento rocoso y estratos de grava	<b>PY10</b> 0.035

Fuente: Cuadro 40: Tipo de suelo, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 28**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: cobertura vegetal*

	<b>PARÁMETRO</b>	<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>PESO PONDERADO: 0.058</b>
<b>DESCRIPTORES</b>	<b>Y11</b>	70 – 100 %	<b>PY11</b> 0.503
	<b>Y12</b>	40 – 70 %	<b>PY12</b> 0.260
	<b>Y13</b>	20 – 40 %	<b>PY13</b> 0.134
	<b>Y14</b>	5 – 20 %	<b>PY14</b> 0.068

Y15	0 – 5 %	PY15	0.035
-----	---------	------	-------

**Fuente:** Cuadro 41: Cobertura vegetal, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 29**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor condicionante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: uso actual de suelos*

PARÁMETRO	USO ACTUAL DE SUELOS	PESO PONDERADO: 0.287		
DESCRPTORES	Y16	Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirven para su normal funcionamiento.	PY16	0.503
	Y17	Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación etc. Zonas cultivables que se encuentre en descanso como los barbechos que se encuentran improductivas por periodos determinados.	PY17	0.260
	Y18	Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc.	PY18	0.134
	Y19	Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado su vigencia es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias.	PY19	0.068
	Y20	Sin uso / improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad.	PY20	0.035

Fuente: Cuadro 42: Uso actual de suelos, citado en CENEPRED (2014a).

- **Parámetros a evaluar como factores desencadenantes:** estos son los parámetros que desencadenan eventos y/o sucesos asociados, que pueden generar peligros en

una zona de estudio específica. Por ejemplo, las precipitaciones de lluvia pueden provocar deslizamientos de material suelto o meteorizado, así como, los sismos de gran magnitud ocurridos en el mar (a nivel local) pueden causar tsunamis, etc. (CENEPRED, 2014a).

**Figura 29**

*Factores desencadenantes generales del peligro*



Fuente: Gráfico 63: Factores desencadenantes del peligro, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 30**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: hidrometeorológicos*

PARÁMETRO		HIDROMETEOROLÓGICOS	PESO PONDERADO: 0.106	
DESCRIPTORES	SH1	Lluvias	PSH1	0.503
	SH2	Temperatura	PSH2	0.260
	SH3	Viento	PSH3	0.134
	SH4	Humedad del aire	PSH4	0.068
	SH5	Brillo solar	PSH5	0.035



**Fuente:** Cuadro 43: Hidrometeorológicos, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 31**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: geológicos*

	PARÁMETRO	GEOLÓGICO	PESO PONDERADO:	
				0.260
DESCRIPTORES	SG1	Colisión de placas tectónicas	PSG1	0.503
	SG2	Zonas de actividad volcánica	PSG2	0.260
	SG3	Fallas geológicas	PSG3	0.134
	SG4	Movimientos en masas	PSG4	0.068
	SG5	Desprendimiento de grandes bloques (rocas, hielo, etc.)	PSG5	0.035

Fuente: Cuadro 44: Geológico, citado en CENEPRED (2014a).

**Tabla 32**

*Parámetros y descriptores ponderados del factor desencadenante para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: inducidos por la acción humana*

	PARÁMETRO	INDUCIDO POR EL SER HUMANO	PESO PONDERADO:	
				0.633
DESCRIPTORES	SI1	Actividades económicas	PSI1	0.503
	SI2	Sobre explotación de recursos naturales	PSI2	0.260
	SI3	Infraestructura	PSI3	0.134
	SI4	Asentamientos humanos	PSI4	0.068
	SI5	Crecimientos demográficos	PSI5	0.035

**Fuente:** Cuadro 45: Inducido por la acción humana, citado en CENEPRED (2014a).

### 2.2.7.5.3 Estimación de la susceptibilidad:

Es una medida, que indica la predisposición del terreno a que ocurra o no el fenómeno; asimismo, está influenciada por las características propias del terreno como la topografía, geología y por su localización geográfica (meteorología, climatología) (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN], s. f.; Moral Fernández, 2014; Rodríguez et al., 2016).

Cabe mencionar que, una vez obtenidos los valores de los factores condicionantes y desencadenantes se aplica la siguiente fórmula (CENEPRED, 2014a):

#### Ecuación (56) - **Susceptibilidad**

$$\text{Susceptibilidad} = (\text{F. Condicionantes} \times 0.5) + (\text{F. Desencadenantes} \times 0.5) \quad (56)$$

### 2.2.7.5.4 Estimación de la peligrosidad:

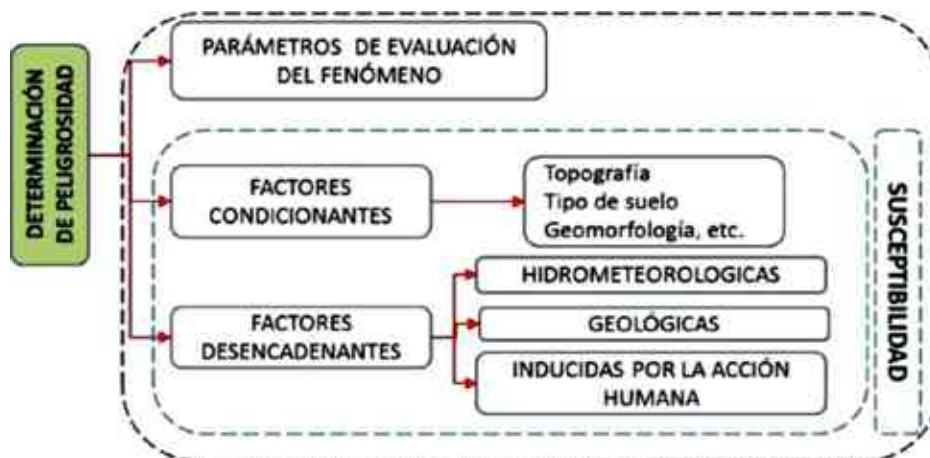
La peligrosidad resulta de los valores obtenidos de la evaluación del evento y la susceptibilidad, aplicándose la siguiente fórmula (CENEPRED, 2014a):

#### Ecuación (57) - **Peligrosidad**

$$\text{Peligrosidad} = (\text{Evento} \times 0.5) + (\text{Susceptibilidad} \times 0.5) \quad (57)$$

**Figura 30**

*Diagrama de flujo para la estimación de la peligrosidad por fenómenos naturales*



Nota, Gómez Avalos (2014), diagrama realizado en base a lo mencionado en el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Fuente: CENEPRED (2014a).

**Figura 31**

*Matriz de Peligro*

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
PELIGRO MUY ALTO	Relieve abrupto y escarpado, rocoso; cubierto en grandes sectores por nieve y glaciares. Tipo de suelo de rellenos sanitarios. Falta de cobertura vegetal 70 - 100 %. Uso actual de suelo Áreas urbanas, intercomunicadas mediante sistemas de redes que sirve para su normal funcionamiento. Tsunami: Grado = 4, magnitud del sismo mayor a 7, intensidad desastrosa. Vulcanismo: piroclastos mayor o igual a 1 000 000 000 m <sup>3</sup> , alcance mayor a 1000m, IEV mayor a 4. Descenso de Temperatura: Menor a -6°C, altitud 4800 - 6746msnm, nubosidad N = 0. El cielo estará despejado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas mayor a 300%, cercanía a la fuente de agua Menor a 20m, intensidad media en una hora (mm/h) Torrenciales: mayor a 60. Sequía: severa, precipitaciones anómalas negativas mayor a 300%. Sismo: Mayor a 8.0: Grandes terremotos, intensidad XI y XII. Pendiente 30° a 45°, Zonas muy inestables. Laderas con zonas de falla, masas de rocas intensamente meteorizadas y/o alteradas; saturadas y muy fracturadas y depósitos superficiales inconsolidados y zonas con intensa erosión (caicavas).	$0.260 \leq R < 0.503$
PELIGRO ALTO	El relieve de esta región es diverso conformado en su mayor parte por mesetas andinas y abundantes lagunas, alimentadas con los deshielos, en cuya amplitud se localizan numerosas lagos y lagunas. Tipo de suelo arena Eólica y/o limo (con y sin agua). Falta de cobertura vegetal 40 - 70 %. Uso actual de suelo. Terrenos cultivados permanentes como frutales, cultivos diversos como productos alimenticios, industriales, de exportación, etc. Zonas cultivables que se encuentran en descanso como los barbechos que se encuentran improductivos por periodos determinados. Tsunami: Grado = 3, magnitud del sismo 7, intensidad muy grande. Vulcanismo: piroclastos 100 000 000 m <sup>3</sup> , alcance entre 500 a 1000m, IEV igual a 3. Descenso de Temperatura: - 6 y -3°C, altitud 4000 - 4800msnm, nubosidad N es mayor o igual que 1/8 y menor o igual que 3/8, el cielo estará poco nublado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 100% a 300%, cercanía a la fuente de agua Entre 20 y 100m, intensidad media en una hora (mm/h) Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor a igual a 60. Sequía: moderada, precipitaciones anómalas negativas 100% a 300%. Sismo: 6.0 a 7.9: sismo mayor, intensidad IX y X. Pendiente 25° a 45°. Zonas inestables, macizos rocosos con meteorización y/o alteración intensa a moderada, muy fracturadas; depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, zonas de intenso erosión.	$0.134 \leq R < 0.260$
PELIGRO MEDIO	Relieve rocoso, escarpado y empinado. El ámbito geográfico se identifica sobre ambos flancos andinos. Tipo de suelo granulares finos y suelos arcillosos sobre grava aluvial o coluvial. Falta de cobertura vegetal 20 - 40 %. Uso actual de suelo Plantaciones forestales, establecimientos de árboles que conforman una masa boscosa, para cumplir objetivos como plantaciones productivas, fuente energética, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, etc. Tsunami: Grado = 2, magnitud del sismo 6.5, intensidad grandes. Vulcanismo: piroclastos 10 000 000 m <sup>3</sup> , alcance entre 100 a 500m, IEV igual a 2. Descenso de Temperatura: -3°C a 0°C, altitud 500 - 4000msnm, nubosidad N es mayor o igual que 4/8 y menor o igual que 5/8, el cielo estará nublado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas 50% a 100%, cercanía a la fuente de agua Entre 100 y 500m, intensidad media en una hora (mm/h) Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30. Sequía: ligera, precipitaciones anómalas negativas 50% a 100%. Sismo: 4.5 a 5.9: Puede causar daños menores en la localidad, intensidad VI, VII y VIII. Pendiente 20° a 30°, Zonas de estabilidad marginal, laderas con erosión intensa o materiales parcialmente saturados, moderadamente meteorizadas	$0.068 \leq R < 0.134$
PELIGRO BAJO	Generalmente plano y ondulado, con partes montañosas en la parte sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, valles; zona eminentemente árida y desértica. Tipo de suelo allanamientos rocosos y estratos de grava. Falta de cobertura vegetal 0 - 20 %. Uso actual de suelo Pastos naturales, extensiones muy amplias que cubren laderas de los cerros, áreas utilizables para cierto tipo de ganado, su vigorosidad es dependiente del periodo del año y asociada a la presencia de lluvias y/o Sin uso / improductivos, no pueden ser aprovechadas para ningún tipo de actividad. Tsunami: Grado = 0 o 1, magnitud del sismo menor a 6.5, intensidad algo grandes y/o ligeras. Vulcanismo: piroclastos 1 000 000 m <sup>3</sup> , alcance menor a 100m, IEV menor a 1. Descenso de Temperatura: 0°C a 6°C, altitud menor a 3500msnm, nubosidad N es mayor o igual a 6/8 y menor o igual que 7/8, el cielo estará muy nublado. Inundación: precipitaciones anómalas positivas menor a 50%, cercanía a la fuente de agua mayor a 1000m, intensidad media en una hora (mm/h) Moderadas: menor a 15. Sequía: incipiente, precipitaciones anómalas negativas menor a 50%. Sismo: menor a 4.4. Sentido por mucha gente, intensidad menor a V. Pendiente menor a 20°, laderas con materiales poco fracturados, moderada a poca meteorización, parcialmente erosionadas, no saturadas.	$0.035 \leq R < 0.068$

Fuente: CENEPRED (2014a).

### **2.2.8 Sistemas de Información Geográfica (QGIS).**

Debido a que, se requiere del manejo de gran cantidad de información de variables para un estudio de susceptibilidad de movimientos en masa; por lo que, los SIG (Sistemas de Información Geográfica) son una herramienta útil para su determinación, ya que permiten almacenar, manipular y representar información espacial. Además, un SIG integra hardware, software y datos para capturar, administrar, analizar y visualizar la información espacial referenciada. Por ende, es una herramienta de análisis y apoyo en la toma de decisiones que facilita y permite realizar las siguientes operaciones (Olaya, 2020): lectura, edición, almacenamiento, análisis de datos y, en general, gestión de datos geográficos; así como, la producción de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

#### **2.2.8.1 QGIS.**

QGIS (anteriormente Quantum GIS) es un software SIG de código libre, bajo la licencia GNU-GPL, desarrollado por Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) en lenguaje C++, que permite la visualización edición y análisis de datos geográficos. QGIS es un software SIG fácil de usar; por ello, proporciona funciones y características comunes, además de admitir una gran cantidad de formatos de datos vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento (QGIS.ORG, 2022).

#### **2.2.8.2 ArcGis.**

ArcGIS es un software de código cerrado e integrado por un conjunto de aplicaciones con sistemas de información geográfica (SIG) avanzadas, que fue diseñado por la empresa californiana Environmental Systems Research Institute (ESRI). Asimismo, es un sistema completo que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir

y distribuir información geográfica. De todas las herramientas que contiene se encuentran las siguientes funcionalidades (Environmental Systems Research Institute [ESRI], s. f.):

- Crear datos geográficos con digitalización asistida.
- Dibujar y editar entidades en un mapa.
- Sintetizar datos de diferentes fuentes.
- Almacenar la información en una base de datos geográficos.
- Realizar operaciones de análisis espacial.
- Automatizar geoprocursos.
- Crear visualizaciones de propiedades espaciales en 2D y 3D.
- Maquetar mapas y controlar la salida de datos.

### **2.2.9 Modelos numéricos de simulación.**

#### **2.2.9.1 Modelo Flo-2D: Simulación de Flujos de Detritos.**

Los flujos de detritos son movimientos complejos, en donde no se puede representar por medio de los métodos que se aplican usualmente para fluidos como el agua. Debido, a que estos flujos, poseen una alta concentración volumétrica de sedimentos; lo cual hace que, se comporten como fluidos no-Newtonianos. En estos fluidos, es esencial que actúe un esfuerzo superior a un determinado esfuerzo crítico dado, para que el fluido se ponga en movimiento (Valderrama, 2006, citado en Sepúlveda Bello et al., 2016). En base a lo mencionado, podemos añadir que, para la identificación de zonas de amenaza se plantea la modelación de flujo de detritos con el modelo numérico Flo-2D, ya que dichos modelos matemáticos simulan las áreas de inundación por flujo de detritos (fluidos no newtonianos) basándose en el análisis cuantitativo del comportamiento a nivel espacial y temporal de los flujos.

El Flo-2D es un modelo de diferencias finitas en dos dimensiones (1D y 2D) que simula inundación de agua limpia, flujos de lodo y flujos de detritos en los abanicos aluviales, y llanuras de inundación urbanas. El programa transita el volumen del flujo a través de una serie de celdas sobre la llanura de inundación o, de segmentos sobre superficies de flujo no confinados o en canales utilizando la aproximación de la onda dinámica a la ecuación de momento. La propagación del flujo es controlada por la topografía y la resistencia al flujo. El tránsito en dos dimensiones se logra a través de la integración numérica de las ecuaciones de movimiento y conservación del volumen del fluido, bien sea para inundación o para el movimiento de flujo de detritos (O'Brien et al., 2006, citado en Sepúlveda Bello et al., 2016, pág. 36).

Finalmente, el programa Flo-2D genera cada simulación de crecida, que requiere un hidrograma de entrada de crecida o una tormenta de lluvia. Los puntos de entrada de la descarga pueden incluir el vértice del abanico aluvial o un lugar de descarga conocido en un sistema fluvial. El Flo-2D puede utilizarse para generar el hidrograma de inundación en un lugar específico mediante la modelización de la escorrentía pluvial en la cuenca aguas arriba. Otro enfoque es utilizar un modelo hidrológico externo para generar un hidrograma de afluencia para el modelo Flo-2D. También se pueden simular las precipitaciones en la superficie del agua a medida que la crecida avanza sobre el sistema de malla. El volumen de entrada, de la crecida del modelo, es el factor principal que determina el área de inundación. Por esta razón, se sugiere que se dedique un esfuerzo adecuado al análisis hidrológico para apoyar la precisión de la simulación del diseño de inundación de flujos de detritos (FLO-2D Software, Inc., 2021).

En conclusión, podemos decir que, el programa Flo-2D requiere por un lado información topografía y de rugosidad ("n"), para cada una de las celdas de la malla de modelación y, por otro lado, información de caudales y concentración de sedimentos, es

decir el hidrograma líquido y el valor de la concentración de sedimento  $C_v$  para cada instante. (Eder et al., 2017, pág. 76).

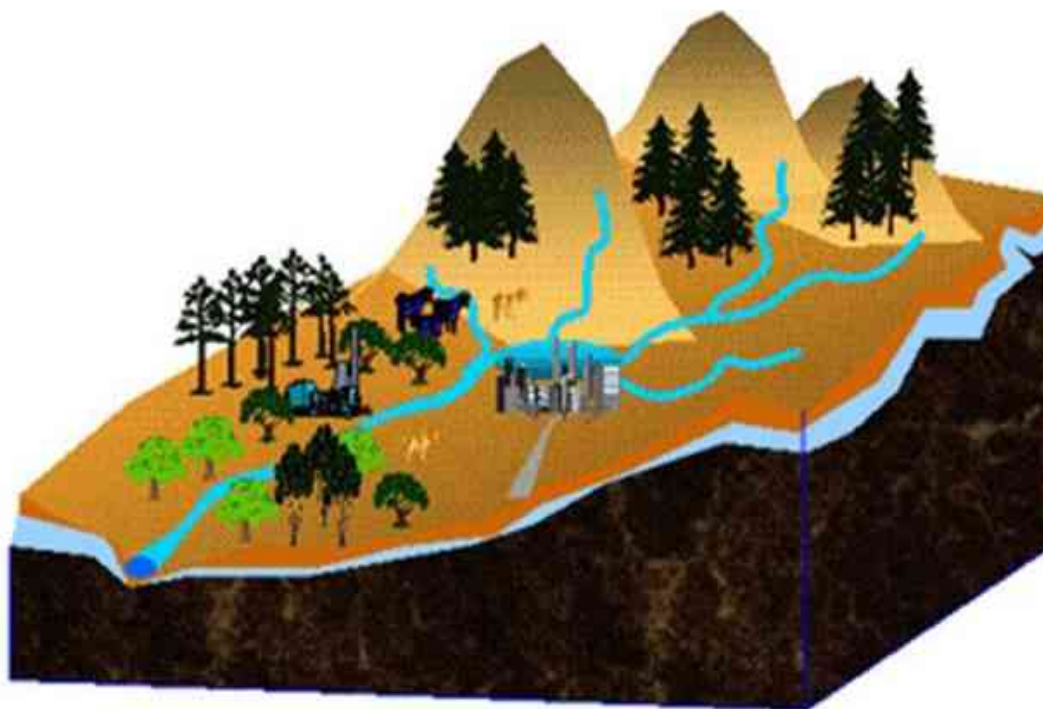
## 2.3 Bases conceptuales

### 2.3.1 Cuenca hidrográfica.

Es el área natural o unidad de territorio, delimitada por la línea divisoria de aguas (divortium aquarum), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal (Figura 32). Este ámbito tridimensional es un sistema complejo, abierto, cuyos elementos biológicos, sociales y económicos se encuentran en estrecha interrelación (Figura 33). Adicional a esto, integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (Vásquez Villanueva, 2000; World Vision, s.f.).

#### Figura 32

*Cuenca hidrológica e hidrográfica*

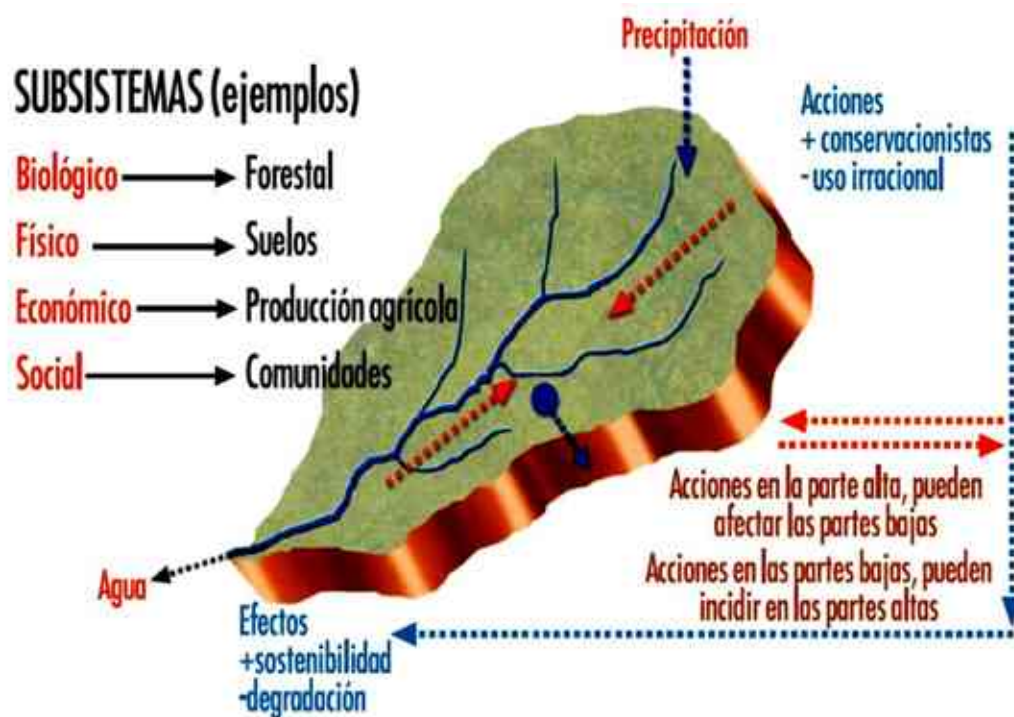


Fuente: Ordoñez Gálvez (2011).



Figura 33

*La Cuenca como Sistema*



Fuente: World Vision (s.f.).

### 2.3.1.1 Divisoria de aguas.

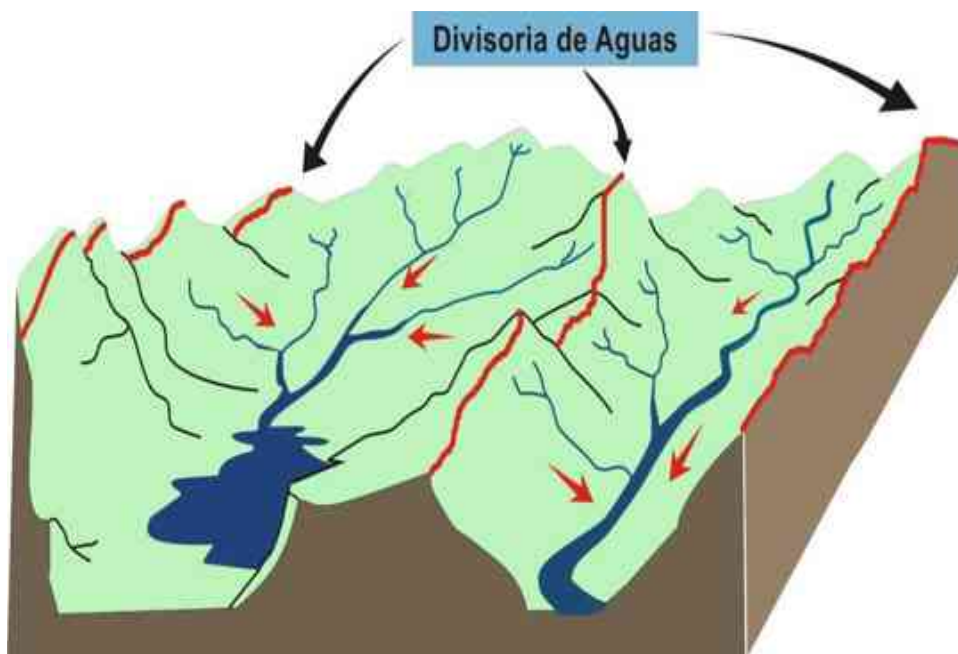
Ordoñez Gálvez (2011) sostiene que:

La divisoria de aguas o *divortium aquarum* es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuenca hidrográficas y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También se denomina “parteaguas”, ver Figura 34. (pág. 11)

### Figura 34

Divisoria de aguas





*Nota*, Figura adaptada por Casaverde, la cual fue tomada de la Cartilla técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica? Fuente: Ordoñez Gálvez (2011).

### 2.3.1.2 Río principal.

Ordoñez Gálvez (2011) define que:

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. (pág. 12) Asimismo, en el curso de un río se distinguen tres partes (ver Figura 35):

- **Curso alto o superior**, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce; (pág. 13)

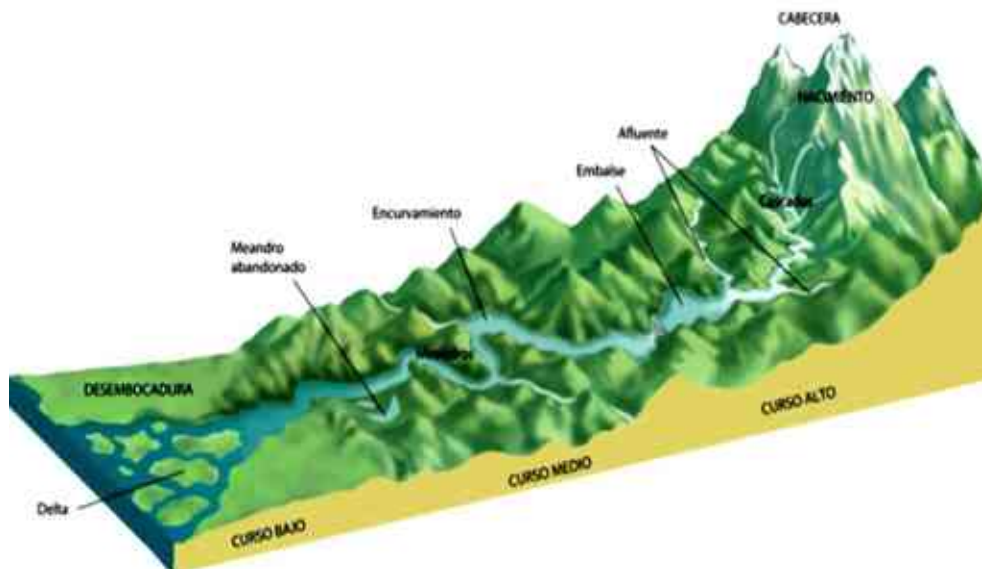
- **Curso medio**, en donde el río empieza a zigzagear, ensanchando el valle; (pág. 13)
- **Curso bajo o inferior**, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles. (pág. 13)

Otros términos importantes a distinguir en un río son:

- **Aguas abajo**, con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente; si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente. (pág. 13)
- **Aguas arriba**, es el contrario de la definición anterior. (pág. 13)

### Figura 35

*Divisoria de aguas*



*Nota*, Figura tomada de la Cartilla técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica?

Fuente: Ordoñez Gálvez (2011).

### 2.3.1.3 Afluentes.

Ordoñez Gálvez (2011) afirma que:

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. (pág. 13)

En principio, de dos ríos que se unen es considerado como **afluente** el de menor importancia (por su caudal, su longitud o la superficie de su cuenca). (pág. 13)

### 2.3.1.4 Efluentes.

Ordoñez Gálvez (2011) señala que:

Lo contrario de un afluente es un efluente o distributario, es decir, una derivación (natural o artificial) que se desprende fuera de la corriente principal de un río mayor a través de otro menor. Los de origen natural se encuentran en su mayoría en los deltas fluviales. Son más frecuentes los efluentes de "origen artificial", es decir, de una derivación, acequia o canal que se utiliza con fines de regadío o de abastecimiento de agua en regiones relativamente alejadas del río principal. (pág. 13)

### 2.3.1.5 Partes de una cuenca.

Una cuenca hidrográfica se puede decir que está compuesta por determinadas partes, según el criterio que se utilice (Figura 36), por ejemplo (World Vision, s.f.):

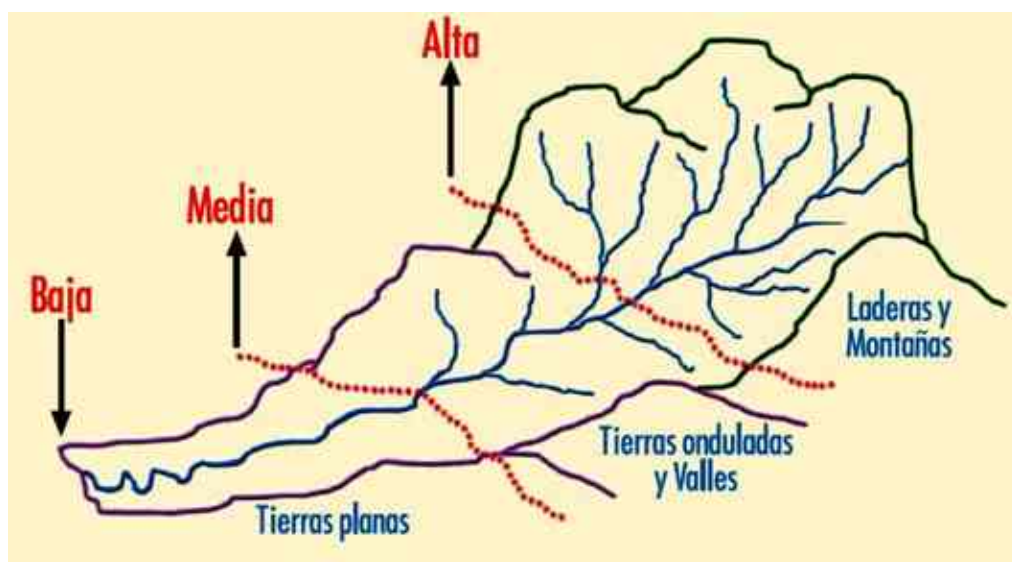
- **Criterio 1: Altitud.** - Según los gradientes de elevación de la cuenca, pueden identificarse tres regiones distintas: la parte alta, media y baja, respectivamente, en función de los rangos de altura de la cuenca. Por lo tanto, si se tiene un desnivel significativo, el cual oscila entre 0 a 2500 m.s.n.m., es posible diferenciar las tres partes de la cuenca. Caso contrario, si una cuenca presenta un desnivel menor, que

varía de 0 a 1000 m.s.n.m., es probable distinguir solo dos partes; finalmente, si una cuenca que es casi plana resultaría menos factible establecer partes de la misma. Por lo que, normalmente, este criterio de altitud se asocia con el clima y puede ser una forma de determinar las partes de una cuenca (Llerena, 2003, como se citó en Ordoñez Gálvez, 2011; World Vision, s.f.).

- **Criterio 2: Topografía.** \_ La relación entre el relieve y la forma del terreno es otro criterio estrechamente vinculado al primero; ya que, las regiones accidentadas constituyen las montañas y laderas, mientras las regiones onduladas, casi planas y planas conforman los valles. Por último, la región donde discurre el río principal y sus afluentes, comúnmente se le llama cauce (World Vision, s.f.).

**Figura 36**

*Partes de una Cuenca Hidrográfica*



Fuente: World Vision (s.f.).

### 2.3.1.6 Clases o tipos de cuencas hidrográficas.

- **Cuenca Hidrográfica o principal.** - La cuenca hidrográfica es un sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas, en donde puede dividirse en espacios

definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal (el río más importante de la cuenca), en este curso van todas las aguas y los sedimentos. El trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca (Figura 37) (Ordoñez Gálvez, 2011; Gravelius, 1914; World Vision, s.f.).

- **Subcuenca hidrográfica.** - Se denomina a aquellas subdivisiones principales de las cuencas, donde las aguas superficiales y subterráneas alimentan a las cuencas o también se define como un afluente secundario que alimenta a un curso principal, por lo general las componen aquellas cuencas de segundo orden en adelante (Ordoñez Gálvez, 2011; Gravelius, 1914; World Vision, s.f.).
- **Microcuenca hidrográfica.** - Son unidades geográficas menores, superficies que cual células se juntan para formar los tejidos o subcuencas, estas a su vez se unen para formar los órganos que serían las cuencas y estas para formar el cuerpo o las grandes cuencas u hoyas. Las microcuencas son cuencas de pocas hectáreas, generalmente usadas con fines de investigación. También se define un afluente terciario alimenta al curso principal de una subcuenca (Ordoñez Gálvez, 2011; Gravelius, 1914; World Vision, s.f.).
- **Quebradas.** - Las quebradas, que son cauces menores, es decir, toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (Ordoñez Gálvez, 2011; Gravelius, 1914; World Vision, s.f.).

**Figura 37**

*División de una Cuenca Hidrográfica*



Fuente: World Vision (s.f.).

En el documento metodología para priorización de cuencas, subcuencas, microcuencas, se menciona las unidades y rangos de áreas geográficas las cuales son:

**Tabla 33**

*Clasificación de cuencas, según unidades y rangos de áreas geográficas*

Descripción	Áreas (km <sup>2</sup> )	Nº de orden del río
Microcuenca	10 – 100	1°, 2°, 3°
Subcuenca	100 – 700	4°, 5°
Cuenca	700 – 6000	6° o más

**Nota**, el número de orden de un río o grado de ramificación se inicia a partir del cauce más pequeño en los límites del "divortium aquarum". Fuente: Dirección de Suelos y Manejo de Cuencas [DSMC] y Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones [DGASI] (1983).

También se tiene la siguiente clasificación de acuerdo al tamaño de las cuencas:

**Tabla 34**

*Clasificación de tamaños de cuencas*

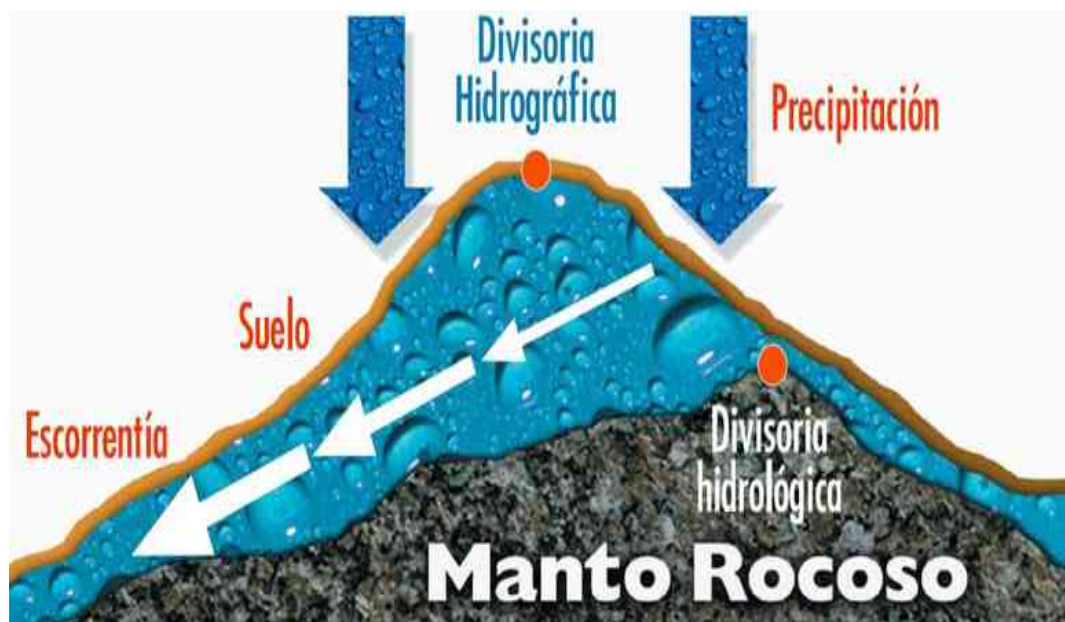
Rango de áreas [km <sup>2</sup> ]	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
> 2500	Muy grande

Fuente: Campos Aranda (1992, citado en Camino et al., 2018)

La definición de cuenca hidrológica define el comportamiento del agua tanto superficial (todo el concepto de cuenca hidrográfica) como subterráneo (abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo) (Figura 37 y Figura 38) (Ordoñez Gálvez, 2011; World Vision, s.f.).

**Figura 38**

*División Hidrográfica e Hidrológica de la Cuenca*



Fuente: World Vision (s.f.).

### **2.3.2 Definición de quebrada.**

Castillo Navarro (2006) argumenta lo siguiente:

Una quebrada es una forma topográfica de pequeña extensión. Siendo esta el resultado de la erosión del suelo, principalmente, por acción de la precipitación y escorrentía, en una región de terreno erosionable. (pág. 5)

Los huaycos se pueden producir en quebradas medianas (de 2.5 a 50 Km<sup>2</sup>) y en quebradas grandes (de 50 a 150 Km<sup>2</sup>). Según la diferencia del tamaño de la quebrada y la pendiente se pueden desarrollar diferentes tipos de flujos (avenidas de agua, flujos de lodo, flujos hiperconcentrados y flujos de detritos). (págs. 5 y 6)

Estas quebradas tienen como función natural captar el agua que precipita sobre una cuenca, y drenarla hacia aguas abajo hasta depositar el agua captada al río o mar. (pág. 6)

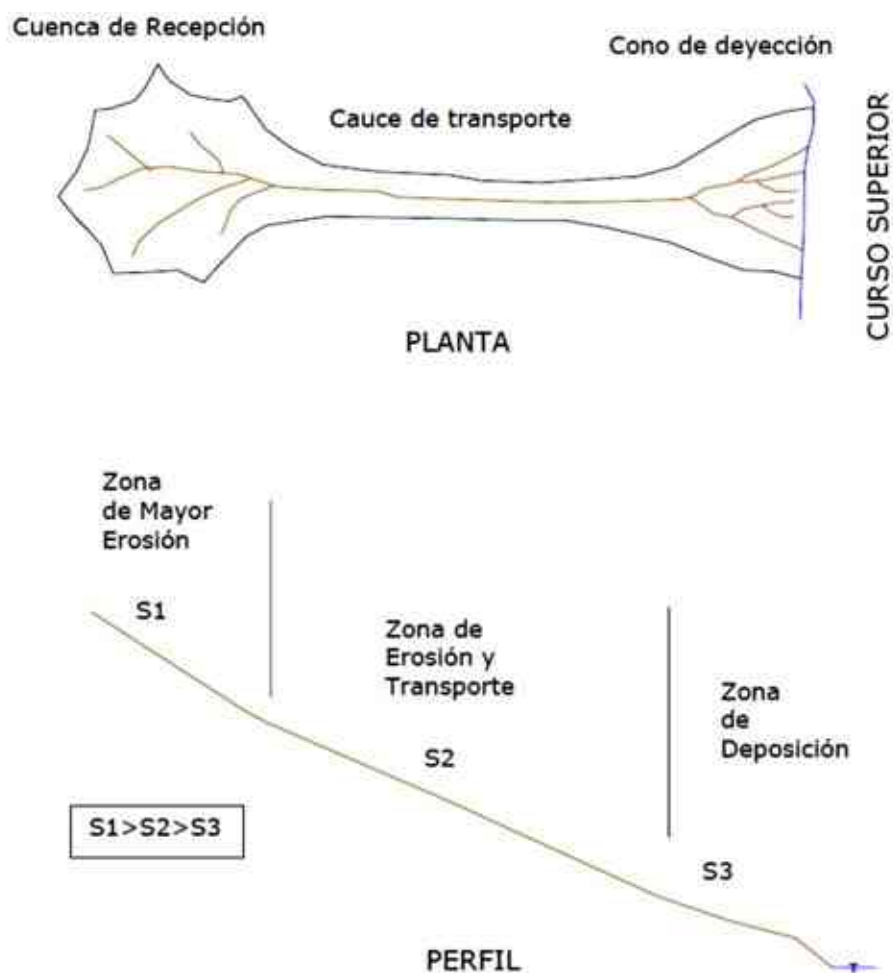


En una quebrada se reconocen tres zonas específicas (ver Figura 39):

- **Cuenca de recepción:** Se le denomina también embudo de erosión, debido a que es la zona ancha y más elevada donde se intercepta el agua de lluvias. Los taludes son muy pronunciados, provocando que la erosión sea muy activa. En esta zona suelen identificarse red de canales pequeños, inestables, que confluyen aguas abajo. (pág. 6)
- **Cauce de transporte:** Es la zona de confluencia de red de canales pequeños, donde se forma un canal más angosto de curso estable, y de mayor profundidad. Su función principal, es transportar el material erosionado; y también puede aportar material del cauce (debido a deslizamientos), dependiendo de las características del suelo. (pág. 6)
- **Cono de deyección:** Es la zona de deposición del material erosionado. Se caracteriza por tener menor pendiente y acumular todo el material transportado del resto de la cuenca. También se le denomina abanico aluvial, por el plano de explayamiento que posee, y porque el material transportado es de origen aluvional. (pág. 6)

**Figura 39**

*Esquema de una Quebrada Típica*



Fuente: Arancibia Samaniego (como se citó en Castillo Navarro, 2006).

### **2.3.3 Flujo turbulento.**

La turbulencia es rotacional y tridimensional por definición, y se caracteriza por unos niveles muy altos de fluctuación de la vorticidad; por ello, podemos mencionar que, en el flujo turbulento existe un rozamiento interno elevado, que forma escalas de rotación muy grandes, compatibles con la dimensión del dominio en que tiene lugar el movimiento, y otras de escala mucho más pequeña, de tamaño limitado por la naturaleza de los procesos disipativos. Por lo cual, este tipo de flujo posee un movimiento caótico e

impredecible de las partículas sobre la sección transversal. Asimismo, los remolinos de mayor tamaño son asociados a fluctuaciones de baja frecuencia, mientras que los remolinos más pequeños, de alta frecuencia son los responsables de la gran disipación de energía que se produce en el flujo turbulento. Por tal motivo, las partículas se mueven desordenadamente y sus trayectorias se encuentran formando continuamente torbellinos, que aparecen a velocidades altas (no estacionario) o cuando aparecen obstáculos abruptos en el movimiento del fluido. Finalmente, en un movimiento de flujo de detritos se genera un flujo turbulento, debido a la fricción o resistencia de las partículas granulares que chocan entre sí y dan paso a un movimiento aparentemente aleatorio entre partículas. Tal tipo de movimiento involucra una mezcla entre líquidos, sólidos y aire, cuyo requisito único para existir es que haya libertad de movimiento entre las partículas involucradas (de las Heras Jiménez, 2012).

#### **2.3.4 Talud o Ladera.**

Un talud o ladera es una masa de terreno que no es plana, sino que posee una inclinación (pendiente) o cambios significativos en la elevación (altura). En la literatura técnica, el término "ladera" se utiliza cuando la composición actual del terreno tuvo como origen un proceso natural; mientras que, talud se usa cuando el terreno se conforma artificialmente (Suárez Díaz, 1998).

#### **2.3.5 Precipitación.**

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.), sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total, la helada blanca, etc.). Las precipitaciones son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión, en donde para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua

atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación. Finalmente, la importancia de la precipitación es que constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy,2001; Sánchez San Román, 2016).

### **2.3.6 Pronóstico.**

El término pronóstico refiere a aquel conocimiento anticipado de lo que sucederá en un futuro mediante ciertos indicios, señales, estudio, historia previa, entre otros. La capacidad del ser humano para modelar los fenómenos naturales es limitada y, por lo tanto, siempre existe un margen de incertidumbre tanto para la explicación de los eventos pasados como para el pronóstico de eventos futuros, que permiten tomar oportunamente medidas con el fin de reducir el daño (Rubiano y Ramírez, 2009).

### **2.3.7 Servicio de seguimiento.**

El término seguimiento se refiere a la observación o monitoreo minucioso sobre un tema o el desarrollo de un proceso (Oficina de la UNESCO San José y Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en Centroamérica [CEPREDENAC], 2012).

## **2.4 Bases epistemológicas, o bases antropológicas**

### **2.4.1 Bases epistemológicas.**

El presente estudio, se sustenta en bases de carácter científico, con un enfoque cuantitativo-positivo; ya que el conocimiento positivo empieza con la aplicación de los métodos modernos de la ciencia, la observación, la medición y la experimentación.

### **2.4.2 Bases antropológicas.**

Debido a las condiciones climáticas del Perú y la influencia del cambio climático, así como la construcción de viviendas en zonas de peligro, se han incrementado la

recurrencia y severidad de los desastres asociados a fenómenos de origen natural o inducidos por la acción humana. Por tal motivo, estos incrementos en la ocurrencia de movimientos de masa son aspectos de mayor preocupación a nivel internacional y nacional, convirtiendo esta situación en un reto a la capacidad del hombre para adelantarse a los acontecimientos a través de una eficaz Gestión del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014b).

En respuesta a esta necesidad, nuestro país viene promoviendo el desarrollo e implementación de políticas públicas para la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD); en consecuencia se aprobó la Ley 29664, que crea el SINAGERD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres), el cual tiene como objetivo identificar y reducir los riesgos asociados a peligros o minimizar sus efectos; así como evitar la generación de nuevos riesgos. Por lo cual, también, se establecen principios, lineamientos de política, componentes, métodos e instrumentos para la Gestión del Riesgo de Desastres, con el fin de estar mejor preparados y reaccionar ante circunstancias catastróficas (CENEPRED, 2014b).

## CAPÍTULO III. METODOLÓGÍA

### 3.1 **Ámbito**

El ámbito de estudio de la presente investigación, se ubica en el distrito de San Rafael, al sur de la provincia de Ambo, en la región de Huánuco, presentando una situación no óptima por problemas de geodinámica externa (movimientos de masa); ya que, en épocas de intensas precipitaciones o avenidas, se generan huaycos e inundaciones en la salida de la ciudad (SGOT - GRPPAT - GOREHCO, 2013).

#### ***3.1.1 Zonas críticas con peligro inminente de movimientos de masa en el distrito de San Rafael.***

El distrito de San Rafael, dentro de su extensión territorial, contiene varias zonas críticas donde es recurrente el fenómeno de movimiento de masas (huaycos), a causas de las intensas precipitaciones que se dan en temporada de invierno. Estas zonas críticas recurrentes a huaycos, empiezan desde el **centro poblado Independencia** y terminando en el **centro poblado Primero de Mayo**. En la **parte central** del área está el **sector de San Rafael: localidad de San Rafael – quebrada Rosayoc/Batán**, donde se encuentra ubicado la municipalidad del Distrito de San Rafael.

Figura 40

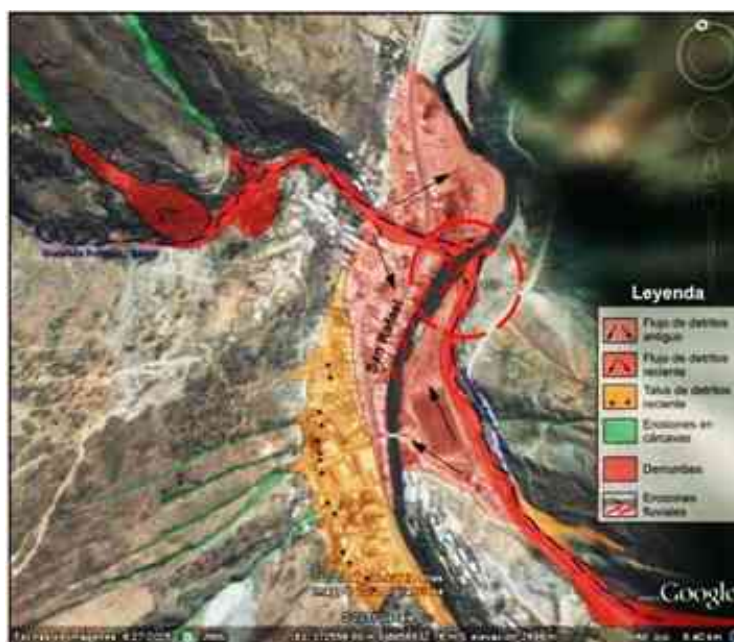
Sector Quebrada Rosayoc/Batán – Pomabamba – río Huallaga



Fuente: Propia – Imagen Satelital de Google Earth.

Figura 41

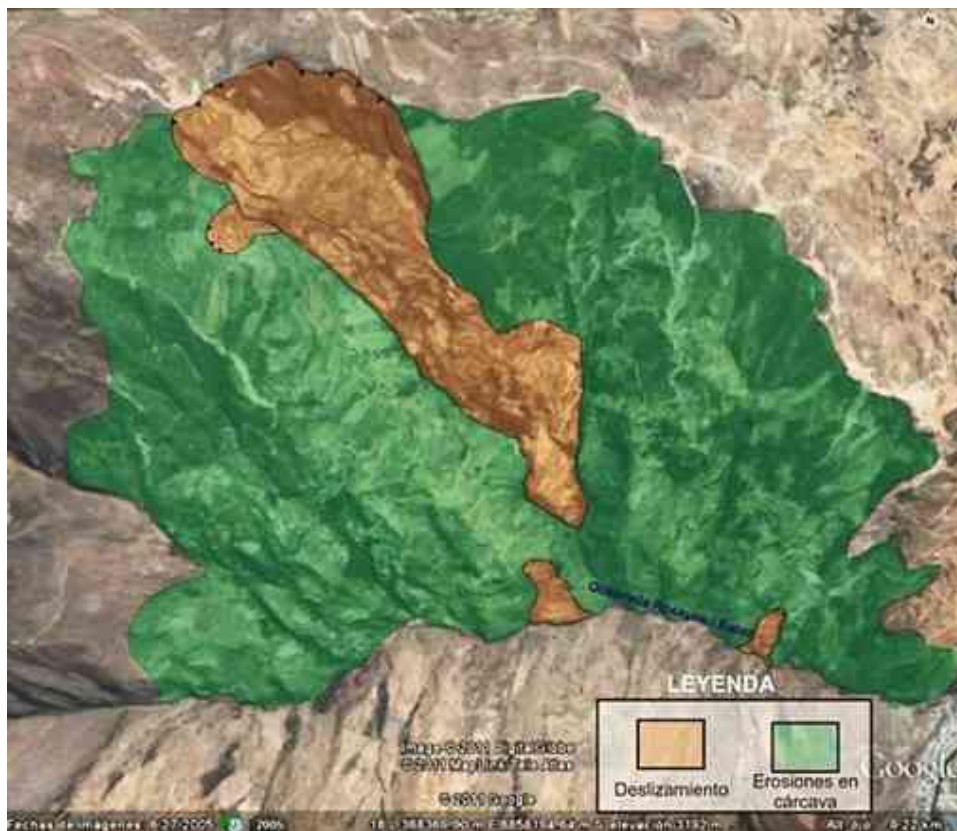
Peligros geológicos de las quebradas Rosayoc/Batán y Pomabamba



*Nota*, imagen tomada de la Figura 5 del Informe Técnico N° A6580. Fuente: Núñez Juárez (2011).

### Figura 42

*Margen izquierda de la quebrada Rosayoc/Batán, presenta una intensa erosión en cárcavas*



*Nota*, imagen tomada de la Figura 6 del Informe Técnico N° A6580. Fuente: Núñez Juárez (2011).



**Figura 43**

*Margen derecha de la quebrada Rosayoc/Batán, muestra sectores con erosiones de ladera*



*Nota, imagen tomada de la Figura 7 del Informe Técnico N° A6580. Fuente: Núñez Juárez (2011).*

**Figura 44**

*Quebrada Ricapa – Centenario – San Rafael – Ambo*



Fuente: Propia – Imagen Satelital de Google Earth.

### Figura 45

*Zonas Críticas con peligro inminente de Movimientos de masa en el Distrito de San Rafael*



Fuente: Propia – Imagen Satelital de Google Earth.



Figura 46

*Represamiento del río Huallaga en forma de media luna-Informe técnico*



Fuente: Propia – Imagen Satelital de Google Earth.

### **3.1.2 Descripción de la zona de estudio.**

La zona de estudio específica, en donde se analizó el fenómeno, fue la quebrada Rosayoc/Batán (Figura 47) perteneciente a la localidad de San Rafael, que se encuentra al margen izquierdo del río Huallaga y margen derecho de la quebrada.

**Figura 47**

*Zona de Estudio - Localidad de San Rafael*



Fuente: Propia – Imagen Satelital de Google Earth.

**Figura 48**

*Canalización de la quebrada Rosayoc/Batán*



*Nota*, se muestra la actividad humana al haber estrechado la quebrada Rosayoc/Batán. Esta fotografía fue tomada de la Foto 12 del Informe Técnico N° A6580. Fuente: Núñez Juárez (2011).

#### **Figura 49**

*En la margen izquierda de la quebrada Rosayoc/Batán, se observa una cárcava que está aportando material suelto al cauce principal de la quebrada*



*Nota*, esta fotografía fue tomada de la Foto 16 del Informe Técnico N° A6580. Fuente: Núñez Juárez (2011).

#### **3.1.3 Características generales de la zona de estudio.**

- **Ubicación:** el área de estudio se ubica aproximadamente en la dirección de las siguientes coordenadas:

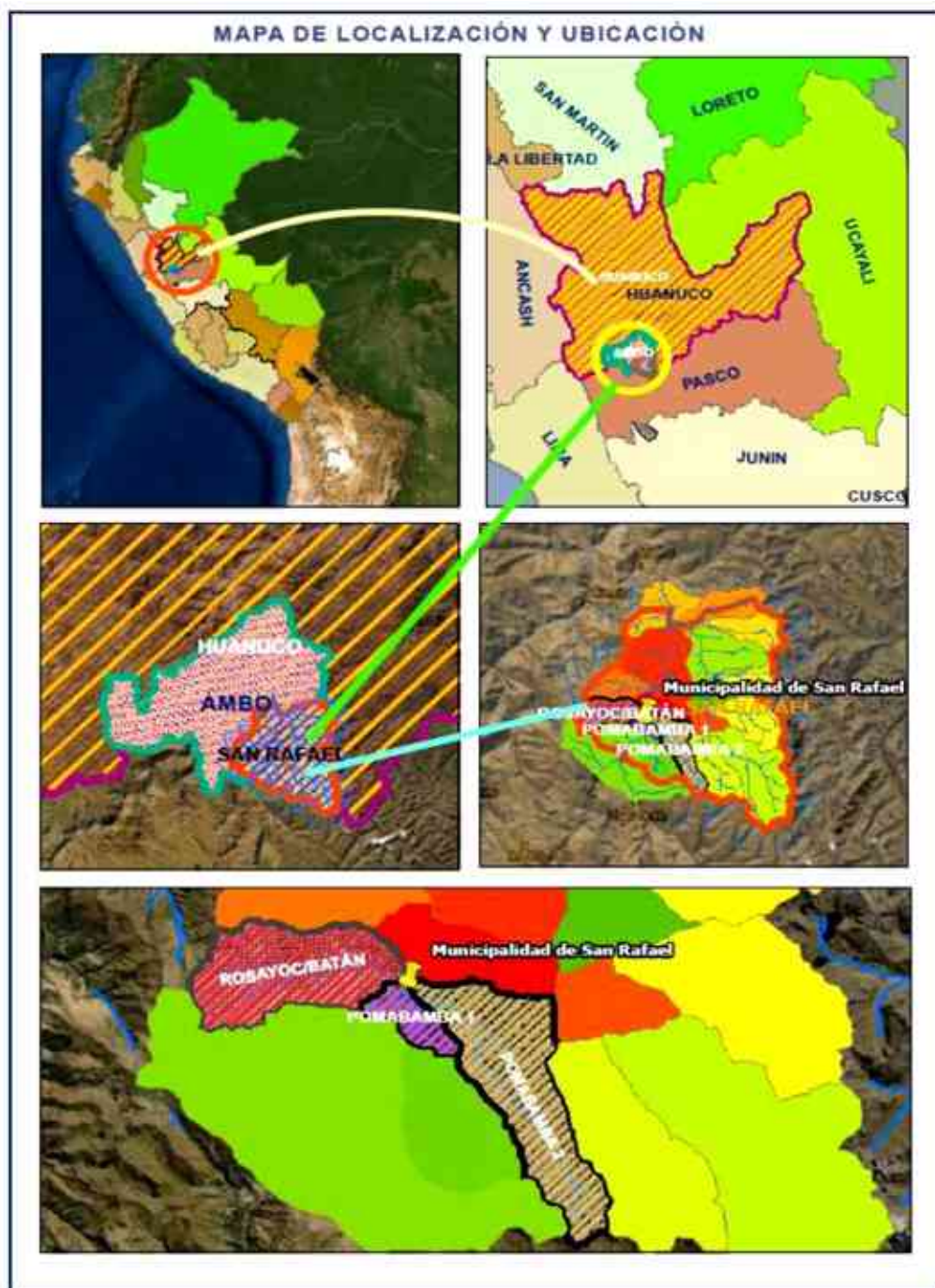
**Tabla 35***Ubicación política y geográfica de la zona de estudio*

UBICACIÓN POLÍTICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA
Departamento: Huánuco	Coordenadas: Sistema WGS84, UTM Planas
Provincia: Ambo	Zona UTM: 18S
Distrito: San Rafael	Cuadrícula: L
Extensión del área de estudio	<b>Inicio Aproximado:</b>
	Este: 370305.00 m
	Sur: 8857068.00 m
	<b>Fin Aproximado:</b>
	Este: 370569.00 m
	Sur: 8857052.00 m



Figura 50

Mapa de localización y ubicación del área de estudio.



- **Accesibilidad:** Para llegar a la localidad de San Rafael se puede realizar a través del siguiente recorrido:

**Tabla 36***Accesibilidad a la localidad de San Rafael*

De	A	Distancia Km.	Tipo de Vía	Medio de Transporte	Frecuencia	Tiempo Empleado
Lima - La Oroya-Cerro de Pasco – Huariaca	San Rafael	320	Asfaltada – Carretera central	Motocicleta, camioneta, camiones	Diaria	8 horas
Huánuco	San Rafael	57	Asfaltada – Carretera central	Motocicleta, camioneta, camiones	Diaria	1 hora
Ambo	San Rafael	25.00	Asfaltada – Carretera central	Motocicleta, camioneta, camiones	Diaria	25 minutos

- **Clasificación climática:** Se usó la clasificación climática de Thornthwaite para diferenciar los climas presentes en la provincia de Ambo. Este método destaca las zonas que por su extensión y relieve topográfico presentan características climáticas peculiares, se han diferenciado varios tipos de climas, tal como se muestra en la siguiente tabla (INDECI y PNUD, 2011b).

**Tabla 37***Características de los principales climas en la provincia de Ambo*

Tipo de climas	Altitud (msnm)	Características Principales	Algunas Localidades
Templado muy lluvioso	2000 a 3000	Lluvias abundantes durante todo el año, con humedad relativa de 65% a 84%, calificada como húmeda.	



Cálido, lluvioso	500	Lluvias deficientes en invierno, con humedad relativa de 65% a 84%, calificada como húmeda.	
Semicálido, lluvioso	1000 a 2000	Deficiencia de lluvias en invierno, con humedad relativa de 65% a 84%, calificada como húmeda.	Valles de los ríos Higuera y Huallaga.
Semifrío, lluvioso	3000 a 4000	Deficiencia de lluvia en invierno, humedad relativa de 65% a 84%, calificada como húmeda.	
Polar, lluvioso	Sobre 4000	Deficiencia de lluvia en invierno, humedad relativa de 45% a 64%, calificada como seca.	Cordillera de Huayhuash
Semifrío, lluvioso	2000 a 3000	Deficiencia de lluvia en otoño e invierno, humedad relativa de 65% a 84%, calificada como húmeda.	Ambo y el valle del río Huertas
Semiseco, frío	Sobre 4000	Deficiencia de lluvia en invierno, humedad relativa de 65% a 84%, húmeda.	

Fuente: INDECI y PNUD (2011b) - Cuadro N°05 Características de los principales climas en la provincia de Ambo.

- **Hidrografía:** El departamento de Huánuco pertenece a la cuenca hidrográfica del alto Huallaga, en donde sus ríos desembocan en la vertiente del atlántico, y esta cuenca se conforma por 3 subcuencas: Alto Huallaga, Alto Marañón y Pachitea.

### Figura 51

*Mapa de Cuencas Hidrográficas del Perú.*



Fuente: Ministerio de Energía y Minas [MENEM] citado en INDECI y PNUD (2011b).

**Figura 52**

*Sub Cuencas en el Departamento de Huánuco*



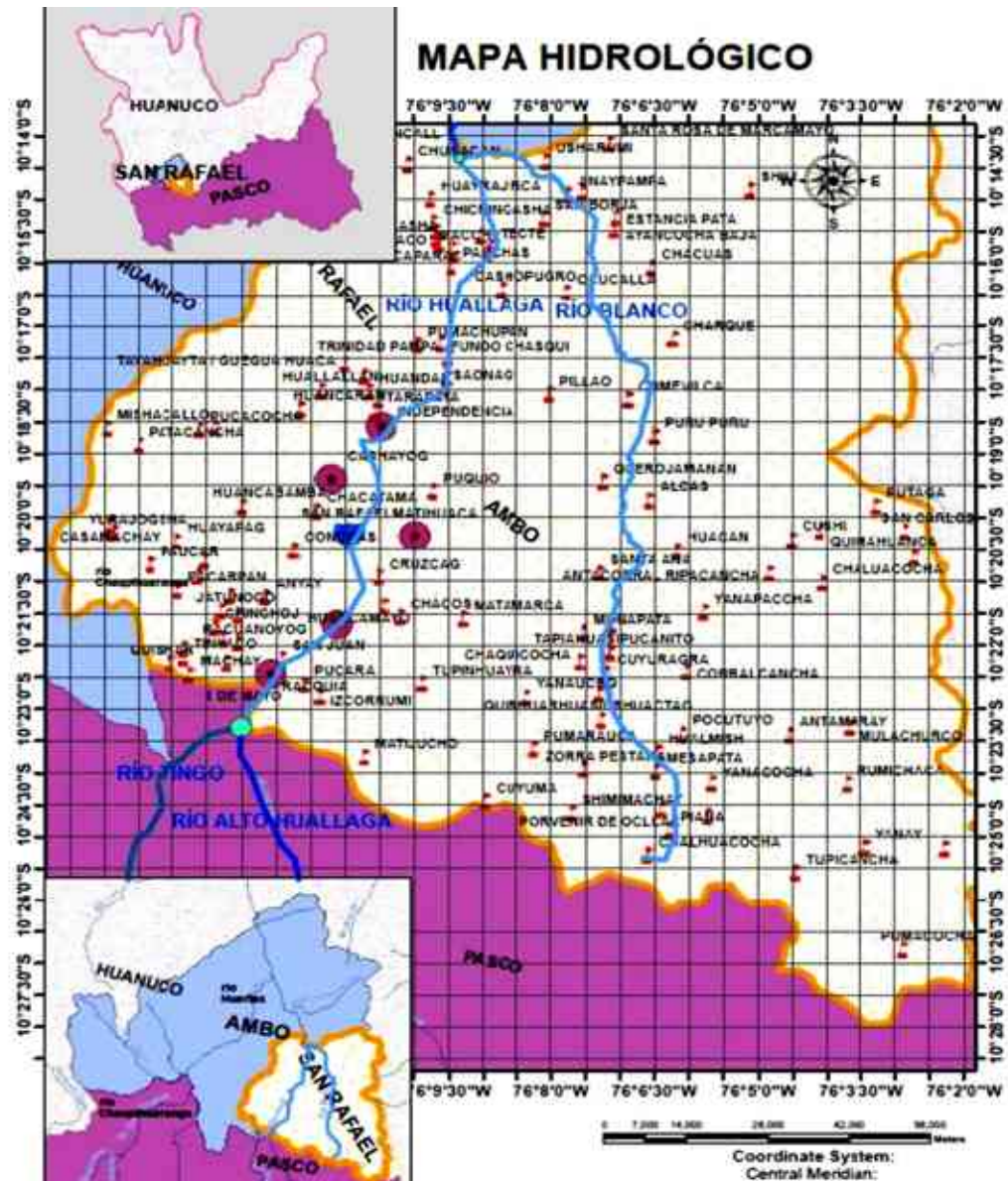
Fuente: Plan Vial Departamental Participativo 2006-2015 citado en INDECI y PNUD (2011b).

Los principales ríos que recorren, por la zona de estudio, dentro del distrito de San Rafael - provincia de Ambo - departamento de Huánuco son el **río Huallaga y río Blanco**.

- El río Huallaga está conformado por dos tributarios importantes como el río Blanco (distrito San Rafael) y Huertas (provincia de Ambo). El río Blanco nace al noroeste, en las alturas del departamento de Cerro de Pasco, y se une al río Huallaga Alta que es conformado por la confluencia de los ríos Tingo, Tíclacayán, Paríamarca y Pucurhuay; y luego, en la zona de Ambo, se unen el río Huallaga Alta y el río Huertas para formar un solo río que es el Huallaga, unión en capital de la provincia de Ambo (Zavala Carrión y Vílchez Mata, 2006; INDECI y PNUD, 2011b).

### **Figura 53**

*Mapa Hidrológico del distrito de San Rafael – provincia de Ambo – departamento de Huánuco.*



- **Periodo de activación del fenómeno:** El periodo de activación, en el área de estudio escogida, del fenómeno (movimiento de flujo de detritos) es a causa de las intensas precipitaciones estacionales que ocurren entre los meses de diciembre a abril (Núñez Juárez, 2011).
- **Precipitación:** La distribución espacial de la precipitación pluvial de la provincia de Ambo se caracteriza por configurar zonas marcadamente diferenciadas por la dependencia altitudinal y zonal de la magnitud de la lluvia. La orografía ligada a la

altitud y orientación, son factores de gran influencia en el reparto de las precipitaciones. Por ello, la provincia de Ambo posee precipitaciones intensas, que ocurren aproximadamente en los meses de noviembre a febrero – marzo, bajo (considerados como meses húmedos), y esporádicas que se producen durante la estación seca (marzo – octubre, aproximadamente) (SGOT - GRPPAT – GOREHCO, 2013).

- **Fenómeno a estudiar:**

- **Huaycos:** Consiste de flujos rápidos o venidas intempestivas de aguas turbias que arrasan a su paso materiales de diferentes tamaños, desplazándose a lo largo de un cauce definido con desbordes laterales, lo cual es provocado por precipitaciones pluviales y suelos en condiciones de estabilidad precaria. En esta parte de la región se producen durante la temporada de lluvias, entre noviembre y abril, incrementándose el número y la magnitud de estos torrentes de lodo, debido a las lluvias intensas que caen sobre las cuencas y microcuencas existentes en el sector poniendo en actividad muchas quebradas, pudiendo en algunos casos represar el río hacia el cual descargan su flujo (SGOT - GRPPAT – GOREHCO, 2013).

### ***3.1.4 Pobladores de la localidad cercana al área de estudio.***

La población de la localidad de San Rafael se encuentra actualmente en proceso de expansión. Por ello, donde antes se contaba con aproximadamente 1711 habitantes (INEI-2007); ahora, de acuerdo al último censo de centros poblados (INEI-2017), en la localidad de San Rafael se tiene aproximadamente 2056 habitantes. Siendo su principal actividad la agricultura (Núñez Juárez, 2011).

### **3.2 Población**

Arias (2006) y González Castellanos et al. (2003) señalan que, la población o universo se refiere a la totalidad del fenómeno a estudiar. En forma más precisa, la población es un conjunto finito o infinito de elementos, con características similares, a los cuales se aplican las conclusiones de la investigación.

- De acuerdo con lo citado anteriormente, la población que se estudió en esta investigación son los movimientos de flujo de detritos detonado por precipitaciones de lluvia del distrito de San Rafael, provincia de Ambo, departamento de Huánuco.

### **3.3 Muestra**

Según Arias (2006) y González Castellanos et al. (2003), una muestra se define como un subconjunto que, por su tamaño y características similares a las del conjunto poblacional, permite realizar extrapolaciones o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido.

- La siguiente muestra de este estudio fue seleccionada, en base a la información mostrada anteriormente: movimientos de flujo de detritos detonado por precipitaciones de lluvia, registrados desde el año 1990 hasta el año 2019, en la localidad de San Rafael, distrito San Rafael, provincia de Ambo, departamento de Huánuco.

#### **3.3.1 Muestreo.**

El muestreo, tal como lo describen Arias (2006) y González Castellanos et al. (2003), es el método mediante el cual se selecciona la muestra. Existen dos métodos principales para recopilar datos, conocidos como Probabilístico o Aleatorio y No Probabilístico. El muestreo intencional, también conocido como muestreo según criterio, es un tipo de muestreo no probabilístico que no se basa en una selección aleatoria de elementos de una población; sino que utiliza el conocimiento previo del investigador sobre

la población para seleccionar esos elementos. Como consecuencia, la experiencia del investigador desempeña un papel crucial en la construcción de la muestra seleccionada, lo que aumenta la probabilidad de que los resultados obtenidos sean precisos y estén libres de errores significativos.

- Esta investigación desarrolla un muestreo inferencial porque se optó por trabajar con una muestra específica de 30 años. Esto se hizo para garantizar la fiabilidad de los resultados en el análisis de los parámetros pluvio-meteorológicos. Debido a ello, se decidió seguir las recomendaciones dadas en la sección evaluación de la información hidrológica del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2011). En particular, se eligió trabajar con un rango de años comprendido entre 1990 y 2019, por tratarse de un rango de datos en común que se pudo encontrar para todas las estaciones requeridas.

### **3.4 Nivel y tipo de estudio**

#### ***3.4.1 Por el fin que persiguen.***

El presente estudio, conforme al fin que persigue, es una de **investigación aplicada**; ya que, en base a la investigación teórica de umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos, se pretende determinar la cantidad de lluvia que genera estos movimientos, así como localizar las zonas más susceptibles donde ocurren este evento; con el objetivo, de aportar en la toma de decisiones de medidas estructurales y no estructurales o preventivas, que buscan dar una solución a los diversos problemas como pérdida de vidas humanas, económicas, daños en la infraestructura vial, obstaculización del tránsito, dejando a varias localidades y ciudades sin comunicación e inundaciones en la parte baja de la quebrada Rosayoc/Batán.

### **3.4.2 Por los tipos de datos analizados.**

Sobre la base del tipo de datos analizados, esta investigación puede clasificarse como un estudio cuantitativo por su énfasis en la recopilación, procesamiento y análisis de los valores numéricos obtenidos de la muestra de este estudio.

### **3.4.3 Por el nivel de profundidad.**

Respecto al nivel de profundidad, este estudio es de carácter explicativo, ya que es el nivel de conocimiento más profundo que puede tener una investigación, con enfoque cuantitativo. Además, averigua la causa de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa (investigación post facto) - efecto (investigación experimental), a través de la prueba de hipótesis.

### **3.4.4 Por los medios para obtener los datos.**

La presente investigación, de acuerdo con los medios para obtener los datos, es de **tipo campo** o investigación directa; puesto que, la recolección de los datos ha sido obtenida in situ, como por ejemplo la muestra extraída del suelo de la quebrada Rosayoc/Batán para adquirir los parámetros geotécnicos.

### **3.4.5 Por la manipulación de variables.**

Este estudio, según la manipulación de variables, es de **tipo experimental**; ya que este estudio se basa en la manipulación de variables en condiciones mínimas controladas; es decir, se mide el grado de afectación que se obtiene de la variable independiente sobre la otra variable dependiente y de manera interna, se valida la situación. Finalmente, de acuerdo con el grado de su perfección experimental, se empleará un estudio pre-experimental a un solo grupo; por ende, mediante la simulación computacional se determinó la influencia como factor detonante de los umbrales de precipitación de lluvia (variable independiente) sobre el control y reducción de los efectos que ocasionan los movimientos de flujo de detritos (variable dependiente).



### **3.4.6 Según el tipo de inferencia.**

Esta investigación, conforme al tipo de inferencia, es de **tipo hipotético-deductivo**; pues se fundamenta en el método científico para generar hipótesis mediante la inducción, a través de la observación directa y experimentación, que a su vez deberán ser comprobadas si son ciertas o no.

### **3.4.7 Por el período de tiempo en el que se realiza.**

De acuerdo con el periodo de tiempo en el que se realiza, este estudio es de tipo longitudinal-retrospectiva; dado que, los datos cuantitativos de esta investigación, se recolectaron de un periodo largo de tiempo. Asimismo, es retrospectiva porque el estudio es posterior al suceso del evento e implica la recopilación de datos del pasado. Así como, en este caso, los datos se recopilaron a partir de registros históricos de los movimientos de flujo de detritos causados por las precipitaciones de lluvia.

### **3.4.8 Por el tiempo en que se efectúa.**

La presente investigación, según el tiempo en que se efectúa, es de **tipo diacrónica**; dado que, estudia a lo largo del tiempo, o históricamente, la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos detonados por precipitaciones de lluvia, con el objeto de verificar los cambios que se pueden producir.

## **3.5 Diseño de investigación.**

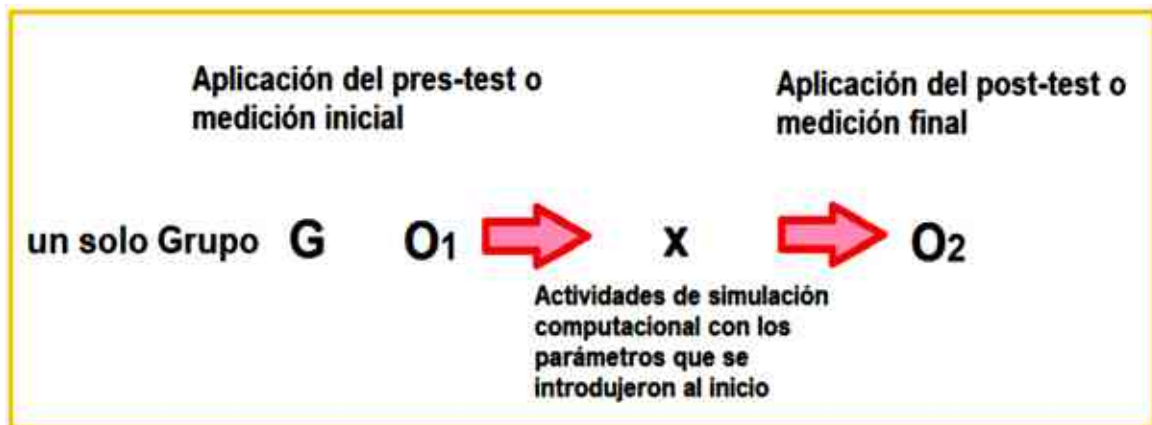
**El diseño es experimental** porque se va a determinar, mediante **la simulación computacional**, la influencia de los umbrales de precipitación de lluvia (variable independiente) sobre el control y reducción de los efectos que ocasionan los movimientos de flujo de detritos (variable dependiente).

Dentro de los tipos de diseños experimentales, teniendo en cuenta el grado de su perfección experimental, esta investigación empleará un **estudio preexperimental a un solo grupo** con evaluación previa (pre test), a la intervención tratamiento experimental

para determinar la línea de base y con evaluación posterior a la intervención (post test), para evaluar el resultado de salida (Campbell y Stanley, 1966, citado en Hernández Sampieri et al., 2014; Ñaupas Paitán et al., 2014).

**Figura 54**

*Diseño de investigación*



**G:** grupo o muestra.

**$O_1$ :** Pre test o medición inicial (la influencia de los umbrales de precipitación de lluvia).

**X:** Actividades de simulación computacional con los parámetros que se introdujeron al inicio (tratamiento experimental).

**$O_2$ :** Post test o medición final (sobre el control y reducción de los efectos que ocasionan los movimientos de flujo de detritos).

### 3.6 Métodos, técnicas e instrumentos

#### 3.6.1 Métodos.

Esta investigación, utilizó el método científico para la demostración de las hipótesis formuladas mediante la observación, que busca obtener información cuantificable y verificable, y la experimentación; siguiendo un proceso lógico y sistemático, por ende, esto ayudó a verificar los resultados obtenidos y ampliar los conocimientos, en cuanto a movimientos de flujo de detritos detonados por precipitaciones de lluvia. Por otra parte, la

metodología que se utilizó para determinar estos umbrales, se basó en considerar dos tipos de efectos principales de la precipitación: el efecto acumulativo a largo plazo de la lluvia (días anteriores a la ocurrencia del evento) y el efecto inmediato a corto plazo de la lluvia (el día del evento). Asimismo, estos umbrales se complementan con los parámetros físicos (geotécnicos y geomorfológicos); por consiguiente, se realizó los siguientes ensayos de los datos recolectados en campo:

- NTP.339.128 (ASTM D-422): Ensayo de granulometría por tamizado de suelos.
- NTP.339.129 (ASTM D-423 y D-424): Ensayo de límite líquido y límite plástico (límites de consistencia).
- NTP.339.134 (ASTM D-2487): Clasificación Unificada de Suelos (SUCS).
- NTP 339.135 (ASTM D-3282): Clasificación de Suelos – AASHTO.
- NTP 339.147: Ensayo de permeabilidad.

Figura 55

Diagrama metodológico para discretizar movimientos en masa

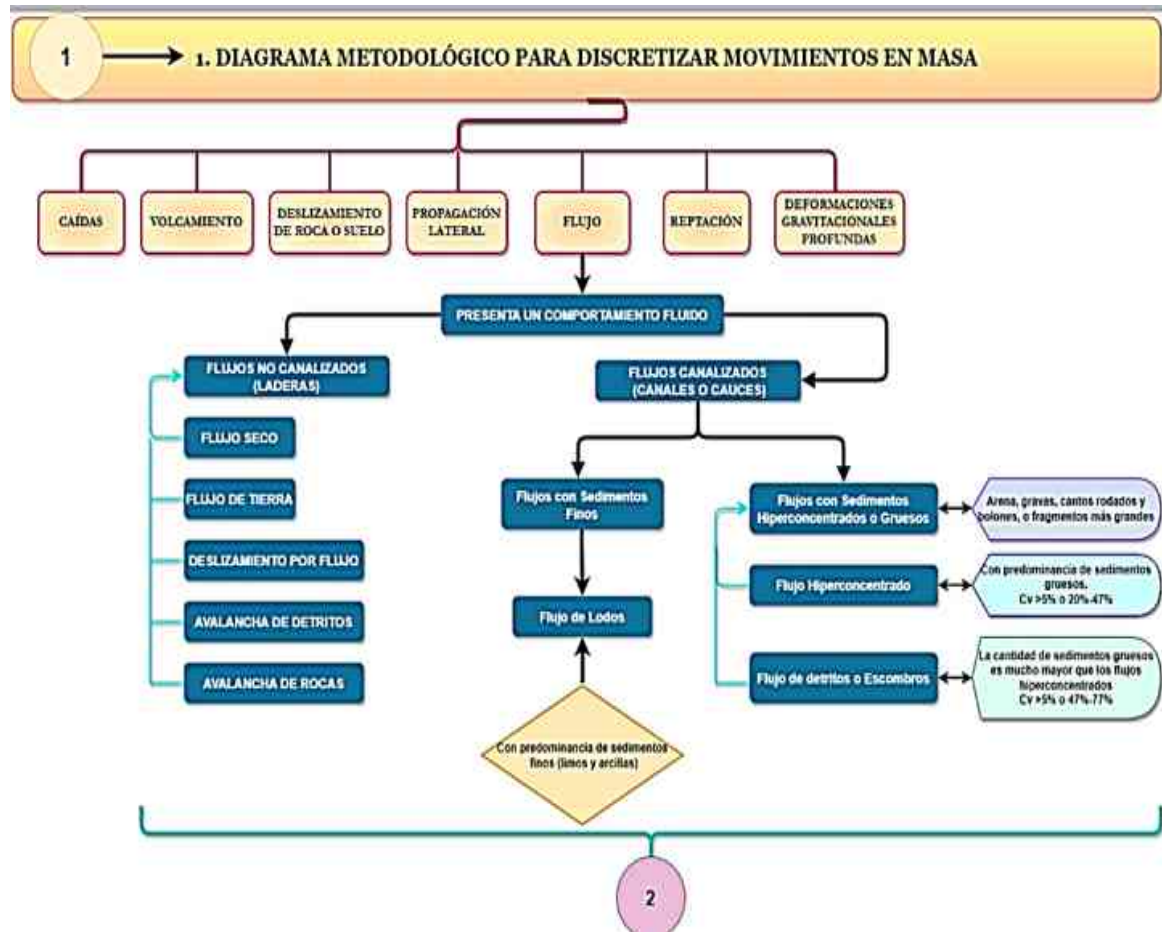


Figura 56

Metodología para determinar umbrales de precipitación de lluvia

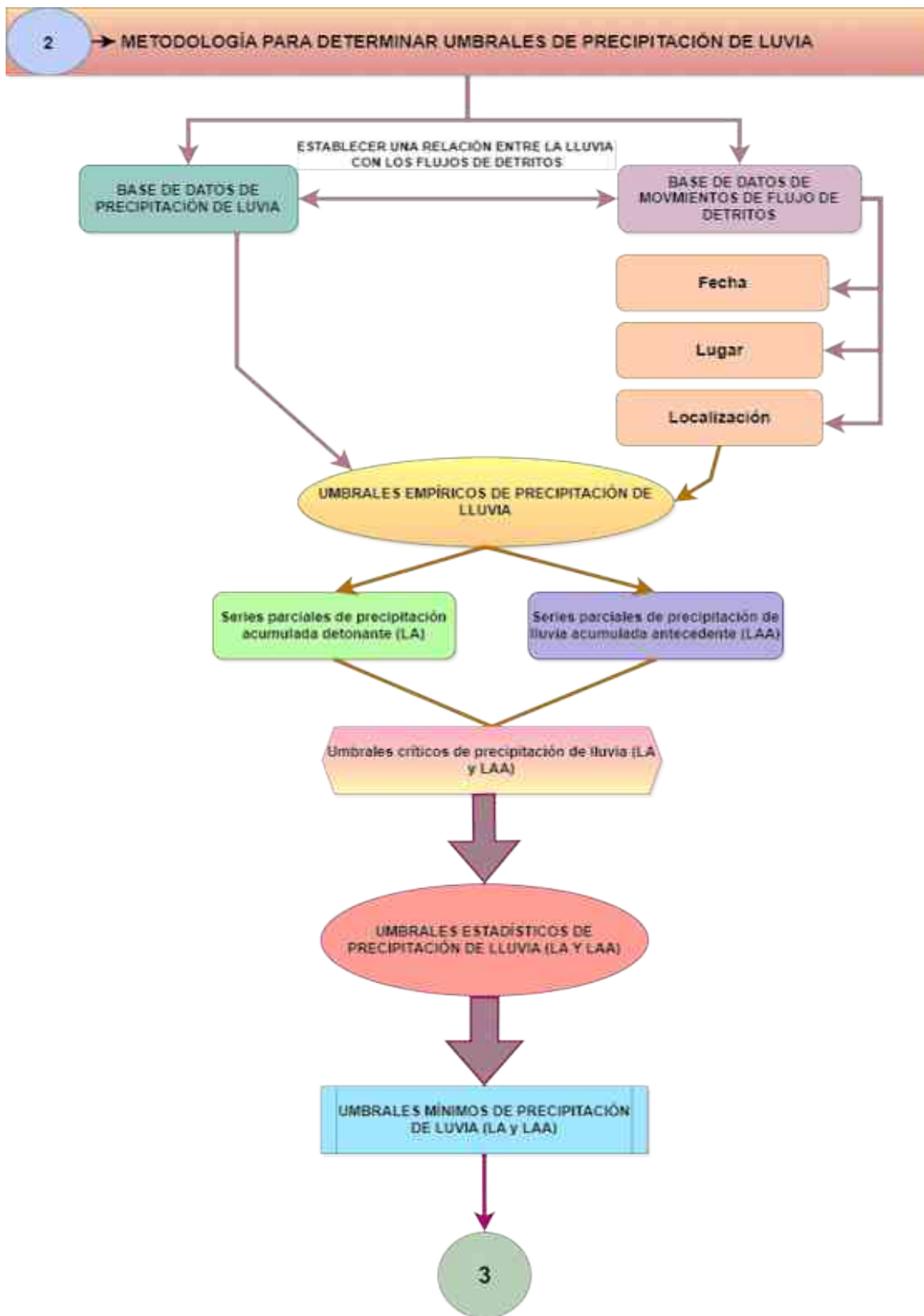


Figura 57

Diagrama de la metodología del trabajo de investigación

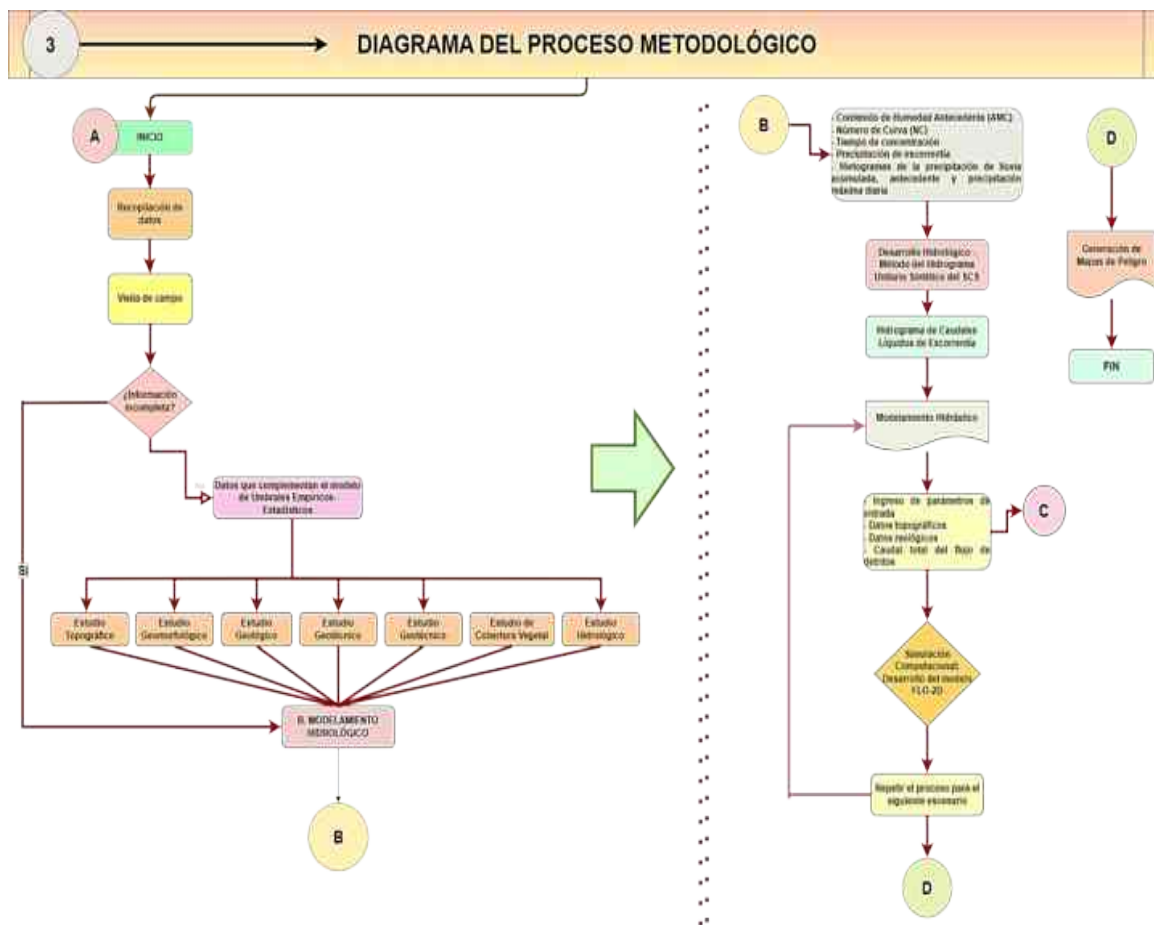
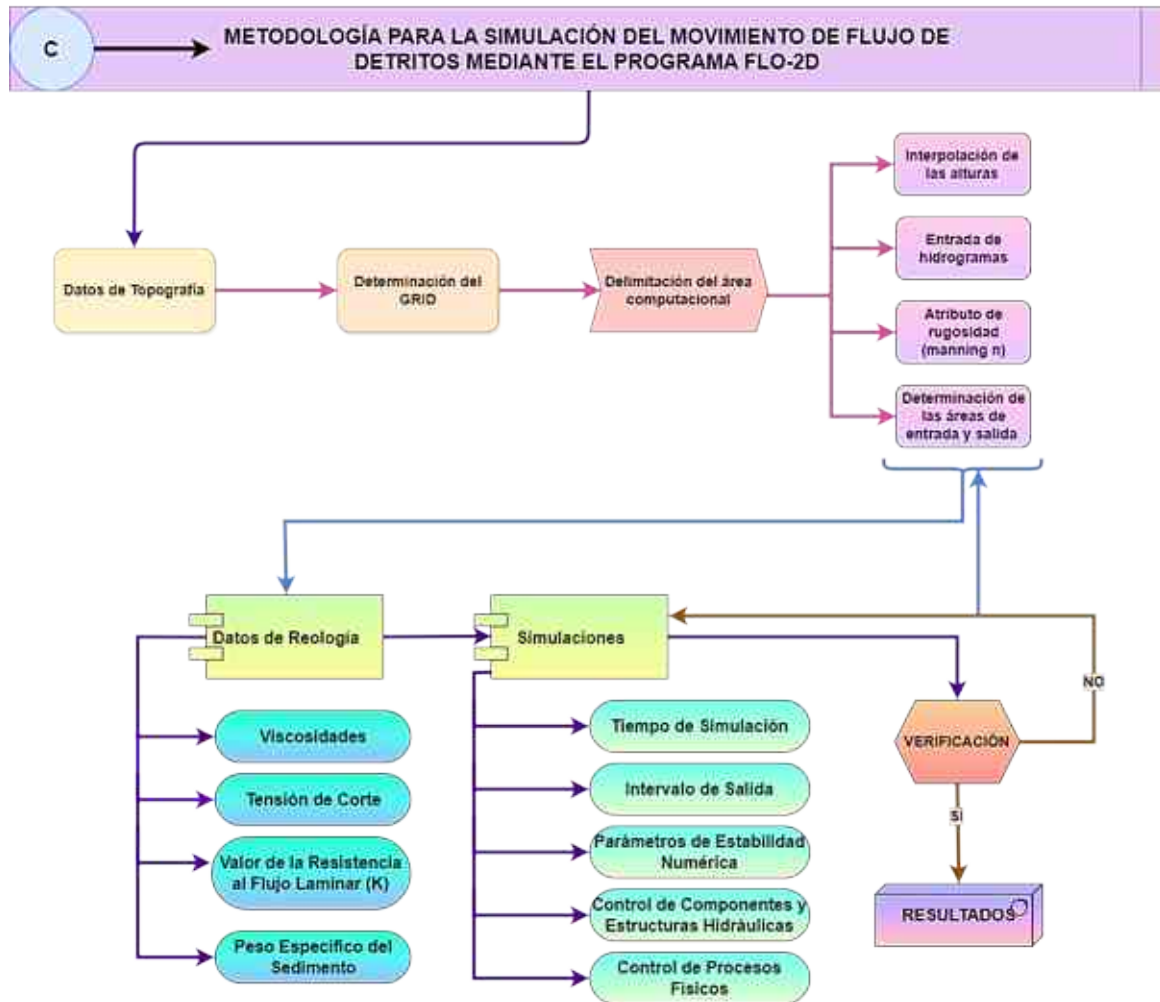


Figura 58

Metodología para la simulación del movimiento de flujo de detritos mediante el programa flo-2d



Fuente: Flo-2D reference manual (FLO-2D Software, Inc., 2021).

### 3.6.2 Técnicas.

- Para la presente investigación, se utilizó la **técnica de análisis documental** como las fuentes primarias, proporcionadas por el SENAMHI, que nos ayudó en la obtención de los parámetros pluvio-meteorológicos. También, con la técnica mencionada se pudo adquirir los datos históricos de los movimientos de flujo de detritos del distrito de San Rafael, esta información fue brindada por el Desinventar e INDECI-Sinpad. Además, se usó la misma técnica para recopilar los parámetros geomorfológicos,

como el estudio topográfico de la quebrada Rosayoc/Batán, esto se pudo obtener de los estudios realizados por la municipalidad distrital de San Rafael.

- Se recopiló la información satelital mediante la técnica de teledetección, con la cual se adquiere datos de la superficie terrestre desde los sensores satelitales instalados en plataformas espaciales como Alaska Satellite Facility: ASF Home (DEM – 12.5 metros de resolución).
- Para obtener los parámetros geotécnicos, en esta investigación, se usaron las **técnicas de observación de campo** realizando calicatas para la extracción de la muestra de suelo, que luego se llevó al laboratorio para su ensayo correspondiente.
- **Estadística Descriptiva:** Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos se empleó medidas de tendencia central (media) y medidas de variabilidad (desviación estándar y varianza).
- **Estadística Inferencial:** Para estimar los parámetros pluvio-meteorológicos, se usaron los siguientes análisis paramétricos: coeficientes de correlación, regresión lineal, consistencia en la media con la prueba T - Student y consistencia en la desviación estándar con la prueba F – Fisher.
- **Estadística no paramétrica:** Para realizar la calibración y estimar las incertidumbres de los umbrales mediante la técnica de Bootstrap; asimismo, para determinar las probabilidades de excedencia se usó la densidad de Kernel (KDE).
- **Software y Paquete Estadístico:** Para procesar los datos de este trabajo de investigación se usó los softwares como: Microsoft Excel, IBM SPSS STATISTICS, HIDROESTA, ARCGIS, QGIS, FLO-2D, entre otros.



### **3.6.3 Instrumentos.**

Los instrumentos que se usaron en el presente estudio de investigación fueron los siguientes:

- Fichas de registro de precipitaciones de lluvia, los cuales fueron adquiridos de la medición del pluviómetro de cada estación requerida,
- Registro de los movimientos de masa (deslizamientos, huaicos y flujo de detritos) ocurridos en el lugar de estudio.
- Planos de topografía: plano de planta y perfil longitudinal, plano de secciones transversales.
- Información satelital como el Modelo Digital de Terreno (DEM) - ALOS PALSAR con resolución de 12.5 m.
- Ensayos de geotecnia de los datos de campo (in situ): extracción de la muestra de suelo de la quebrada Rosayoc/Batán.
- Dispositivos tecnológicos: La utilización de una computadora y un ordenador portátil para el uso de las herramientas y programas como SIG (Sistema de Información Geográfica), Flo-2D, entre otros. Estos dispositivos mencionados, ayudaron en el análisis y procesamiento de los datos recopilados, y las imágenes satelitales de la quebrada Rosayoc/Batán.
- Recursos de oficina: lapiceros, lápices y cuaderno de notas para el registro de toda la información del proceso de observación directa realizado.

### **3.7 Validación y confiabilidad del instrumento**

Luego de obtener los resultados de los umbrales estadísticos, se realizó la primera validación y confiabilidad del instrumento tomando datos de dos años (2017 y 2019), por ser los últimos años del rango de tiempo de estudio y presentar mayores eventos de precipitación de lluvia. Estos datos, que se mencionan, fueron precipitaciones acumuladas

aleatoriamente, o series de umbrales empíricos aleatorios, partiendo desde el día del evento de precipitación máxima diaria. Después, se comparó estas precipitaciones acumuladas con los umbrales estadísticos hallados. De lo cual, se observa que, las series de umbrales empíricos aleatorios (LA – 1 – 6 días y LA – 2 – 6 días) que se eligieron del año 2017, presentan varios días antecedentes de no-lluvia continuos y/o precipitaciones ínfimas cercanas a estas series; por ende, no se consideraron series de lluvia acumulada antecedente (LAA); asimismo, estas precipitaciones acumuladas (LA – 1 y LA – 2) de 6 días superan a los umbrales estadísticos LA2 de 6 y 7 días, pero no es probable que generen escorrentía. Adicionalmente, si se considera que, para desencadenar los movimientos de flujo de detritos, no solo influye las lluvias acumuladas detonantes (LA), sino también las lluvias acumuladas antecedentes (LAA); ya que, estas últimas están relacionadas con las condiciones iniciales de humedad y nivel freático del suelo. Por consiguiente, se genera erosión superficial (escorrentía) y subsuperficial (infiltración); así como, el ascenso del nivel freático por aumento del agua subterránea que satura el suelo, lo cual contribuye a la desestabilización del mismo y detonación de los movimientos de flujo de detritos. Entonces, se infiere que, a pesar de que los umbrales empíricos evaluados superan a los umbrales mínimos LA, estos no llegan muchas veces a detonar flujos de detritos; debido a la carencia de series de lluvia acumulada antecedente (LAA) asociadas a las series LA; por lo cual, se comprobó la relevancia de las lluvias acumuladas antecedentes (LAA) en la ocurrencia de flujo de detritos.

### **Tabla 38**

*Precipitaciones acumuladas aleatoriamente del año 2017 para la validación y confiabilidad del instrumento – estación meteorológica convencional San Rafael*

AÑO 2017	LA	DESCRIPCIÓN	AÑO 2017	LA	DESCRIPCIÓN
----------	----	-------------	----------	----	-------------

Fecha	Pp. Acumulada		Fecha	Pp. Acumulada	
15/05/2017	4.60		06/11/2017	1.30	
16/05/2017	0.20	Superó el umbral LA2 de 6 días hasta el periodo de retorno de 50 años, asimismo, superó completamente el umbral LA2 de 7 días; sin embargo, no es probable que genere escorrentía	07/11/2017	7.10	
17/05/2017	10.10		08/11/2017	0.10	Superó completamente el umbral LA2 de 6 días,
18/05/2017	0.90		09/11/2017	1.10	igualmente, el umbral LA2 de 7 días; aunque,
19/05/2017	1.40		10/11/2017	4.60	no es probable que genere escorrentía
20/05/2017	12.10		11/11/2017	19.70	
<b>LA – 1 - 6 días</b>	<b>29.30</b>		<b>LA – 2 - 6 Días</b>	<b>33.90</b>	

De igual modo, se efectuó la validación y confiabilidad del instrumento para series acumuladas de lluvia en el año 2019. Por tal motivo, se tomó precipitaciones acumuladas aleatoriamente partiendo desde el día del evento de precipitación máxima diaria; seguidamente, se comparó estas precipitaciones acumuladas con los umbrales estadísticos calculados. Debido a lo cual, se observa que, el umbral empírico aleatorio elegido LA – 1 – 7 días presenta una serie de lluvia acumulada antecedente (LAA – 1 – 4 días), la cual supera completamente el umbral LAA2 de 4 días, igualmente, los umbrales LAA2 de 3, 5 y 8 días; aunque, no es probable que genere escorrentía; asimismo, la serie LA – 1 - 7 días mencionada, supera completamente el umbral LA2 de 7 días, de igual modo, para los umbrales LA1 de 5 días y LA2 de 6 días, y es probable que genere escorrentía; en consecuencia, ocasiona un nuevo evento de flujo de detritos. Sin embargo, no existe un registro de este evento; puesto que, al realizar trabajos de limpieza y descolmatación, desde el 28/01/2019 hasta 04/02/2019, a causa del evento de flujo de detritos (27/01/2019) ocurrido días anteriores, puede que no se haya considerado emitir otro y/u otros reportes de huacos. Además, para el otro caso, solo se presentaron series de lluvia acumulada antecedente (LAA) como la serie LAA – 2 – 1 día, la cual supera el

umbral LAA2 de 3 días hasta el periodo de retorno de 200 años; pero, no es probable que genere escorrentía. Adicionalmente, la serie LAA – 2-1 – 1 día, supera completamente los umbrales LAA2 de 3, 4 y 5 días, asimismo, el umbral LAA2 de 8 días hasta el periodo de retorno de 20 años; sin embargo, no es probable que genere escorrentía. También, se tienen precipitaciones acumuladas ínfimas cercanas a las series LAA. Por lo cual, estas series (LAA) no deberían haberse considerado; ya que, tienen varios días antecedentes de no-lluvia continuos y/o precipitaciones ínfimas cercanas a estas series, asimismo, no podrían haber detonado flujos de detritos. No obstante, se suscitó un movimiento de flujo de detritos el día 05/05/2019, esto debido, a dos eventos continuos de flujo detritos ocurrido días anteriores (03/04/2019 y 05/04/2019) con una precipitación acumulada detonante y antecedente de 38 días que desestabilizaron el suelo de la quebrada y, que al presentarse las series de lluvia acumulada antecedente (LAA) mencionadas, resultaron en una nueva activación de la quebrada. Por último, se deduce que, los umbrales mínimos LA son coherentemente confiables; puesto que, son cantidades cercanas y menores a los umbrales empíricos evaluados. También, se sabe que hay eventos de movimientos en masa que no se reportan, ya sea por diversas razones, siendo una de las limitaciones en la predicción de estos eventos. Además, para verificar si ha ocurrido (o no) un evento de flujo de detritos se debe tener en cuenta la existencia de deslizamientos de tierra y/o flujos de detritos, previos y cercanos a fecha de ocurrencia; así como la presencia de umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA), dado que, son condiciones importantes para la detonación de flujo de detritos.

**Tabla 39**

*Precipitaciones acumuladas aleatoriamente del año 2019 para la validación y confiabilidad del instrumento - estación meteorológica convencional San Rafael*

AÑO 2019	LAA	DESCRIPCIÓN	AÑO 2019	LAA	DESCRIPCIÓN
----------	-----	-------------	----------	-----	-------------

Fecha	Pp. Acumulada		Fecha	Pp. Acumulada	
27/01/2019	4.70	Evento de flujo de detritos	03/04/2019	9.20	Evento de flujo de detritos
28/01/2019	4.90		05/04/2019	0.00	Evento de flujo de detritos
29/01/2019	16.50		09/04/2019	11.70	Superó el umbral LAA2 de 3 días hasta el periodo de retorno de 200 años; sin embargo, no es probable que genere escorrentía
30/01/2019	3.70	Superó completamente el umbral LAA2 de 4 días, igualmente, los umbrales LAA2 de 3, 5 y 8 días; aunque, no es probable que genere escorrentía	LAA – 2 – 1 día	11.70	
31/01/2019	10.50		13/04/2019	21.00	Superó completamente los umbrales LAA2 de 3, 4 y 5 días, asimismo, el umbral LAA2 de 8 días hasta el periodo de retorno de 20 años; pero no es probable que genere escorrentía
LAA – 1 – 4 días	35.60		LAA – 2-1 – 1 día	21.00	
2019	LA	DESCRIPCIÓN	15/04/2019	0.60	Precipitación acumulada ínfima
02/02/2019	2.40	Superó completamente el umbral LA2 de 7 días, igualmente, los umbrales LA1 de 5 días y LA2 de 6 días; y es probable que genere escorrentía, así como, otra vez la activación de la quebrada, sin embargo, se realizaron trabajos de limpieza y descolmatación desde el 28/01/2019 hasta 04/02/2019. Por lo que, puede que no se haya considerado emitir otro reporte de huaico en estas fechas.	16/04/2019	0.10	
03/02/2019	6.50		17/04/2019	0.70	
04/02/2019	1.80		18/04/2019	0.60	
05/02/2019	2.80		LAA – 2-2 – 4 días	2.00	Precipitación acumulada ínfima
06/02/2019	6.10		20/04/2019	0.40	
07/02/2019	20.70		21/04/2019	1.70	
08/02/2019	23.80		22/04/2019	6.00	
LA – 1 - 7 días	64.10		LAA – 2-3 – 3 días	8.10	Precipitación acumulada ínfima
			26/04/2019	2.90	
			27/04/2019	0.70	
			28/04/2019	0.60	

LAA – 2-4 – 3 días	4.20	
05/05/2019	1.40	Evento de flujo de detritos

Adicionalmente, a la validación y confiabilidad desarrollada anteriormente, se añade lo siguiente:

De acuerdo, con la investigación realizada por Millán & Lavado (2023), se tienen umbrales de lluvia a escala nacional, los cuales se basan en un enfoque de regionalización con condiciones meteorológicas homogéneas (Segoni et al., 2014, citado en Millán & Lavado, 2023). Debido a esto, es necesario considerar la alta variabilidad meteorológica y fisiográfica espacial que rige en el país para obtener umbrales de lluvia confiables, ya que, solo un umbral global, o nacional, no puede representar tal variabilidad. Asimismo, la regionalización fue necesaria dada la alta variabilidad climática en el Perú, evidenciada por las diferencias de magnitud entre los umbrales. Este enfoque ayudó a observar las regiones del Perú donde hay mayor ocurrencia de deslizamientos y la respuesta a este tipo de umbral diario. El área de estudio de esta investigación se dividió en 11 regiones, donde cada región presenta un umbral característico. Además, se observa que la región Andes 2 (región con mayor número de eventos) tuvo una mejor respuesta para la intensidad máxima diaria ( $I_{max}$ ) en el proceso de calibración y validación. Por otra parte, Peruccacci et al. (2012) descubrió que el número de eventos debe ser superior a 175 para limitar las incertidumbres relativas ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ) por debajo del 10 % (proceso de calibración); sin embargo, esta limitación de las incertidumbres puede cambiar para un conjunto de datos diferente, así como tomarlo como referencia para el proceso de calibración. Con base en esto, se observa que solo cuatro regiones (Andes 2, Andes 4, Pacífico 1 y Amazonía 2) tienen un número de eventos que son aceptables; al contrario

de las otras regiones, que tienen una mayor incertidumbre debido a la cantidad de datos. Esto se muestra en la Figura 59 (Millán & Lavado, 2023).

### Figura 59

*Resumen del número de eventos de deslizamientos superficiales y los umbrales con los mejores resultados, para una y dos variables, por cada región*

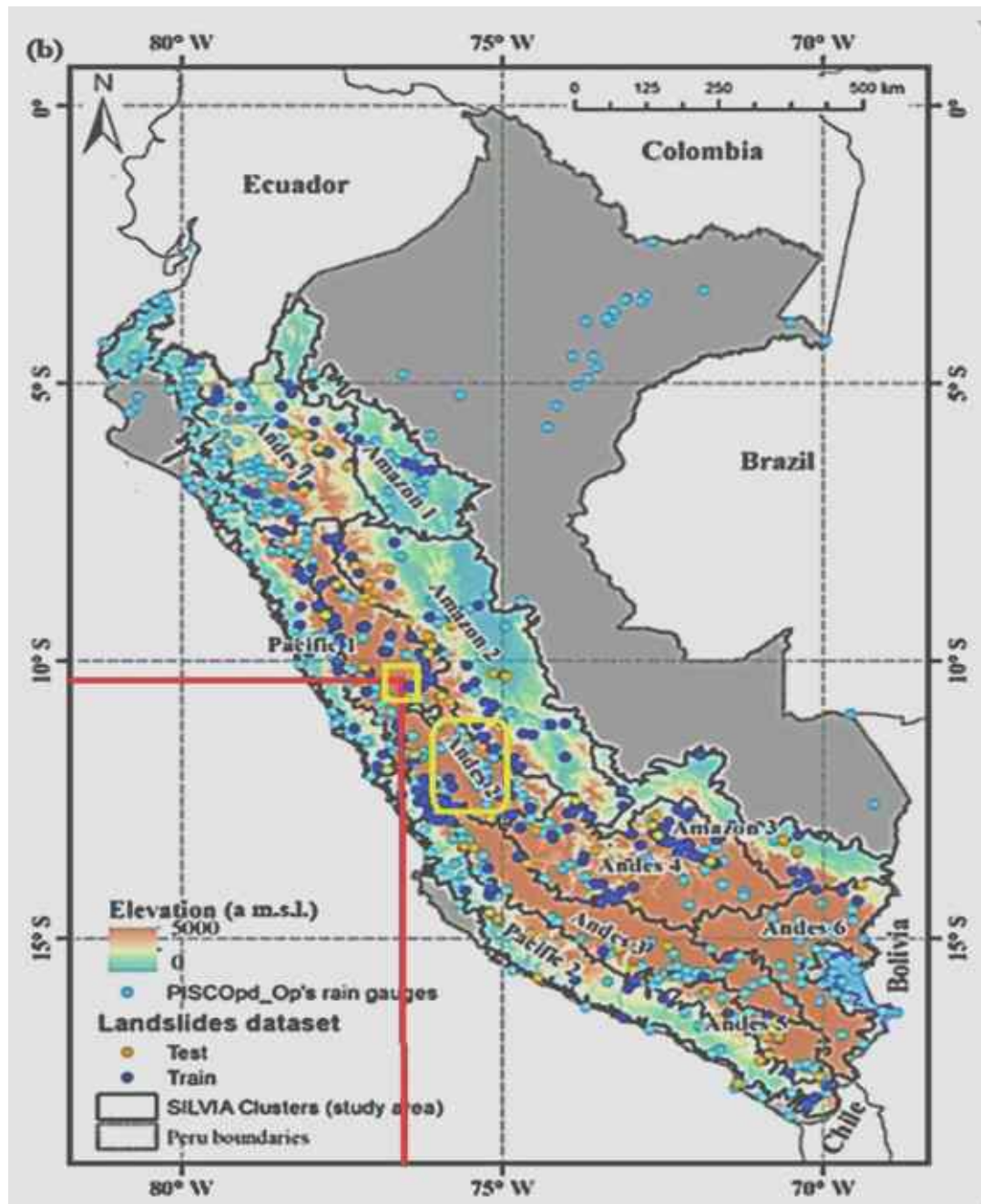
Region	SL total	SL Cal	SL Val	Best Th – 1 variable	TSS	Best Th – 2 variables	TSS
Pacific 1	46	43	3	$I_{max}$	0.68	$I_{max} - D$	0.71
Pacific 2	27	20	7	$I_{mean}$	0.61	$I_{mean} - D$	0.61
Andes 1	34	28	6	$I_{mean}$	0.43	$I_{mean} - D$	0.44
Andes 2	98	83	15	$E$ and $I_{mean}$	0.58	$I_{max} - D$	0.64
Andes 3	17	10	7	$I_{max}$	0.92	$I_{max} - D$	0.91
Andes 4	65	54	11	$E$	0.51	$I_{mean} - D$	0.52
Andes 5	14	7	7	$E$	0.67	$I_{mean} - D$	0.66
Andes 6	4	3	1	$D$	0.68	$I_{mean} - D$	0.62
Amazon 1	6	6	-	$I_{mean}$	0.74	$I_{mean} - D$	0.77
Amazon 2	54	41	13	$E$	0.57	$I_{mean} - D$ and $I_{max} - D$	0.57
Amazon 3	12	10	2	$E$	0.68	$I_{mean} - D$ and $I_{max} - D$	0.73

*Nota*, esta figura se tomó de la investigación realizada por Millán & Lavado (2023) – Table 3. Asimismo, las abreviaturas que se visualizan en la figura tienen la siguiente denominación: Th: umbral, SL: número de deslizamientos por región, Cal: calibración, Val: validación).

De esta investigación añadida, se puede deducir que, la quebrada Rosayocc/Batán se encuentra ubicada en la Región Andes 2 (Figura 60); con lo que, podemos realizar el segundo análisis de validación y confiabilidad del instrumento.

Figura 60

Área de estudio, según las once regiones de susceptibilidad a deslizamientos del Perú, y distribución de deslizamientos de calibración (azul) y validación (amarillo).



Nota, esta figura se tomó de la investigación realizada por Millán & Lavado (2023) – Figure 1(b).



Además, los umbrales estadísticos mostrados en la Tabla 40, se presentan para dos escenarios: el primero describe los eventos de lluvia que incluyen el día de ocurrencia del deslizamiento, denominado evento completo (EE); asimismo, el segundo, solo incluye las condiciones antecedentes hasta 1 día antes de la ocurrencia del deslizamiento, denominado el evento antecedente (AE). Dado que, para esta investigación, es importante analizar los eventos de deslizamientos bajo un enfoque que incluya la capacidad predictiva de las condiciones antecedentes y su influencia en la ocurrencia de eventos futuros para la operación de los servicios de alerta temprana (Millán & Lavado, 2023).

**Tabla 40**

*Umbrales de precipitación de una variable (E) – región Andes 2*

Escenario	Región	E (precipitación acumulada)		
		Th		TSS (val)
		a	b	
Evento Entero (EE)	Andes 2	14.28	0.47	0.28
Evento Antecedente (AE)	Andes 2	11.54	0.61	0.39

**Nota,** los datos mostrados en esta tabla fueron obtenidos a partir de la Table 2, la cual se encuentra en la investigación realizada por Millán & Lavado (2023).

Luego, se realizó la validación y confiabilidad del instrumento mediante la comparación de los umbrales a escala regional-nacional planteado por Millán & Lavado (2023) y los umbrales a escala local de la quebrada Rosayoc/Batán. De esta comparación, se concluye que, los coeficientes de la ecuación potencial de los umbrales a escala regional ( $E = (\alpha \pm \Delta\alpha)D^{(\gamma \pm \Delta\gamma)}$ ) son coherentes con los coeficientes de los umbrales a escala local calibrados y validados de la quebrada Rosayoc/Batán.

Tabla 41

Resumen comparativo entre los umbrales a escala regional y los umbrales a escala local de la quebrada Rosayoc/Batán

LA													
Escenario	UMBRALES A ESCALA REGIONAL - NACIONAL			UMBRALES A ESCALA MICROCUENCA - LOCAL (ROSAYOC/BATÁN - SAN RAFAEL - AMBO)									
	E			UMBRALES LA ESTADÍSTICOS	E <sub>LA</sub>				UMBRALES LA MÍNIMOS			HK o TSS	
α	γ	TSS	α		±Δα	γ	±Δγ	α	γ	TSS			
Evento Entero (EE)	REGIÓN ANDES 2				LA1 5DÍAS (mm): E = (6.6 ± 0.7)D <sup>(0.43 ± 0.03)</sup>	6.60	0.70	0.43	0.03	LA1 MIN 5DÍAS (mm): E = (6.6 ± 0.7)D <sup>(0.43 - 0.03)</sup>	7.30	0.40	0.27
					LA1 18DÍAS (mm): E = (0.57 ± 0.06)D <sup>(0.784 ± 0.021)</sup>	0.57	0.06	0.784	0.021	LA1 MIN 18DÍAS (mm): E = (0.57 ± 0.06)D <sup>(0.784 - 0.021)</sup>	0.63	0.763	0.49
		14.28	0.47	0.28	LA2 5DÍAS (mm): E = D <sup>(0.870 ± 0.065)</sup>	1.00	-	0.870	0.065	LA2 MIN 5DÍAS (mm): E = D <sup>(0.870 - 0.065)</sup>	1.00	0.805	0.05
					LA2 6DÍAS (mm): E = D <sup>(0.670 ± 0.033)</sup>	1.00	-	0.670	0.033	LA2 MIN 6DÍAS (mm): E = D <sup>(0.670 - 0.033)</sup>	1.00	0.637	0.55
					LA2 7DÍAS (mm): E = D <sup>(0.568 ± 0.034)</sup>	1.00	-	0.568	0.034	LA2 MIN 7DÍAS (mm): E = D <sup>(0.568 - 0.034)</sup>	1.00	0.534	0.62
LAA													
Evento Antecedente (AE)	E			UMBRALES LAA ESTADÍSTICOS	E <sub>LAA</sub>				UMBRALES LAA MÍNIMOS			HK o TSS	
	α	γ	TSS		α	±Δα	γ	±Δγ	α	γ	TSS		
Evento Antecedente (AE)	REGIÓN ANDES 2				LAA2 3 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.521 ± 0.021)</sup>	1.00	-	0.521	0.021	LAA2 MÍN 3 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.521 - 0.021)</sup>	1.00	0.50	0.41
		11.54	0.61	0.39	LAA2 4 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.653 ± 0.073)</sup>	1.00	-	0.653	0.073	LAA2 MÍN 4 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.653 - 0.073)</sup>	1.00	0.580	0.15

---

LAA2 5 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.572 ± 0.020)</sup>	1.00	-	0.572	0.020	LAA2 MÍN 5 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.572 - 0.020)</sup>	1.00	0.552	0.38
LAA2 8 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.573 ± 0.010)</sup>	1.00	-	0.573	0.010	LAA2 MÍN 8 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.573 - 0.010)</sup>	1.00	0.563	0.40
LAA2 12 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.796 ± 0.004)</sup>	1.00	-	0.796	0.004	LAA2 MÍN 12 DÍAS (mm): E = D <sup>(0.796 - 0.004)</sup>	1.00	0.792	0.06

---

A la validación y confiabilidad anterior, se le añade otros aspectos, los cuales son:

- Para la validación y confiabilidad, de las fichas de registro de precipitaciones lluvia y los registros de los movimientos de flujo de detritos, primero se procedió a realizar un análisis de control de calidad como la extensión, homogeneidad y consistencia de los datos meteorológicos de las estaciones seleccionadas; segundo, a verificar la información de los movimientos de masa, obtenida no solo de una institución sino de varias, para así corroborar las fechas de los eventos ocurridos. Finalmente, se analizó y evaluó el tratamiento estadístico de la información pluviométrica, además de su relación con los eventos de movimientos de flujo de detritos ocurridos. Todo esto al ser procesado y modelado, mediante cálculos y sistemas computacionales, nos ayudó a poder generalizar los resultados a una población mayor.
- Este estudio realizó el proceso de validación y confiabilidad, con la ayuda de la topografía satelital, en donde se pudo corroborar y contrastar la información plasmada en los planos topográficos proporcionados por la Municipalidad Distrital de San Rafael.
- Los ensayos del estudio de suelos fueron auténticos y veraces, ya que fueron certificados por los responsables del laboratorio.

- Los ensayos del estudio de suelos se realizaron, según los criterios y parámetros establecidos por las normas y reglamentos de la American Society for Testing and Materials (ASTM), Norma Técnica Peruana (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.050).

### **3.8 Procedimiento**

#### ***3.8.1 Primer paso: determinación de las estaciones meteorológicas de la quebrada para la realización del estudio hidrológico de la quebrada Rosayoc/Batán.***

Como primer paso, se determinó las estaciones que nos proporcionarían los datos de precipitación, para luego establecer los umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Para la realización de lo mencionado, se tuvieron que delimitar hidrográficamente la microcuenca Rosayoc/Batán y hallar sus características climáticas y biogeográficas (ecológicas).

##### **3.8.1.1 Características de la cuenca.**

En este ítem, se describió a la microcuenca Rosayoc/Batán, que contiene a la quebrada del mismo nombre. Para lo cual, se desarrolló las siguientes características:

##### ***3.8.1.1.1 Delimitación hidrográfica de las subcuencas del distrito de San Rafael.***

El método **Pfafstetter** fue utilizado para delimitar las unidades hidrográficas de las subcuencas del distrito de San Rafael.

El método mencionado también se denomina Sistema de Codificación Pfafstetter y fue desarrollado por el ingeniero Otto Pfafstetter en 1989 - Brasil, luego difundido por Verdin y adoptado como norma internacional por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en 1997. Esta codificación es un método de asignación de identificadores

(Ids) a unidades de drenaje basado en la topografía y la topología de la superficie del terreno; en otras palabras, asigna Ids a una cuenca para relacionarla con sus cuencas vecinas, locales o internas. El proceso de codificación implica subdividir una cuenca hidrográfica, independientemente de su tamaño, además identifica y delimita los cuatro mayores afluentes del río principal en función de la superficie que ocupa cada una de las unidades hidrográficas de la cuenca. Las cuencas que corresponden a esos afluentes (tributarios) se codifican con los dígitos 2, 4, 6 y 8, en la dirección desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Asimismo, los otros tributarios del río principal serán agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, las cuales se codificarán en el mismo sentido que se mencionó, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9 (Autoridad Nacional del Agua [ANA] y Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos [DCPRH], 2012; Pfafstetter, 1989).

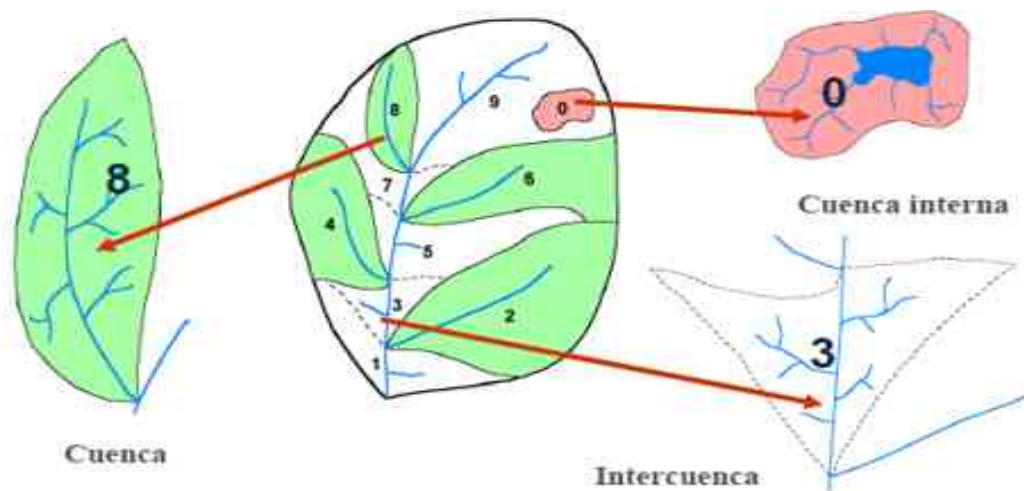
De acuerdo al sistema Pfafstetter, existen tres tipos de unidades de drenaje (ANA y DCPRH, 2012; Pfafstetter, 1989):

- **Cuenca:** es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje a través del curso del río, considerado como principal, al cual confluye.
- **Intercuenca:** es un área que recibe drenaje de otra unidad aguas arriba, exclusivamente, del curso del río considerado como el principal, y permite el paso de este hacia la unidad de drenaje contigua hacia aguas abajo. En otras palabras, una intercuenca, es una unidad de drenaje de tránsito del río principal.
- **Cuenca interna:** es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua (ver Figura 61 ).

La distinción entre río principal y tributario es en función del criterio del área drenada. Así, en cualquier confluencia, **el río principal será siempre aquel que posee la mayor área drenada entre ambos**. Denominándose cuencas, a las áreas drenadas por los tributarios e intercuenas a las áreas restantes drenadas por el río principal (ANA y DCPRH, 2012; Pfafstetter, 1989).

### Figura 61

*Tipos de unidades de drenaje.*



Fuente: ANA y DCPRH (2012).

En la presente investigación, se realizó la delimitación de las unidades de drenaje de la subcuenca del distrito de San Rafael, mediante la metodología de Pfafstetter. En consecuencia, se determinó que la zona estudio se ubica en la cuenca con código 4. También con la ayuda del método de Horton – Strahler se jerarquizó las redes de drenaje, en donde se observa que por la cuenca con código 4 recorre una red principal de 1° orden, así como de 2° y 3° orden. Para finalizar, de acuerdo con la clasificación de cuencas del informe presentado por DSMC y DGASI (1983), podemos clasificar a la cuenca con código 4 como una microcuenca que tiene por nombre Rosayoc/Batán, en donde se ubica nuestra zona de estudio.

Figura 62

*Microcuenca Rosayoc/Batán perteneciente a la Subcuenca San Rafael*

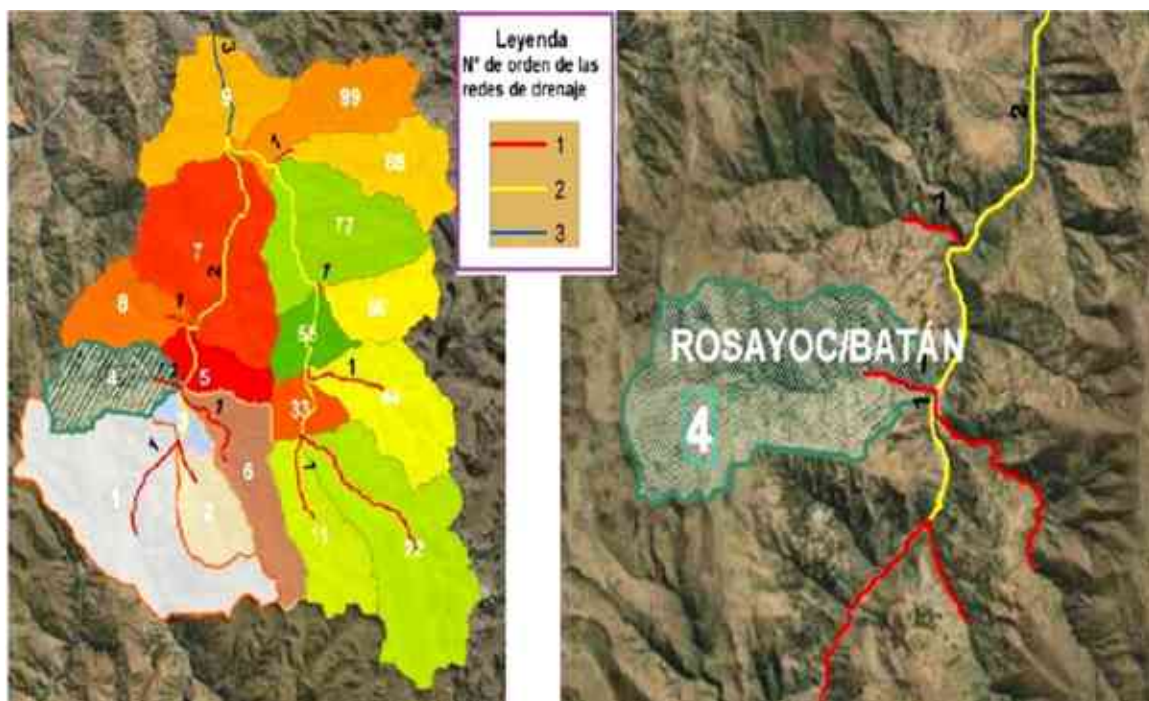
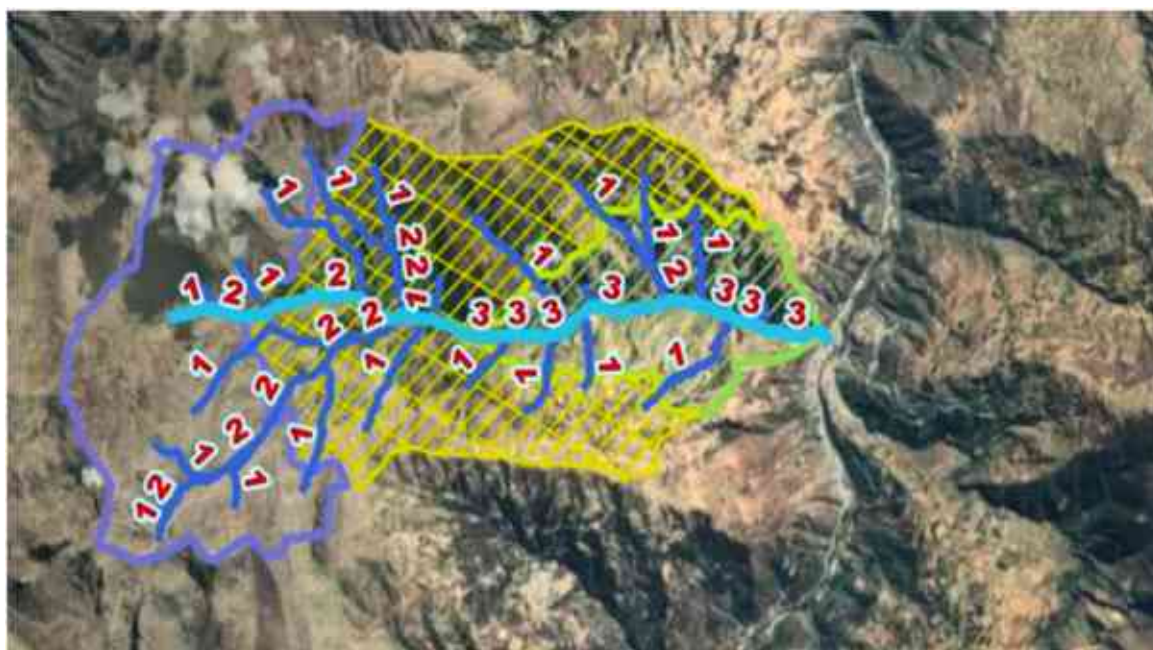


Figura 63

*Números de orden de la red de drenaje de la microcuenca Rosayoc/Batán*





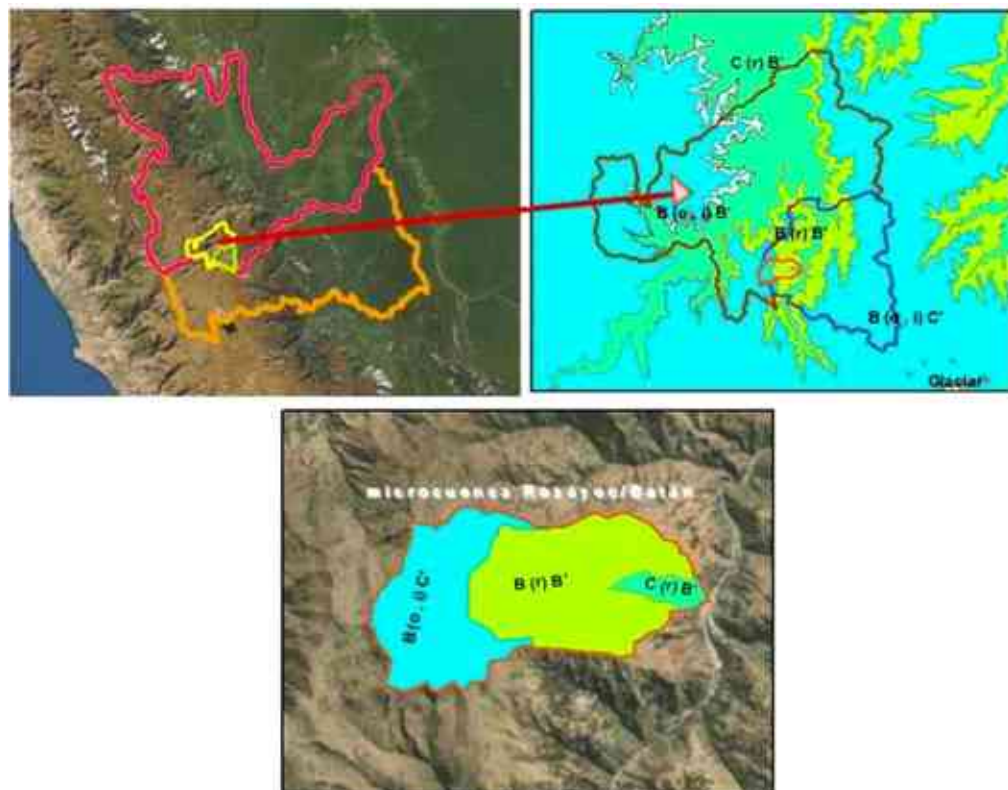
### 3.8.1.1.2 Zonas climáticas de la microcuenca Rosayoc/Batán.

En base, al mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI (2020) y desarrollado según el método de Thornthwaite, se determinó que la microcuenca Rosayoc/Batán está compuesta por tres sectores con diferentes características climáticas, las cuales son:

- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Zona de clima lluvioso/bosque con otoño e invierno seco/frío [**B (o, i) C'**].
- **Parte media de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Zona de clima lluvioso/bosque con abundante humedad en todas las estaciones del año/templado [**B (r) B'**].
- **Parte baja de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Zona de clima semiseco/pastizal con abundante humedad en todas las estaciones del año/templado [**C (r) B'**].

**Figura 64**

*Mapa de clasificación climática de la microcuenca Rosayoc/Batán*





*Nota*, mapa de clasificación climática de la microcuenca Rosayoc/Batán según el mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI (2020) y desarrollado según el método de Thornthwaite.

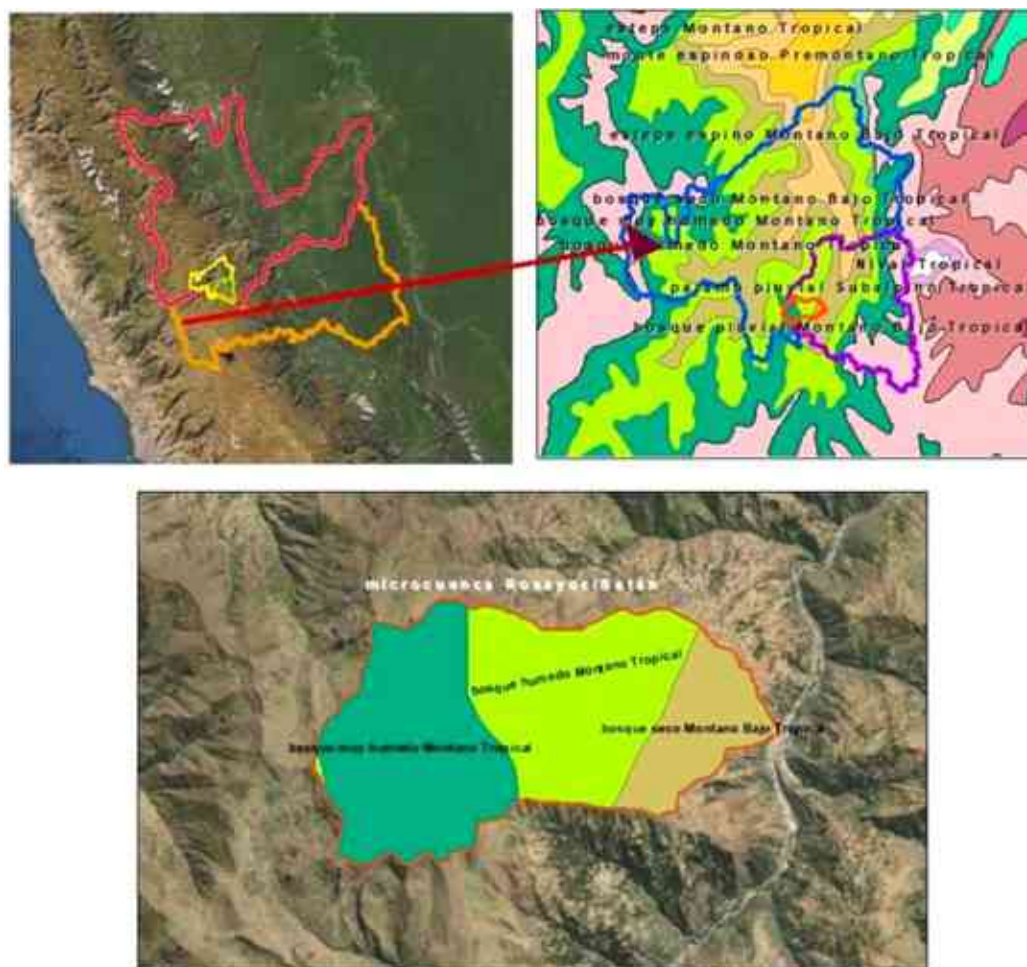
### **3.8.1.1.3 Zonas ecológicas o zonas de vida biogeográficas de la microcuenca Rosayoc/Batán.**

De acuerdo, con el mapa ecológico del Perú elaborado por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN] (1976) y desarrollado según el sistema de Holdridge, se estableció que la microcuenca Rosayoc/Batán está compuesta por tres sectores con distintas zonas ecológicas, las cuales son:

- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Geográficamente, se distribuyen en la región cordillera de los andes, desde los 2800 hasta cerca de los 3800 metros de altura sobre el nivel del mar. Esta zona de vida se caracteriza por tener una biotemperatura templada fría y una humedad clasificada en perhúmedo [**Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT)**].
- **Parte media de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Geográficamente, se distribuyen de norte a sur a lo largo de la región cordillera, entre 2800 y 3800 m.s.n.m., y a veces llega hasta 4000 metros de altitud. Esta zona de vida se caracteriza por tener una biotemperatura templada fría a cálida y una humedad clasificada en húmedo [**Bosque húmedo montano tropical (bh-MT)**].
- **Parte baja de la microcuenca Rosayoc/Batán:** Geográficamente, ocupan los valles mesoandinos, entre los 2500 y 3200 metros de altura. Esta zona de vida se caracteriza por tener una biotemperatura templada fría a cálida y una humedad clasificada en subhúmedo [**Bosque seco montano bajo tropical (bs - MBT)**].

Figura 65

Mapa Ecológico de la microcuenca Rosayoc/Batán



*Nota*, mapa ecológico de la microcuenca Rosayoc/Batán según el mapa ecológico del Perú elaborado por el ONERN (1976) y desarrollado según el sistema de Holdridge.

**Figura 66**

*Parte baja, media y alta de la microcuenca Rosayoc/Batán según sus zonas climáticas y ecológicas*



### **3.8.1.2 Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco en funcionamiento para la regionalización.**

Luego, se procedió a buscar información de datos de precipitación confiable de las estaciones meteorológicas que están en funcionamiento del departamento de Huánuco y Cerro de Pasco, ya que nuestra zona de estudio posee características climáticas y biogeográficas similares a esta región; con el fin de, evaluar y seleccionar las estaciones con mejor data de precipitación de lluvia para el análisis hidrológico.

### **3.8.1.3 Red de estaciones hidrometeorológicas.**

Según la base de datos del SENAMHI, en Huánuco existen 34 estaciones meteorológicas y 14 estaciones hidrométricas. De este total, solo 17 estaciones

hidrometeorológicas están en funcionamiento, de las cuales 13 son estaciones meteorológicas y 4 son estaciones hidrométricas. Estas últimas corresponden a la vertiente del Atlántico, identificándolas como Tingo María (río Huallaga), Higuera (río Higuera), San Rafael (río Huallaga) y Puerto Inca (río Pachitea) (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2012).

**Tabla 42**

*Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco – según la Autoridad Administrativa del Agua – [ANA]*

Código	Nombre	Sub Tipo	Estado	Autoridad	Administración	Cuenca	Operador
				Administrativa Del Agua	Local Del Agua	Hidrográfica	
000474	Aucayacu	Climática Ordinaria	Funcionando	Huallaga	Tingo María - Tocache	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000468	Tingo María Quiñones	Climática Principal	Funcionando	Huallaga	Tingo María - Tocache	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000453	La Divisoria	Climática Ordinaria	Funcionando	Huallaga	Tingo María - Tocache	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000469	Tulumayo	Meteorológica Agrícola Principal	Funcionando	Huallaga	Tingo María - Tocache	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000456	Jacas Chico	Climática Ordinaria	Funcionando	Huallaga	Alto Huallaga	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000454	Carpish	Climática Ordinaria	Funcionando	Huallaga	Alto Huallaga	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi
000457	Canchan	Climática Ordinaria	Funcionando	Huallaga	Alto Huallaga	Intercuenca Alto Huallaga	Senamhi

000404	Huánuco- Cayhuayna	Climática Ordinaria	Funcionand o	Huallaga	Alto Huallaga	Intercuencia Alto Huallaga	Senamhi
000552	San Rafael	Climática Ordinaria	Funcionand o	Huallaga	Alto Huallaga	Intercuencia Alto Huallaga	Senamhi
000455	Chaglla	Climática Ordinaria	Funcionand o	Ucayali	Pachitea	Cuenca Pachitea	Senamhi
000480	Tournavista	Climática Ordinaria	Funcionand o	Ucayali	Pachitea	Cuenca Pachitea	Senamhi
000478	Puerto Inca	Climática Ordinaria	Funcionand o	Ucayali	Pachitea	Cuenca Pachitea	Senamhi
004450	Dos De Mayo	Climática Ordinaria	Funcionand o	Marañón	Alto Marañón	Intercuencia Alto Marañón	Senamhi

V

*Fuente:* ANA (2012).

Conforme a la data histórica, se pudo observar que varias estaciones con el tiempo dejaron de estar en funcionamiento. Por ello, el SENAMHI, a partir del año 2016 ordenó y recopiló información, desde 1964 al 2014, con control de calidad de datos diarios de temperatura máxima y mínima, así como de precipitación; resultando 370 estaciones meteorológicas seleccionadas, a nivel nacional, por la calidad de su información. Esta información se puede encontrar libremente desde la web o solicitar en forma de investigación científica al SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2016).

Finalmente, en la siguiente tabla, se muestra 18 estaciones meteorológicas en el departamento de Huánuco, en funcionamiento, con información de calidad según el SENAMHI desde el año 2016 hasta la actualidad (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2016). Esta información se comparó y corroboró con la data de las estaciones existentes, que se mostraron anteriormente.

Tabla 43

*Estaciones meteorológicas del departamento de Huánuco y Cerro de Pasco – según el SENAMHI desde el año 2016 hasta la actualidad*

ESTACIONES METEOROLÓGICAS - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO									
Código	Nombre de la Estación	Sub Tipo	Estado	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)	Operador
4720E B14	San Martín	Automática - Meteorológica	Funcionando	Huamalíes	Chavín de Paríarca	-76.7648	-9.4039	3548	Senamhi
109094	Puca Puca	Automática - Meteorológica	Funcionando	Yarowilca	Chavinillo	-76.5909	-9.879	3584	Senamhi
109032	Puerto Inca	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Puerto Inca	Puerto Inca	-74.9638	-9.3851	212	Senamhi
4727A4F8	Puerto Inca	Automática - Meteorológica	Funcionando	Puerto Inca	Puerto Inca	-74.9608	-9.3814	253	Senamhi
47E845FC	Cachicoto	Automática - Meteorológica	Funcionando	Huamalíes	Monzón	-76.3503	-9.1836	1109	Senamhi
109082	Huánuco	Automática - Meteorológica	Funcionando	Huánuco	Huánuco	-76.2479	-9.9378	1947	Senamhi
109003	Huánuco- Amarilis- Cayhuayna	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Huánuco	Amarilis- Pillco Marca	-76.2486	-9.952	1947	Senamhi
100020	Canchan	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Huánuco	Huánuco	-76.3097	-9.921	1986	Senamhi
109021	Chaglla	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Pachitea	Chaglla	-75.9071	-9.8501	3032	Senamhi
110025	San Rafael	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Ambo	San Rafael	-76.1768	-10.3296	2687	Senamhi
109022	Jacas Chico	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Yarowilca	Jacas Chico	-76.5001	-9.8835	3673	Senamhi
109077	Dos De Mayo	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Dos de Mayo	Pachas	-76.7596	-9.6711	3442	Senamhi
109027	Tingo María	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Leoncio Prado	Rupa- Rupa	-76.0005	-9.3102	657	Senamhi
109020	Carpish	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Huánuco	Chinchao	-76.0943	-9.7057	2540	Senamhi
108025	La Divisoria	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Leoncio Prado	Hermilio Valdizán	-75.8092	-9.1671	1961	Senamhi
109028	Tulumayo	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Leoncio Prado	José Crespo y Castillo	-76.0094	-9.1471	612	Senamhi
108033	Aucayacu	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Leoncio Prado	José Crespo y Castillo	-76.1117	-8.9299	586	Senamhi
108034	Tournavista	Convencional - Meteorológica	Funcionando	Puerto Inca	Tournavista	-74.7088	-8.9275	213	Senamhi

ESTACIONES METEOROLÓGICAS - DEPARTAMENTO DE CERRO DE PASCO

Código	Nombre de la Estación	Sub Tipo	Estado	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)	Operador
110007	Yanahuanca	Meteorológica	Funcionando	Daniel Alcides Carrión	Yanahuanca	-76.5129	-10.4896	3137	Senamhi
110037	Cerro de Pasco	Meteorológica	Funcionando	Pasco	Chaupimarca	-76.2642	-10.6934	4357	Senamhi
110027	Pozuzo	Meteorológica	Funcionando	Oxapampa	Pozuzo	-75.5462	-10.0868	746	Senamhi
110028	Oxapampa	Meteorológica	Funcionando	Oxapampa	Chontabamba	-75.4184	-10.5642	1801	Senamhi
110137	12 De Octubre	Meteorológica	Funcionando	Daniel Alcides Carrión	Yanahuanca	-76.5293	-10.6064	3848	Senamhi
4725D79C	Oxapampa	Meteorológica	Funcionando	Oxapampa	Huancabamba	-75.3842	-10.5942	1850	Senamhi
109093	Puerto Bermúdez	Meteorológica	Funcionando	Oxapampa	Puerto Bermúdez	-74.9436	-10.2862	253	Senamhi

**Nota**, estos datos se encuentran en la página web:

<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

### 3.8.1.4 Determinación de las regiones homogéneas del departamento de Huánuco y la zona de estudio.

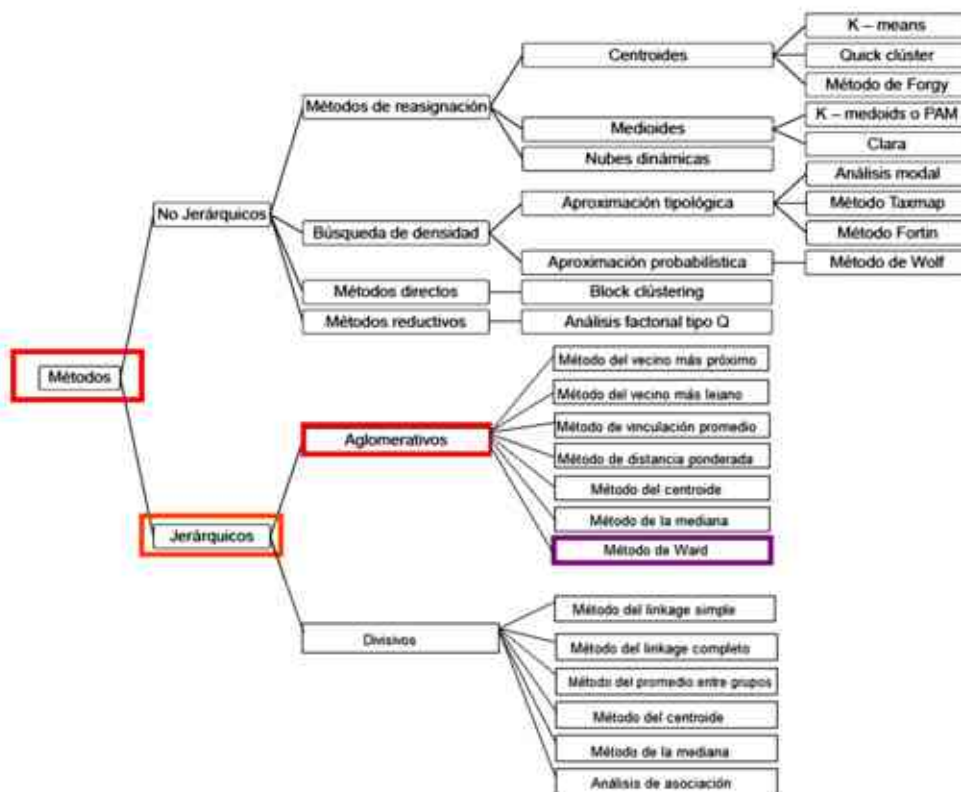
Después de lo anterior, se empezó a buscar **estaciones vecinas** o próximas que sean regionalmente homogéneas con la estación que está en los límites de la zona de estudio. Dentro de los límites de esta, solo se cuenta con una sola estación (San Rafael), lo cual conlleva a tener poca información para el análisis del comportamiento hidrológico de toda el área de la zona de estudio. Por ello, la **regionalización** se utiliza en hidrología para denominar la transferencia de información de un sitio a otro dentro de un área de comportamiento hidrológico similar, la cual se emplea para obtener información hidrológica en sitios sin datos o con poca información (SENAMHI, 2013).

### 3.8.1.4.1 Agrupación de las estaciones meteorológicas mediante el método clúster.

- Se logró determinar las regiones homogéneas mediante el método de clúster. Por lo cual decidimos optar por el procedimiento de tipo jerárquico aglomerativo, dado que, es el más práctico para conformar regiones en presencia de una muestra pequeña y cuando se desconoce el número determinado de agrupaciones o clústeres a formar. Todo lo mencionado anteriormente, se realizó como un primer procedimiento. Luego, se realizó el análisis de agrupación jerárquica en base al algoritmo Ward, puesto que, el método de Ward es uno de los más utilizados en la práctica, ya que se acerca más a la clasificación óptima en comparación con otros métodos y minimiza la varianza intragrupal, por tanto, maximiza la homogeneidad dentro del clúster.

**Figura 67**

*Clasificación de la metodología de análisis clúster*



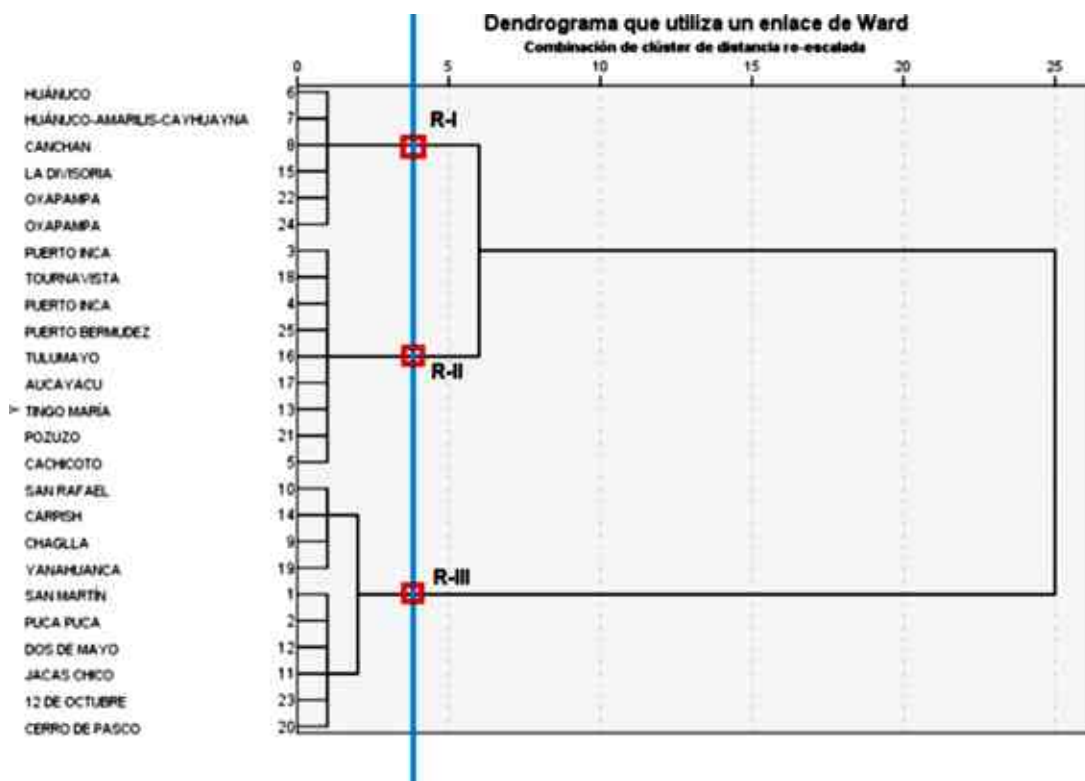


Fuente: Calvo (como se citó en Cedano Niño, 2020).

- En seguida, seleccionamos las variables relevantes a los objetivos del estudio (estación meteorológica), para ello consideramos las variables predictoras o vectores característicos como la longitud, latitud, altitud, exceptuando la variable precipitación total anual de la estación; dado que, no se tenía una información completa y confiable de la precipitación total anual de cada estación. Por ello, en este método solo se utilizó las otras variables mencionadas, por ende, se trabajó con las ubicaciones geográficas de las estaciones que se encuentran en regiones homogéneas, próximas o cercanas, a la estación San Rafael. Finalmente, se eligió un número óptimo de clústeres, de acuerdo al lugar donde se cortó el dendrograma, por medio de una línea horizontal; que para este caso la línea de corte nos muestra 3 clústeres: Región I, Región II y Región III.
- **Dendrograma:** para agrupar las estaciones meteorológicas se utilizó el algoritmo de Ward que maximiza la homogeneidad. Este, agrupa según las variables predictoras de cada estación, como latitud, longitud y altitud.

**Figura 68**

*Dendrograma de agrupamiento en base al método de Ward*



- La Tabla 44, muestra las variables predictoras que se eligieron para conformar regiones homogéneas, a partir del clúster, obtenidas mediante el algoritmo de Ward. Aquí, se puede apreciar que la estación de San Rafael (única estación dentro de los límites de la microcuenca Rosayoc/Batán) está localizada en la Región I.

**Tabla 44**

*Agrupación de las estaciones mediante el método clúster*

N°	Estación	Lat	Long	Alt (M.S.N.M)	Proximidad con respecto a la estación San Rafael	Clúster (Clu3 _1)	Región
1	SAN RAFAEL	-10.3292	-76.1765	2722	0.00	1	1

2	YANAHUANCA	-10.4896	-76.5129	3137	40835.09	1	
3	CERRO DE PASCO	-10.6934	-76.2642	4357	41350.00	1	
4	12 DE OCTUBRE	-10.6064	-76.5293	3848	49254.91	1	
5	CHAGLLA	-9.8503	-75.9067	3036	60708.84	1	
6	JACAS CHICO	-9.8847	-76.5009	3724	60749.28	1	
7	PUCA PUCA	-9.8790	-76.5909	3584	67410.51	1	
8	CARPISH	-9.7057	-76.0943	2540	69590.57	1	
9	DOS DE MAYO	-9.6711	-76.7596	3442	96887.76	1	
10	SAN MARTÍN	-9.4039	-76.7648	3548	121009.01	1	
11	POZUZO	-10.0868	-75.5462	746	74103.45	2	
12	TINGO MARÍA	-9.3102	-76.0005	657	114379.10	2	
13	CACHICOTO	-9.1836	-76.3503	1109	128157.51	2	
14	TULUMAYO	-9.1471	-76.0094	612	132052.35	2	
15	PUERTO BERMUDEZ	-10.2862	74.9436	253	135119.02	2	2
16	AUCAYACU	-8.9299	-76.1117	586	154953.34	2	
17	PUERTO INCA 1	-9.3851	-74.9638	212	169106.83	2	
18	PUERTO INCA 2	-9.3814	-74.9608	253	169613.13	2	
19	TOURNAVISTA	-8.9275	-74.7088	213	223553.00	2	
20	HUÁNUCO- AMARILIS- CAYHUAYNA	-9.9520	-76.2486	1947	42494.24	3	3
21	HUÁNUCO	-9.9378	-76.2479	1947	44027.45	3	

22	CANCHAN	-9.9210	-76.3096	1968	47475.16	3
23	OXAPAMPA 1	-10.5642	-75.4184	1801	86960.54	3
24	OXAPAMPA 2	-10.5942	-75.3842	1850	91547.36	3
25	LA DIVISORIA	-9.1671	-75.8092	1961	134723.80	3

- En resumen, cabe señalar que el proceso estadístico de agrupamiento fue reiterativo mediante los diferentes procedimientos, que se observan en la Figura 67, hasta obtener regiones coherentes con las características climáticas (SENAMHI) y biogeográficas (ONERN) de la microcuenca Rosayoc/Batán donde se encuentra la estación San Rafael. En este caso se determinaron 3 Regiones homogéneas próximas a la estación San Rafael en toda la región de Huánuco.

#### Tabla 45

*Agrupación clúster de las estaciones de Huánuco y Pasco, según las zonas climáticas y ecológicas a las que pertenecen.*

Estación	Departamento	Provincia	Distrito	Código_ Clima_SE NAMHI	Zonas de vida ecológica_O NERN	Región
SAN RAFAEL	Huánuco	Ambo	San Rafael	C (r) B'	Bosque Seco Montano Bajo Tropical	
YANAHUANCA	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Yanahuanca	C (r) B'	Bosque Húmedo Montano Tropical	1
CERRO DE PASCO	Pasco	Pasco	Chaupimarca	B (o, i) C'	Páramo Muy Húmedo Subalpino Tropical	

---

12 DE OCTUBRE	Pasco	Daniel Alcides Carrion	Yanahuanca	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical
CHAGLLA	Huánuco	Pachitea	Chaglla	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical
JACAS CHICO	Huánuco	Yarowilca	Jacas Chico	B (o, i) C'	Páramo Pluvial Subalpino Tropical
PUCA PUCA	Huánuco	Yarowilca	Chavinillo	B (o, i) C'	Bosque Húmedo Montano Tropical
CARPISH	Huánuco	Huánuco	Chinchao	A (r) B'	Bosque Pluvial Montano Bajo Tropical
DOS DE MAYO	Huánuco	Dos de Mayo	Pachas	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical
SAN MARTÍN	Huánuco	Huamalíes	Chavín de Pariarca	B (o, i) C'	Bosque Seco Montano Bajo Tropical
POZUZO	Pasco	Oxapampa	Pozuzo	B (r) A'	Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical (Transicional A Bosque
TINGO MARÍA	Huánuco	Leoncio Prado	Rupa-Rupa	A (r) A'	Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical (Transicional A Bosque
CACHICOTO	Huánuco	Huamalíes	Monzón	B (r) B'	Bosque Pluvial Premontano Tropical

---

---

TULUMAYO	Huánuco	Leoncio Prado	José Crespo y Castillo	A (r) A'	Bosque Húmedo Tropical (Transicional A Bosque Muy Húmedo Tropical)
PUERTO BERMUDEZ	Pasco	Oxapampa	Puerto Bermudez	C (i) A'	Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical (Transicional A Bosque
AUCAYACU	Huánuco	Leoncio Prado	José Crespo y Castillo	A (r) A'	Bosque Muy húmedo Premontano Tropical (Transicional A Bosque
PUERTO INCA 1	Huánuco	Puerto Inca	Puerto Inca	B (r) A'	Bosque Húmedo Tropical
PUERTO INCA 2	Huánuco	Puerto Inca	Puerto Inca	B (r) A'	Bosque Húmedo Tropical
TOURNAVISTA	Huánuco	Puerto Inca	Tournavista	B (r) A'	Bosque Húmedo Tropical
HUÁNUCO- AMARILIS- CAYHUAYNA	Huánuco	Huánuco	Amarilis-Pillco Marca	C (r) B'	Monte Espinoso Premontano Tropical
HUÁNUCO	Huánuco	Huánuco	Huánuco	C (r) B'	Monte Espinoso Premontano Tropical
CANCHAN	Huánuco	Huánuco	Huánuco	C (r) B'	Monte Espinoso Premontano Tropical

---

---

OXAPAMPA 1	Pasco	Oxapampa	Chontabamba	B (r) B'	Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical
OXAPAMPA 2	Pasco	Oxapampa	Huancabamba	B (r) B'	Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical
LA DIVISORIA	Huánuco	Leoncio Prado	Hermilio Valdizán	A (r) B'	Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical

---

**3.8.1.4.2 Estaciones que se ubican en regiones homogéneas a la región donde se encuentra la estación San Rafael.**

**Región homogénea I:** La estación San Rafael se encuentra en la parte baja de la microcuenca Rosayoc/Batán, y en base a lo que determinamos por medio del método de clúster podemos decir que las estaciones Yanahuanca, Cerro de Pasco, 12 de Octubre, Chaglla, Jacas Chico, Puca Puca, Carpish, Dos de Mayo y San Martín pertenecen a la región homogénea I. De todas estas estaciones se selecciona las que tienen características climáticas y biogeográficas similares a la microcuenca Rosayoc/Batán. En este caso la microcuenca, está conformada por 3 partes o sectores los cuales son:

- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** esta parte es similar en características climáticas y biogeográficas a la zona donde se ubican las estaciones 12 de octubre, Chaglla y Dos de Mayo.
- **Parte media de la microcuenca Rosayoc/Batán:** esta parte es similar en características climáticas y biogeográficas a la zona donde se ubican las estaciones Yanahuanca y Puca Puca.
- **Parte baja de la microcuenca Rosayoc/Batán:** en esta parte se ubica una única estación (San Rafael).

**Tabla 46**

*Estaciones que se ubican en regiones homogéneas a la región donde se encuentra la estación San Rafael*

<b>N°</b>	<b>Estación</b>	<b>Código_C lima _Senamhi</b>	<b>Zonas de Vida_Ecológica_O NERN</b>	<b>Sectores de la microcuen ca_ Rosayoc/B atán</b>	<b>Proximidad con respecto a la Estación SAN RAFAEL (m)</b>	<b>Región</b>
1	San Rafael	C (r) B'	Bosque Seco Montano Bajo Tropical	parte baja	0.00	
2	Yanahuanca	C (r) B'	Bosque Húmedo Montano Tropical	parte media	40835.09	
3	Cerro de Pasco	B (o, i) C'	Paramo Muy Húmedo Subalpino Tropical		41350.00	
4	12 de octubre	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical	parte alta	49254.91	1
5	Chaglla	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical	parte alta	60708.84	
6	Jacas Chico	B (o, i) C'	Paramo Pluvial Subalpino Tropical		60749.28	
7	Puca Puca	B (o, i) C'	Bosque Húmedo Montano Tropical	parte media	67410.51	



---

8	Carpish	A (r) B'	Bosque Pluvial Montano Bajo Tropical		69590.57
9	Dos de Mayo	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical	parte alta	96887.76
10	San Martín	B (o, i) C'	Bosque Seco Montano Bajo Tropical		121009.01

---

### ***3.8.1.4.3 Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico.***

Después de haber identificado las estaciones que se encuentran en regiones homogéneas a la zona donde se ubica la estación San Rafael, se procedió a elegir las estaciones más próximas, y similares en características climáticas y biogeográficas, con información más detallada y de datos confiables. Las estaciones seleccionadas para el estudio hidrológico de la microcuenca Rosayoc/Batán son:

- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** para esta parte de la microcuenca, se eligió la estación Chaglla, ya que el SENAMHI nos proporcionó una información más detallada y confiable en datos. También por ser la segunda estación más próxima a la de San Rafael en comparación con la estación 12 de octubre.
- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** para esta parte de la microcuenca, se eligió la estación Yanahuanca por ser la más próxima a la estación San Rafael, y por tener una información más detallada y confiable en datos, en comparación con la estación Puca Puca.
- **Parte alta de la microcuenca Rosayoc/Batán:** en esta parte se ubica una única estación (San Rafael).

**Tabla 47***Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico*

N°	Estación	Código_Clima_Senamhi	Zonas de vida_Ecológica_ONERN	Sectores de la microcuenc a_ Rosayoc/Ba tán	Proximidad con respecto a la Estación SAN RAFAEL (m)	Región
1	San Rafael	C (r) B'	Bosque Seco Montano Baji Tropical	parte baja	0.00	
2	Yanahuanca	C (r) B'	Bosque Húmedo Montano Tropical	parte media	40835.09	1
5	Chaglla	B (o, i) C'	Bosque Muy Húmedo Montano Tropical	parte alta	60708.84	

**Tabla 48***Datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico*

ESTACIONES METEOROLÓGICAS - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO								
Código	Nombre de la Estación	Sub Tipo	Provincia	Distrito	Longitud - Oeste	Latitud - Sur	Altitud (m.s.n.m)	Operador
110025	San Rafael	Convencional Meteorológica	Ambo	San Rafael	-76.1765	-10.3292	2722	Senamhi
109021	Chaglla	Convencional Meteorológica	Pachitea	Chaglla	-75.9067	-9.8503	3036	Senamhi

---

**ESTACIONES METEOROLÓGICAS - DEPARTAMENTO DE CERRO DE PASCO**

Código	Nombre de la Estación	Sub Tipo	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud (m.s.n.m.)	Operador
110007	Yanahuanca	Meteorológica	Daniel Alcides Carrión	Yanahuanca	-76.5081	-10.4914	3190	Senamhi

---

**Nota,** estos datos fueron proporcionados por el SENAMHI – Anexo 09 y Cordova Mendoza (2017) (Elaboración propia con datos del SENAMHI).

### **3.8.2 Segundo paso: determinación de umbrales críticos de lluvia que detonan movimientos de flujo de detritos.**

De lo determinado anteriormente, se escoge trabajar con la estación meteorológica San Rafael, ya que, solo de esta estación se pudo conseguir información confiable de precipitación diaria de lluvia; además de ser la única estación adyacente a la quebrada Rosayoc/Batán.

Luego, se realizó el análisis de consistencia y estadístico de consistencia de datos (estudio hidrológico), que consiste en verificar y evaluar la calidad, homogeneidad y consistencia de los datos de precipitación acumulada diaria de la estación de San Rafael.

#### **3.8.2.1 Relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos.**

Para establecer la relación entre la precipitación de lluvia y los movimientos de flujo de detritos, se asoció cada movimiento de flujos detritos con una serie de lluvia diaria acumulada (LA y LAA). Asimismo, esto se logró mediante los registros de movimientos de masa generados en el distrito de San Rafael y los registros de precipitaciones diarias de lluvia de la estación meteorológica San Rafael.

**Tabla 49**

*Relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos del distrito de San Rafael*

<b>FECHA</b>	<b>FENÓMENO</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>PROVINCIA</b>	<b>DISTRITO</b>
09/01/1994	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
10/02/1994	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
19/02/1994	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
10/01/1998	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
26/09/1999	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
29/11/2006	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
25/01/2010	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
07/02/2010	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
09/04/2010	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
25/03/2011	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
25/03/2011	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
17/01/2013	ALUVIÓN (HUAYCO)	HUANUCO	AMBO	SAN RAFAEL
26/02/2016	ALUVIÓN	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
06/03/2017	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
23/01/2018	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
17/03/2018	DESLIZAMIENTO DE TIERRA	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
15/01/2019	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
27/01/2019	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL

03/04/2019	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
05/04/2019	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL
05/05/2019	HUAYCO	HUÁNUCO	AMBO	SAN RAFAEL

### **3.8.2.2 Construcción de las series parciales de los umbrales empíricos de lluvia.**

Para la realización de este análisis hidrológico, se empezó a generar series parciales de lluvia diaria acumulada con sus respectivas duraciones (D) en días. Estas series son sumas acumuladas regresivas de precipitaciones diarias de lluvia; iniciando desde el día en que ocurrió el movimiento de flujo de detritos hasta el día en que no hay lluvia, este procedimiento se hizo siguiendo lo mencionado en el ítem 2.2.4.1.1, tanto para la Lluvia Acumulada (LA) como para la Lluvia Acumulada Antecedente (LAA). Además, para representar estas series de lluvias acumuladas (LA y LAA) se realizó gráficas en forma regresiva; asimismo, se obtienen varias series de umbrales de precipitación de lluvia, ya que, después de períodos cortos de no-lluvia se reactivaron otros períodos de lluvia, los cuales dependen de la intensidad de lluvia de la zona (Mayorga Márquez, 2003). Para esta investigación, se estableció series de lluvia acumulada detonante (LA) de 1, 2, 5, 6, 7, 11, 12, 18 y 38 días; y series de lluvia acumulada antecedente (LAA) de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 38 días.

**Figura 69**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 1994*



**Figura 70**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 1998*



**Figura 71**

Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 1999

**Figura 72**

Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA) del año 2006







**Figura 75**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2013*



**Figura 76**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2016*



**Figura 77**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2017*



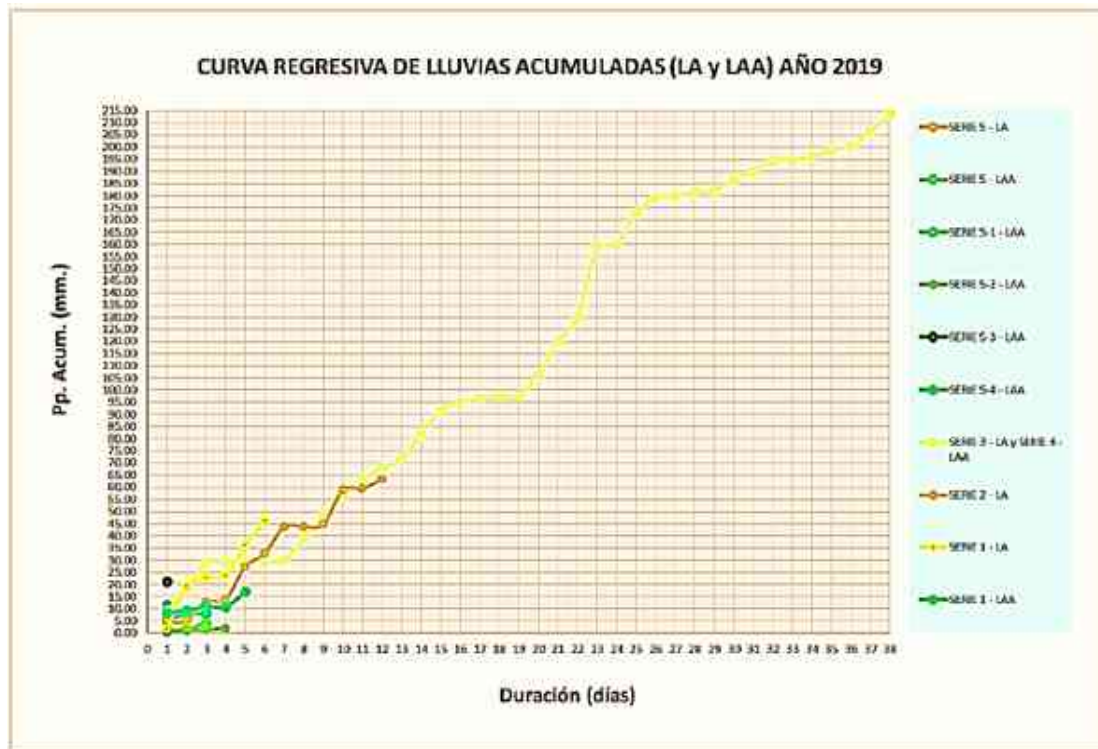
**Figura 78**

*Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2018*



Figura 79

Curva regresiva de lluvias acumuladas (LA y LAA) del año 2019



### 3.8.2.3 Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA).

Conforme a lo expuesto en la teoría, y luego de la construcción de series parciales de los umbrales empíricos, se procedió a establecer los umbrales estadísticos mediante la ley de la potencia en coordenadas lineales (relación logarítmica) y la estadística no paramétrica. Asimismo, la confiabilidad de un umbral estadístico de precipitación de lluvia que detona movimientos de flujo de escombros está relacionado con las incertidumbres relativas  $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ . Es decir, esto se puede desarrollar a través del análisis de dependencia de los parámetros del modelo ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\Delta\alpha$  y  $\Delta\gamma$ ). Adicionalmente, de acuerdo con Peruccacci et al. (2012), se estableció que las incertidumbres ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ) deben

ser menores, próximos, o iguales al 10 por ciento; con el objetivo, de obtener resultados confiables.

**Tabla 50**

*Resumen de datos para la calibración y validación de los umbrales de precipitación de lluvia de la quebrada Rosayoc/Batán*

<b>Periodo de estudio 1994 - 2019 (1994, 1998, 1999, 2006, 2010, 2011, 2013, 2016, 2017, 2018 y 2019)</b>	<b>11 años</b>	
Eventos de precipitación	1757	100%
Eventos de precipitación que resultaron en flujo de detritos y/o deslizamientos de tierra	323	18%
Eventos de precipitación que no cuentan con información de flujo de detritos y/o deslizamientos de tierra	1434	82%

**Tabla 51**

*Número de eventos de precipitación para la calibración y validación de los umbrales de precipitación de lluvia de la quebrada Rosayoc/Batán*

<b>Calibración de los eventos de precipitación que detonaron flujo de detritos y/o deslizamientos de tierra</b>	<b>304</b>	<b>94%</b>
<b>Validación de los eventos de precipitación que detonaron flujo de detritos y/o deslizamientos de tierra</b>	<b>323</b>	<b>100%</b>
Validación de los eventos de precipitación que no cuentan con información de flujo de detritos y/o deslizamientos de tierra	1434	82%
<b>Validación total de los eventos de precipitación</b>	<b>1757</b>	<b>100%</b>

Tabla 52

Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia acumulada detonante (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán

UMBRALES LA CALIBRADOS - AÑOS 1994 - 2019 (11 AÑOS)								
ECUACIÓN DE UMBRALES ESTADÍSTICOS LA	TR	PROB DE EXCEDENCIA (KERNEL)	$\alpha$	$\pm\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\gamma$	$\pm\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma$
$E = (0.57 \pm 0.06)D^{(0.784 \pm 0.021)}$	10 - 500	0.00% - 7.61%	0.57	0.06	10.53%	0.784	0.021	2.68%
$E = (0.41 \pm 0.07)D^{(0.919 \pm 0.028)}$	10 - 500	0.00% - 6.82%	0.41	0.07	17.07%	0.919	0.028	3.05%
$E = (0.08 \pm 0.03)D^{(1.214 \pm 0.089)}$	10 - 500	0.00% - 7.03%	0.08	0.03	37.50%	1.214	0.089	7.33%
$E = D^{(0.670 \pm 0.033)}$	15 - 500	0.00% - 6.31%				0.670	0.033	4.93%
$E = (0.16 \pm 0.07)D^{(1.005 \pm 0.092)}$	15 - 500	0.00% - 6.18%	0.16	0.07	43.75%	1.005	0.092	9.15%
$E = D^{(0.568 \pm 0.034)}$	20 - 500	0.00% - 4.34%				0.568	0.034	5.99%
$E = (6.6 \pm 0.7)D^{(0.43 \pm 0.03)}$	20 - 500	0.00% - 4.38%	6.6	0.7	10.61%	0.43	0.03	6.98%
$E = D^{(0.870 \pm 0.065)}$	25 - 500	0.00% - 2.92%				0.870	0.065	7.47%
$E = (18.6 \pm 2.2)D^{(0.15 \pm 0.03)}$	25 - 500	0.00% - 3.51%	18.6	2.2	11.83%	0.15	0.03	20.00%
$E = (0.04 \pm 0.03)D^{(1.628 \pm 0.322)}$	25 - 500	0.00% - 2.36%	0.04	0.03	75.00%	1.628	0.322	19.78%
$E = (0.0121 \pm 0.0115)D^{(1.953 \pm 0.411)}$	25 - 500	0.00% - 2.67%	0.0121	0.0115	95.04%	1.953	0.411	21.04%
$E = (0.000542 \pm 0.000527)D^{(2.698 \pm 0.501)}$	25 - 500	0.00% - 2.79%	0.000542	0.000527	97.23%	2.698	0.501	18.57%
$E = (3.1 \pm 0.7)D^{(0.71 \pm 0.05)}$	50 - 500	0.00% - 1.92%	3.10	0.70	22.58%	0.71	0.05	7.04%

Tabla 53

*Calibración de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia acumulada  
antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán*

UMBRALES LAA CALIBRADOS - AÑOS 1994 - 2019 (11 años)								
ECUACIÓN DE UMBRALES LAA	TR	PROB DE EXCEDENCI A (KERNEL)	$\alpha$	$\pm\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\gamma$	$\pm\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma$
$E = D^{(0.573 \pm 0.010)}$	10 - 500	0.00% - 8.39%				0.573	0.010	1.75%
$E = (0.034 \pm 0.003)D^{(1.400 \pm 0.027)}$	10 - 500	0.00% - 7.32%	0.034	0.003	8.82%	1.400	0.027	1.93%
$E = D^{(0.572 \pm 0.020)}$	10 - 500	0.00% - 8.39%				0.572	0.020	3.50%
$E = (0.04 \pm 0.01)D^{(1.293 \pm 0.049)}$	10 - 500	0.00% - 11.33%	0.04	0.01	25.00%	1.293	0.049	3.79%
$E = D^{(0.521 \pm 0.021)}$	10 - 500	0.00% - 6.84%				0.521	0.021	4.03%
$E = (0.0023 \pm 0.0009)D^{(1.954 \pm 0.115)}$	10 - 500	0.00% - 7.92%	0.002	0.001	39.13%	1.954	0.115	5.89%
$E = (0.09 \pm 0.03)D^{(1.051 \pm 0.085)}$	10 - 500	0.00% - 8.13%	0.09	0.03	33.33%	1.051	0.085	8.09%
$E = (0.12 \pm 0.05)D^{(1.047 \pm 0.093)}$	10 - 500	0.00% - 10.15%	0.12	0.05	41.67%	1.047	0.093	8.88%
$E = (0.009 \pm 0.004)D^{(1.623 \pm 0.105)}$	10 - 500	0.00% - 9.03%	0.009	0.004	44.44%	1.623	0.105	6.47%
$E = (0.02 \pm 0.01)D^{(1.394 \pm 0.134)}$	10 - 500	0.00% - 8.66%	0.02	0.01	50.00%	1.394	0.134	9.61%
$E = (0.02 \pm 0.01)D^{(1.532 \pm 0.162)}$	10 - 500	0.00% - 7.66%	0.02	0.01	50.00%	1.532	0.162	10.57%
$E = D^{(0.653 \pm 0.073)}$	10 - 500	0.00% - 7.93%				0.653	0.073	11.18%
$E = (0.09 \pm 0.05)D^{(1.195 \pm 0.157)}$	10 - 500	0.00% - 8.45%	0.09	0.05	55.56%	1.195	0.157	13.14%
$E = (0.06 \pm 0.04)D^{(1.367 \pm 0.170)}$	10 - 500	0.00% - 6.96%	0.06	0.04	66.67%	1.367	0.170	12.44%

$E = (0.04 \pm 0.03)D^{(1.391 \pm 0.221)}$	10 - 500	0.00% - 9.61%	0.04	0.03	75.00%	1.391	0.221	15.89%
$E = (0.00290 \pm 0.00275)D^{(2.107 \pm 0.391)}$	10 - 500	0.00% - 7.34%	0.00290	0.00275	94.83%	2.107	0.391	18.56%
$E = (4.5 \pm 1.5)D^{(0.46 \pm 0.07)}$	15 - 500	0.00% - 6.34%	4.5	1.5	33.33%	0.46	0.07	15.22%
$E = (4.3 \pm 1.7)D^{(0.47 \pm 0.10)}$	15 - 500	0.00% - 6.28%	4.3	1.7	39.53%	0.47	0.10	21.28%
$E = (0.012 \pm 0.007)D^{(1.773 \pm 0.149)}$	15 - 500	0.00% - 5.94%	0.012	0.007	58.33%	1.773	0.149	8.40%
$E = (0.16 \pm 0.11)D^{(1.152 \pm 0.175)}$	15 - 500	0.00% - 6.19%	0.16	0.11	68.75%	1.152	0.175	15.19%
$E = D^{(0.796 \pm 0.004)}$	20 - 500	0.00% - 4.96%				0.796	0.004	0.50%
$E = D^{(0.901 \pm 0.022)}$	25 - 500	0.00% - 2.59%				0.901	0.022	2.44%
$E = D^{(0.838 \pm 0.029)}$	25 - 500	0.00% - 3.48%				0.838	0.029	3.46%
$E = (0.05 \pm 0.02)D^{(0.821 \pm 0.126)}$	25 - 500	0.00% - 3.98%	0.05	0.02	40.00%	0.821	0.126	15.35%

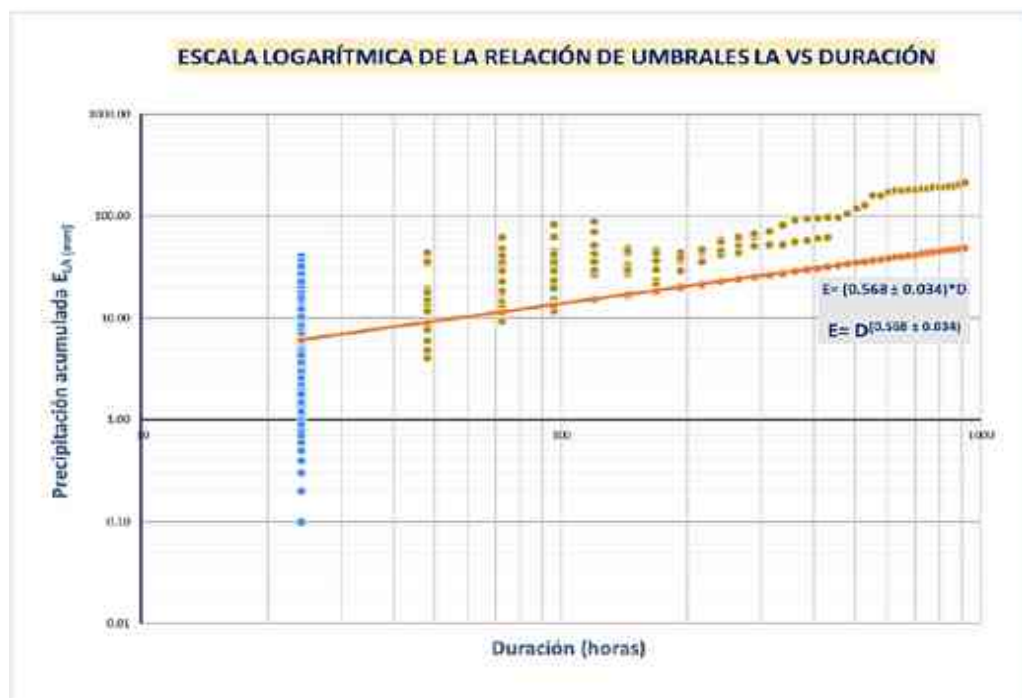
### 3.8.2.4 Validación de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA).

La validación tiene como objetivo mostrar el potencial de la capacidad de predecir o diferenciar eventos de lluvia desencadenantes y no desencadenantes. Por tal motivo, después de determinar los umbrales estadísticos y las incertidumbres asociadas, así como su calibración, se procede a validar el desempeño de estos umbrales estadísticos calibrados. Por lo cual, se utiliza la metodología definida por Gariano et al. (2015), quienes señalan que para propósitos de validación, un umbral de precipitación de lluvia puede ser considerado como un clasificador binario de las condiciones de precipitación (Tabla 10), ya que pueden ser probables, o no probables, de resultar en movimientos de flujo de detritos. Asimismo, para poder efectuar esta validación se empleó la curva ROC, la cual analiza la capacidad predictiva de los umbrales estadísticos calibrados. Además,

mediante el gráfico de curva ROC se ilustra la "proporción de verdaderos positivos" (eje Y) versus la "proporción de falsos positivos" (eje X) para cada punto de corte del test de diagnóstico de umbrales, cuya escala de medición es continua. Luego, a modo de referencia, se traza una línea desde el punto (0,0) al punto (1,1), la cual es denominada diagonal de referencia o línea de no-discriminación. Esta línea representaría un test de diagnóstico con curva ROC incapaz de discriminar umbrales desencadenantes versus no desencadenantes, debido a que cada punto de corte que la compone determina la misma proporción de verdaderos positivos y de falsos positivos. Finalmente, podemos decir que, un test de diagnóstico tendrá mayor capacidad discriminativa en la medida que sus puntos de corte tracen una curva ROC lo más lejana posible a la línea de no-discriminación; dicho de otra manera, lo más cercana posible a los lados izquierdo y superior del gráfico.

### Figura 80

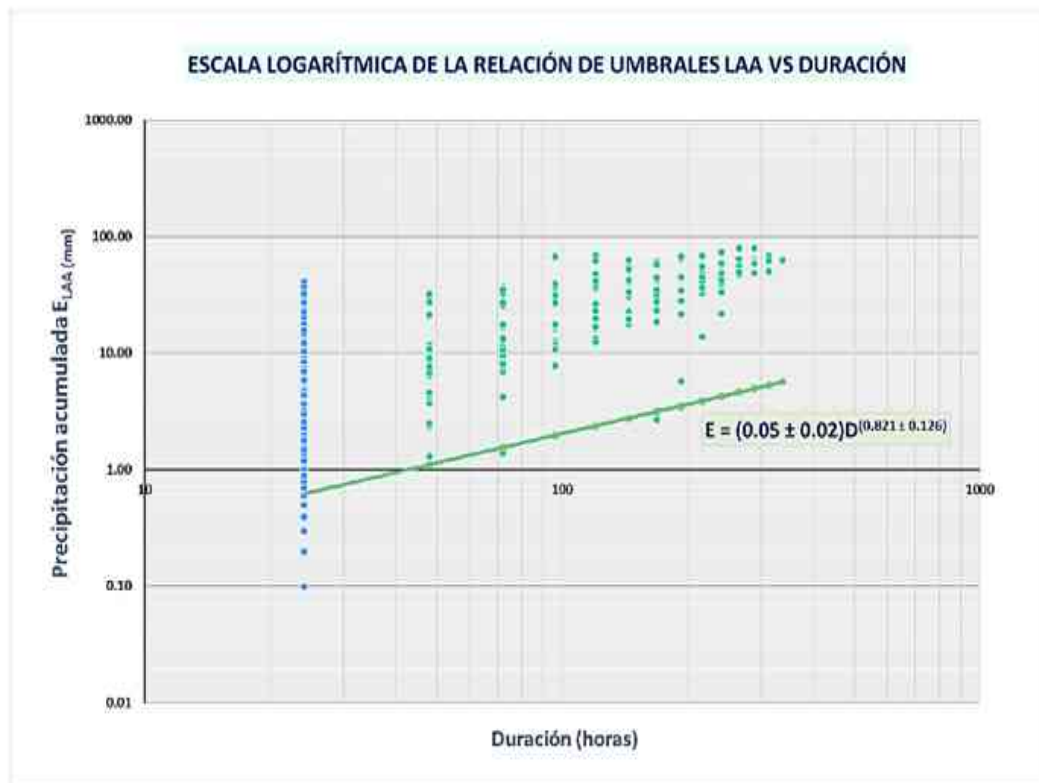
*Relación logarítmica para determinar los datos de contingencia de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada (LA) que detona flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Ejemplo:  $E = D^{(0.568 \pm 0.034)}$*





**Figura 81**

Relación logarítmica para determinar los datos de contingencia de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA) que detonan flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Ejemplo:  $E = (0.05 \pm 0.02) \cdot (D^{0.821 \pm 0.126})$



**Tabla 54**

Validación de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada detonante (LA), mediante los índices de puntuación, de la quebrada Rosayoc/Batán

TR (PERIODO DE RETORNO)	PROB. DE EXCEDENCIA (KERNEL)	ECUACIÓN	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	δ
20 - 500	0.00% - 4.34%	$E = D^{(0.568 \pm 0.034)}$	119	18	350	1084	0.87	0.24	0.75	0.62	0.28

---

15 - 500	0.00% - 6.18%	<b>E = (0.16 ± 0.07)D<sup>(1.005 ± 0.092)</sup></b>	118	19	576	858	<b>0.86</b>	<b>0.40</b>	0.83	0.46	0.42
15 - 500	0.00% - 6.31%	<b>E = D<sup>(0.670 ± 0.033)</sup></b>	98	39	235	1199	<b>0.72</b>	<b>0.16</b>	0.71	0.55	0.33
10 - 500	0.00% - 7.61%	<b>E = (0.57 ± 0.06)D<sup>(0.784 ± 0.021)</sup></b>	97	40	313	1121	<b>0.71</b>	<b>0.22</b>	0.76	0.49	0.36
25 - 500	0.00% - 3.51%	<b>E = (18.6 ± 2.2)D<sup>(0.15 ± 0.03)</sup></b>	69	68	5	1429	<b>0.50</b>	<b>0.00</b>	0.07	0.50	0.50
10 - 500	0.00% - 7.03%	<b>E = (0.08 ± 0.03)D<sup>(1.214 ± 0.089)</sup></b>	62	75	576	858	<b>0.45</b>	<b>0.40</b>	0.90	0.05	0.68
10 - 500	0.00% - 6.82%	<b>E = (0.41 ± 0.07)D<sup>(0.919 ± 0.028)</sup></b>	54	83	271	1163	<b>0.39</b>	<b>0.19</b>	0.83	0.21	0.63
20 - 500	0.00% - 4.38%	<b>E = (6.6 ± 0.7)D<sup>(0.43 ± 0.03)</sup></b>	38	99	13	1421	<b>0.28</b>	<b>0.01</b>	0.25	0.27	0.72
25 - 500	0.00% - 2.92%	<b>E = D<sup>(0.870 ± 0.065)</sup></b>	13	124	61	1373	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	0.82	0.05	0.91
50 - 500	0.00% - 1.92%	<b>E = (3.1 ± 0.7)D<sup>(0.71 ± 0.05)</sup></b>	2	135	7	1427	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	0.78	0.01	0.99
25 - 500	0.00% - 2.79%	<b>E = (0.000542 ± 0.000527)D<sup>(2.698 ± 0.501)</sup></b>	49	88	1137	297	0.36	0.79	0.96	-0.44	1.02
25 - 500	0.00% - 2.67%	<b>E = (0.0121 ± 0.0115)D<sup>(1.953 ± 0.411)</sup></b>	43	94	786	648	0.31	0.55	0.95	-0.23	0.88
25 - 500	0.00% - 2.36%	<b>E = (0.04 ± 0.03)D<sup>(1.628 ± 0.322)</sup></b>	24	113	456	978	0.18	0.32	0.95	-0.14	0.88

---

Además, a través del análisis ROC (Receiver Operating Characteristic o característica operativa del receptor), se evaluó la capacidad predictiva de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA), para diferentes niveles de probabilidad de excedencia.

Figura 82

Curva ROC de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada detonante (LA)



Tabla 55

Validación de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA), mediante los índices de puntuación, de la quebrada Rosayoc/Batán

TR (PERIODO DE RETORNO)	PROB. DE EXCEDENCIA (KERNEL)	ECUACIÓN	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
25 - 500	0.00% - 3.98%	$E = (0.05 \pm 0.02)D^{(0.821 \pm 0.126)}$	183	3	1162	272	<b>0.98</b>	<b>0.81</b>	0.86	0.17	0.81
10 - 500	0.00% - 8.66%	$E = (0.02 \pm 0.01)D^{(1.394 \pm 0.134)}$	164	22	915	519	<b>0.88</b>	<b>0.64</b>	0.85	0.24	0.65
10 - 500	0.00% - 8.13%	$E = (0.09 \pm 0.03)D^{(1.051 \pm 0.085)}$	156	30	745	689	<b>0.84</b>	<b>0.52</b>	0.83	0.32	0.54
10 - 500	0.00% - 10.15%	$E = (0.12 \pm 0.05)D^{(1.047 \pm 0.093)}$	133	53	635	799	<b>0.72</b>	<b>0.44</b>	0.83	0.27	0.53
10 - 500	0.00% - 6.84%	$E = D^{(0.521 \pm 0.021)}$	129	57	405	1029	<b>0.69</b>	<b>0.28</b>	0.76	0.41	0.42

10 - 500	0.00% - 9.61%	$E = (0.04 \pm 0.03)D^{(1.391 \pm 0.221)}$	120	66	769	665	<b>0.65</b>	<b>0.54</b>	0.87	0.11	0.64
10 - 500	0.00% - 8.39%	$E = D^{(0.573 \pm 0.010)}$	119	67	350	1084	<b>0.64</b>	<b>0.24</b>	0.75	0.40	0.44
10 - 500	0.00% - 8.39%	$E = D^{(0.572 \pm 0.020)}$	117	69	350	1084	<b>0.63</b>	<b>0.24</b>	0.75	0.38	0.44
10 - 500	0.00% - 11.33%	$E = (0.04 \pm 0.01)D^{(1.293 \pm 0.049)}$	115	71	756	678	<b>0.62</b>	<b>0.53</b>	0.87	0.09	0.65
10 - 500	0.00% - 8.45%	$E = (0.09 \pm 0.05)D^{(1.195 \pm 0.157)}$	110	76	599	835	<b>0.59</b>	<b>0.42</b>	0.84	0.17	0.58
10 - 500	0.00% - 7.66%	$E = (0.02 \pm 0.01)D^{(1.532 \pm 0.162)}$	103	83	769	665	<b>0.55</b>	<b>0.54</b>	0.88	0.02	0.70
15 - 500	0.00% - 6.28%	$E = (4.3 \pm 1.7)D^{(0.47 \pm 0.10)}$	64	122	48	1386	<b>0.34</b>	<b>0.03</b>	0.43	0.31	0.66
10 - 500	0.00% - 7.93%	$E = D^{(0.653 \pm 0.073)}$	59	127	244	1190	<b>0.32</b>	<b>0.17</b>	0.81	0.15	0.70
15 - 500	0.00% - 6.19%	$E = (0.16 \pm 0.11)D^{(1.152 \pm 0.175)}$	60	126	445	989	<b>0.32</b>	<b>0.31</b>	0.88	0.01	0.75
15 - 500	0.00% - 6.34%	$E = (4.5 \pm 1.5)D^{(0.46 \pm 0.07)}$	47	139	43	1391	<b>0.25</b>	<b>0.03</b>	0.48	0.22	0.75
20 - 500	0.00% - 4.96%	$E = D^{(0.796 \pm 0.004)}$	26	160	115	1319	<b>0.14</b>	<b>0.08</b>	0.82	0.06	0.86
10 - 500	0.00% - 9.03%	$E = (0.009 \pm 0.004)D^{(1.623 \pm 0.105)}$	113	73	915	519	0.61	0.64	0.89	-0.03	0.75
10 - 500	0.00% - 7.92%	$E = (0.0023 \pm 0.0009)D^{(1.954 \pm 0.115)}$	104	82	1009	425	0.56	0.70	0.91	-0.14	0.83
10 - 500	0.00% - 7.34%	$E = (0.00290 \pm 0.00275)D^{(2.107 \pm 0.391)}$	103	83	1088	346	0.55	0.76	0.91	-0.20	0.88
10 - 500	0.00% - 7.32%	$E = (0.034 \pm 0.003)D^{(1.400 \pm 0.027)}$	74	112	661	773	0.40	0.46	0.90	-0.06	0.76
10 - 500	0.00% - 6.96%	$E = (0.06 \pm 0.04)D^{(1.367 \pm 0.170)}$	60	126	576	858	0.32	0.40	0.91	-0.08	0.79
15 - 500	0.00% - 5.94%	$E = (0.012 \pm 0.007)D^{(1.773 \pm 0.149)}$	41	145	678	756	0.22	0.47	0.94	-0.25	0.91
25 - 500	0.00% - 3.48%	$E = D^{(0.838 \pm 0.029)}$	10	176	83	1351	0.05	0.06	0.89	0.00	0.95
25 - 500	0.00% - 2.59%	$E = D^{(0.901 \pm 0.022)}$	5	181	49	1385	0.03	0.03	0.91	-0.01	0.97

Figura 83

Curva ROC de los umbrales estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA)



Tabla 56

Umbrales estadísticos de lluvia acumulada (LA) calibrados y validados

TR (PERIODO DE RETORNO)	PROB. DE EXCEDENCIA (KERNEL)	ECUACIÓN	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
20 - 500	0.00% - 4.34%	$E = D^{(0.563 \pm 0.034)}$	119	19	350	1084	0.87	0.24	0.75	0.62	0.28
15 - 500	0.00% - 6.31%	$E = D^{(0.670 \pm 0.033)}$	98	39	235	1199	0.72	0.16	0.71	0.55	0.33
10 - 500	0.00% - 7.61%	$E = (0.57 \pm 0.06) D^{(0.784 \pm 0.021)}$	97	40	313	1121	0.71	0.22	0.78	0.48	0.38
20 - 500	0.00% - 4.34%	$E = (6.6 \pm 0.7) D^{(0.43 \pm 0.03)}$	38	99	13	1421	0.28	0.84	0.25	0.27	0.72
25 - 500	0.00% - 2.82%	$E = D^{(0.070 \pm 0.025)}$	13	124	81	1373	0.09	0.84	0.52	0.06	0.81

Tabla 57

*Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) calibrados y validados*

UMBRALES MÍNIMOS LA CALIBRADOS Y VALIDADOS - AÑOS 1994 - 2019 (11 AÑOS)								
ECUACIÓN DE UMBRALES LA	TR	PROB DE EXCEDENCIA (KERNEL)	$\alpha$	$\pm\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\gamma$	$\pm\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma$
<b>UMBRALES - LA1 18D</b>								
$E = (0.57 + 0.06)D^{(0.784 - 0.021)}$	10 - 500	0.00% - 7.48%	0.57	0.06	10.53%	0.784	0.021	2.68%
<b>UMBRALES - LA2 6D</b>								
$E = D^{(0.670 - 0.033)}$	15 - 500	0.00% - 6.00%				0.670	0.033	4.93%
<b>UMBRALES - LA2 7D</b>								
$E = D^{(0.568 - 0.034)}$	20 - 500	0.00% - 4.23%				0.568	0.034	5.99%
<b>UMBRALES - LA1 5D</b>								
$E = (6.6 + 0.7)D^{(0.43 - 0.03)}$	15 - 500	0.00% - 5.89%	6.6	0.7	10.61%	0.43	0.03	6.98%
<b>UMBRALES - LA2 5D</b>								
$E = D^{(0.870 - 0.065)}$	25 - 500	0.00% - 3.40%				0.870	0.065	7.47%

Tabla 58

*Umbral estadísticos de lluvia acumulada antecedente (LAA) calibrados y validados*

TR (PERIODO DE RETORNO)	PROB. DE EXCEDENCIA (KERNEL)	ECUACIÓN	TP	FN	FP	TN	POD	POFD	POFA	HK	$\delta$
10 - 500	0.00% - 6.84%	$E = D^{(0.521 \pm 0.421)}$	129	57	465	1029	0.60	0.28	0.75	0.41	0.42
10 - 500	0.00% - 0.09%	$E = D^{(0.372 \pm 0.010)}$	119	67	356	1004	0.64	0.24	0.75	0.40	0.44
10 - 500	0.00% - 8.39%	$E = D^{(0.572 \pm 0.420)}$	117	69	354	1084	0.63	0.24	0.75	0.38	0.44
10 - 500	0.00% - 7.93%	$E = D^{(0.663 \pm 0.373)}$	59	127	244	1190	0.32	0.17	0.91	0.15	0.70
20 - 500	0.00% - 4.06%	$E = D^{(0.736 \pm 0.004)}$	26	160	115	1319	0.14	0.08	0.92	0.06	0.86

Tabla 59

*Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA) calibrados y validados*

**UMBRALES MÍNIMOS LAA CALIBRADOS Y VALIDADOS - AÑOS 1984 - 2019 (11 años)**

ECUACIÓN DE UMBRALES LAA	TR	PROD DE EXCEDENCIA	$\alpha$	$L\Delta\alpha$	$\Delta\alpha/\alpha$	$\gamma$	$L\Delta\gamma$	$\Delta\gamma/\gamma$
<b>UMBRALES - LAA2 12D</b>								
$E = D^{1.795} - 0.004$	20 - 50D	0.20% - 4.70%				0.796	0.034	0.50%
<b>UMBRALES - LAA2 8D</b>								
$E = D^{1.573} - 0.010$	10 - 50D	0.20% - 8.21%				0.573	0.010	1.75%
<b>UMBRALES - LAA2 5D</b>								
$E = D^{1.572} - 0.040$	10 - 50D	0.20% - 7.67%				0.572	0.040	3.51%
<b>UMBRALES - LAA2 3D</b>								
$E = D^{1.521} - 0.021$	10 - 50D	0.20% - 7.38%				0.521	0.021	4.03%
<b>UMBRALES - LAA2 4D</b>								
$E = D^{1.553} - 0.073$	10 - 50D	0.20% - 8.16%				0.553	0.073	11.18%

### 3.8.2.5 Análisis hidrológico de los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia (LA y LAA).

Luego de obtener los umbrales estadísticos calibrados y validados, se definieron las probabilidades de excedencia de cada umbral estadístico mediante la estadística no paramétrica de la densidad de probabilidad Kernel (KDE). Asimismo, se determinaron precipitaciones con sus respectivos periodos de retorno ( $TR=1/f(x)$ ), para cada umbral estadístico, utilizando métodos de inferencia estadística y la teoría de probabilidades de la hidrología convencional.

Adicionalmente, para el análisis hidrológico, se sistematizaron los datos diarios de cada umbral, para cada distribución estadística (distribución normal, log-normal, log-



normal de 3 parámetros, gamma de 2 parámetros, gamma de 3 parámetros, log-pearson III, Gumbel y log-gumbel) con sus respectivos períodos de retorno y probabilidades de excedencia. Luego, se distribuyeron los datos de precipitación con el método de Weibull, para una probabilidad empírica de excedencia. Al final, con la prueba Kolmogorov – Smirnov, se eligió la distribución estadística que mejor se ajusta.

Por último, en esta investigación, se consideró determinar algunos parámetros geotécnicos y geomorfológicos, los cuales representan a los parámetros físicos que complementan el modelo empírico que se desarrolló, además de realizar el modelamiento hidráulico de los flujos de detritos; así como la evaluación y estimación de la peligrosidad por movimiento de flujo de detritos.

### ***3.8.3 Tercer paso: análisis hidrológico y determinación de las precipitaciones máximas de 24 horas para distintos periodos de retorno.***

En este caso, vamos a analizar el estudio hidrológico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas, así como determinar las precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno; por ende, se realizó cada uno de los siguientes ítems:

#### **3.8.3.1 Tratamiento y evaluación de la información pluviométrica.**

- **Recopilación de la información pluviométrica:** uno de los componentes más importantes del ciclo hidrológico en la microcuenca Rosayoc/Batán es la precipitación; por tal motivo, se realizó el estudio de este parámetro meteorológico en forma independiente y detallada. La información meteorológica a utilizar en el estudio fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), entidad que es el ente rector de las actividades hidrometeorológicas en el país.

Para la determinación de los umbrales de lluvia detonantes de movimientos de flujo de detritos catastróficos, los cuales generalmente corresponden a altos valores de

intensidad de las precipitaciones en cortos períodos de tiempo o precipitaciones máximas en 24 horas ocurridas aisladamente, en consecuencia, pudiendo estas provocar o no un movimiento de flujo de detritos. Por ello, no solo se evaluó las precipitaciones máximas (lluvia de evento) sino también las lluvias acumuladas detonantes y lluvias acumuladas antecedentes, que nos indicarían que se está llegando a umbrales en los cuales la saturación del suelo puede desencadenar un movimiento de flujo de detritos (Sepúlveda Bello y Patiño Franco, 2016).

Para el presente estudio se recopiló los datos de las precipitaciones máximas diarias en 24 horas para cada año de registro (información meteorológica) de las estaciones San Rafael, Chaglla y Yanahuanca, como se muestran en el Anexo 09.

**Figura 84**

*Registro de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla*

The figure consists of three spreadsheets, one for each station: San Rafael, Yanahuanca, and Chaglla. Each spreadsheet has a header section with station information and a main data table. The data tables are organized by month (January to December) and then by year (1990 to 2019). The columns represent the maximum precipitation in millimeters for each day of the month.

ESTACIÓN SAN RAFAEL	
PROVINCIA	DEPARTAMENTO
UBICACIÓN	COORDENADAS
ALTIMETRIA	TIPO DE ESTACIÓN
1990	...
1991	...
...	...
2019	...

ESTACIÓN YANAHAUNCA	
PROVINCIA	DEPARTAMENTO
UBICACIÓN	COORDENADAS
ALTIMETRIA	TIPO DE ESTACIÓN
1990	...
1991	...
...	...
2019	...

ESTACIÓN CHAGLLA	
PROVINCIA	DEPARTAMENTO
UBICACIÓN	COORDENADAS
ALTIMETRIA	TIPO DE ESTACIÓN
1990	...
1991	...
...	...
2019	...

### **3.8.3.2 Análisis de consistencia y análisis estadístico de consistencia de las estaciones seleccionadas.**

. Para el inicio del estudio hidrológico es necesario evaluar la calidad, extensión y consistencia de los datos pluviométricos; por lo cual, se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro de datos de precipitación, que permita la predicción de eventos futuros, con el objetivo de obtener resultados confiables. Asimismo, dicha información deberá incluir los años en que se han registrado los eventos del fenómeno “El Niño”, sin embargo, durante el evento, la información no es medida ya que normalmente se estiman valores extraordinarios (MTC, 2011). Tomando en cuenta lo mencionado, se seleccionó las estaciones meteorológicas operativas, dentro y fuera de los límites de la microcuenca Rosayoc/Batán; seguidamente, consiguiendo estaciones con un registro mayor a 25 años; por lo cual, se pudo obtener resultados confiables y predecir eventos futuros.

**Figura 85**

*Estaciones meteorológicas seleccionadas para el análisis hidrológico.*



Después, para realizar el análisis de consistencia y estadístico de consistencia, se procedió a verificar y evaluar la de calidad, homogeneidad y consistencia de los datos hidrometeorológicos; por tal motivo, se hizo el análisis visual gráfico, mediante histogramas, el análisis de doble masa y el análisis estadístico (análisis de salto).

Figura 86

Análisis visual de las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla

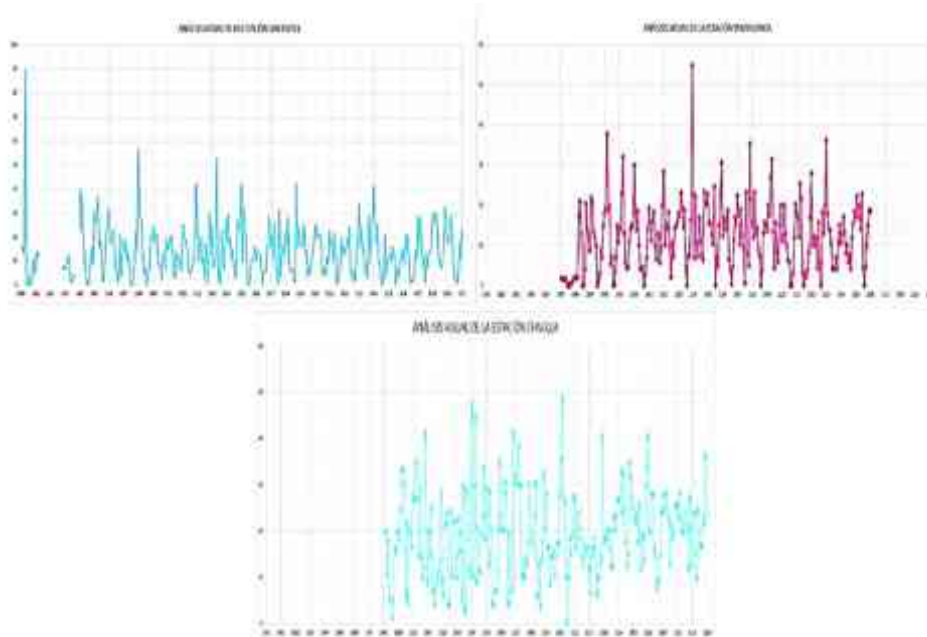


Figura 87

Análisis de doble masa de las estaciones San Rafael, Yanahuanca y Chaglla

año	ESTACIONES						PROMEDIO DE LAS 3 ESTACIONES	
	SAN RAFAEL		YANAHUANCA		CHAGLLA		PROMEDIO	ACUM
	Pp. Máx. Anual	ACUM	Pp. Máx. Anual	ACUM	Pp. Máx. Anual	ACUM		
1990	98.00	98.00					98.00	98.00
1991	14.00	114.00					114.00	128.00
1992	8.00	122.00					122.00	130.00
1993	40.00	162.00					162.00	170.00
1994	38.00	200.00					200.00	208.00
1995	36.00	236.00	2.00	2.00			238.00	208.00
1996	72.00	308.00	21.00	21.00			329.00	210.00
1997	38.00	346.00	22.00	43.00			368.00	232.00
1998	29.00	375.00	33.00	86.00	20.00	20.00	395.00	302.00
1999	71.00	446.00	22.00	108.00	18.00	58.00	494.00	320.00
2000	25.00	471.00	19.00	127.00	41.50	99.50	570.50	361.50
2001	43.00	514.00	28.00	155.00	29.50	128.50	703.50	490.50
2002	29.00	543.00	18.00	173.00	28.00	156.00	809.00	646.50
2003	12.00	555.00	54.00	227.00	48.00	204.00	909.00	850.50
2004	41.00	596.00	21.00	248.00	45.00	249.00	1045.00	1091.50
2005	32.00	628.00	30.00	278.00	75.50	324.50	1170.50	1316.50
2006	38.00	666.00	22.00	300.00	41.50	366.00	1312.00	1458.00
2007	32.00	698.00	35.00	335.00	38.00	404.00	1450.00	1602.00
2008	42.00	740.00	23.00	358.00	32.00	436.00	1586.00	1738.00
2009	25.00	765.00	31.00	389.00	28.00	464.00	1714.00	1863.00
2010	29.00	794.00	20.00	409.00	47.00	511.00	1861.00	1984.00
2011	71.00	865.00	28.00	437.00	28.00	539.00	2000.00	2105.00
2012	32.00	897.00	36.00	473.00	40.00	579.00	2140.00	2227.00
2013	41.00	938.00	17.00	490.00	27.00	606.00	2267.00	2348.00
2014	25.00	963.00	18.00	508.00	35.00	641.00	2402.00	2463.00
2015	16.00	979.00	22.00	530.00	41.00	681.00	2543.00	2574.00
2016	28.00	1007.00			28.00	709.00	2671.00	2682.00
2017	28.00	1035.00			28.00	737.00	2809.00	2790.00
2018	32.00	1067.00			28.00	765.00	2937.00	2902.00
2019	29.00	1096.00			36.00	791.00	3073.00	3014.00

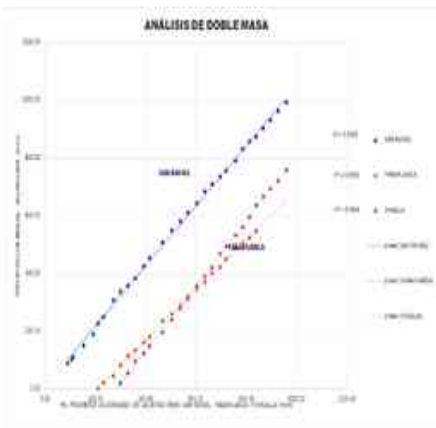


Figura 88

Análisis de salto: corrección de los datos de la estación San Rafael (estación base)

**CORRECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ESTACIÓN SAN RAFAEL (DATOS MÁS ESTENSOS)**

$$X'_{(n)} = \frac{X'_i - \bar{X}_1}{S_{(X)}} S_{(X)} + \bar{X}'_1$$

$$X'_{(n)} = \frac{X'_i - \bar{X}_2}{S_{(X)}} S_{(X)} + \bar{X}'_2$$

Donde:

$X'_{(n)}$  = Valor corregido de saltes

$X'_i$  = Valor a ser corregido

Procedimiento:

Si resulta la media o la desviación estándar estadísticamente diferentes, entonces se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones:

# Página 1

**1. CONSISTENCIA EN LA MEDIA: T- STUDENT**

PERÍODO DE MUESTRAS	Nº DE DATOS	MEDELA MUESTRAL	DESV. ESTANDAR MUESTRAL (S)	PERÍODO DE MUESTRAS (P1)	Nº DE DATOS	MEDELA MUESTRAL (P2)	DESV. ESTANDAR MUESTRAL (S2)	T	P1	P2	
1965-1982	48	82	$\bar{X}_1$	1983-2019	82	114.48412	81	11.372208	19	306	1.0617121
1983-2019	82	302	$\bar{X}_2$	1965-1982	48	11.372208	81	11.372208	19	306	1.0617121

*n. muestra total de la muestra = n1+n2 = 130*

T <sub>0</sub>	S.E.	T <sub>1</sub>	calculo	PRUEBA DE SIGNIFICACION	CONCLUSION
-0.2218412	0.0830	-2.6721218	(T) = T <sub>1</sub> (20%)	NO RECHAZAR LA HIPOTESIS DE CONSISTENCIA	NO HAY SALTO EN LA MEDIA LAS MEDIDAS PROMEDIALES SON SIMILARES

Variable	Intervalo 1	Intervalo 2
Media	82.000000	114.484121
Desviación	11.372208	81.000000
Observaciones	48	306
Creador de Hoja de Datos	10	209
T	1	1
P(=T) una cola	0.48712376	
Valor crítico para T, una cola	1.96127121	

**2. CONSISTENCIA EN LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR: F - FISHER**

PERÍODO DE MUESTRAS	Nº DE DATOS	DESV. ESTANDAR MUESTRAL (S1)	PERÍODO DE MUESTRAS (P1)	P1	S.E.	S.E.S.	P2	VALOR	PRUEBA DE SIGNIFICACION	CONCLUSION	
1965-1982	48	81	1983-2019	81	11.372208	1.17182827	19	306	1.0617121	P1 < P2 (20%)	RECHAZAR LA HIPOTESIS DE CONSISTENCIA
1983-2019	82	302	1965-1982	48	11.372208					P1 < P2 (20%)	RECHAZAR LA HIPOTESIS DE CONSISTENCIA

*n. muestra total de la muestra = n1+n2 = 130*

Variable	Intervalo 1	Intervalo 2
Media	82.000000	114.484121
Varianza	50.145833	52.145833
Observaciones	48	306
Creador de Hoja de Datos	10	209
F	1	1
P(=F) una cola	0.48712376	
Valor crítico para F, una cola	1.96127121	

### 3.8.3.3 Calidad, extensión y consistencia de la información meteorológica (datos de precipitación).

#### 3.8.3.3.1 Métodos de completación o relleno de datos faltantes (pluviométricos):

- **Método de regresión lineal – Estación San Rafael:** para esta investigación, se consiguió datos pluviométricos desde 1965, pero no se usaron, ya que hay datos incompletos y sin ningún tratamiento de confiabilidad o que se corrobore su veracidad. Por tal motivo, se prefirió trabajar un rango de años desde 1990 hasta 2019; debido a

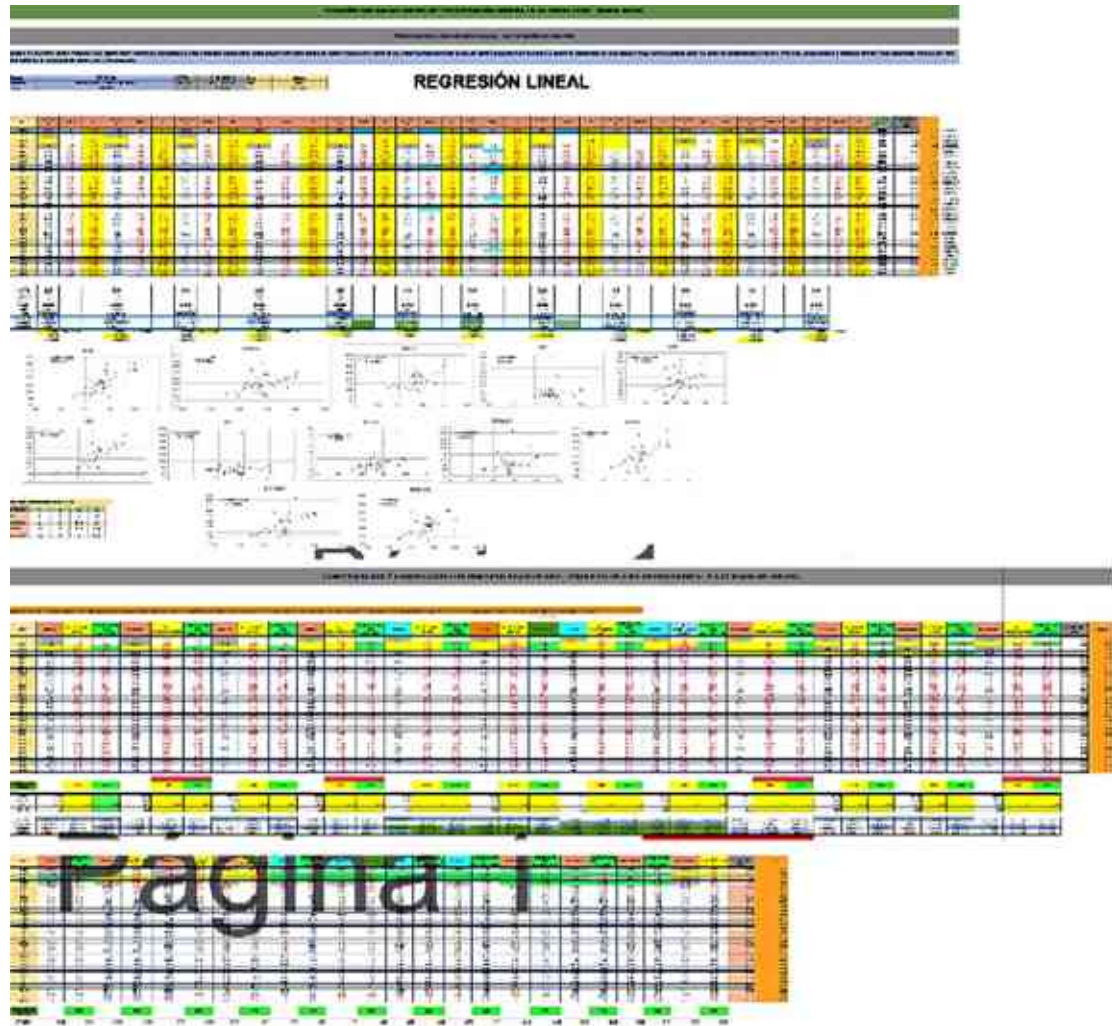


que, posee datos casi completos, los cuales se corroboraron con la información proporcionada por el SENAMHI, así como la información empleada en la tesis “Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017” (Cordova Mendoza, 2017), la cual también utilizó información brindada por el SENAMHI. Este rango de información (1990 - 2019), con el cual se ha trabajado, cuenta con 21 datos faltantes de un total de 360 datos; por lo cual, esto representa el 6% de datos incompletos. Además, se eligió trabajar con el rango mencionado; puesto que, existe menos del 10% de datos incompletos del total de la cantidad de datos con información, por lo que, se usó el método del promedio aritmético. Sin embargo, para no caer en demasiados errores, se procedió a realizar la extensión de una manera muy conservadora; por tal motivo, se utilizó el método de regresión lineal, ya que, se observó que una de las estaciones (estación San Rafael) tiene datos de precipitación de lluvia, casi completos, con una buena extensión desde 1990 hasta 2019, por lo que, se consideró a esta estación como estación base, para así poder extender datos a otras estaciones requeridas.

**Figura 89**

*Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación San*

Rafael (estación base), asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS



**PROGRAMA IBM SPSS STATISTICS**

Resumen de modelo y estimaciones de parámetros					
Variable dependiente: CANTIDAD					
Modelo	Constante	PRECIO	R <sup>2</sup>	SE E	Estadístico de prueba
Modelo 1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 2	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 3	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 4	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 5	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Resumen de modelo y estimaciones de parámetros					
Variable dependiente: CANTIDAD					
Modelo	Constante	PRECIO	R <sup>2</sup>	SE E	Estadístico de prueba
Modelo 1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 2	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 3	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 4	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 5	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Resumen de modelo y estimaciones de parámetros					
Variable dependiente: CANTIDAD					
Modelo	Constante	PRECIO	R <sup>2</sup>	SE E	Estadístico de prueba
Modelo 1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 2	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 3	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 4	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 5	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Resumen de modelo y estimaciones de parámetros					
Variable dependiente: CANTIDAD					
Modelo	Constante	PRECIO	R <sup>2</sup>	SE E	Estadístico de prueba
Modelo 1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 2	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 3	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 4	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 5	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Resumen de modelo y estimaciones de parámetros					
Variable dependiente: CANTIDAD					
Modelo	Constante	PRECIO	R <sup>2</sup>	SE E	Estadístico de prueba
Modelo 1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 2	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 3	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 4	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Modelo 5	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000



Figura 90

Regresión de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, en función de la estación base (estación San Rafael)

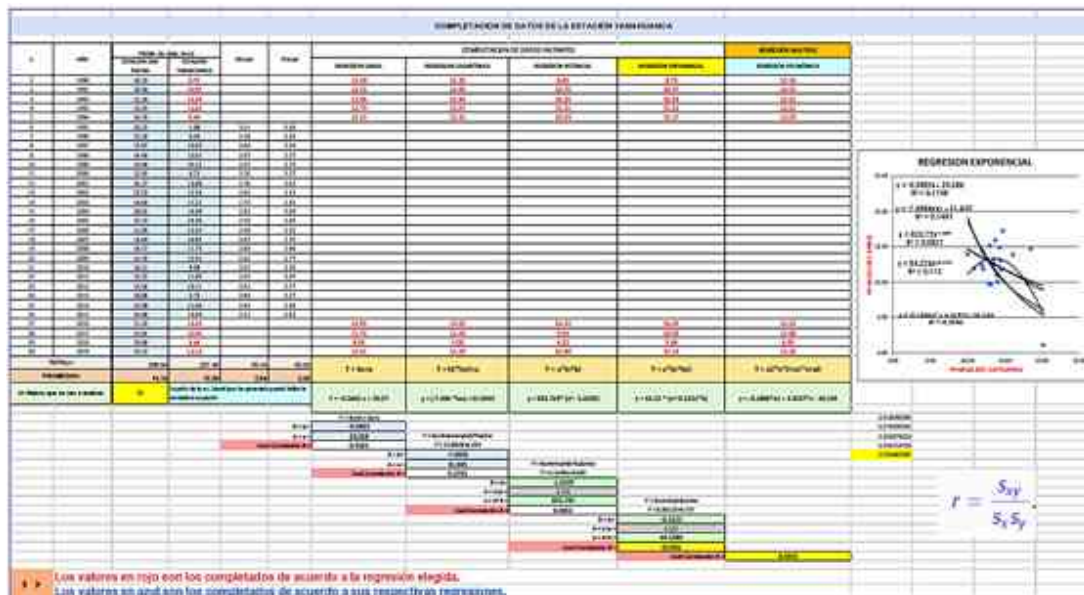


Figura 91

Regresión de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla, en función de la estación base (estación San Rafael)

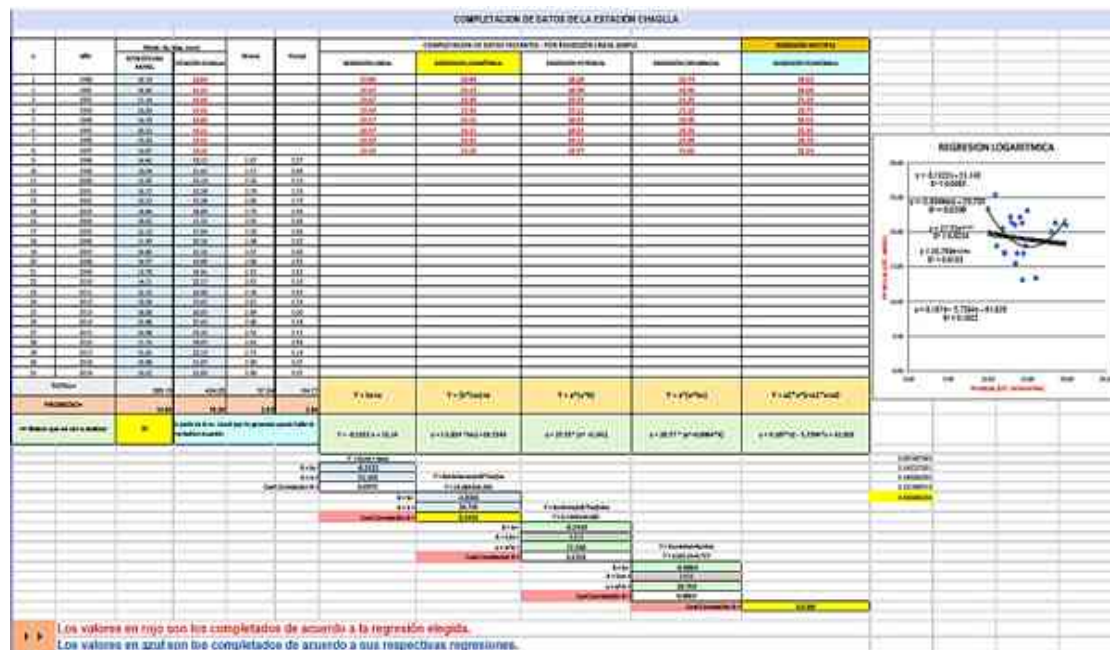


Figura 92

Estación San Rafael con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas

DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) - DIARIA-ANUAL													
ESTACIÓN SAN RAFAEL													
ESTACION:	SAN RAFAEL						LATITUD:	10° 19' 48.27" S		DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO		
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL						LONGITUD:	76° 18' 35.47" W		PROVINCIA:	AMBO		
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA						ALTITUD:	2722 metros		DISTRITO:	SAN RAFAEL		
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	Pp. Máx en 24h. Anual
1990	18.20	15.61	19.22	71.17	6.23	6.23	9.18	6.23	7.31	13.95	11.13	9.83	71.17
1991	16.33	14.89	15.61	16.38	11.40	9.52	9.64	10.84	11.78	16.73	18.18	20.77	20.77
1992	12.07	13.67	14.06	14.32	9.10	8.03	8.05	9.77	8.43	10.84	12.00	11.28	14.06
1993	12.00	13.44	15.03	11.28	7.67	6.95	8.75	9.26	9.57	14.11	15.20	35.09	35.09
1994	23.20	38.50	20.10	12.80	5.40	0.80	0.00	2.10	11.00	15.80	9.40	31.20	38.50
1995	25.50	30.00	36.80	16.00	18.50	13.00	1.50	3.50	18.00	22.00	26.30	31.70	36.80
1996	18.00	17.40	22.80	22.20	8.00	6.00	0.90	3.70	21.10	3.50	19.50	16.00	22.80
1997	13.00	18.60	10.20	12.20	4.50	0.00	0.00	7.00	8.70	22.40	14.30	56.70	56.70
1998	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	29.40
1999	17.30	21.00	21.80	9.00	7.90	9.70	2.40	12.80	14.30	6.60	19.20	14.70	21.60
2000	15.90	19.80	20.70	12.80	2.90	14.50	3.50	12.70	12.20	8.40	5.90	25.10	25.10
2001	24.40	18.80	17.60	16.00	5.10	5.60	5.30	7.90	9.20	16.20	41.80	26.10	41.80
2002	10.20	16.00	20.20	9.60	11.40	2.70	17.60	0.70	7.00	29.90	12.00	25.00	29.90
2003	7.50	8.60	15.20	52.90	1.90	7.20	0.00	22.80	9.40	6.70	27.30	18.60	52.90
2004	29.60	16.30	20.20	10.80	15.00	8.00	3.00	4.30	27.40	22.80	24.10	41.90	41.90
2005	9.90	32.00	25.90	15.50	1.30	0.00	1.90	9.30	10.60	13.00	16.10	10.10	32.00
2006	13.90	13.70	12.70	9.00	0.60	5.30	5.60	5.80	16.30	16.50	28.80	15.70	28.80
2007	22.50	11.10	25.80	6.80	6.80	0.70	31.90	3.50	12.00	17.10	12.00	22.60	31.90
2008	17.00	28.20	8.60	6.10	6.30	6.10	1.20	1.80	42.10	15.30	24.50	17.60	42.10
2009	16.10	17.60	25.50	14.70	14.70	3.60	7.10	4.90	9.30	12.70	16.30	22.90	25.50
2010	25.10	19.80	20.90	20.80	17.50	4.40	7.70	5.40	3.90	11.80	9.00	23.00	25.10
2011	16.40	18.20	10.40	21.80	14.40	0.80	1.40	4.50	10.30	20.10	12.20	16.10	21.80
2012	13.20	19.50	15.30	24.30	5.00	6.10	1.70	6.40	1.90	14.80	21.30	33.50	33.50
2013	15.60	24.80	15.90	12.20	4.70	9.90	8.10	29.00	9.10	24.60	27.00	41.10	41.10
2014	18.50	16.90	25.70	10.40	8.90	2.70	0.00	3.40	21.30	3.50	9.20	11.20	25.70
2015	13.40	9.70	16.40	12.10	13.60	0.60	6.90	3.20	4.90	10.90	13.60	15.60	16.40
2016	8.50	20.50	12.50	21.30	9.10	1.00	1.90	1.20	4.70	14.30	10.70	28.20	28.20
2017	15.00	28.40	20.80	7.20	12.10	0.90	14.00	7.00	13.30	13.60	19.70	28.60	28.60
2018	30.20	26.00	30.20	22.70	9.90	10.00	7.00	8.70	17.20	32.70	27.40	18.20	32.70
2019	17.40	23.80	29.10	21.00	8.20	2.60	2.50	0.70	5.50	17.90	10.40	22.90	29.30

- **Método de regresión lineal – Estación Yanahuanca:** con respecto a la estación Yanahuanca, se encontró datos completos en un rango de 1995 al 2015, lo cuales se tomaron de la información pluviométrica mostrada en la tesis “Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017” (Cordova Mendoza, 2017) - SENAMHI. De lo mencionado, al tener una considerable extensión de datos completos, así como una estación base, se optó por usar el método de regresión lineal, dado que, existen diversos métodos que se pueden usar

para completar datos faltantes, siendo los más conocidos el método de promedios vecinales, que se aplica en zonas planas; mientras que, para las estaciones en zonas montañosas, se utiliza el método de razones promedios. Cabe resaltar que, estos dos métodos se emplean cuando hay dos o más estaciones rodeando la estación en estudio a completar. En este caso, se usó el **método de regresión lineal**, siendo el método más recomendable a usar, por ser el más convencional, debido a que existe una sola estación cerca de la estación a completar.

**Figura 93**

*Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación Yanahuanca, asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS*

COMPARACIÓN Y CORRECCIÓN CON DATOS ESTADÍSTICOS - PROCESO DE LAS FERRERONES - ESTACION DE DATOS  
ESTACION YANAHUANCA

The image displays a screenshot of an IBM SPSS STATISTICS output window. The window title is "COMPARACIÓN Y CORRECCIÓN CON DATOS ESTADÍSTICOS - PROCESO DE LAS FERRERONES - ESTACION DE DATOS" and "ESTACION YANAHUANCA". The main content is a large data table with multiple columns and rows. The columns include dates (e.g., 01/01/2010, 02/01/2010, etc.) and various statistical values. The table is color-coded with yellow and green highlights. A large watermark "Página 1" is overlaid on the center of the table.



Figura 94

Estación Yanahuanca con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas

DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) - DIARIA-ANUAL													
ESTACIÓN YANAHUANCA													
ESTACIÓN:	YANAHUANCA			LATITUD:	10° 25' 29" S		DEPARTAMENTO:	Cerro de Pasco					
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL			LONGITUD:	76° 36' 29" W		PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrón					
FUENTE:	SENAMHI			ALTITUD:	3190 msnm		DISTRITO:	Yanahuanca					
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Pp. Máx.en 24h. Anual
1990	14.75	17.11	17.07	15.07	10.81	4.81	5.20	5.58	9.47	15.69	20.24	19.83	20.24
1991	11.47	12.37	13.56	11.79	5.83	4.26	4.59	4.31	7.33	11.17	15.04	15.29	15.29
1992	7.41	7.05	8.33	7.71	2.91	3.31	2.72	2.49	4.69	6.19	8.98	9.75	9.75
1993	9.81	10.12	11.39	10.13	4.36	3.92	3.81	3.49	6.25	9.05	12.51	13.01	13.01
1994	11.24	12.05	11.26	11.56	5.59	4.22	4.48	4.10	7.18	10.87	14.66	14.97	14.97
1995	1.80	1.50	1.50	1.70	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.90	1.70	2.10	2.10
1996	1.90	2.00	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70	21.00
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00	22.00
1998	10.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50	37.70
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00	32.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00	18.20
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	54.80	22.90	54.80
2004	6.50	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70	23.40
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.60	5.00	15.10	22.30	30.70	12.40	30.70
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60	35.30
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	9.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70	23.30
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	4.40	15.70	8.30	6.00	15.00	20.00	12.00	31.50
2010	11.00	20.00	12.90	9.90	6.50	5.80	0.00	0.00	3.20	12.00	20.30	18.20	20.30
2011	17.00	12.10	25.50	21.50	3.20	0.00	3.00	2.20	4.00	8.30	17.10	28.00	28.00
2012	10.00	12.10	10.00	12.00	4.20	15.80	5.80	0.00	18.20	13.00	20.00	36.20	36.20
2013	17.80	14.50	13.80	10.30	4.30	4.10	4.10	7.10	4.10	10.80	15.20	10.60	17.80
2014	13.10	17.20	13.10	8.10	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	15.80	18.50	17.40	18.50
2015	22.30	16.80	19.90	14.00	22.80	4.40	0.00	4.80	9.90	15.00	18.70	18.60	22.80
2016	7.44	7.08	8.84	7.73	2.92	3.32	2.73	2.50	4.71	6.22	9.01	9.76	9.76
2017	12.63	14.01	15.11	12.95	7.18	4.47	5.15	4.72	8.09	12.72	16.85	16.89	16.89
2018	24.67	33.23	31.95	24.88	75.88	5.94	11.49	10.53	16.02	31.47	37.17	33.80	75.88
2019	19.25	10.70	11.90	10.57	4.70	4.02	4.01	3.58	6.53	9.60	13.17	13.61	13.61

- **Métodos del promedio aritmético y regresión lineal – Estación Chaglla:** en la estación Chaglla, se tiene un rango de 1998 al 2019, con información casi completa, la cual fue brindada por el SENAMHI. En este rango se tiene 2 datos faltantes de un total de 264 datos, que representa el 2% de datos incompletos; sabiendo que, si se tiene menos del 10% de datos incompletos, del total de la cantidad de datos con información, se puede usar el método del promedio aritmético. Por lo cual, primero se utilizó el método de promedio aritmético para completar este rango de 1998 al 2019 y lograr tener 264 datos completos. Luego, se usó el método de regresión lineal para

completar los 360 datos del rango general que se analizó en este estudio (1990 – 2019).

Figura 95

Completación de datos faltantes por el método de regresión lineal de la estación Chaglla, asimismo la comparación de los resultados mediante el programa IBM SPSS STATISTICS

COMPARACIÓN Y CORRECCIÓN CON IBM SPSS STATISTICS - PROCESO DE LAS REGRESIONES - EXTENSIÓN DE DATOS  
ESTACIÓN CHAGLLA

The table displays a comprehensive dataset for the Chaglla station, organized into several distinct sections. The top section features a wide header with numerous columns, likely representing different variables or time periods. Below this, there are several rows of data, some of which are highlighted in green and yellow, possibly indicating specific data points or trends. The middle section contains a smaller table with a similar structure, and the bottom section features a table with a more detailed header, including columns for 'AÑO' (Year) and 'MES' (Month), suggesting a time-series analysis. The data is presented in a structured, grid-like format, typical of a statistical software output.



Figura 96

Estación Chaglla con datos completos de las precipitaciones máximas en 24 horas

DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) - DIARIA-ANUAL													
ESTACIÓN CHAGLLA													
ESTACIÓN:	CHAGLLA			LATITUD:	09° 51' 01" S	DEPARTAMENTO:	Hidruco						
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL			LONGITUD:	79° 54' 24" W	PROVINCIA:	Pachifas						
FUENTE:	SENAMHI			ALTITUD:	3036 mnm	DISTRITO:	Chaglla						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	Pp. Máx en 24h. Anual
1990	20.88	21.47	23.45	20.39	15.81	11.38	10.53	11.70	16.03	20.64	23.30	21.33	23.45
1991	21.26	21.97	23.91	20.72	16.27	11.45	10.68	11.97	16.79	21.16	23.39	21.73	23.91
1992	22.05	23.07	24.87	21.40	17.23	11.59	11.00	12.54	16.81	22.27	23.57	22.57	24.87
1993	21.52	22.33	24.23	20.94	16.39	11.50	10.79	12.16	16.46	21.52	23.45	22.00	24.23
1994	21.29	22.02	23.55	20.74	16.31	11.45	10.70	11.99	16.32	21.20	23.59	21.76	23.55
1995	20.18	20.57	22.61	19.79	14.82	11.25	10.25	11.20	15.60	19.73	23.14	20.79	23.14
1996	21.51	22.31	24.21	20.93	16.57	11.49	10.78	12.15	16.45	21.50	23.44	21.99	24.21
1997	21.34	22.08	24.01	20.79	16.39	11.46	10.72	12.03	16.35	21.27	23.40	21.82	24.01
1998	20.40	19.60	10.30	18.30	5.90	5.00	1.00	5.20	16.60	15.30	19.60	20.20	20.40
1999	17.70	24.80	33.60	33.20	30.40	6.00	22.20	4.30	20.70	19.60	16.50	28.00	33.60
2000	26.80	26.80	35.20	27.00	14.30	29.20	14.20	9.60	12.30	41.50	20.80	8.60	41.50
2001	20.20	14.80	35.40	6.80	7.30	4.00	8.80	11.60	10.00	13.70	28.70	9.30	28.70
2002	6.10	21.10	21.70	24.20	4.20	3.80	24.80	10.00	22.40	22.10	14.60	9.80	24.80
2003	23.00	15.20	20.00	5.20	30.00	3.50	2.30	29.00	18.60	11.80	10.50	48.00	48.00
2004	10.00	29.80	45.00	9.00	21.20	11.40	11.20	19.50	23.40	34.00	18.20	23.30	45.00
2005	29.40	12.40	28.80	20.81	4.50	3.70	7.40	6.70	11.40	20.60	35.50	23.30	35.50
2006	20.60	20.00	30.80	28.30	4.00	19.80	4.40	6.80	8.00	41.50	30.30	32.20	41.50
2007	30.20	38.80	30.00	39.00	10.00	11.00	9.80	14.20	12.40	18.00	30.60	20.80	38.80
2008	16.80	18.80	23.20	30.40	5.60	6.40	13.00	3.40	13.80	18.00	32.80	20.40	32.80
2009	28.60	16.60	16.60	8.40	14.80	14.40	16.00	10.40	14.80	17.40	17.40	28.00	28.60
2010	35.60	49.20	27.20	26.20	10.20	0.00	10.20	18.60	15.00	19.40	27.80	26.60	49.20
2011	16.40	18.60	24.40	20.80	18.40	14.80	12.60	17.40	14.80	16.40	16.40	11.80	24.40
2012	6.60	16.80	14.80	18.80	16.40	6.40	10.40	9.60	13.00	14.40	40.80	17.40	40.80
2013	18.80	18.40	20.40	16.40	20.60	12.60	12.00	23.20	20.20	23.60	26.80	27.40	27.40
2014	26.20	33.60	23.60	32.60	25.00	17.80	12.40	15.20	35.00	31.60	27.20	25.00	35.00
2015	23.00	21.80	24.00	17.20	26.20	11.80	18.60	19.60	13.40	30.00	34.00	40.60	40.60
2016	20.40	19.40	28.40	27.80	16.40	14.80	7.40	9.00	9.60	14.80	24.60	23.80	28.40
2017	28.60	25.00	28.60	24.00	22.80	12.40	21.40	18.20	20.00	25.60	25.40	26.20	28.60
2018	23.20	28.60	19.80	22.80	19.20	21.60	24.20	20.60	11.60	27.80	12.40	21.00	28.60
2019	23.80	24.00	15.40	9.60	24.80	17.20	16.80	16.80	23.00	21.20	36.40	23.41	36.40

### 3.8.3.4 Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss).

Se utilizó el Factor de Weiss (1.13), ya que se recomienda en el análisis de lluvias máximas anuales, tomados en un único y fijo intervalo de observación (24 horas), pues este factor nos conduce a magnitudes más aproximadas a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas.

**Figura 97**

*Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael*

ESTACIÓN SAN RAFAEL - CORRECCIÓN POR INTERVALO FIJO DE OBSERVACIÓN (FACTOR WEISS)				
Se multiplicó por 1.13 (Factor de Weiss) a las Pp máx. 24hr., valor que es el factor de corrección de Pp máx. 24 hr recomendado por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) que consiste en aumentarle el 13 por ciento del valor de la precipitación para que el valor sea ajustado y más acorde con la lectura que se tomó en la realidad (Campos, 1999).				
Nº	AÑO	Pp máx en 24 hr.	FACTOR WEISS- OMM	Pp máx. en 24 hr. Corregida
1	1990	71.17	1.13	80.42
2	1991	20.77	1.13	23.47
3	1992	14.06	1.13	16.57
4	1993	35.09	1.13	39.65
5	1994	38.50	1.13	43.51
6	1995	36.80	1.13	41.58
7	1996	22.80	1.13	25.76
8	1997	56.70	1.13	64.07
9	1998	29.40	1.13	33.22
10	1999	21.80	1.13	24.41
11	2000	25.10	1.13	28.36
12	2001	41.80	1.13	47.23
13	2002	29.90	1.13	33.79
14	2003	52.90	1.13	59.78
15	2004	41.90	1.13	47.35
16	2005	32.00	1.13	36.16
17	2006	28.90	1.13	32.54
18	2007	31.80	1.13	36.05
19	2008	42.10	1.13	47.57
20	2009	25.50	1.13	28.82
21	2010	25.10	1.13	28.36
22	2011	21.80	1.13	24.53
23	2012	33.50	1.13	37.86
24	2013	41.10	1.13	46.44
25	2014	25.70	1.13	29.04
26	2015	16.40	1.13	18.53
27	2016	28.20	1.13	31.87
28	2017	28.60	1.13	32.32
29	2018	32.70	1.13	36.95
30	2019	29.30	1.13	33.11

**Figura 98**

*Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca*

ESTACIÓN YANAHUANCA - CORRECCIÓN POR INTERVALO FIJO DE OBSERVACIÓN (FACTOR WEISS)				
Se multiplicó por 1.13 (Factor de Weiss) a las Pp máx. 24hr, valor que es el factor de corrección de Pp máx. 24 hr recomendado por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) que consiste en aumentarle el 13 por ciento del valor de la precipitación para que el valor sea ajustado y más acorde con la lectura que se tomó en la realidad (Campos, 1999).				
N°	AÑO	Pp máx en 24 hr.	FACTOR WEISS- OMM	Pp máx. en 24 hr. Corregida
1	1990	20.24	1.13	22.87
2	1991	15.29	1.13	17.28
3	1992	9.73	1.13	10.99
4	1993	13.01	1.13	14.70
5	1994	14.97	1.13	16.92
6	1995	2.10	1.13	2.37
7	1996	21.00	1.13	23.73
8	1997	22.00	1.13	24.86
9	1998	37.70	1.13	42.60
10	1999	32.00	1.13	36.16
11	2000	19.20	1.13	21.70
12	2001	28.30	1.13	31.98
13	2002	19.20	1.13	20.57
14	2003	54.00	1.13	61.02
15	2004	23.40	1.13	26.44
16	2005	30.70	1.13	34.69
17	2006	22.50	1.13	25.43
18	2007	35.30	1.13	39.89
19	2008	23.30	1.13	26.33
20	2009	31.50	1.13	35.60
21	2010	20.30	1.13	22.94
22	2011	28.00	1.13	31.64
23	2012	35.20	1.13	40.01
24	2013	17.00	1.13	20.11
25	2014	18.50	1.13	20.91
26	2015	22.80	1.13	25.76
27	2016	9.76	1.13	11.03
28	2017	16.89	1.13	19.09
29	2018	75.88	1.13	85.74
30	2019	13.61	1.13	15.38

**Figura 99**

*Corrección por intervalo fijo de observación (Factor Weiss) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla*



ESTACIÓN CHAGLLA - CORRECCIÓN POR INTERVALO FIJO DE OBSERVACIÓN (FACTOR WEISS)				
Se multiplicó por 1.13 (Factor de Weiss) a las Pp máx. 24hr, valor que es el factor de corrección de Pp máx. 24 hr recomendado por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) que consiste en aumentarle el 13 por ciento del valor de la precipitación para que el valor sea ajustado y más acorde con la lectura que se tomó en la realidad (Campoe, 1988).				
Nº	AÑO	Pp máx en 24 hr.	FACTOR WEISS- OMM	Pp máx. en 24 hr. Corregida
1	1980	23.45	1.13	26.60
2	1981	23.91	1.13	27.02
3	1982	24.87	1.13	28.10
4	1983	24.23	1.13	27.38
5	1984	23.95	1.13	27.08
6	1986	23.14	1.13	26.16
7	1988	24.21	1.13	27.38
8	1987	24.01	1.13	27.13
9	1988	20.40	1.13	23.06
10	1988	33.60	1.13	37.87
11	2000	41.50	1.13	46.90
12	2001	28.70	1.13	32.43
13	2002	24.60	1.13	27.80
14	2003	48.00	1.13	54.24
16	2004	45.00	1.13	50.86
18	2006	35.50	1.13	40.12
17	2008	41.50	1.13	46.90
18	2007	38.80	1.13	43.84
18	2008	32.80	1.13	37.08
20	2009	28.60	1.13	32.32
21	2010	49.20	1.13	55.60
22	2011	24.40	1.13	27.57
23	2012	40.80	1.13	46.10
24	2013	27.40	1.13	30.98
26	2014	35.00	1.13	38.65
26	2016	40.60	1.13	46.88
27	2016	28.40	1.13	32.09
28	2017	28.60	1.13	32.32
29	2018	28.60	1.13	32.32
30	2018	36.40	1.13	41.13

### 3.8.3.5 Prueba de datos dudosos (Outliers).

Con los datos de precipitación diaria máxima completa (30 años) para cada estación que se analizó, se procedió a realizar la prueba de datos dudosos, siguiendo el método del Water Resources Council. Este método recomienda analizar los datos dudosos que vienen a ser puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. De acuerdo con U. S. Water Resources Council (1981), si la asimetría de estación es mayor que +0.4, primero se consideran las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Cuando la asimetría de la estación se encuentra entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos

dudosos altos como también bajos antes de eliminar algún dato dudoso de la muestra. Estas pruebas se basan en obtener el promedio aritmético y la desviación estándar del logaritmo de cada dato. Adicionalmente se debe de considerar un nivel de significancia para obtener un valor de Kn que varía de acuerdo al número de datos analizados, en este caso para 30 valores, Kn es igual a 2.563 (Chow et al, 1994).

**Figura 100**

*Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael*

**ESTACIÓN SAN RAFAEL: PRUEBA DE DATOS DUDOSOS**

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Valor	Logaritmo
Número de datos (N)	30	30
Sumatoria	1188.42	68.27
Varianza	91.42	1.91
Var. Muestral	18.27	1.22
Medio	39.61	1.59
Desviación	133.88	1.12
Desviación Estándar	11.57	0.75
Coefficiente de Variación	0.27	0.15
Coefficiente de Asimetría o Deseq.	1.36	0.1000
Se Considera:	Añadir pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos	

$n^*$	30.00
$Kn^*$	2.563
$Kn$	2.563
$YH$	1188.42
$YL$	1188.42
$S$	91.42
$\delta_y$	133.88

**Umbral de datos dudosos altos (af. unidad, Logarítmica)**

$$Y_g = \bar{y} + K_n \cdot s \quad YH = 1187$$

**Precipitación máxima aceptada**

$P_{95}$	TP(95)	$P_{50}$	31.55 mm
----------	--------	----------	----------

**NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTOS DE LA MUESTRA**

**Umbral de datos dudosos bajos (af. unidad, Logarítmica)**

$$Y_l = \bar{y} - K_n \cdot s \quad YL = 1189$$

**Precipitación mínima aceptada**

$P_{50}$	TP(50)	$P_{95}$	14.28 mm
----------	--------	----------	----------

**NO EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJOS DE LA MUESTRA**

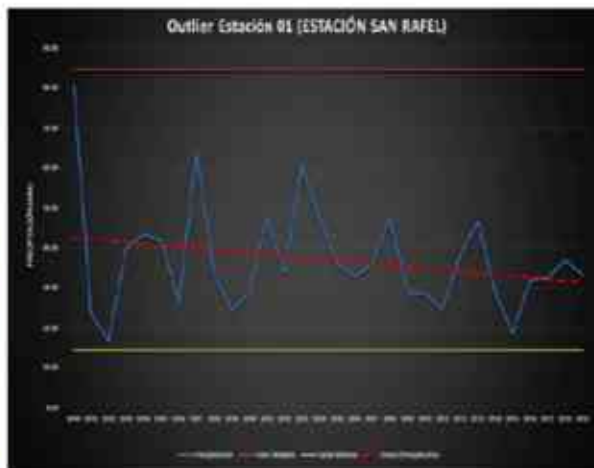


Figura 101

Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, asimismo con su respectiva corrección de datos

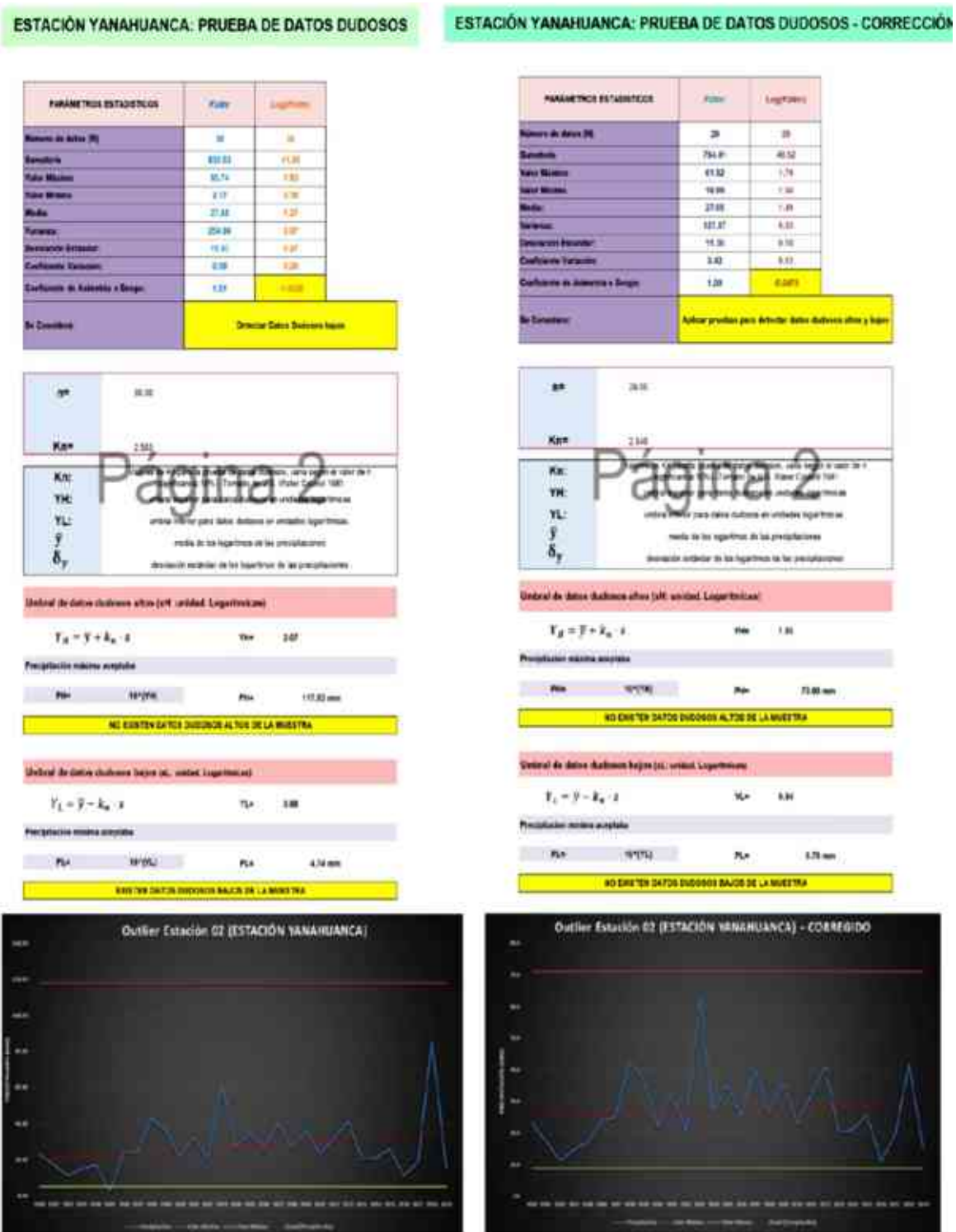


Figura 102

Prueba de datos dudosos (Outliers) de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla

ESTACIÓN YANAHUANCA: PRUEBA DE DATOS DUDOSOS

PARAMETROS ESTADÍSTICOS	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	30	30
Sumatoria	1073.69	46.29
Valor Máximo	55.60	1.75
Valor Mínimo	23.65	1.38
Medio	35.79	1.54
Varianza	87.05	0.01
Desviación Estándar	9.35	0.11
Coefficiente de Variación	0.29	0.07
Coefficiente de Asimetría o Skew:	0.85	0.3000

Se Considera: Aplicar pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos

n=	30.00
Kn=	2.581
Kn:	Valores de la constante crítica (para datos dudosos), varía según el valor de n (ver Anexo 12) (Trenberth, 1975; Water Control 1981)
YH:	Umbral superior para detectar datos dudosos en unidades logarítmicas
YL:	umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.
$\bar{y}$	media de los logaritmos de las precipitaciones
$\delta_y$	desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones

Umbral de datos dudosos altos (H): unidad. Logarítmicas

$$Y_H = \bar{y} + k_n \cdot s$$

YH= 1.82

Precipitación máxima aceptada

P <sub>24</sub> H	10 <sup>YH</sup>	P <sub>24</sub> L	66.23 mm
-------------------	------------------	-------------------	----------

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS ALTOS DE LA MUESTRA

Umbral de datos dudosos bajos (L): unidad. Logarítmicas

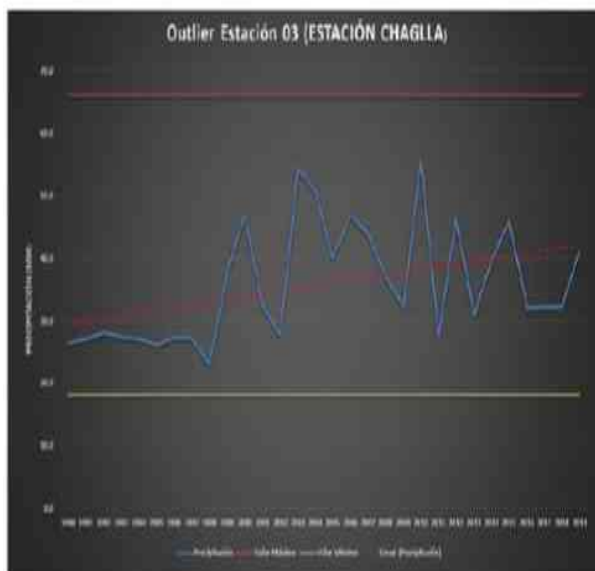
$$Y_L = \bar{y} - k_n \cdot s$$

YL= 1.26

Precipitación mínima aceptada

P <sub>24</sub> L	10 <sup>YL</sup>	P <sub>24</sub> H	18.17 mm
-------------------	------------------	-------------------	----------

NO EXISTEN DATOS DUDOSOS BAJOS DE LA MUESTRA



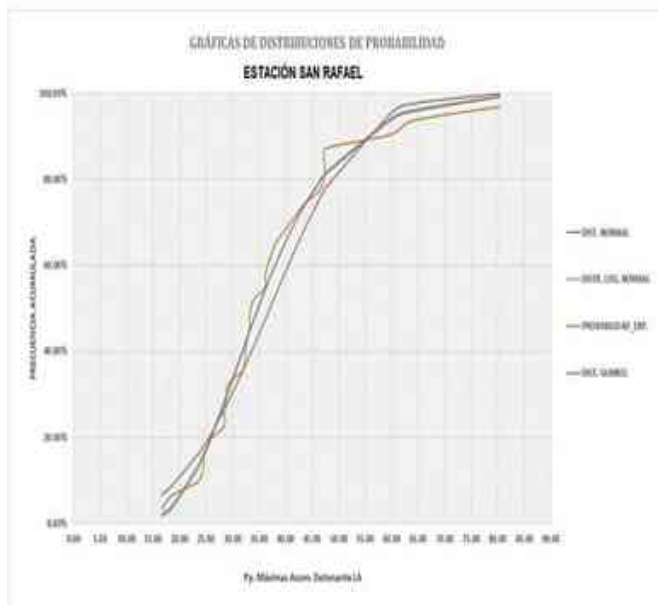
### **3.8.3.6 Análisis hidrológico estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas.**

#### ***3.8.3.6.1 Ajuste de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) a distintas funciones de probabilidad.***

Se ajustó las precipitaciones máximas multianuales en 24 horas a los distintos tipos de distribuciones de probabilidad que existen para el análisis hidrológico estadístico. Por consiguiente, los procedimientos realizados en este estudio, se desarrollaron en una hoja de Excel para 4 tipos de distribuciones (Normal, Log-Normal, Log-Pearson III y Gumbel), asimismo con el programa HIDROESTA se adicionaron 4 distribuciones (Log-Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros y Log-Gumbel), todas estas distribuciones se realizaron para la estación San Rafael, estación Yanahuanca y estación Chaglla. A continuación, en la Figura 103, se muestra las gráficas del ajuste estadístico de las precipitaciones máximas observadas a las distintas distribuciones de probabilidad en la estación San Rafael, estación Yanahuanca y la estación Chaglla.

#### **Figura 103**

*Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael, a distintas distribuciones de probabilidad*

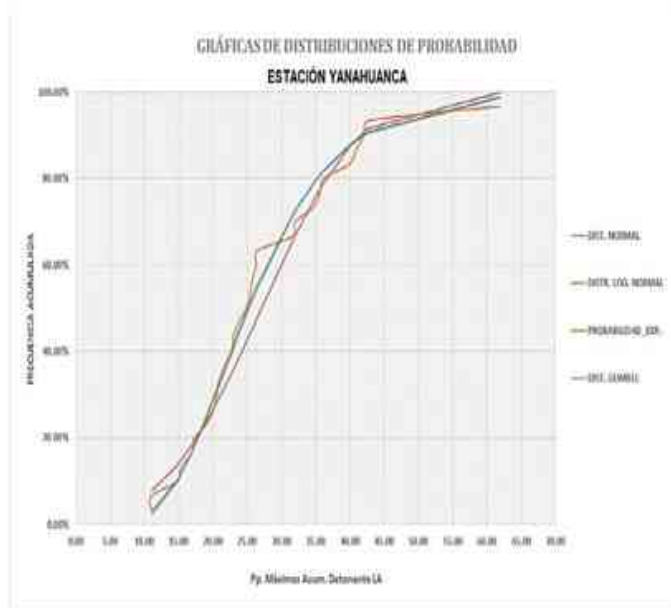


GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL O LOG-NORMAL DE 2 PARÁMETROS (DISTRIBUCIÓN QUE MEJOR SE AJUSTA) - PROGRAMA HIDROESTA



Figura 104

Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca, a distintas distribuciones de probabilidad



GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL DE 3 PARÁMETROS (DISTRIBUCIÓN QUE MEJOR SE AJUSTA) - PROGRAMA HIDROESTA

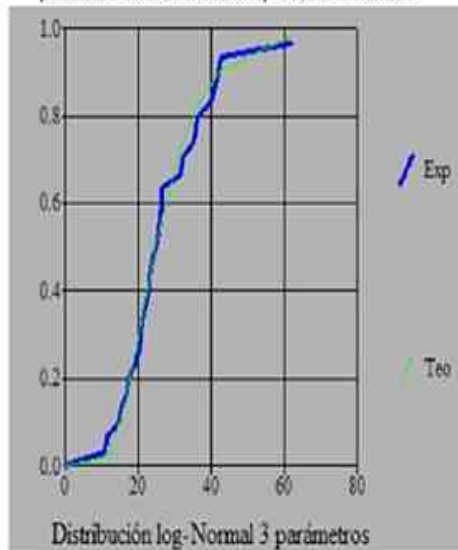
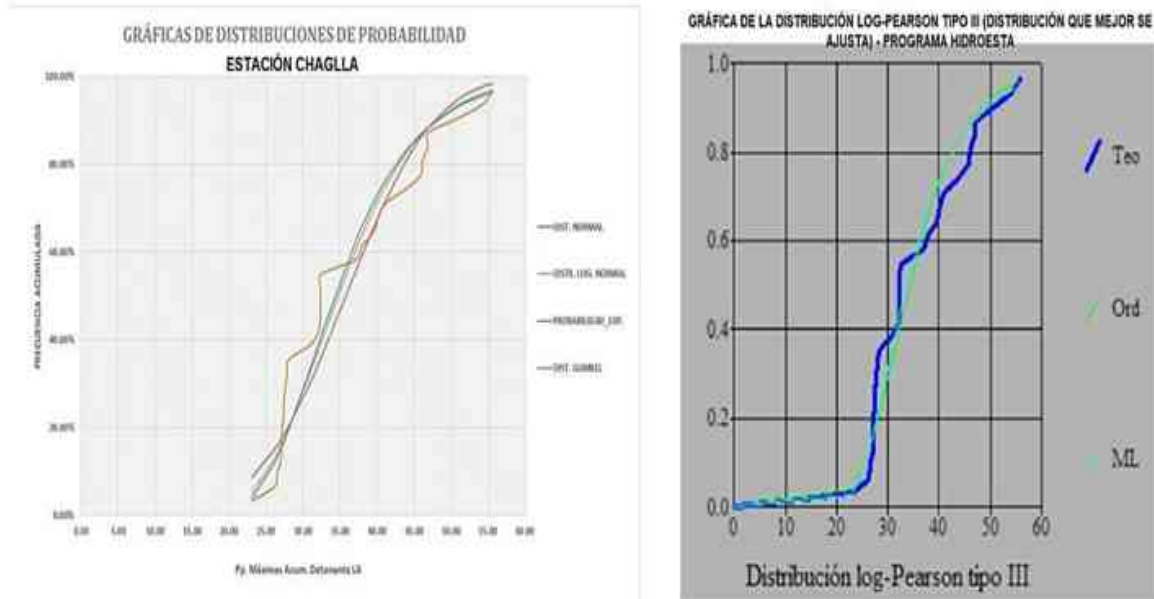


Figura 105

*Ajuste estadístico de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla, a distintas distribuciones de probabilidad*



### 3.8.3.6.2 Prueba de bondad de ajuste.

Con el objetivo de determinar qué distribución de probabilidad se ajusta mejor (o no se ajusta) a cada estación (estación San Rafael, estación Yanahuanca y estación Chaglla), se aplicó la prueba de bondad (Kolmogórov-Smirnov) para cada distribución (Normal, Log-Normal, Log Pearson Tipo III y Gumbel). Por lo cual, para realizar esta prueba de bondad se usó la distribución de probabilidad Weibull, ya que, nos ayudó a distribuir toda la data que se tiene; además de ordenarla de menor a mayor, para una probabilidad empírica de excedencia (máximos), siendo importante para esta distribución el número de datos ( $n$ ) y orden de los datos ( $m$ ). Luego, se determinó la probabilidad observada ( $P_{(x)}$ ), o experimental (fórmula de Weibull), y la probabilidad teórica ( $F_{(z)}$ ) (obtenida de tablas estadísticas), para así obtener la diferencia máxima de estas probabilidades. Al final, se seleccionó la mínima de todas las diferencias máximas de cada



probabilidad, asimismo, se comparó esta diferencia con los valores críticos para la prueba Kolmogorov – Smirnov; con la cual, se eligió la distribución que mejor se ajusta para la estación San Rafael, Yanahuanca y Chaglla. Todos estos cálculos se realizaron en hojas de Excel y en el programa Hidroesta 2, teniendo en cuenta que esta prueba estadística tiene por finalidad medir la incertidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una serie de registros de datos pluviométricos.

**Figura 106**

*Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación San Rafael*





Figura 107

Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Yanahuanca



Figura 108

Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov, para las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) de la estación Chaglla



### ***3.8.3.6.3 Cálculo de precipitaciones máximas en 24 horas, con sus respectivas intensidades, para distintos períodos de retorno.***

Debido a que nuestro país, posee una escasa cantidad de información pluviográfica, difícilmente se pueden calcularse las intensidades, con sus respectivas duraciones; por lo que, se necesita de los coeficientes propuestos por Campos Aranda (1978) y el Ministerio de Transporte y Comunicación [MTC] (2011), ya que, el valor de la intensidad máxima en 24 horas, generalmente, se estima a partir de la multiplicación de la precipitación de lluvia máxima en 24 horas por un coeficiente de duración, los cuales se distribuyen de 1 a 24 horas (MTC, 2011). Por tal motivo, para esta investigación, se determinó las precipitaciones máximas en 24 horas, con sus respectivas intensidades para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno, de cada estación requerida (estación San Rafael, estación Yanahuanca y estación Chaglla). Finalmente, se obtuvieron las intensidades máximas, con sus respectivas duraciones para los distintos periodos de retorno propuestos (TR = 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años)

#### **Figura 109**

*Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación San Rafael.*

ESTACIÓN SAN RAFAEL - PRECIPITACIONES E INTENSIDADES MÁXIMAS

Pp. Máximas de acuerdo con los coeficientes para una duración de 24 horas de lluvia - Campo (1978)

D (duración) en años	PRECIPITACIONES MÁXIMAS (mm) PARA DIFERENTES T								
	Período de Retorno (T), años								
	10	15	20	25	30	50	100	200	500
24	54.28	58.58	61.55	62.54	75.89	77.89	94.90	94.25	
18	48.58	52.28	55.21	55.58	64.51	65.88	77.28	85.71	
12	43.42	46.85	49.24	51.07	58.71	62.21	67.82	75.40	
8	38.91	39.82	41.88	43.41	48.21	52.57	57.73	64.98	
6	33.11	33.72	37.32	38.36	43.24	47.51	51.79	57.46	
4	30.94	31.38	35.08	36.39	40.41	44.40	48.39	53.72	
3	28.23	28.45	32.01	32.20	36.86	40.93	44.15	49.91	
2	24.97	26.84	28.31	29.37	32.61	35.83	39.85	43.36	
1	21.17	22.94	24.00	24.90	27.85	30.38	33.11	36.78	
0.5	18.28	17.57	18.47	19.15	21.27	23.37	25.47	28.28	

Pp. Máximas de acuerdo con los coeficientes para una duración de 24 horas de lluvia - Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje (2011)

D (duración) en años	PRECIPITACIONES MÁXIMAS (mm) PARA DIFERENTES T								
	Período de Retorno (T), años								
	10	15	20	25	30	50	100	200	500
24	54.28	58.58	61.55	63.54	75.89	77.89	94.90	94.25	
18	48.85	52.75	55.40	57.46	65.88	67.88	84.89	84.24	
12	42.88	46.28	49.82	50.43	58.89	61.53	67.87	74.46	
8	34.74	37.45	39.28	40.88	45.87	48.88	54.34	60.82	
6	30.40	32.79	34.47	35.79	39.79	43.82	47.54	52.78	
4	27.14	28.28	30.78	31.82	35.45	38.88	42.48	47.13	
3	23.88	25.71	27.88	28.89	31.19	34.21	37.36	41.87	
2	20.83	22.25	23.78	24.28	26.94	29.88	32.28	36.82	
1	18.88	19.21	19.74	19.88	22.88	24.21	26.40	29.21	
0.5	13.57	14.84	15.58	15.86	17.72	19.47	21.23	23.58	

D (duración) en años	INTENSIDADES MÁXIMAS (mm/hora) PARA DIFERENTES T								
	Período de Retorno (T), años								
	10	15	20	25	30	50	100	200	500
24	2.26	2.44	2.58	2.68	2.95	3.03	3.54	3.63	
18	2.74	2.86	3.11	3.23	3.58	3.64	4.28	4.78	
12	3.82	3.88	4.12	4.28	4.73	5.18	5.88	6.28	
8	4.81	4.88	5.23	5.45	6.03	6.62	7.22	8.81	
6	5.82	5.88	6.28	6.49	7.21	7.82	8.83	9.88	
4	6.19	6.68	7.02	7.28	8.38	8.88	9.88	10.74	
3	7.36	7.61	8.08	8.30	9.22	10.13	11.84	12.28	
2	8.82	8.88	9.44	9.79	10.87	11.84	13.82	14.40	
1	10.58	11.42	12.88	12.45	13.82	15.18	16.56	18.38	
0.5	16.28	17.57	18.47	19.15	21.27	23.37	25.47	28.28	

D (duración) en años	INTENSIDADES MÁXIMAS (mm/hora) PARA DIFERENTES T								
	Período de Retorno (T), años								
	10	15	20	25	30	50	100	200	500
24	2.26	2.44	2.58	2.68	2.95	3.03	3.54	3.63	
18	2.71	2.83	3.08	3.18	3.54	3.60	4.25	4.71	
12	3.87	3.88	4.03	4.20	4.67	5.13	5.88	6.28	
8	4.84	4.88	4.82	5.11	5.87	6.23	6.78	7.34	
6	5.87	5.47	5.74	5.88	6.82	7.27	7.82	8.88	
4	5.42	5.88	6.16	6.38	7.38	7.79	8.45	9.42	
3	5.87	6.44	6.77	7.02	7.88	8.87	9.54	10.37	
2	6.88	7.42	7.88	8.08	8.88	8.87	10.78	11.84	
1	8.44	8.71	8.87	8.87	11.82	12.11	13.28	14.88	
0.5	13.57	14.84	15.58	15.86	17.72	19.47	21.23	23.58	

Coeficiente para una duración de 24 horas de lluvia	
Fuente: 6.7 Campo 6, 1978	
Duración (horas)	Coeficiente
24	1.00
18	0.91
12	0.80
8	0.68
6	0.61
4	0.57
3	0.53
2	0.48
1	0.35

Coeficiente para una duración de 24 horas de lluvia	
Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje (2011) - 811 - 2011	
Duración (horas)	Coeficiente
24	1.00
18	0.85
12	0.75
8	0.64
6	0.58
4	0.54
3	0.50
2	0.41
1	0.28

Coeficientes	
Período de Retorno	Fuente (mm)
10	54.28
15	58.58
20	61.55
25	62.54
30	75.89
50	77.89
100	94.90
200	94.25
500	94.25

**IMPORTANCIA DE LA DURACIÓN DE LA LUBRIFICACIÓN EN EL DISEÑO DE LOS DRENAJES**

El tiempo de lluvia es un factor esencial en la determinación de la intensidad de lluvia que se utiliza en el diseño de los drenajes. Este tiempo de lluvia debe ser el tiempo de duración de la lluvia que produce la máxima intensidad de lluvia para una duración de 24 horas. Este tiempo de lluvia debe ser el tiempo de duración de la lluvia que produce la máxima intensidad de lluvia para una duración de 24 horas. Este tiempo de lluvia debe ser el tiempo de duración de la lluvia que produce la máxima intensidad de lluvia para una duración de 24 horas.

Duración (horas)	Intensidad (mm/hora)
24	3.82
18	4.81
12	5.82
8	6.19
6	7.36
4	8.82
3	10.58
2	16.28
1	21.27

Nota: Este tiempo de lluvia debe ser el tiempo de duración de la lluvia que produce la máxima intensidad de lluvia para una duración de 24 horas.

Figura 110

Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación Yanahuanca

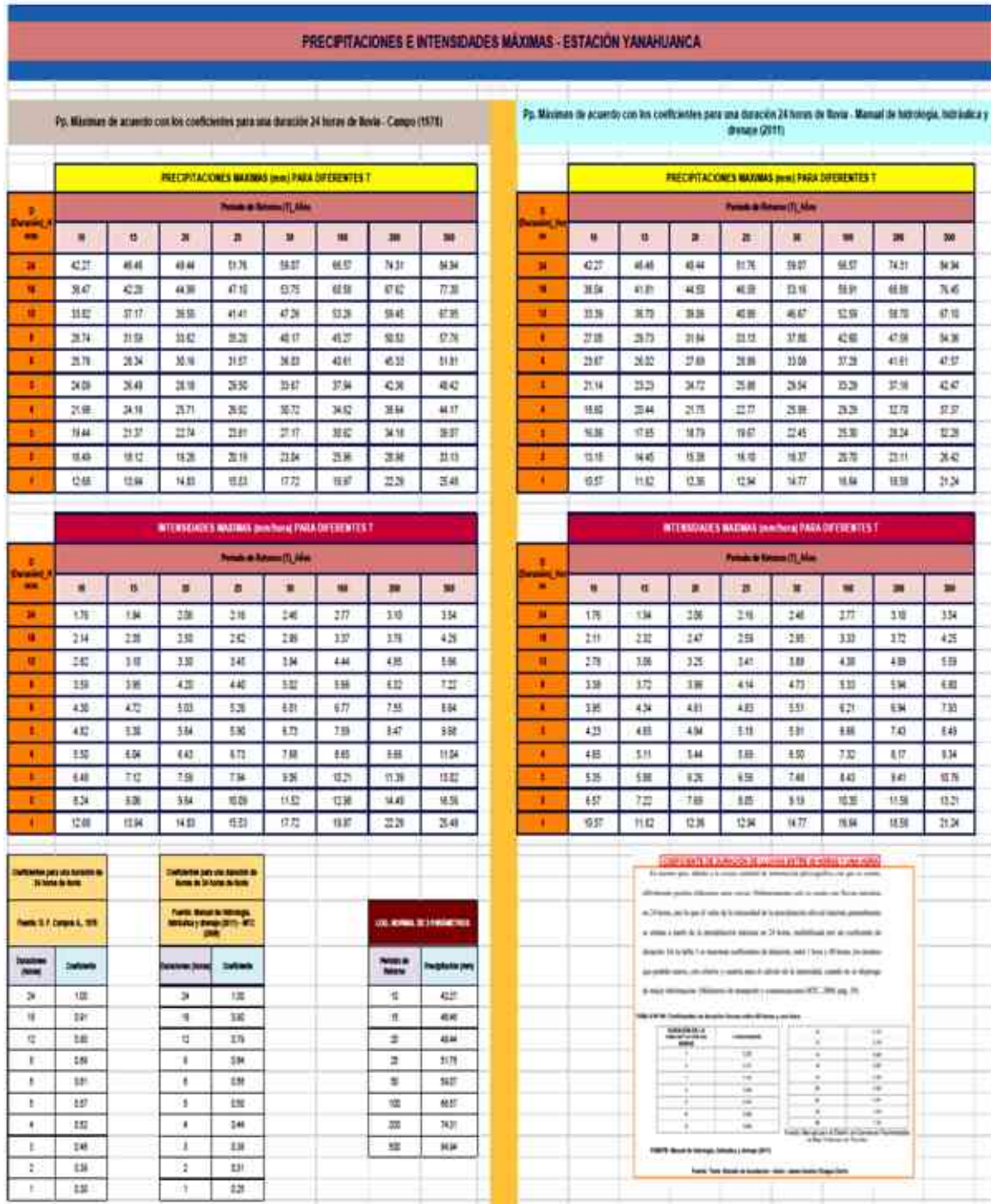
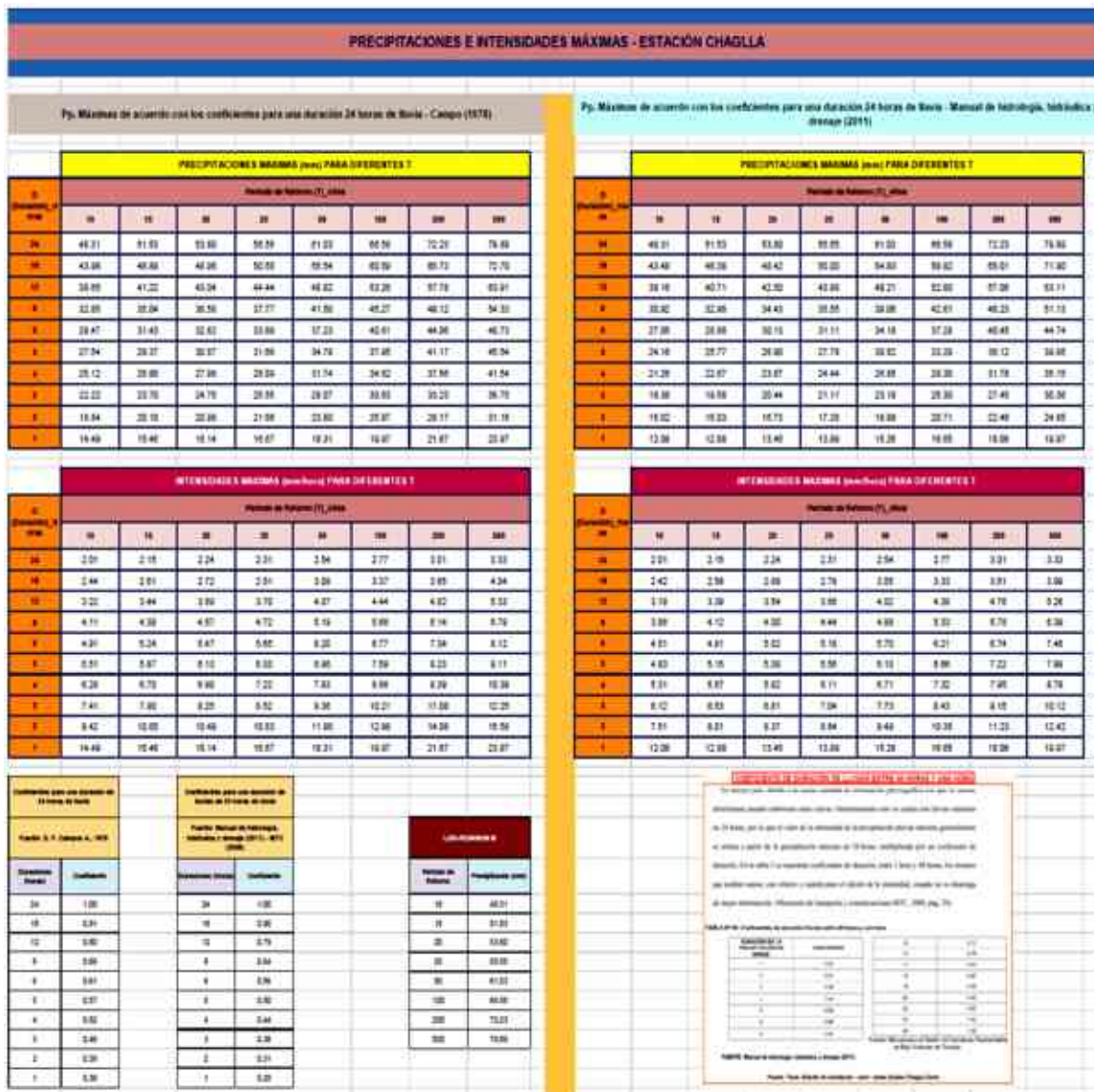




Figura 111

Precipitaciones e intensidades máximas, para distintas duraciones y periodos de retorno, de la estación Chaglla



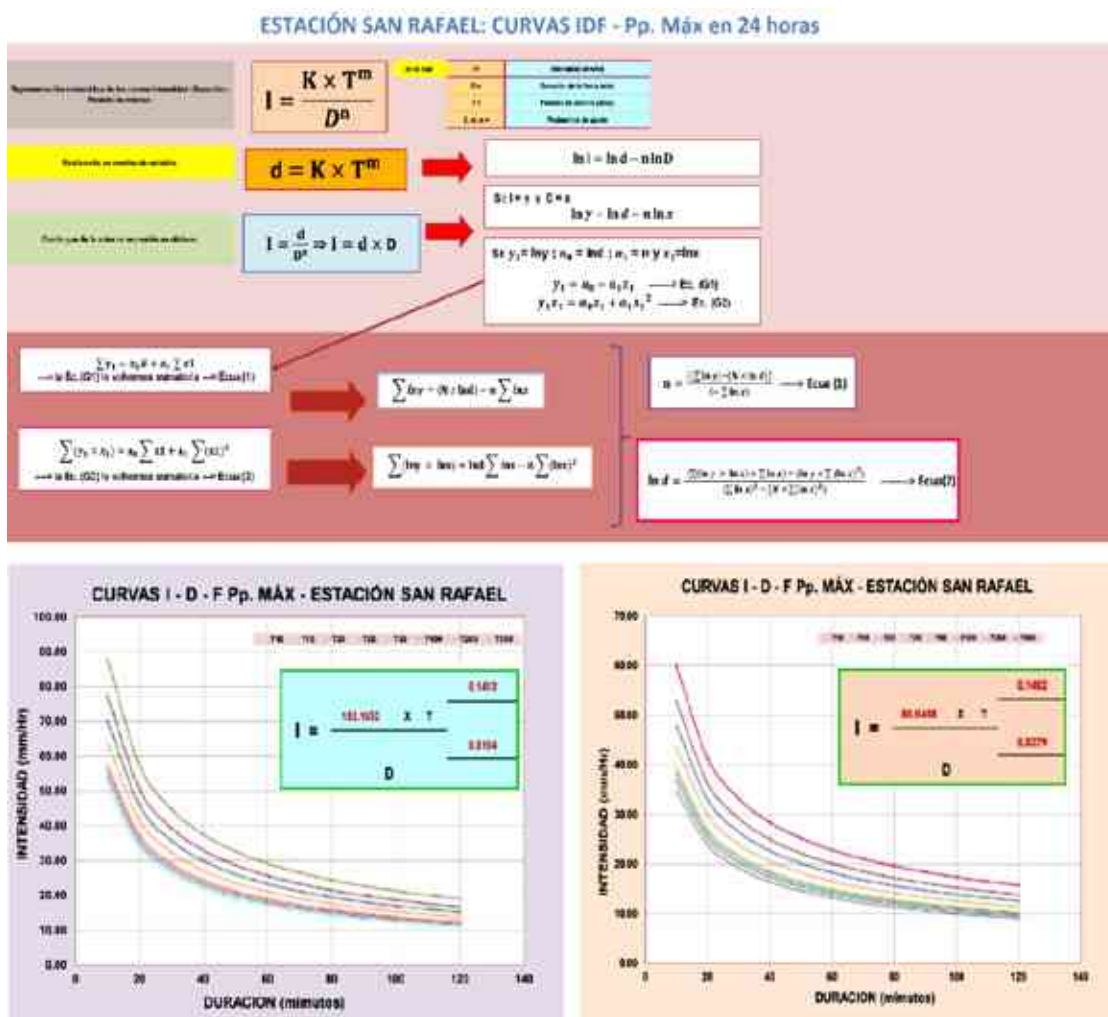
### 3.8.3.7 Diseño de tormentas mediante relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

En esta investigación, se utilizó el análisis estadístico (regresivo) de las curvas IDF, la cual fue propuesta por Aparicio Mijares (1992). Este análisis genera una ecuación

que relaciona tres variables como la Intensidad, Periodo de retorno y Duración (I, T, D) en una familia de curvas, a través de un modelo de regresión lineal, a zonas que carecen de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca.

Figura 112

Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación San Rafael

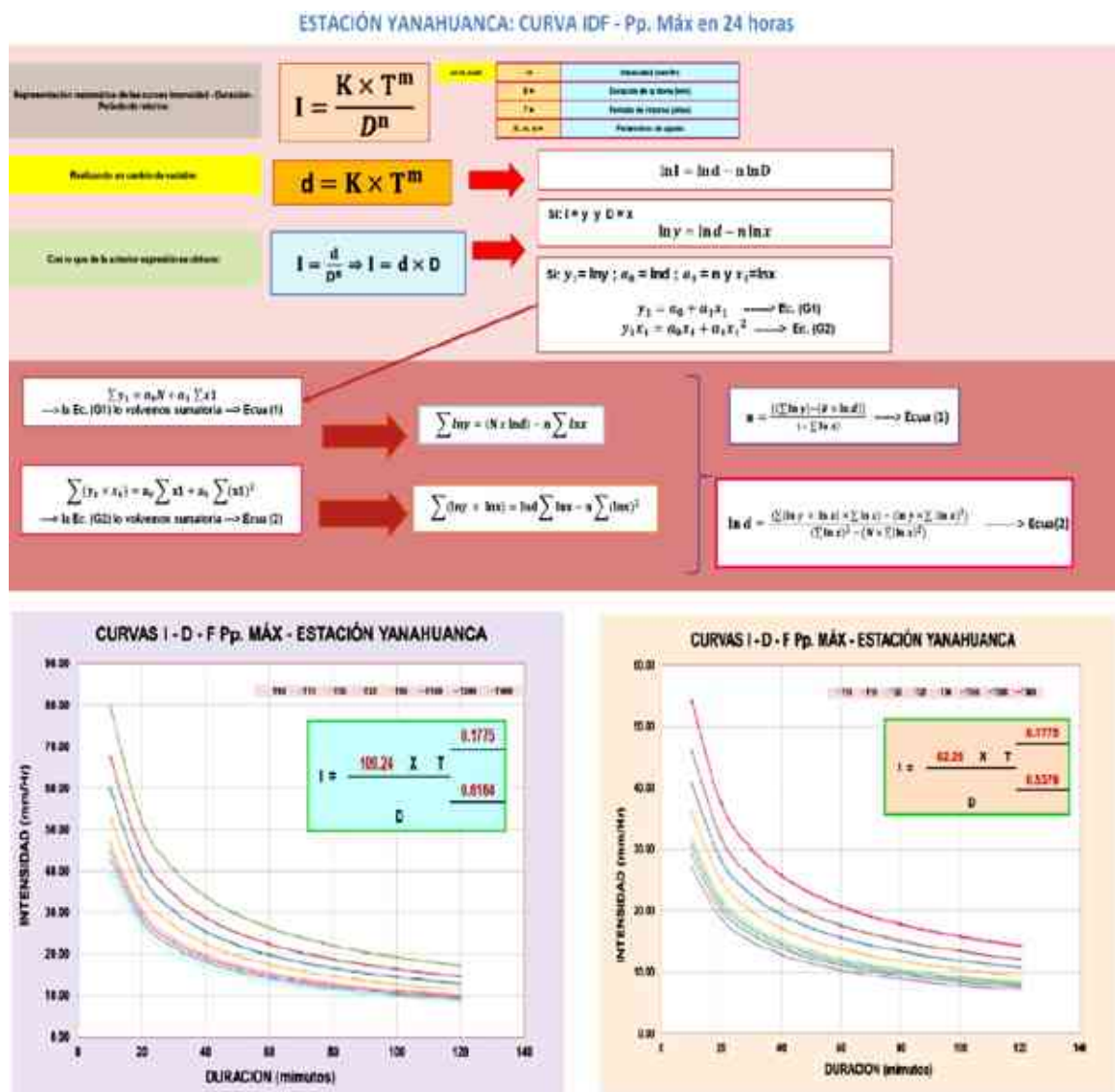


**Nota,** la primera familia de Curvas IDF (margen izquierdo) son obtenidos mediante los coeficientes propuestos por Campos Aranda (1978). La segunda familia de Curvas IDF (margen derecho) son conseguidos, a partir de los coeficientes propuesto por Ministerio

de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2011). Además, el cálculo de los factores característicos de la zona de estudio, es obtenido a partir de una regresión lineal de las intensidades para tiempos de retorno 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Figura 113

Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación Yanahuanca

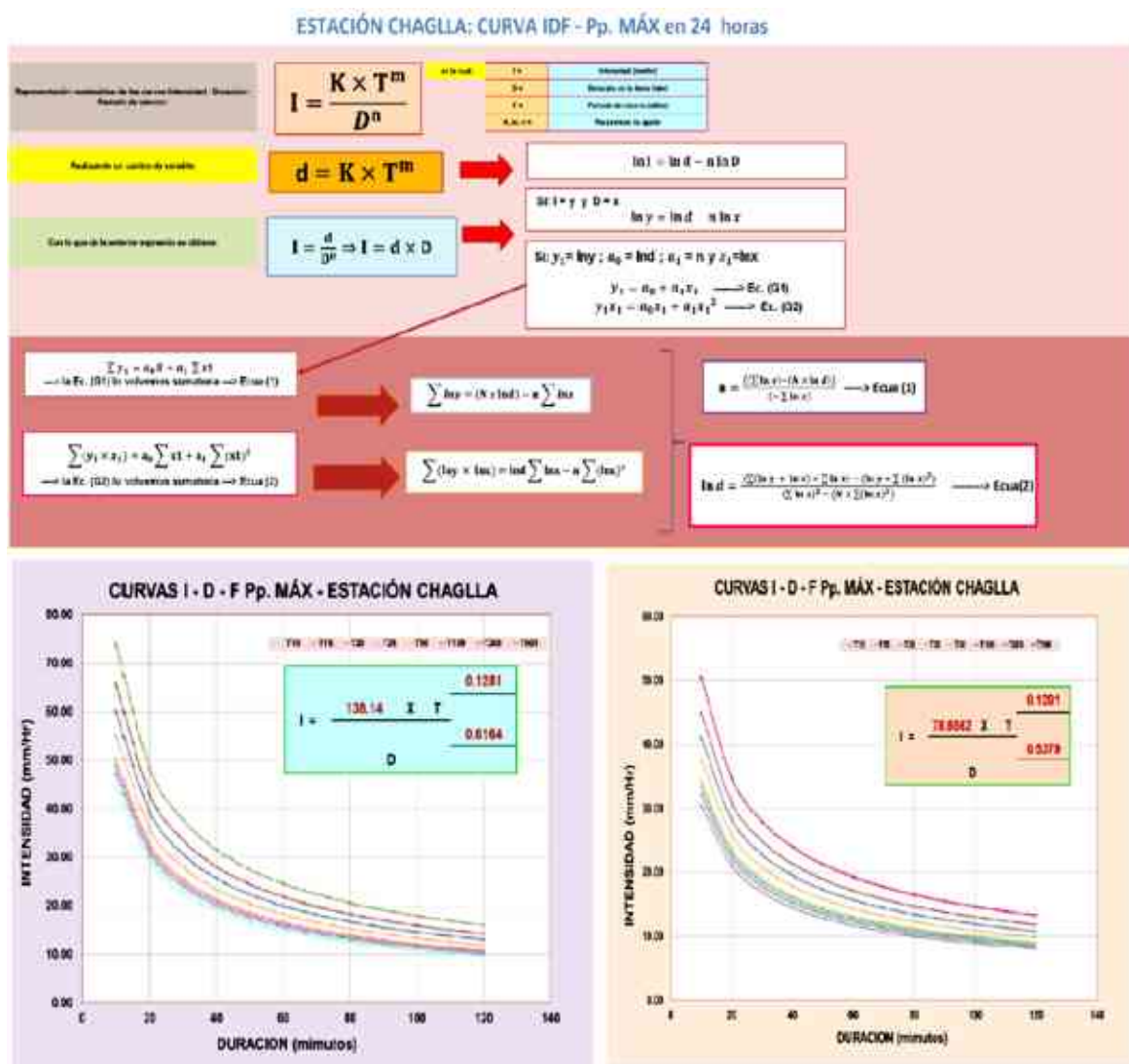


**Nota,** la primera familia de Curvas IDF (margen izquierdo) son obtenidos mediante los coeficientes propuestos por Campos Aranda (1978). La segunda familia de Curvas IDF

(margen derecho) son conseguidos, a partir de los coeficientes propuesto por Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2011). Además, el cálculo de los factores característicos de la zona de estudio, es obtenido a partir de una regresión lineal de las intensidades para tiempos de retorno 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Figura 114

Curvas IDF de las precipitaciones máximas multianuales (1990-2019) en 24 horas de la estación Chaglla





**Nota,** la primera familia de Curvas IDF (margen izquierdo) son obtenidos mediante los coeficientes propuestos por Campos Aranda (1978). La segunda familia de Curvas IDF (margen derecho) son conseguidos, a partir de los coeficientes propuesto por Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2011). Además, el cálculo de los factores característicos de la zona de estudio, es obtenido a partir de una regresión lineal de las intensidades para tiempos de retorno 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

#### **3.8.4 Cuarto paso: estudio morfométrico de la microcuenca Rosayoc/Batán.**

El estudio morfométrico de una cuenca es la aplicación de procedimientos que, mediante el análisis de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos. Por ende, con estos parámetros se puede comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Asimismo, están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca. De lo mencionado anteriormente, se concluye que, estos parámetros morfométricos nos indican las formas de la superficie terrestre, en base a su situación altitudinal; además tienen influencia decisiva sobre los más relevantes factores condicionantes del régimen hidrológico de la zona de estudio. Algunos de estos factores condicionantes son: la precipitación, escorrentía, infiltración y, la formación de depósitos y sedimentos.

Para la caracterización morfométrica de la microcuenca Rosayoc/Batán, se usó una hoja Excel de cálculo, la cual se complementó con el análisis computacional en el programa QGIS. Esto se realizó, con los objetivos de verificar los resultados en la hoja Excel, dibujar las divisorias de aguas y obtener algunos datos morfométricos adicionales.

Todos los resultados del estudio morfométrico, se logró a través de la información satelital como el Modelo Digital de Terreno (DEM) ALOS PALSAR con resolución de 12.5 m. A partir del DEM mencionado, se determinó la red de drenaje y la delimitación de

microcuenca Rosayoc/Batán. De igual forma, con los datos obtenidos del análisis SIG, se calculó los otros parámetros morfométricos restantes y los tiempos de concentración.

### ***3.8.5 Quinto paso: hidrograma unitario del SCS para la determinación del caudal líquido de escorrentía.***

Mediante el método del hidrograma de escorrentía superficial o hidrograma unitario sintético del SCS, se obtuvieron los resultados de las precipitaciones de escorrentía, los caudales líquidos de escorrentía y las pérdidas (al inicio de las precipitaciones y durante la escorrentía) para cada caso requerido; asimismo, el tiempo y caudal pico del hidrograma de escorrentía. También, a través de la corrección según el grado de humedad previa del suelo, se logró tener datos más precisos, respecto a las precipitaciones y los caudales líquidos de escorrentía que detonan movimientos de flujo de detritos en la microcuenca Rosayoc/Batán.

### ***3.8.6 Sexto paso: simulación computacional con FLO-2D mediante la hidráulica de los flujos de detritos***

En este caso, se estudió primero la mecánica de los flujos de detritos, las ecuaciones o modelos matemáticos, que gobiernan su movimiento, y la reología de los flujos de detritos; esto con el objetivo de comprender mejor el movimiento de los flujos de detritos, luego se determinó las ecuaciones, que intervinieron en el cálculo de los caudales y volúmenes de los flujos de detritos, asimismo, se utilizó la concentración volumétrica y las fórmulas desarrolladas por O'Brien (2006, citado en Niño Piña, 2015, 2009) y JICA – Takahashi (citado en Niño Piña, 2015). Todo este análisis mencionado, se logró mediante el análisis computacional en el programa FLO-2D.

### ***3.8.7 Séptimo paso: gestión de riesgo de desastres – análisis y evaluación de la peligrosidad.***

En esta investigación, se utilizó las medidas no estructurales, que son medidas de control, prevención y mitigación ante movimientos de flujo de detritos. Estas medidas consisten en la determinación del peligro o amenaza ante movimientos de flujo de detritos. Además, también se usó el Sistema de Alerta Temprana (SAT), con el propósito de monitorear, procesar y sistematizar la información sobre peligros previsible en un área específica. Para el uso de este sistema se manejó 4 niveles de alerta, que se presentan mediante los siguientes colores: peligro bajo (verde), peligro medio (amarillo), peligro alto (naranja) y peligro muy alto (rojo) (manual del CENEPRED, 2014a). Adicionalmente, se determinó los niveles de peligro, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, mediante el modelo FLO-2D, el cual maneja 3 niveles de alerta representados con los siguientes colores: peligro bajo (amarillo), nivel de peligro medio (naranja), peligro alto (rojo).

### ***3.8.8 Octavo paso: mapa de peligro.***

Por último, se realizó el mapa de peligrosidad, de tal manera que se pueda identificar mediante el mapeo los niveles de peligrosidad ante la amenaza de movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán.

## **3.9 Tabulación y análisis de datos**

El análisis de datos es la forma de utilizar la estadística y otros sistemas modernos como la computación, con el objetivo de profundizar en los resultados, hacer proyecciones de los datos y mejorar los cálculos e interpretaciones de los mismos. Por ello, para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos, se empleó medidas de tendencia central (media) y medidas de variabilidad (desviación estándar y varianza). Además, para estimar

los parámetros se usaron la distribución muestral y el análisis paramétrico, como los coeficientes de correlación, regresión lineal, consistencia en la media con la prueba T – Student y consistencia en la desviación estándar con la prueba F – Fisher. También, se aplicó la estadística no paramétrica como la técnica de bootstrap y la densidad de Kernel (KDE). Asimismo, para procesar los datos del trabajo de investigación se usaron los softwares como: Microsoft Excel, IBM SPSS Statistics 25, Hidroesta 2, ArcGis, QGIS, FLO-2D, entre otros.

### **3.10 Consideraciones éticas**

En el presente estudio, se consideran los siguientes aspectos éticos:

- Se respeta la protección de la propiedad intelectual de los autores, respecto a las teorías y conocimientos tomados para el desarrollo del marco teórico; por lo cual, se citaron apropiadamente a cada autor, así como la precisión de las fuentes bibliográficas en donde se encuentra lo referenciado.
- Las informaciones recolectadas serán confiables; ya que son fuentes primarias, proporcionadas por las instituciones públicas del estado, y extraídas de forma directa in situ. Por ende, los resultados serán confiables y validados, así como por la metodología empleada y el consentimiento informado respectivo.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

### 4.1 Umbrales críticos de precipitación de lluvia (LA y LAA), que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán

#### 4.4.1 Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA).

Siguiendo lo mencionado en la teoría, y luego de calibrar y validar los umbrales estadísticos de precipitación de lluvia, se utilizó los métodos de inferencia estadística y la teoría de las probabilidades, que comúnmente se aplican en la hidrología convencional. Asimismo, se eligió trabajar con los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA); ya que, cuando exista valores superiores al umbral mínimo de lluvia, se aumentará la probabilidad de ocurrencia de movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Finalmente, después de todo el procedimiento mencionado se obtuvieron los siguientes umbrales mínimos LA confiables, para distintos periodos de retorno:

**Tabla 60**

*Umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) para distintos periodos de retorno*

	LA1 MIN 5DÍAS (mm)	LA1 MIN 18DÍAS (mm)	LA2 MIN 5DÍAS (mm)	LA2 MIN 6DÍAS (mm)	LA2 MIN 7DÍAS (mm)
<b>Periodo de Retorno (TR)</b>	$E = (6.6 + 0.7)D^{(0.43 - 0.03)}$	$E = (0.57 + 0.06)D^{(0.784 - 0.021)}$	$E = D^{(0.870 - 0.065)}$	$E = D^{(0.670 - 0.033)}$	$E = D^{(0.568 - 0.034)}$
	$24 \leq D \leq 120$	$24 \leq D \leq 432$	$24 \leq D \leq 120$	$24 \leq D \leq 144$	$24 \leq D \leq 168$
10		61.06			
15	53.02	64.94		25.29	
20	54.36	67.48		26.15	16.85
25	55.34	69.35	54.33	26.79	17.23
50	58.14	74.71	58.43	28.60	18.30

100	60.67	79.53	62.11	30.24	19.27
200	62.98	83.94	65.48	31.73	20.15
500	65.78	89.28	69.57	33.55	21.22

#### 4.4.2 Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA).

Según lo señalado en la teoría, se utilizó los métodos de inferencia estadística y la teoría de las probabilidades, que comúnmente se aplican en la hidrología convencional. Además, se escogió trabajar con los umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA); ya que, cuando exista valores superiores al umbral mínimo de lluvia, se aumentará la probabilidad de ocurrencia de movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Por último, después de todo el procedimiento mencionado se obtuvieron los siguientes umbrales mínimos LAA confiables, para distintos periodos de retorno:

**Tabla 61**

*Umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA) para distintos periodos de retorno*

Periodo de Retorno (TR)	LAA2 MÍN 3 DÍAS (mm)	LAA2 MÍN 4 DÍAS (mm)	LAA2 MÍN 5 DÍAS (mm)	LAA2 MÍN 8 DÍAS (mm)	LAA2 MÍN 12 DÍAS (mm)
	$E = D^{(0.521 - 0.021)}$	$E = D^{(0.653 - 0.073)}$	$D^{(0.572 - 0.020)}$	$D^{(0.573 - 0.010)}$	$D^{(0.796 - 0.004)}$
	24 ≤ D ≤ 72	24 ≤ D ≤ 96	24 ≤ D ≤ 120	24 ≤ D ≤ 192	24 ≤ D ≤ 288
10	9.08	14.76	14.44	19.31	
15	9.48	15.50	15.15	20.31	
20	9.73	15.98	15.62	20.97	93.72
25	9.93	16.33	15.97	21.46	96.34
50	10.47	17.35	16.95	22.85	103.82
100	10.96	18.27	17.84	24.10	110.56
200	11.41	19.10	18.65	25.24	116.72

---

500	11.95	20.12	19.64	26.63	124.18
-----	-------	-------	-------	-------	--------

---

## 4.2 Precipitaciones máximas multianuales en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán

Estos son los resultados de las precipitaciones máximas en 24 horas, con distintos periodos de retorno (TR), para cada una de las estaciones seleccionadas, en función a las partes (baja, media y alta) que conforman la quebrada Rosayoc/Batán.

**Tabla 62**

*Precipitaciones máximas en 24 horas, según las partes baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán, con diferentes periodos de retorno (TR)*

---

<b>ESTACIÓN SAN RAFAEL</b>		<b>ESTACIÓN YANAHUANCA</b>		<b>ESTACIÓN CHAGLLA</b>	
<b>Parte baja de la quebrada Rosayoc/Batán</b>		<b>Parte media de la quebrada Rosayoc/Batán</b>		<b>Parte alta de la quebrada Rosayoc/Batán</b>	
<b>TR</b>	<b>Pp. máx</b>	<b>TR</b>	<b>Pp. máx</b>	<b>TR</b>	<b>Pp. máx</b>
2	34.86	2	24.69	2	34.16
5	46.62	5	35.04	5	42.64
10	54.28	10	42.27	10	48.31
15	58.56	15	46.48	15	51.53
20	61.55	20	49.44	20	53.80
25	63.84	25	51.76	25	55.55
50	70.89	50	59.07	50	61.03
100	77.89	100	66.57	100	66.58
200	84.90	200	74.31	200	72.23
500	94.25	500	84.94	500	79.89

---

Se realizó el promedio ponderado de las precipitaciones clasificadas, según las partes de la quebrada, esto con el objetivo de obtener las precipitaciones máximas en 24 horas, con diferentes periodos de retorno (TR), en general de toda la quebrada Rosayoc/Batán.

Tabla 63

*Precipitaciones máximas en 24 horas, con diferentes periodos de retorno (TR), de la quebrada Rosayoc/Batán*

TR (años)	Parte baja de la quebrada Rosayoc/Batán	Parte media de la quebrada Rosayoc/Batán	Parte alta de la quebrada Rosayoc/Batán	Prom Ponderado de la Pp. Máxima
	Áreas			
	4.38	10.61	7.89	
	Pp. Máxima	Pp. Máxima	Pp. Máxima	
2	34.88	24.69	34.16	29.90
5	46.62	35.04	42.64	42.12
10	54.28	42.27	48.31	48.85
15	58.58	46.46	51.53	52.68
20	61.55	49.44	53.80	55.41
25	63.84	51.76	55.55	57.51
50	70.89	59.07	61.03	64.12
100	77.89	66.57	66.58	70.77
200	84.9	74.31	72.23	77.56
500	94.25	84.94	79.89	86.78

Tabla 64

*Umbral de precipitación máxima diaria de la estación San Rafael - SENAMHI*

Umbral de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbral calculado para la Estación: San Rafael
RR/día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR > 37.60 mm
95p < RR/día ≤ 99p	Muy lluvioso	17.10 mm < RR ≤ 37.60 mm
90p < RR/día ≤ 95p	Lluvioso	12.20 mm < RR ≤ 17.10 mm
75p < RR/día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	7.00 mm < RR ≤ 12.20 mm



*Nota*, datos tomados de la Tabla 9a. Umbrales de precipitación para las estaciones: Canchan, San Rafael, Chaglla, Dos de Mayo y Jacas Chico, considerando como periodo de estudio base 1964-2014. Anexos: umbrales y precipitaciones absolutas - 11. Región Huánuco. Fuente: SENAMHI (2014).

Finalmente, podemos deducir que, las precipitaciones máximas de la quebrada Rosayoc/Batán, según la clasificación de las partes de la quebrada y los umbrales de precipitación máxima diaria del SENAMHI, presentan una caracterización de tipo lluvioso a extremadamente lluvioso.

### 4.3 Parámetros morfométricos de la microcuenca Rosayoc/Batán

**Tabla 65**

*Parámetros físicos asociados a la geometría de la microcuenca Rosayoc/Batán*

---

PARÁMETROS FÍSICOS ASOCIADOS A LA GEOMETRÍA DE LA MICROCUENCA				
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	RANGO DE VALORES	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS
PERÍMETRO DE LA CUENCA (Km)	P	22.46 Km		Es la dimensión de la línea que limita la cuenca hidrográfica, a lo largo de la divisoria topográfica de aguas.
ÁREA DE LA CUENCA (Km <sup>2</sup> )	A	22.88 Km <sup>2</sup>	< 25 Km <sup>2</sup>	Microcuenca
LONGITUD MÁXIMA DE RECORRIDO (Km) O LONGITUD AXIAL	L <sub>M</sub>	7.89 Km		Es la longitud de la línea recta que conecta los puntos extremos de la cuenca en forma aproximadamente paralela al cauce principal

---

<b>LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (Km)</b>	<b>L<sub>CP</sub></b>	7.48 Km	Es la distancia medida desde el punto más distante del cauce (el de mayor orden) de la cuenca hasta la desembocadura.
<b>ANCHO DE LA CUENCA</b>	<b>ANc</b>	2.90 m	Es un parámetro que tiene una relación directa con el caudal de descarga. Asimismo, es la relación entre el área de la cuenca con la longitud máxima
<b>DESNIVEL ALTITUDINAL= C<sub>MÁX</sub>-C<sub>MÍN</sub> (m)</b>	<b>D<sub>A</sub></b>	1556 m	Es la diferencia entre la cota máxima y mínima

*Nota*, los datos de esta tabla se describieron según Camino et al. (2018).

**Tabla 66**

*Parámetros morfométricos asociados a la forma de la microcuenca Rosayoc/Batán*

**PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA**

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	RANGO DE VALORES	INTERPRETACION DE RESULTADOS
<b>FACTOR DE FORMA - HORTON</b>	<b>F<sub>F</sub></b>	0.37	Es un coeficiente adimensional que manifiesta cómo se regula la concentración de la escorrentía superficial. Se expresa como la relación entre el ancho de la cuenca y la longitud axial	< 1	La microcuenca es ligeramente alargada
<b>COEFICIENTE DE COMPACIDAD - GRAVELIUS</b>	<b>K<sub>C</sub></b>	1.32	Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca. Un índice de compacidad cercano al valor 1 indica que la forma de la cuenca se asemeja a un círculo; por lo tanto, la peligrosidad	1.25 - 1.50	La microcuenca es oval redonda, por lo que, posee cierto grado de peligrosidad

			de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central.		
			Este parámetro explica la relación entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca del área con el cauce principal que la drena. El valor 1 de este parámetro indica cuencas redondeadas y cuanto menor a la unidad sea el índice, mayor será el alargamiento de la misma		
<b>RAZÓN DE ELONGACION - SCHUMM</b>	$R_e$	0.72		< 1	La microcuenca es alargada y ensanchada

*Nota*, los datos de esta tabla se describieron e interpretaron según Camino et al. (2018).

**Tabla 67**

*Parámetros morfométricos asociados al relieve de la microcuenca Rosayoc/Batán*

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS AL RELIEVE DE LA CUENCA					
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	RANGO DE VALORES	INTERPRETACION DE RESULTADOS
ALTURA MÁXIMA (m.s.n.m)	$C_{MAX}$	4287	Es la cota más baja de la microcuenca		
ALTURA MÍNIMA (m.s.n.m)	$C_{MIN}$	2731	Es la cota más elevada de la microcuenca		
ALTITUD MEDIA (m.s.n.m)	$AL_M$	3633.19	Es la cota promedio de la microcuenca		
ALTITUD MÁS FRECUENTE (m.s.n.m)	$AL_F$	4131	Es la cota que posee mayor área de la microcuenca		
ALTITUD MAYOR DEL CAUCE (m.s.n.m)	$AL_{MCE}$	3975	Es la cota más elevada del cauce principal		

<b>ALTITUD MENOR DEL CAUCE (m.s.n.m)</b>	<b>AL<sub>MECE</sub></b>	2731	Es la cota más baja del cauce principal		
<b>PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA m/m (%)</b>	<b>S<sub>MED</sub></b>	20.80%	Este parámetro brinda información de la velocidad de escorrentía, así como de las características de los hidrogramas.	12% - 35%	La microcuenca posee un relieve accidentado

*Nota*, los datos de esta tabla se describieron e interpretaron según Camino et al. (2018).

**Tabla 68**

*Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la microcuenca*

*Rosayoc/Batán*

**PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJES**

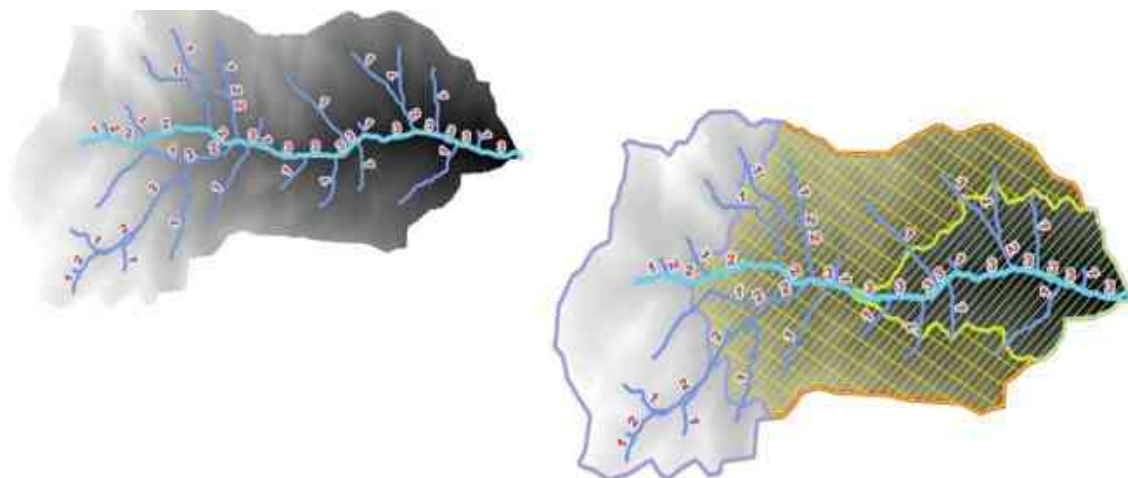
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	RANGO DE VALORES	INTERPRETACION DE RESULTADOS
<b>ORDEN DE LA CUENCA</b>	<b>O<sub>c</sub></b>	3	El número de orden de las cuencas es un indicador de la extensión y ramificación de la red de drenaje		
<b>LONGITUD TOTAL DEL DRENAJE (Km)</b>	<b>L<sub>DT</sub></b>	32.40	Es la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en una cuenca determinada.		
<b>DENSIDAD DE DRENAJE</b>	<b>D<sub>D</sub></b>	1.42	Este parámetro brinda información de la eficiencia del drenaje. Es decir, a mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por	0.10 - 1.80 (baja) o 1.00 - 2.00 (moderada)	La microcuenca tiene baja a moderada densidad de drenaje

			lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad.	
<b>FRECUENCIA DE DRENAJE</b>	$F_D$	2.40	Es la relación entre el número total de cauces con el área de la cuenca	
<b># DRENAJES DE ORDEN 1</b>		26	Número total del cauce de orden 1	
<b>COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD</b>	$C_t = \frac{\#Dr1}{A_c}$	1.14	Es un indicador de la erodabilidad lineal y capacidad de descarga de una cuenca. Debido a que los cursos de primer orden son de génesis erosiva, altos valores indican elevada susceptibilidad a la erosión, menores tiempo de llegada al pico y alta torrencialidad.	La microcuenca posee poder erosivo ( $\#Dr1 > A_c$ )
<b>PEDIENTE PROMEDIO DEL CAUCE m/m (%)</b>	$S_{CE}$	16.63 %	Es un valioso indicador del grado de respuesta de un cauce ante la torrencialidad de la precipitación.	
<b>TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - CALIFORNIA CULVERT PRACTICE 1942 (MINUTOS)</b>	$T_c$	34.31		
<b>TIEMPO DE CONCENTRACIÓN - KIRPICH (MINUTOS)</b>	$T_c$	6.34		

*Nota*, los datos de esta tabla se describieron e interpretaron según Camino et al. (2018).

**Figura 115**

*DEM y red de drenaje de la microcuenca Rosayoc/Batán*



La curva y el análisis hipsométrico generado a partir de las altitudes, nos indica que la quebrada Rosayoc/Batán se encuentra en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o madurez, y la de desequilibrio o juventud, implicando un potencial erosivo que no se debe desestimar.

**Tabla 69**

*Datos de la curva hipsométrica de la microcuenca Rosayoc/Batán*

RANGO							
D <sub>A</sub>		1556	CLASES	15			
		INTERVALO	103.73				
N°	COTAS INTERVALOS	COTA MEDIA	ÁREAS PARCIALES (m <sup>2</sup> )	ÁREAS PARCIALES (Km <sup>2</sup> )	ÁREAS ACUM (Km <sup>2</sup> )	% ÁREA TOTAL	
1	2731 - 2835	2783	174000	0.174	22.881	100	
2	2835 - 2938	2887	500000	0.500	22.707	99	

3	2938	3042	2990	870000	0.870	22.207	97
4	3042	3146	3094	1289000	1.289	21.337	93
5	3146	3250	3198	1552000	1.552	20.048	88
6	3250	3353	3302	1707000	1.707	18.496	81
7	3353	3457	3405	1921000	1.921	16.789	73
8	3457	3561	3509	2130000	2.130	14.868	65
9	3561	3665	3613	1825000	1.825	12.738	56
10	3665	3768	3716	1593000	1.593	10.913	48
11	3768	3872	3820	1446000	1.446	9.320	41
12	3872	3976	3924	1850000	1.850	7.874	34
13	3976	4080	4028	2595000	2.595	6.024	26
14	4080	4183	4131	2615000	2.615	3.429	15
15	4183	4287	4235	814000	0.814	0.814	4
<b>ÁREA TOTAL</b>					<b>22.881</b>		

**Figura 116**

*Gráfica de la curva hipsométrica de la microcuenca Rosayoc/Batán*

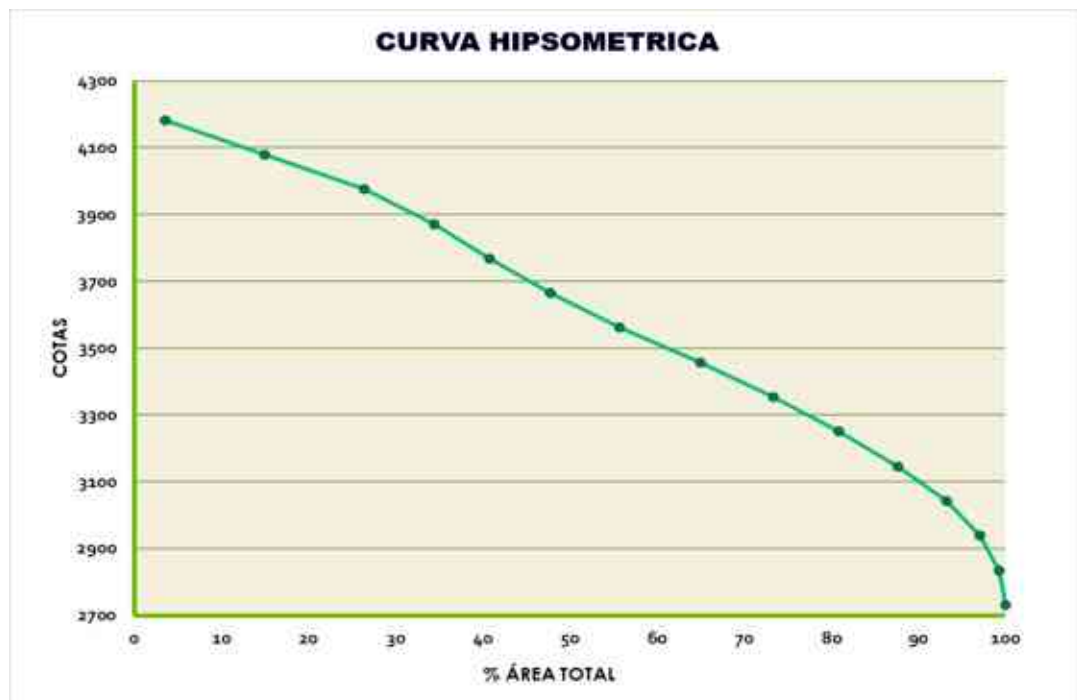


Tabla 70

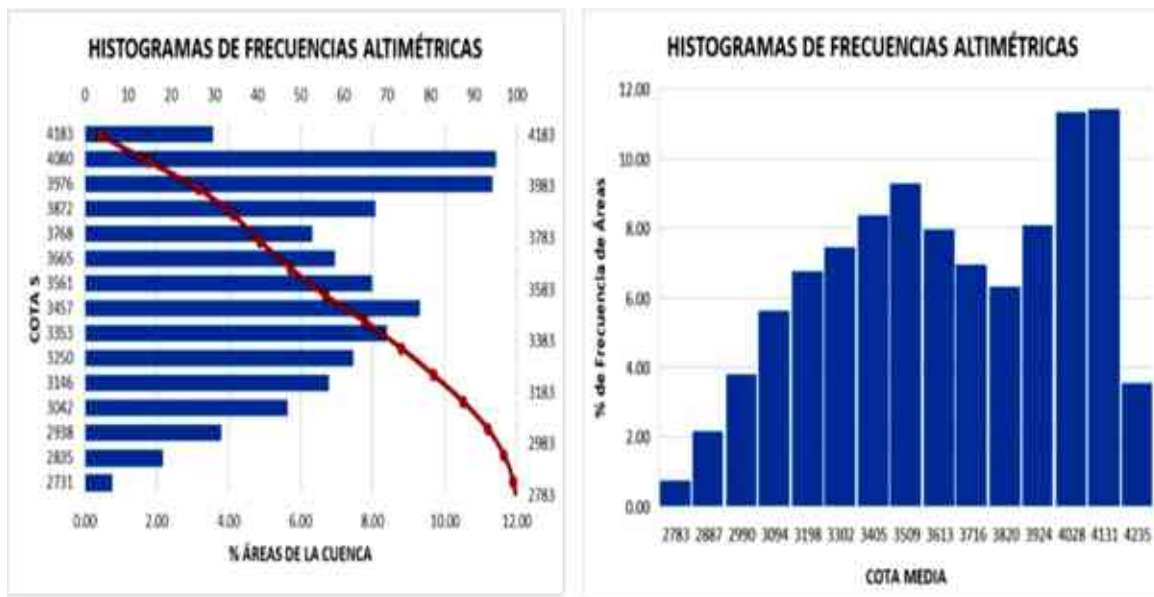
*Datos del histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca Rosayoc/Batán*

N°	COTAS INTERVALOS	COTA MEDIA	ÁREAS	ÁREAS ACUM (Km2)	% ÁREA TOTAL	% ÁREAS- ALTITUDES	
			PARCIALES (Km2)				
1	2731	2835	2783	0.17	22.88	100	0.76
2	2835	2938	2887	0.50	22.71	99	2.19
3	2938	3042	2990	0.87	22.21	97	3.80
4	3042	3146	3094	1.29	21.34	93	5.63
5	3146	3250	3198	1.55	20.05	88	6.78
6	3250	3353	3302	1.71	18.50	81	7.46
7	3353	3457	3405	1.92	16.79	73	8.40
8	3457	3561	3509	2.13	14.87	65	9.31
9	3561	3665	3613	1.83	12.74	56	7.98
10	3665	3768	3716	1.59	10.91	48	6.96
11	3768	3872	3820	1.45	9.32	41	6.32
12	3872	3976	3924	1.85	7.87	34	8.09
13	3976	4080	4028	2.60	6.02	26	11.34
14	4080	4183	4131	2.62	3.43	15	11.43
15	4183	4287	4235	0.81	0.81	4	3.56
			<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>22.881</b>			



Figura 117

Gráfica del histograma de frecuencias altimétricas de la microcuenca Rosayoc/Batán



#### 4.4 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir de los umbrales críticos de lluvia

##### 4.4.1 Clasificación de las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC), en función de los umbrales mínimos de la lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán.

Conforme, a lo indicado en la Tabla 16 y los resultados de los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA), se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 71**

*Clasificación de las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC) en función de los umbrales mínimos de la lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán*

---

HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LAA2 MIN 3D

---



---

**HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LAA1 MIN 8D**

PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 10	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500
LAA MIN DE 8 DÍAS	19.31	20.31	20.97	21.46	22.85	24.10	25.24	26.63
AMC	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
NC (AMC)	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LAA1 MIN 12D**

PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 10	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500
LAA MIN DE 12 DÍAS			93.72	96.34	103.82	110.56	116.72	124.18
AMC			AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
NC (AMC)			82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)			34.29	35.96	40.85	45.38	49.64	54.92

---

**4.4.2 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir del umbral mínimo de lluvia acumulada antecedente (LAA).**

Para desencadenar los movimientos de flujo de detritos, no solo influye las lluvias acumuladas detonantes (LA), sino también las lluvias acumuladas antecedentes (LAA); ya que, estas últimas están relacionadas con las condiciones iniciales de humedad del suelo y nivel freático de la quebrada Rosayoc/Batán. Por consiguiente, se genera erosión

superficial (escorrentía) y subsuperficial (infiltración); así como, el ascenso del nivel freático por aumento del agua subterránea que satura el suelo de la quebrada Rosayoc/Batán. Por lo que, todas las componentes del agua precipitada sobre la quebrada, aumentan el peso de la masa, favoreciendo de esta manera la ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos.

Por todo lo mencionado, se hizo necesario determinar los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA), asimismo la precipitación de escorrentía y los caudales líquidos de escorrentía que generan estos umbrales mencionados. Para los umbrales mínimos de lluvia acumulada antecedente (LAA2) de 3, 4, 5 días y 8 días, no se generaron precipitaciones de escorrentía; por lo cual, no se presentaron caudales líquidos de escorrentía. Por otra parte, el umbral mínimo de lluvia acumulada antecedente (LAA2) de 12 días sí produjo precipitaciones de escorrentía y, por ende, caudales líquidos de escorrentía.

## Tabla 72

*Datos requeridos para el cálculo del hidrograma del caudal líquido, a partir del umbral mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años*

Datos de entrada			Cálculos		
Área de la cuenca =	22.88	km <sup>2</sup>	Número de Curva (NC <sub>II</sub> ) =	66.45	
Clasificación de los tamaños de las cuencas según Campos Aranda (1992, citado en Camino et al., 2018) =	microcuenca		Número de Curva (NC <sub>I</sub> ) =		
Long cauce princ.=	7.48	km	Número de Curva (NC <sub>III</sub> ) =	82.16	
Cota máx =	4287	m.s.n.m.	Potencial máximo de infiltración (S <sub>0.2</sub> ) =	55.14	mm

<b>Cota mín =</b>	2731	m.s.n.m.	<b>Potencial máximo de infiltración</b> $(S_{0.05}) =$	133.84	mm
<b>Pendiente promedio del cauce principal (%) =</b>	16.63	m/m	<b>Abstracción inicial <math>(I_{a_{0.05}}) &lt; P_p</math>;</b> $I_{a_{0.05}} = 5\% S_{0.05}$	6.69	mm
<b>Precipitación Total <math>(P_p) =</math></b>	93.72	mm	<b>Precipitación efectiva <math>(P_e) =</math></b>	34.29	mm
<b>Tiempo de Retorno <math>(TR) =</math></b>	20	años	<b>Duración de la <math>P_e</math> <math>(d_e) =</math></b>	0.34	horas
<b>Condiciones de Humedad Antecedente <math>(AMC) =</math></b>	AMC <sub>III</sub>		<b>Tiempo de concentración - California Culverts Practice (1942) <math>(t_c) =</math></b>	0.57	horas
<b>Duración de la <math>P_p</math> <math>(D) =</math></b>	24	horas	<b>Tiempo de concentración - Kirpich (1940) <math>(t_c) =</math></b>	0.11	horas
			<b>Tiempo de concentración escogido <math>(t_c) =</math></b>	0.34	horas
			<b>Tiempo pico <math>(t_p) =</math></b>	0.37	horas
			<b>Tiempo de retardo <math>(t_r) =</math></b>	0.20	horas
			<b>Tiempo recesión <math>(t_{rec}) =</math></b>	0.62	horas
			<b>tiempo base <math>(t_b) =</math></b>	0.99	horas
			<b>Caudal pico <math>(Q_p) =</math></b>	441.05	m <sup>3</sup> /seg

**Tabla 73**

*Precipitación de escorrentía del umbral mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años*

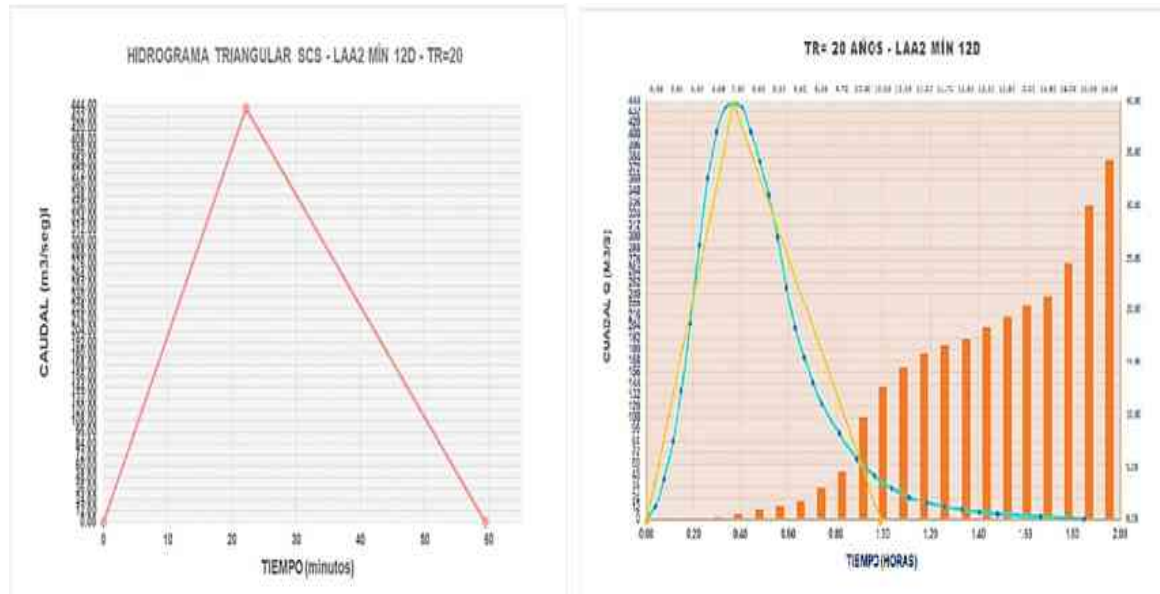
PRECIPITACIÓN DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL DE LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE (LAA2) DE 12 DÍAS						
t/t24	Pt/P24 TIPO I	t (horas)	Pp (TR = 20) 93.72	Ia	Fa	Pe (TR = 20)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.035	2.00	3.28	3.28	0.00	0.00

0.17	0.076	4.00	7.12	6.69	0.43	0.00
0.25	0.125	6.00	11.72	6.69	4.84	0.18
0.29	0.156	7.00	14.62	6.69	7.49	0.44
0.33	0.194	8.00	18.18	6.69	10.58	0.91
0.35	0.219	8.50	20.53	6.69	12.54	1.30
0.38	0.254	9.00	23.81	6.69	15.17	1.94
0.40	0.303	9.50	28.40	6.69	18.68	3.03
0.41	0.362	9.75	33.93	6.69	22.63	4.61
0.42	0.515	10.00	48.27	6.69	31.72	9.85
0.44	0.583	10.50	54.64	6.69	35.30	12.65
0.46	0.624	11.00	58.48	6.69	37.34	14.45
0.48	0.654	11.50	61.30	6.69	38.78	15.82
0.49	0.669	11.75	62.70	6.69	39.49	16.52
0.50	0.682	12.00	63.92	6.69	40.09	17.14
0.52	0.706	12.50	66.17	6.69	41.18	18.30
0.54	0.727	13.00	68.14	6.69	42.11	19.33
0.56	0.748	13.50	70.11	6.69	43.03	20.39
0.58	0.767	14.00	71.89	6.69	43.84	21.36
0.67	0.830	16.00	77.79	6.69	46.43	24.67
0.83	0.926	20.00	86.79	6.69	50.11	29.99
1.00	1.000	<b>24.00</b>	<b>93.72</b>	<b>6.69</b>	<b>52.74</b>	<b>34.29</b>

**Figura 118**

*Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral*

mínimo LAA2 de 12 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 20 años



**Tabla 74**

Caudal líquido de escorrentía del umbral mínimo LAA2 de 12 días y la determinación de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC), con distintos periodos de retorno (TR)

HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LAA MIN 12D						
PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500
LAA2 MIN DE 12 DÍAS	95.86	98.54	106.22	113.12	119.43	127.09
AMC	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)	35.65	37.38	42.45	47.14	51.55	57.02
UMBRAL LAA2 DE 12 DÍAS	CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA - LAA DE 12 DÍAS					
Tiempo	Qa <sub>20</sub>	Qa <sub>25</sub>	Qa <sub>50</sub>	Qa <sub>100</sub>	Qa <sub>200</sub>	Qa <sub>500</sub>





#### **4.4.3 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir del umbral mínimo de lluvia acumulada (LA).**

La determinación de los hidrogramas de umbrales mínimos de lluvia acumulada, con distintos periodos de retorno según lo que se requiera hallar, se logró mediante los datos mostrados en la Tabla 77. Asimismo, se halló la precipitación de escorrentía, la cual genera el caudal líquido de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Esta precipitación de escorrentía se calculó restando las pérdidas antes de la escorrentía ( $I_a$ ) y las pérdidas durante la escorrentía ( $F_a$ ), a la precipitación diaria acumulada (umbral mínimo de lluvia acumulada).

Además, se obtuvieron los caudales e hidrogramas de escorrentía (Tabla 76) de los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) teniendo en cuenta las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC) de la quebrada Rosayoc/Batán, la cual depende de los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA) generados en esta zona de estudio. Asimismo, luego de determinar los caudales e hidrogramas de escorrentía se halló lo siguiente: el umbral mínimo LA2 de 6 días con periodos de retorno (TR) de 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años, se da en condiciones resultantes secas (AMCI) del suelo, por consiguiente, no se produjeron precipitaciones de escorrentía; por tal motivo, no formaron caudales líquidos de escorrentía y no se consideró estos umbrales mínimos para la simulación de movimientos de flujo de detritos. Adicionalmente, los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días con periodos de retorno (TR) de 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años, así como LA2 de 5 y 7 días con periodos de retorno (TR) de 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años, se presentan en condiciones resultantes húmedas (AMCIII) del suelo, en consecuencia, se generaron precipitaciones de escorrentía; es decir, solo se obtuvieron caudales líquidos de escorrentía de los umbrales mínimos LA1 y LA2 de 5, 7 y 18 días.

Tabla 75

*Humedad antecedente resultante del suelo para el análisis de los umbrales mínimos LA*

HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LA1 MIN 5D								
PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500	
AMC LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	
AMC LA1 5 DÍAS	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
LA1 MIN DE 5 DÍAS	53.02	54.36	55.34	58.14	60.67	62.98	65.78	
AMC RESULTANTE	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
NC (AMC)	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)	11.91	12.52	12.97	14.29	15.51	16.66	18.10	
HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LA1 MIN 18D								
PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 10	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500
AMC LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
AMC LA1 18 DÍAS	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
LA1 MIN DE 18 DÍAS	61.06	64.94	67.48	69.35	74.71	79.53	83.94	89.28
AMC RESULTANTE	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
NC (AMC)	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)	15.71	17.66	18.99	19.98	22.92	25.67	28.27	31.52
HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LA2 MIN 5D								
PERIODO DE RETORNO (TR)			TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500	

AMC LAA2 - 12 DÍAS		AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
AMC LA2 5 DÍAS		AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
LA2 MIN DE 5 DÍAS		54.33	58.43	62.11	65.48	69.57	
AMC RESULTANTE		AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
NC (AMC)		82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)		12.51	14.42	16.23	17.94	20.10	
<b>HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LA2 MIN 6D</b>							
PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 15	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500
AMC LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
AMC LA2 6 DÍAS	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
LA2 MIN DE 6 DÍAS	25.29	26.15	26.79	28.60	30.24	31.73	33.55
AMC RESULTANTE	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
NC (AMC)	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27	46.27
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO - LA2 MIN 7D</b>							
PERIODO DE RETORNO (TR)	TR = 20	TR = 25	TR = 50	TR = 100	TR = 200	TR = 500	
AMC LAA2 - 12 DÍAS	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	
AMC LA2 7 DÍAS	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	
LA2 MIN DE 7 DÍAS	16.85	17.23	18.30	19.27	20.15	21.22	

AMC RESULTANTE	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
NC (AMC)	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16	82.16
Pe (Prec. Efectiva o escorrentía)	0.72	0.77	0.93	1.08	1.23	1.42

**Tabla 76**

*Hietogramas de la precipitación de lluvia acumulada (LA1) de 5 días, con distintos periodos de retorno (TR)*

t/t24	Pt/P24	t (horas)	Pp. LA1 5 Días (mm)						
	TIPO I		TR=15	TR=20	TR=25	TR=50	TR=100	TR=200	TR=500
			53.02	54.36	55.34	58.14	60.67	62.98	65.78
<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.00</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>0.083</b>	<b>0.035</b>	<b>2.00</b>	1.86	1.90	1.94	2.03	2.12	2.20	2.30
<b>0.167</b>	<b>0.076</b>	<b>4.00</b>	4.03	4.13	4.21	4.42	4.61	4.79	5.00
<b>0.250</b>	<b>0.125</b>	<b>6.00</b>	6.63	6.80	6.92	7.27	7.58	7.87	8.22
<b>0.292</b>	<b>0.156</b>	<b>7.00</b>	8.27	8.48	8.63	9.07	9.46	9.82	10.26
<b>0.333</b>	<b>0.194</b>	<b>8.00</b>	10.29	10.55	10.74	11.28	11.77	12.22	12.76
<b>0.354</b>	<b>0.219</b>	<b>8.50</b>	11.61	11.90	12.12	12.73	13.29	13.79	14.41
<b>0.375</b>	<b>0.254</b>	<b>9.00</b>	13.47	13.81	14.06	14.77	15.41	16.00	16.71
<b>0.396</b>	<b>0.303</b>	<b>9.50</b>	16.07	16.47	16.77	17.62	18.38	19.08	19.93
<b>0.406</b>	<b>0.362</b>	<b>9.75</b>	19.19	19.68	20.03	21.05	21.96	22.80	23.81
<b>0.417</b>	<b>0.515</b>	<b>10.00</b>	27.31	28.00	28.50	29.94	31.25	32.43	33.88
<b>0.438</b>	<b>0.583</b>	<b>10.50</b>	30.91	31.69	32.26	33.90	35.37	36.72	38.35
<b>0.458</b>	<b>0.624</b>	<b>11.00</b>	33.08	33.92	34.53	36.28	37.86	39.30	41.05
<b>0.479</b>	<b>0.654</b>	<b>11.50</b>	34.68	35.55	36.19	38.02	39.68	41.19	43.02
<b>0.490</b>	<b>0.669</b>	<b>11.75</b>	35.47	36.37	37.02	38.90	40.59	42.13	44.01
<b>0.500</b>	<b>0.682</b>	<b>12.00</b>	36.16	37.07	37.74	39.65	41.38	42.95	44.86
<b>0.521</b>	<b>0.706</b>	<b>12.50</b>	37.43	38.38	39.07	41.05	42.83	44.46	46.44
<b>0.542</b>	<b>0.727</b>	<b>13.00</b>	38.55	39.52	40.23	42.27	44.11	45.79	47.82

0.563	0.748	13.50	39.66	40.66	41.39	43.49	45.38	47.11	49.20
0.583	0.767	14.00	40.67	41.69	42.45	44.59	46.53	48.31	50.45
0.667	0.830	16.00	44.01	45.12	45.93	48.26	50.36	52.27	54.60
0.833	0.926	20.00	49.10	50.34	51.24	53.84	56.18	58.32	60.91
1.000	1.000	24.00	53.02	54.36	55.34	58.14	60.67	62.98	65.78

Figura 119

Gráficas: Hietogramas de la precipitación de lluvia acumulada (LA1) de 5 días, con distintos periodos de retorno (TR)

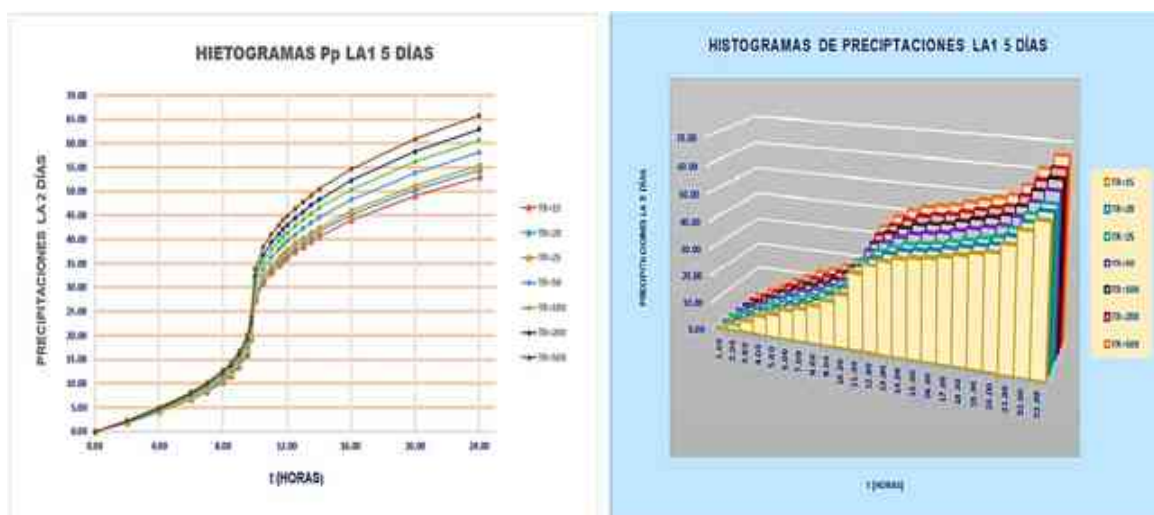


Tabla 77

Datos requeridos para el cálculo del hidrograma del caudal líquido, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 15 años

Datos de entrada			Cálculos	
Área de la cuenca =	22.88	km <sup>2</sup>	Número de Curva (NC <sub>II</sub> ) =	66.45
Clasificación de los tamaños de las cuencas según Campos Aranda (1992, citado en Camino et al., 2018)	microcuenca		Número de Curva (NC <sub>I</sub> ) =	
	=			

---

<b>Long cauce princ.=</b>	7.48	km	<b>Número de Curva (NC<sub>III</sub>) =</b>	82.16	
<b>Cota máx =</b>	4287	m.s.n.m.	<b>Potencial máximo de infiltración (S<sub>0.2</sub>) =</b>	55.14	mm
<b>Cota mín =</b>	2731	m.s.n.m.	<b>Potencial máximo de infiltración (S<sub>0.05</sub>) =</b>	133.84	mm
<b>Pendiente promedio del cauce principal (%) =</b>	16.63	m/m	<b>Abstracción inicial (I<sub>a0.05</sub>) &lt; P<sub>p</sub>; I<sub>a0.05</sub> = 5% S<sub>0.05</sub></b>	6.69	mm
<b>Precipitación Total (P<sub>p</sub>) =</b>	53.02	mm	<b>Precipitación efectiva (P<sub>e</sub>) =</b>	11.91	mm
<b>Tiempo de Retorno (TR) =</b>	15	años	<b>Duración de la P<sub>e</sub> (D<sub>e</sub>) =</b>	0.34	horas
<b>Condiciones de Humedad Antecedente (AMC) =</b>	AMC <sub>III</sub>		<b>Tiempo de concentración - California Culverts Practice (1942) (t<sub>c</sub>) =</b>	0.57	horas
<b>Duración de la P<sub>p</sub> (D) =</b>	24	horas	<b>Tiempo de concentración - Kirpich (1940) (t<sub>c</sub>) =</b>	0.11	horas
			<b>Tiempo de concentración escogido (t<sub>c</sub>) =</b>	0.34	horas
			<b>Tiempo pico (t<sub>p</sub>) =</b>	0.37	horas
			<b>Tiempo de retardo (t<sub>r</sub>) =</b>	0.20	horas
			<b>Tiempo recesión (t<sub>rec</sub>) =</b>	0.62	horas
			<b>tiempo base (t<sub>b</sub>) =</b>	0.99	horas
			<b>Caudal pico (Q<sub>p</sub>) =</b>	153.19	m <sup>3</sup> /seg

---

**Tabla 78**

*Número de curva representativo de la quebrada Rosayoc/Batán, con diferentes usos de suelo en su interior*

Partes de la Microcuenca	Tipo de suelo	Uso de tierra	CN	Área (Km2)		CNprom x Área		CN
<b>Parte Alta</b>	A, C, D	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales, arbustivo) en condiciones óptimas – bosque con cubierta buena.	72	4.38		315.36		
<b>Parte Media</b>	A, B, C	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales, arbustivo) en condiciones óptimas – bosque con cubierta buena.	63	10.61	22.88	668.43	1520.31	66.45
<b>Parte Baja</b>	B, C	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales, arbustivo) en condiciones óptimas – bosque con cubierta buena.	68	7.89		536.52		
<b>Microcuenca Rosayoc/Batán</b>								<b>66.45</b>

**Tabla 79**

*Caudal líquido de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en función de la*

condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR)

**CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA1 DE 5 DÍAS - EN FUNCIÓN DE LA CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO (AMC)**

PERIODO DE RETORNO (TR)	15	20	25	50	100	200	500
<b>AMC LAA2 - 3, 4, 5 O 8 DÍAS</b>	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI	AMCI
<b>AMC LA1 5 DÍAS</b>	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
<b>LA1 MIN DE 5 DÍAS</b>	53.02	54.36	55.34	58.14	60.67	62.98	65.78
<b>AMC RESULTANTE</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>	<b>AMCIII</b>
<b>Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)</b>	11.91	12.52	12.97	14.29	15.51	16.66	18.10
<b>LA1 5D</b>	<b>CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA1 DE 5 DÍAS</b>						
<b>Tiempo</b>	<b>Qa<sub>15</sub></b>	<b>Qa<sub>20</sub></b>	<b>Qa<sub>25</sub></b>	<b>Qa<sub>50</sub></b>	<b>Qa<sub>100</sub></b>	<b>Qa<sub>200</sub></b>	<b>Qa<sub>500</sub></b>
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	4.60	4.83	5.00	5.51	5.98	6.43	6.98
0.07	15.32	16.10	16.68	18.38	19.95	21.43	23.28
0.11	29.11	30.60	31.70	34.92	37.90	40.71	44.23
0.15	47.49	49.92	51.72	56.98	61.84	66.43	72.17
0.19	72.00	75.69	78.41	86.39	93.76	100.71	109.42
0.22	101.11	106.28	110.10	121.31	131.67	141.43	153.65
0.26	125.62	132.05	136.80	150.72	163.58	175.71	190.90
0.3	142.47	149.76	155.15	170.94	185.53	199.29	216.51
0.33	151.66	159.43	165.16	181.96	197.50	212.14	230.48
<b>0.37</b>	<b>153.19</b>	<b>161.04</b>	<b>166.82</b>	<b>183.80</b>	<b>199.49</b>	<b>214.29</b>	<b>232.81</b>
0.41	151.66	159.43	165.16	181.96	197.50	212.14	230.48



0.44	142.47	149.76	155.15	170.94	185.53	199.29	216.51
0.48	131.74	138.49	143.47	158.07	171.56	184.29	200.21
0.52	119.49	125.61	130.12	143.37	155.61	167.14	181.59
0.56	104.17	109.50	113.44	124.99	135.66	145.71	158.31
0.59	85.79	90.18	93.42	102.93	111.72	120.00	130.37
0.63	70.47	74.08	76.74	84.55	91.77	98.57	107.09
0.67	59.74	62.80	65.06	71.68	77.80	83.57	90.79
0.7	50.55	53.14	55.05	60.65	65.83	70.71	76.83
0.74	42.89	45.09	46.71	51.46	55.86	60.00	65.19
0.81	31.71	33.33	34.53	38.05	41.30	44.36	48.19
0.89	22.52	23.67	24.52	27.02	29.33	31.50	34.22
0.96	16.39	17.23	17.85	19.67	21.35	22.93	24.91
1.04	11.80	12.40	12.85	14.15	15.36	16.50	17.93
1.11	8.43	8.86	9.18	10.11	10.97	11.79	12.80
1.18	6.13	6.44	6.67	7.35	7.98	8.57	9.31
1.26	4.44	4.67	4.84	5.33	5.79	6.21	6.75
1.33	3.22	3.38	3.50	3.86	4.19	4.50	4.89
1.41	2.30	2.42	2.50	2.76	2.99	3.21	3.49
1.48	1.69	1.77	1.84	2.02	2.19	2.36	2.56
1.67	0.77	0.81	0.83	0.92	1.00	1.07	1.16
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Figura 120**

*Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral*

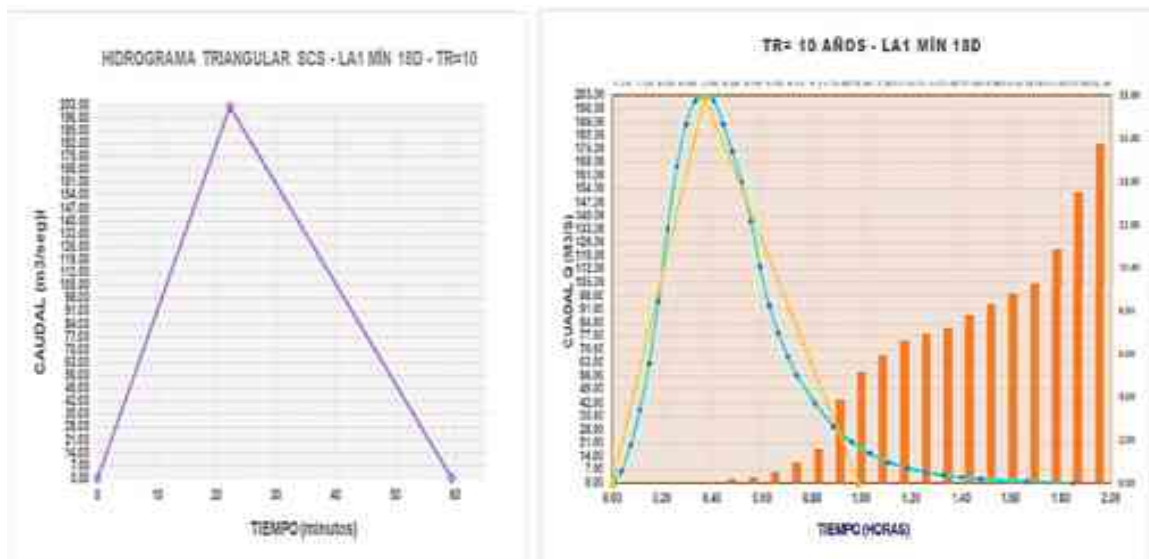


Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)	15.71	17.66	18.99	19.98	22.92	25.67	28.27	31.52
LA1 18D	CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA1 DE 18 DÍAS							
Tiempo	Qa <sub>10</sub>	Qa <sub>15</sub>	Qa <sub>20</sub>	Qa <sub>25</sub>	Qa <sub>50</sub>	Qa <sub>100</sub>	Qa <sub>200</sub>	Qa <sub>500</sub>
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	6.06	6.81	7.33	7.71	8.84	9.91	10.91	12.16
0.07	20.21	22.71	24.43	25.70	29.48	33.02	36.36	40.54
0.11	38.39	43.16	46.41	48.83	56.01	62.73	69.09	77.03
0.15	62.64	70.42	75.72	79.67	91.39	102.35	112.72	125.68
0.19	94.97	106.76	114.80	120.78	138.56	155.18	170.90	190.55
0.22	133.36	149.92	161.21	169.61	194.57	217.92	239.99	267.58
0.26	165.69	186.26	200.29	210.73	241.74	270.74	298.17	332.44
0.3	187.92	211.25	227.16	239.00	274.17	307.06	338.16	377.04
0.33	200.05	224.88	241.81	254.42	291.86	326.87	359.98	401.36
<b>0.37</b>	<b>202.07</b>	<b>227.15</b>	<b>244.25</b>	<b>256.99</b>	<b>294.80</b>	<b>330.17</b>	<b>363.62</b>	<b>405.42</b>
0.41	200.05	224.88	241.81	254.42	291.86	326.87	359.98	401.36
0.44	187.92	211.25	227.16	239.00	274.17	307.06	338.16	377.04
0.48	173.78	195.35	210.06	221.01	253.53	283.95	312.71	348.66
0.52	157.61	177.18	190.52	200.45	229.95	257.54	283.62	316.23
0.56	137.41	154.46	166.09	174.75	200.47	224.52	247.26	275.68
0.59	113.16	127.20	136.78	143.91	165.09	184.90	203.63	227.03
0.63	92.95	104.49	112.36	118.21	135.61	151.88	167.26	186.49
0.67	78.81	88.59	95.26	100.23	114.97	128.77	141.81	158.11
0.7	66.68	74.96	80.60	84.81	97.29	108.96	119.99	133.79
0.74	56.58	63.60	68.39	71.96	82.54	92.45	101.81	113.52
0.81	41.83	47.02	50.56	53.20	61.02	68.35	75.27	83.92
0.89	29.70	33.39	35.91	37.78	43.34	48.54	53.45	59.60
0.96	21.62	24.30	26.14	27.50	31.54	35.33	38.91	43.38
1.04	15.56	17.49	18.81	19.79	22.70	25.42	28.00	31.22

1.11	11.11	12.49	13.43	14.13	16.21	18.16	20.00	22.30
1.18	8.08	9.09	9.77	10.28	11.79	13.21	14.54	16.22
1.26	5.86	6.59	7.08	7.45	8.55	9.58	10.54	11.76
1.33	4.24	4.77	5.13	5.40	6.19	6.93	7.64	8.51
1.41	3.03	3.41	3.66	3.85	4.42	4.95	5.45	6.08
1.48	2.22	2.50	2.69	2.83	3.24	3.63	4.00	4.46
1.67	1.01	1.14	1.22	1.28	1.47	1.65	1.82	2.03
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Figura 121**

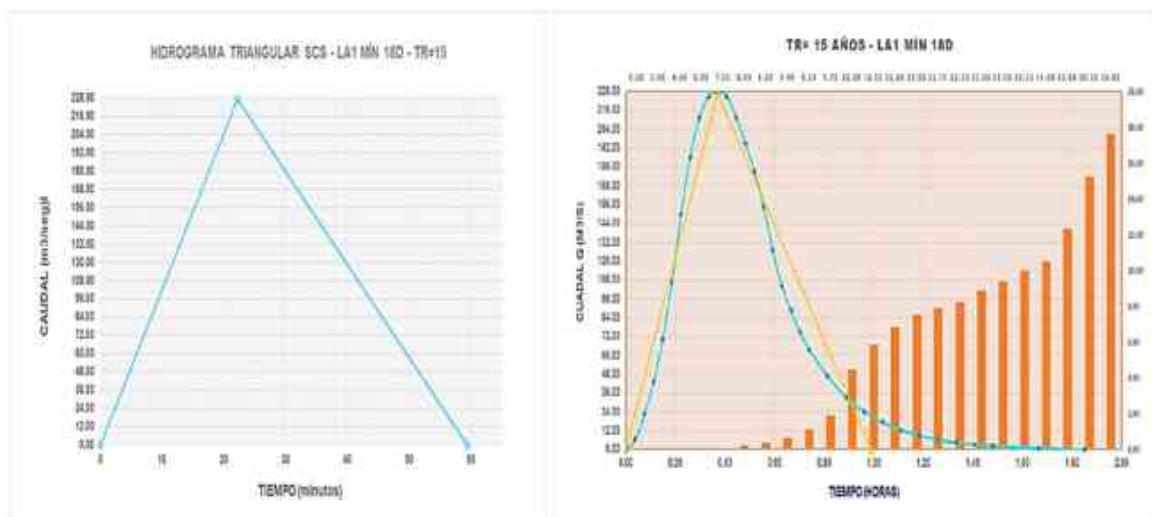
*Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 10 años*



**Figura 122**

*Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación de escorrentía del umbral*

mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 15 años



**Tabla 81**

Caudal líquido de escorrentía, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR)

CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA2 DE 5 DÍAS - EN FUNCIÓN DE LA CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO (AMC)					
PERIODO DE RETORNO (TR)	25	50	100	200	500
AMC LAA2 - 12D	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
AMC - LA2 5D	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
LA2 MIN DE 5 DÍAS	54.33	58.43	62.11	65.48	69.57
AMC RESULTANTE	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)	12.51	14.42	16.23	17.94	20.1
LA2 5D	CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA2 DE 5 DÍAS				
Tiempo	Qa <sub>25</sub>	Qa <sub>50</sub>	Qa <sub>100</sub>	Qa <sub>200</sub>	Qa <sub>500</sub>
0	0	0	0	0	0

---

0.04	4.83	5.56	6.26	6.92	7.76
0.07	16.09	18.55	20.88	23.07	25.85
0.11	30.57	35.24	39.66	43.84	49.12
0.15	49.88	57.5	64.71	71.53	80.14
0.19	75.63	87.17	98.11	108.45	121.51
0.22	106.2	122.41	137.78	152.29	170.63
0.26	131.94	152.09	171.18	189.21	212
0.3	149.64	172.49	194.14	214.6	240.43
0.33	159.3	183.62	206.67	228.44	255.95
<b>0.37</b>	<b>160.91</b>	<b>185.47</b>	<b>208.75</b>	<b>230.75</b>	<b>258.53</b>
0.41	159.3	183.62	206.67	228.44	255.95
0.44	149.64	172.49	194.14	214.6	240.43
0.48	138.38	159.51	179.53	198.44	222.34
0.52	125.51	144.67	162.83	179.98	201.65
0.56	109.42	126.12	141.95	156.91	175.8
0.59	90.11	103.87	116.9	129.22	144.78
0.63	74.02	85.32	96.03	106.14	118.92
0.67	62.75	72.33	81.41	89.99	100.83
0.7	53.1	61.21	68.89	76.15	85.32
0.74	45.05	51.93	58.45	64.61	72.39
0.81	33.31	38.39	43.21	47.77	53.52
0.89	23.65	27.26	30.69	33.92	38
0.96	17.22	19.85	22.34	24.69	27.66
1.04	12.39	14.28	16.07	17.77	19.91
1.11	8.85	10.2	11.48	12.69	14.22
1.18	6.44	7.42	8.35	9.23	10.34
1.26	4.67	5.38	6.05	6.69	7.5
1.33	3.38	3.89	4.38	4.85	5.43
1.41	2.41	2.78	3.13	3.46	3.88
1.48	1.77	2.04	2.3	2.54	2.84
1.67	0.8	0.93	1.04	1.15	1.29
1.85	0	0	0	0	0

---



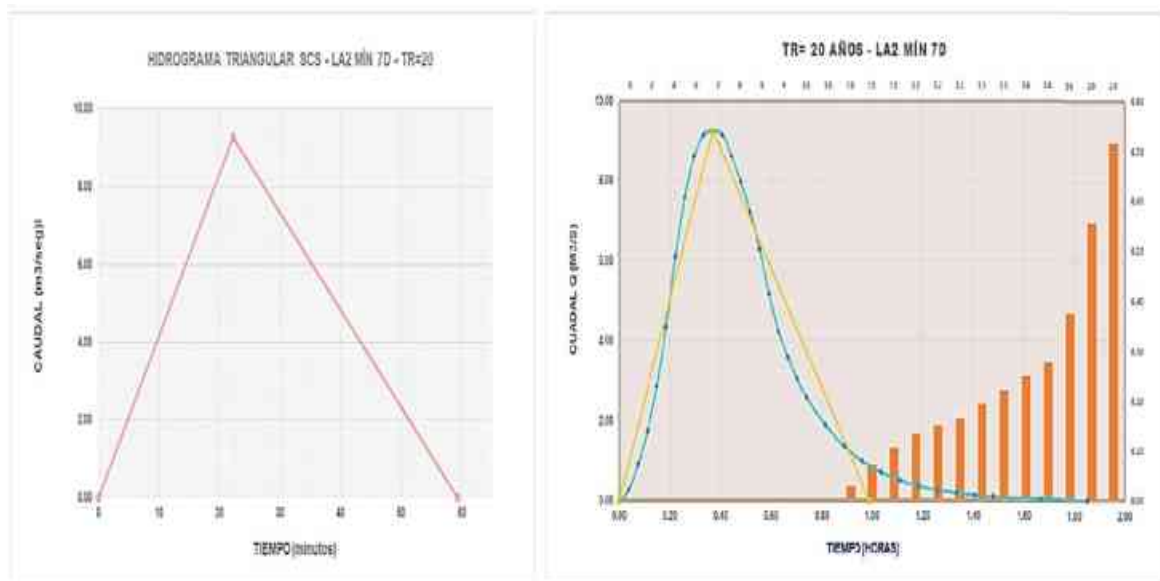
Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)	0.72	0.77	0.93	1.08	1.23	1.42
<b>LA2 5D</b>	<b>CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DEL UMBRAL LA2 DE 7 DÍAS</b>					
<b>Tiempo</b>	<b>Qa<sub>20</sub></b>	<b>Qa<sub>25</sub></b>	<b>Qa<sub>50</sub></b>	<b>Qa<sub>100</sub></b>	<b>Qa<sub>200</sub></b>	<b>Qa<sub>500</sub></b>
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	0.28	0.30	0.36	0.42	0.47	0.55
0.07	0.93	0.99	1.20	1.39	1.58	1.83
0.11	1.76	1.88	2.27	2.64	3.01	3.47
0.15	2.87	3.07	3.71	4.31	4.90	5.66
0.19	4.35	4.65	5.62	6.53	7.44	8.58
0.22	6.11	6.54	7.89	9.17	10.44	12.05
0.26	7.59	8.12	9.81	11.39	12.97	14.98
0.3	8.61	9.21	11.12	12.92	14.71	16.99
0.33	9.17	9.80	11.84	13.75	15.66	18.08
<b>0.37</b>	<b>9.26</b>	<b>9.90</b>	<b>11.96</b>	<b>13.89</b>	<b>15.82</b>	<b>18.26</b>
0.41	9.17	9.80	11.84	13.75	15.66	18.08
0.44	8.61	9.21	11.12	12.92	14.71	16.99
0.48	7.96	8.52	10.29	11.95	13.61	15.71
0.52	7.22	7.73	9.33	10.84	12.34	14.25
0.56	6.30	6.73	8.13	9.45	10.76	12.42
0.59	5.19	5.55	6.70	7.78	8.86	10.23
0.63	4.26	4.56	5.50	6.39	7.28	8.40
0.67	3.61	3.86	4.67	5.42	6.17	7.12
0.7	3.06	3.27	3.95	4.58	5.22	6.03
0.74	2.59	2.77	3.35	3.89	4.43	5.11
0.81	1.92	2.05	2.48	2.88	3.27	3.78
0.89	1.36	1.46	1.76	2.04	2.33	2.68
0.96	0.99	1.06	1.28	1.49	1.69	1.95
1.04	0.71	0.76	0.92	1.07	1.22	1.41
1.11	0.51	0.54	0.66	0.76	0.87	1.00
1.18	0.37	0.40	0.48	0.56	0.63	0.73
1.26	0.27	0.29	0.35	0.40	0.46	0.53
1.33	0.19	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38
1.41	0.14	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27



1.48	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20
1.67	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Figura 124**

*Hidrograma de escorrentía, e histograma de la precipitación, de escorrentía del umbral mínimo LA2 de 7 días, con periodo de retorno (TR) de 20 años y en condiciones húmedas del suelo (AMCIII)*



**4.5 Caudal líquido de escorrentía mediante el método del hidrograma unitario sintético del SCS, a partir de la precipitación máxima multianual en 24 horas**

**Tabla 83**

*Caudal líquido de escorrentía, a partir de las precipitaciones máximas de la quebrada*

*Rosayoc/Batán, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR)*

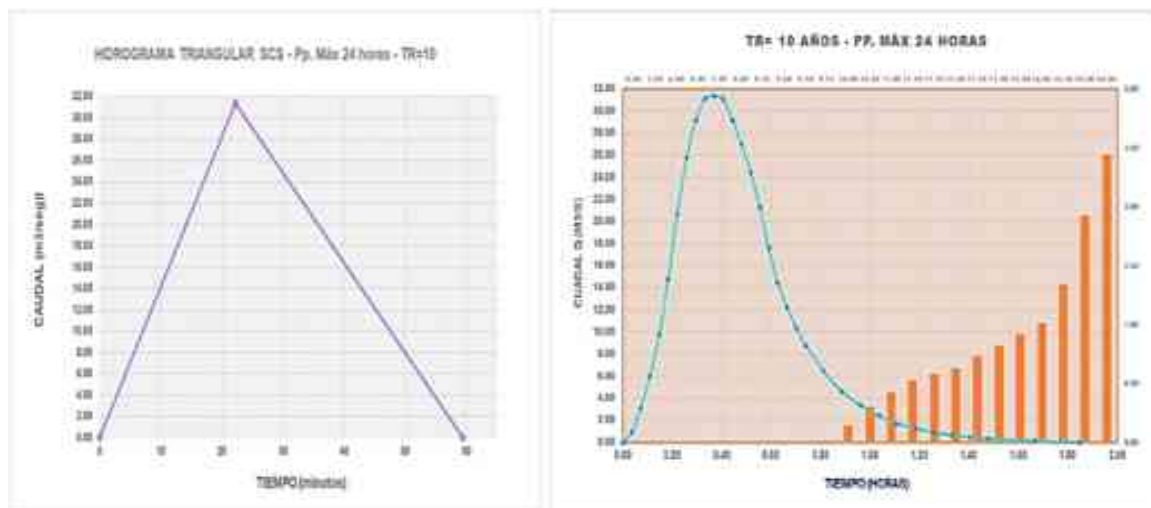
**CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS - EN FUNCIÓN DE LA CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE DEL SUELO (AMC)**

PERIODO DE RETORNO (TR)	10	15	20	25	50	100	200	500
<b>Pp. MÁX</b>	<b>48.85</b>	<b>52.68</b>	55.41	57.51	64.12	70.77	77.56	86.78
<b>AMC - Pp. MÁX</b>	AMCII	AMCII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
<b>Pe (Precipitación efectiva o escorrentía)</b>	2.44	3.07	12.78	13.77	17.01	20.52	24.30	29.73
<b>Pp. MÁX</b>	<b>CAUDALES LÍQUIDOS DE ESCORRENTÍA DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS</b>							
<b>Tiempo</b>	<b>Qa<sub>10</sub></b>	<b>Qa<sub>15</sub></b>	<b>Qa<sub>20</sub></b>	<b>Qa<sub>25</sub></b>	<b>Qa<sub>50</sub></b>	<b>Qa<sub>100</sub></b>	<b>Qa<sub>200</sub></b>	<b>Qa<sub>500</sub></b>
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	0.94	1.18	4.93	5.31	6.56	7.92	9.38	11.47
0.07	3.14	3.95	16.44	17.71	21.88	26.39	31.26	38.24
0.11	5.96	7.50	31.23	33.65	41.57	50.15	59.39	72.66
0.15	9.73	12.24	50.96	54.91	67.82	81.82	96.89	118.54
0.19	14.75	18.56	77.26	83.24	102.83	124.05	146.90	179.73
0.22	20.71	26.06	108.49	116.89	144.40	174.20	206.29	252.38
0.26	25.73	32.38	134.79	145.23	179.41	216.43	256.29	313.56
0.3	29.19	36.72	152.87	164.72	203.47	245.46	290.67	355.63
0.33	31.07	39.09	162.74	175.34	216.60	261.29	309.43	378.57
<b>0.37</b>	<b>31.38</b>	<b>39.49</b>	<b>164.38</b>	<b>177.11</b>	<b>218.79</b>	<b>263.93</b>	<b>312.55</b>	<b>382.40</b>
0.41	31.07	39.09	162.74	175.34	216.60	261.29	309.43	378.57
0.44	29.19	36.72	152.87	164.72	203.47	245.46	290.67	355.63
0.48	26.99	33.96	141.37	152.32	188.16	226.98	268.80	328.86
0.52	24.48	30.80	128.22	138.15	170.65	205.87	243.79	298.27
0.56	21.34	26.85	111.78	120.44	148.78	179.47	212.54	260.03
0.59	17.58	22.11	92.05	99.18	122.52	147.80	175.03	214.14

0.63	14.44	18.16	75.61	81.47	100.64	121.41	143.77	175.90
0.67	12.24	15.40	64.11	69.07	85.33	102.93	121.90	149.13
0.7	10.36	13.03	54.25	58.45	72.20	87.10	103.14	126.19
0.74	8.79	11.06	46.03	49.59	61.26	73.90	87.51	107.07
0.81	6.50	8.17	34.03	36.66	45.29	54.63	64.70	79.16
0.89	4.61	5.80	24.16	26.04	32.16	38.80	45.95	56.21
0.96	3.36	4.23	17.59	18.95	23.41	28.24	33.44	40.92
1.04	2.42	3.04	12.66	13.64	16.85	20.32	24.07	29.44
1.11	1.73	2.17	9.04	9.74	12.03	14.52	17.19	21.03
1.18	1.26	1.58	6.58	7.08	8.75	10.56	12.50	15.30
1.26	0.91	1.15	4.77	5.14	6.34	7.65	9.06	11.09
1.33	0.66	0.83	3.45	3.72	4.59	5.54	6.56	8.03
1.41	0.47	0.59	2.47	2.66	3.28	3.96	4.69	5.74
1.48	0.35	0.43	1.81	1.95	2.41	2.90	3.44	4.21
1.67	0.16	0.20	0.82	0.89	1.09	1.32	1.56	1.91
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Figura 125**

*Hidrograma del caudal líquido e histograma de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas del suelo (AMCIII), para el periodo de retorno (TR) de 10 años*



## 4.6 Resultados de la simulación computacional (FLO-2D) del movimiento de flujos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán

### 4.6.1 Parámetros geotécnicos.

**Tabla 84**

*Análisis granulométrico de la quebrada Rosayoc/Batán*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN										
		GRANULOMETRÍA							LÍMITES DE ATTERBERG	
		Distribución del tamaño de sedimento								
PARTES DE LA QUEBRADA	CALICATA	Limo - Arcilla %	D <sub>10</sub> [10% QUE PASA]	D <sub>16</sub> [16% QUE PASA]	D <sub>30</sub> [30% QUE PASA]	D <sub>50</sub> [50% QUE PASA]	D <sub>60</sub> [60% QUE PASA]	D <sub>84</sub> [84% QUE PASA] (mm)	Límite Líquido (LL)	Índice Plástico (IP)
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
PARTE BAJA	C1	72.7	0.01	0.019	0.03	0.052	0.06	0.429	0.33	0.07
PARTE MEDIA	C2	19.45	0.04	0.622	1.4	6.174	8.81	18.004	-	-
PARTE ALTA	C3	2.1	0.32	2.083	4.44	8.649	10.9	18.676	-	-

*Nota, esta tabla se realizó con los datos obtenidos del estudio de suelos de la quebrada Rosayoc/Batán (Anexo 14).*

**Tabla 85**

*Clasificación general de los suelos de la quebrada Rosayoc/Batán*

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS SUELOS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN				
PARTES DE LA QUEBRADA	CALICATA	Clasificación general	Clasificación de suelos S.U.C. S	Clasificación de suelos AASHTO
PARTE BAJA	C1	Tipo de materiales	Suelos de grano fino, limos y arcillas	Materiales de limo y arcilla

		Clasificación de grupo	ML: Limo con arcilla	A-4: Suelos limosos (no plásticos o moderadamente plásticos) [IG: 5]
<b>PARTE MEDIA</b>	<b>C2</b>	Tipo de materiales	Suelos de grano grueso: Gravas con finos	Materiales granulares
		Clasificación de grupo	GM: Grava limosa con arena	A-1-b: Fragmentos de roca, grava y arena [IG: 0]
<b>PARTE ALTA</b>	<b>C3</b>	Tipo de materiales	Suelos de grano grueso: Gravas limpias	Materiales granulares
		Clasificación de grupo	GP: Grava mal graduada con arena	A-1-a: Fragmentos de roca, grava y arena [IG: 0]

*Nota*, esta tabla se realizó con los datos adquiridos del estudio de suelos de la quebrada Rosayoc/Batán (Anexo 14).

**Tabla 86**

*Coefficientes de permeabilidad de la quebrada Rosayoc/Batán*

COEFICIENTES DE PERMEABILIDAD DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN			
Partes de la quebrada	Calicata	Coefficiente de permeabilidad - k (cm/seg)	Clasificación de permeabilidad
<b>PARTE MEDIA</b>	<b>C2</b>	0.11	Buena permeabilidad
<b>PARTE ALTA</b>	<b>C3</b>	0.27	Buena permeabilidad

*Nota*, la clasificación de permeabilidad realizado en esta tabla se hizo en base a la clasificación de permeabilidades de Terzaghi y Peck (1955, citado en Juárez Badillo y

Rico Rodríguez, 1973, pág. 153). La clasificación mencionada se muestra en la Figura 126

Figura 126

Coefficientes de permeabilidad – Tabla 9-1

Valores de k en cm/seg					
100      10      1      10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup>					
Drenaje	Bueno			Pobre	Prácticamente impermeable
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava		Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada	Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición
			Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. <sup>a</sup>		
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.				
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.				
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.	Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.	
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.			Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia	

Fuente: Terzaghi y Peck (1955, citado en Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1973, pág. 153).

#### 4.6.2 Parámetros reológicos.

Figura 127

Propiedades de las matrices de flujos de lodo (arcillas y limos) – Tabla 1

**Tabla 1. Propiedades de las matrices de flujos de lodo (Arcillas + Limos)**

Fuente	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)		
Glenwood original	4,8	0,010	0,034	0,062	-	-
Glenwood sample 1	6,8	0,009	0,023	0,050	-	-
Glenwood sample 2	3,0	0,016	0,035	0,061	-	-
Glenwood sample 3	4,8	0,011	0,025	0,053	-	-
Glenwood sample 4	7,6	0,001	0,018	0,032	-	-
Aspen Pit 1	31,3	0,001	0,011	0,032	0,32	0,11
Aspen natural soil	27,0	0,001	0,012	0,028	0,25	0,06
Aspen mine fill	27,8	0,001	0,013	0,030	0,24	0,06
Aspen natural soil source	31,6	0,001	0,016	0,039	-	-
Aspen mine fill source	25,2	0,001	0,018	0,061	-	-

Fuente: O'Brien & Julien (1988, pág. 880).

Figura 128

Esfuerzo de fluencia y viscosidad en función de la concentración de sedimentos ( $C_v$ ) –

Tabla 13

Table 13. Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration.				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$ (dynes/cm <sup>2</sup> )		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$ (poises)	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
<i>Field Data</i>				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
<i>Relationships Available from the Literature</i>				
Iida (1938)*	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021, capítulo 4, pág. 108).

Tabla 87

Parámetros reológicos de la quebrada Rosayoc/Batán

PARÁMETROS REOLÓGICOS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN						
Partes de la quebrada Rosayoc/Batán	Similitud	Muestra	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$ Esfuerzo de Fluencia		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$ Viscosidad	
			$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
CORRELACIONES DE MEDICIONES EN CAMPO						



<b>Parte Baja</b>	Es similar al tipo de sedimento Aspen Pit 1, en el porcentaje de arcilla y limo, así como el límite líquido e índice plástico	Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
<b>Parte Media</b>	Es similar al tipo de sedimento Aspen Mine Fill Source, en el porcentaje de arcilla y limo	Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
<b>Parte Alta</b>	Es similar al tipo de sedimento Glenwood Sample2, en el porcentaje de arcilla y limo	Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
<b>Quebrada Rosayoc/Batán</b>	<b>Promedio</b>		<b>0.183</b>	<b>19.0</b>	<b>0.034</b>	<b>20.5</b>

*Nota*, los valores obtenidos de esta tabla resultaron de la similitud de las propiedades de las matrices de flujos de lodo (Figura 127 ) con las características del sedimento de la quebrada Rosayoc/Batán (Tabla 84). Asimismo, se aplicaron los valores de cada uno los parámetros reológicos mostrados en la Figura 128.

Figura 129

Comportamiento del flujo de lodo en función de la concentración de volumétrica – Tabla 11

Comportamiento del Flujo en Función de la Concentración de Sedimentos			
	Concentración de Sedimentos		Características del Flujo
	Por Volumen	Por Peso	
Deslizamientos	0.65 – 0.80	0.83 – 0.91	No fluye, falla por deslizamiento en bloque
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	Deslizamiento en bloque con deformación interna y; reptación previa a la falla.
Flujo de barro	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente; reptación sostenida de barro; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no ocurre esparcimiento sobre una superficie plana
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	Flujo con esparcimiento sobre superficies planas. Flujo cohesivo; mezcla.
Inundaciones o crecidas de barro	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	Flujo se mezcla fácilmente; deposición de grandes bloques; ocurren ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; esparcimiento casi completo en superficies planas; dos fases en superficie con ondas.
	0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	Separación del agua en superficie; las ondas viajan fácilmente; arena y grava viaje como carga de fondo
	0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	Ondas dominan el movimiento superficial
Inundaciones o crecidas de agua	<0.20	<0.41	Inundación de agua con posibilidad de sedimentos en suspensión o carga de fondo.

Fuente: FLO-2D Software, Inc. (2021, capítulo 4, pág. 103).

Tabla 88

Concentración volumétrica (Cv) y factor de abultamiento (BF) de la quebrada Rosayoc/Batán

TIPO	Cv PROBABLE	PROM Cv	Corrección del Cv por el programa FLO-2D
Cv1 (Flujo de barro1 - detritos)	0.48	0.42	0.40
Cv2 (Flujo de barro2 - detritos)	0.45		

Cv3 (Inundaciones de barro1 - detritos)	0.40		
Cv4 (Inundaciones de barro2 - detritos)	0.35		
BF=(1/(1-Cv))		1.72	
BF (asumido por Cv FLO-2D)			1.66

**Tabla 89**

*Distribución y ajuste de la concentración volumétrica (Cv) de la quebrada*

*Rosayoc/Batán*

Tiempo	Cv PROBABLE	Cv AJUSTADO (para los datos de entrada del FLO- 2D)
		0.42
0.00	0.00	0.20
0.04	0.01	0.20
0.07	0.04	0.30
0.11	0.08	0.30
0.15	0.13	0.35
0.19	0.20	0.35
0.22	0.28	0.40
0.26	0.34	0.40
0.30	0.39	0.45
<b>0.33</b>	<b>0.42</b>	<b>0.48</b>
<b>0.37</b>	<b>0.42</b>	<b>0.48</b>
<b>0.41</b>	<b>0.42</b>	<b>0.48</b>
0.44	0.39	0.45
0.48	0.36	0.40

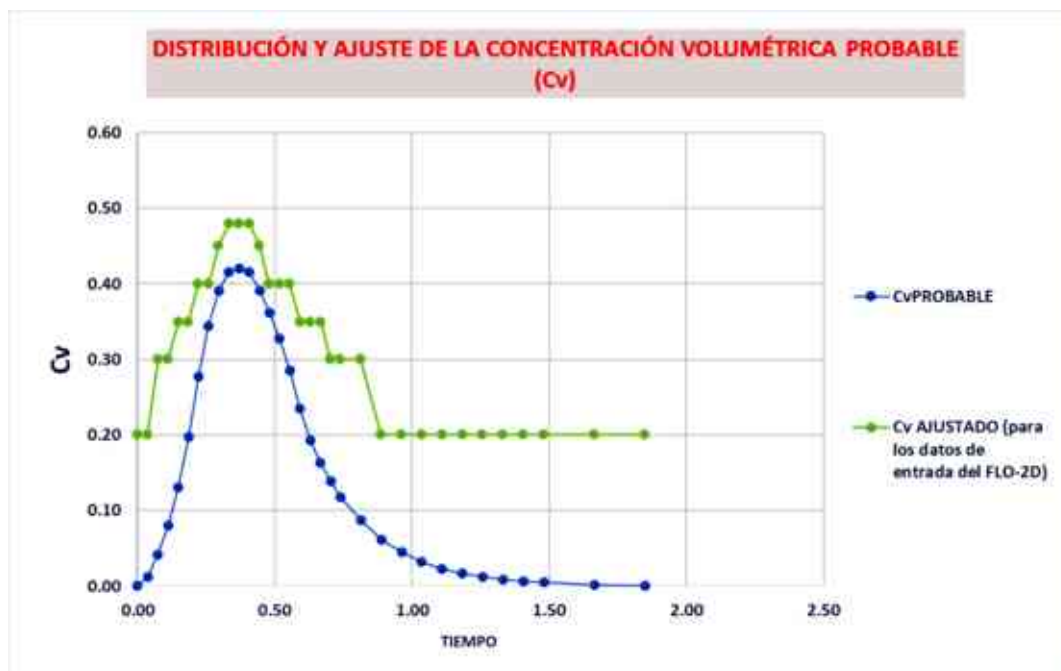
---

0.52	0.33	0.40
0.56	0.29	0.40
0.59	0.24	0.35
0.63	0.19	0.35
0.67	0.16	0.35
0.70	0.14	0.30
0.74	0.12	0.30
0.81	0.09	0.30
0.89	0.06	0.20
0.96	0.04	0.20
1.04	0.03	0.20
1.11	0.02	0.20
1.18	0.02	0.20
1.26	0.01	0.20
1.33	0.01	0.20
1.41	0.01	0.20
1.48	0.00	0.20
1.67	0.00	0.20
1.85	0.00	0.20

---

Figura 130

Gráfica de la distribución y ajuste de la concentración volumétrica (Cv) de la quebrada Rosayoc/Batán



#### 4.6.3 Gravedad específica del suelo.

Tabla 90

Gravedad específica del suelo (Gs) de la quebrada Rosayoc/Batán

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO (Gs) DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN						
GRANULOMETRÍA	PARTES DE LA QUEBRADA			QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN	Gs	Gs POR GRANULOME TRÍA
	PARTE BAJA	PARTE MEDIA	PARTE ALTA			
% GRAVA	6.36	54.57	68.34	43.09	2.65	1.14
% ARENA	20.94	25.98	29.45	25.46	2.65	0.67

% LIMO-ARCILLA	72.7	19.45	2.21	31.45	2.65	0.83
<b>Gs DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN</b>						<b>2.65</b>

#### 4.6.4 Coeficiente de rugosidad de Manning (n).

**Tabla 91**

*Coeficiente de rugosidad de Manning (n) de la quebrada Rosayoc/Batán*

<b>PARTES DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN</b>	<b>USO DE SUELO</b>	<b>COEFICIENTE MANNING (n)</b>
<b>PARTE ALTA</b>	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales), condiciones óptimas y arbustos - bosque, cubierta buena	0.048
<b>PARTE MEDIA</b>	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales), condiciones óptimas y arbustos - bosque, cubierta buena	0.048
<b>PARTE BAJA</b>	Tierra cultivada, sin tratamientos de conservación - ganadera (asociado a pajonales), condiciones óptimas y arbustos - bosque, cubierta buena	0.050
<b>VIVIENDAS Y PARTE BAJA</b>	Urbano con baja vegetación	0.045
<b>CAUCE</b>	Cauce de montaña/sin vegetación en el canal/fondo grava, canto rodado y algunas rocas	0.040
<b>n de la quebrada Rosayoc/Batán</b>		<b>0.046</b>

*Nota*, el valor de Manning de la quebrada Rosayoc/Batán que se obtuvo de esta tabla, se usó como un valor aproximado, el cual puede ser corregido por el programa FLO-2D.

#### 4.6.5 Datos para la simulación computacional (FLO-2D) del movimiento de flujos de detritos.

Los datos de entrada para la simulación computacional se procesaron en el programa QGIS mediante el complemento del programa FLO-2D para el programa QGIS. Luego, la simulación computacional se realizó en el programa FLO-2D

**Figura 131**

*Datos de entrada: control de variables en el programa QGIS*

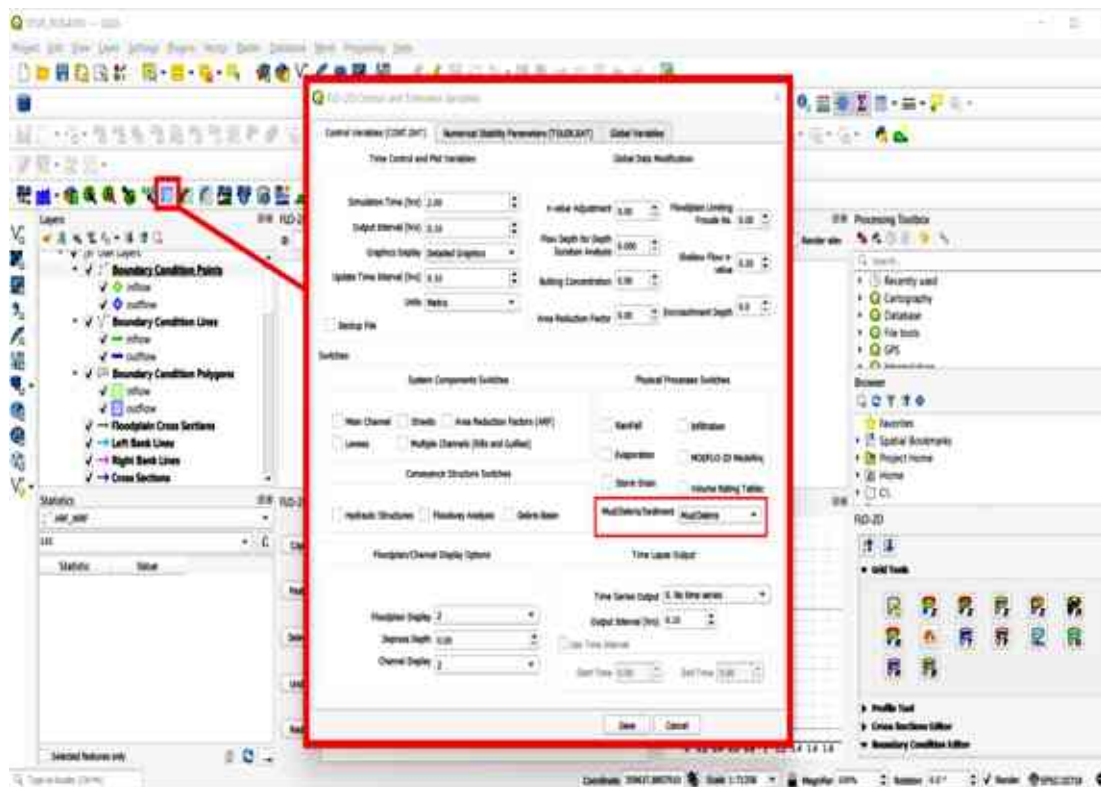
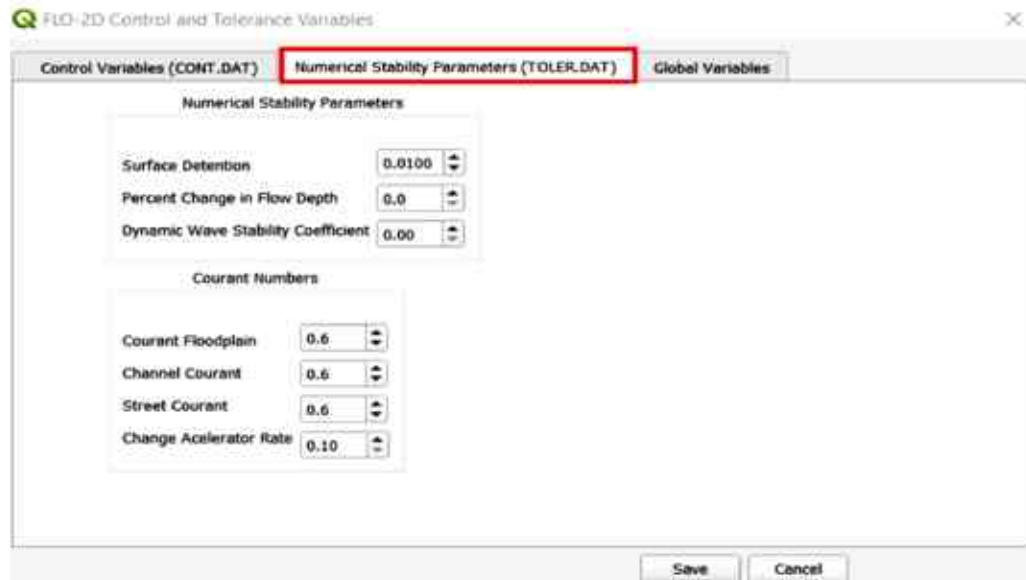


Figura 132

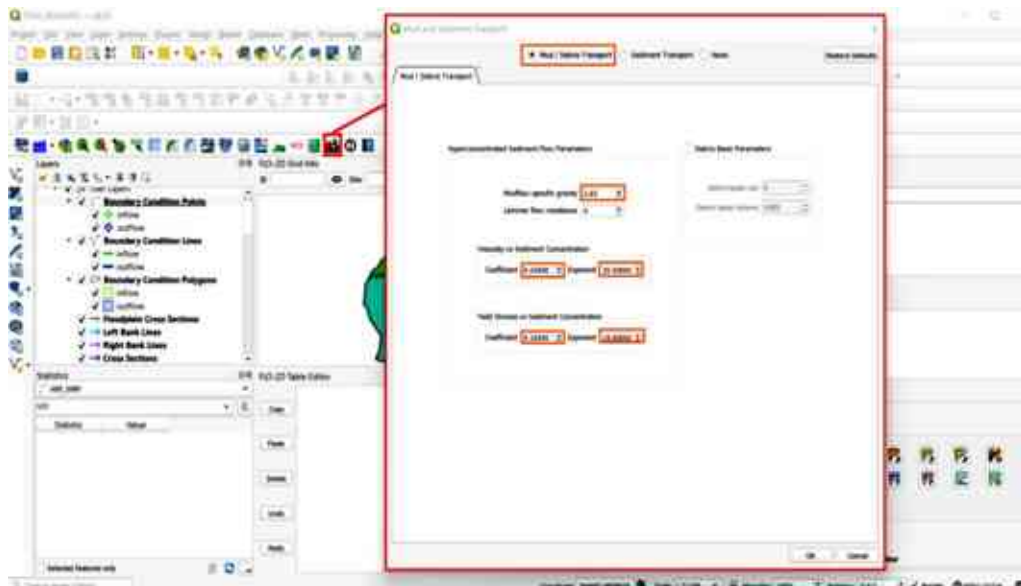
Datos de entrada: parámetros de estabilidad numérica en el programa QGIS



Nota, estos parámetros se pueden ir cambiando al momento de realizar la simulación computacional en el programa FLO-2D, en caso sea necesario.

Figura 133

Datos de entrada: parámetros del flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán en el programa QGIS

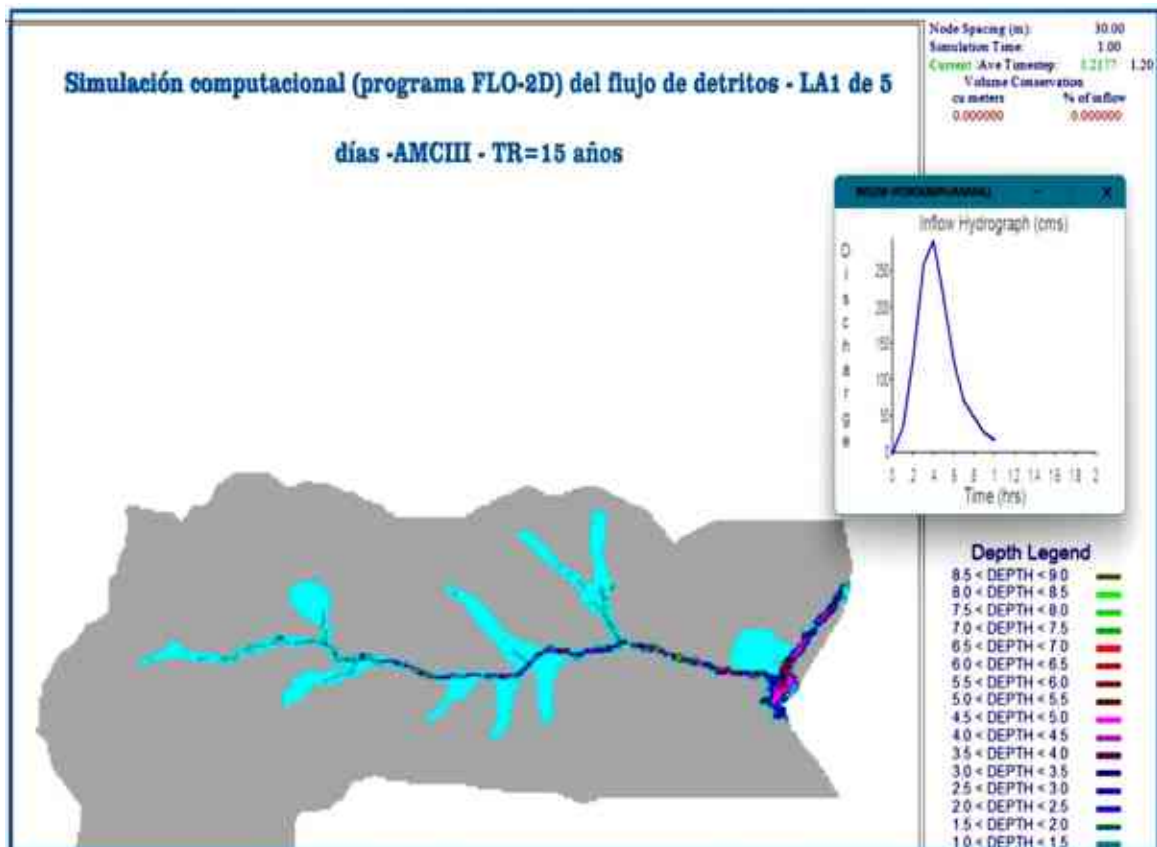




Nota, los datos que se muestran en la figura fueron obtenidos de los parámetros reológicos, geotécnicos y gravedad específica del suelo.

**Figura 134**

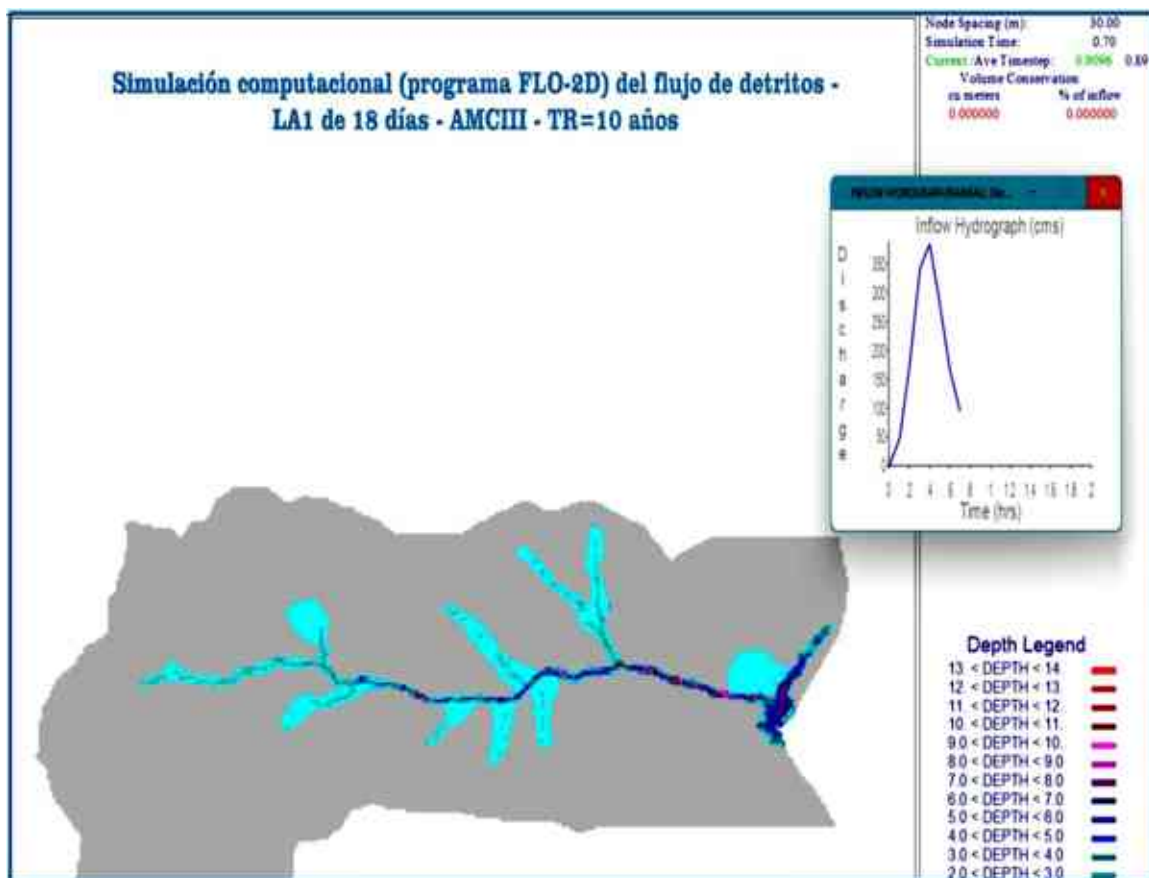
Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 15 años



**Figura 135**

Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral

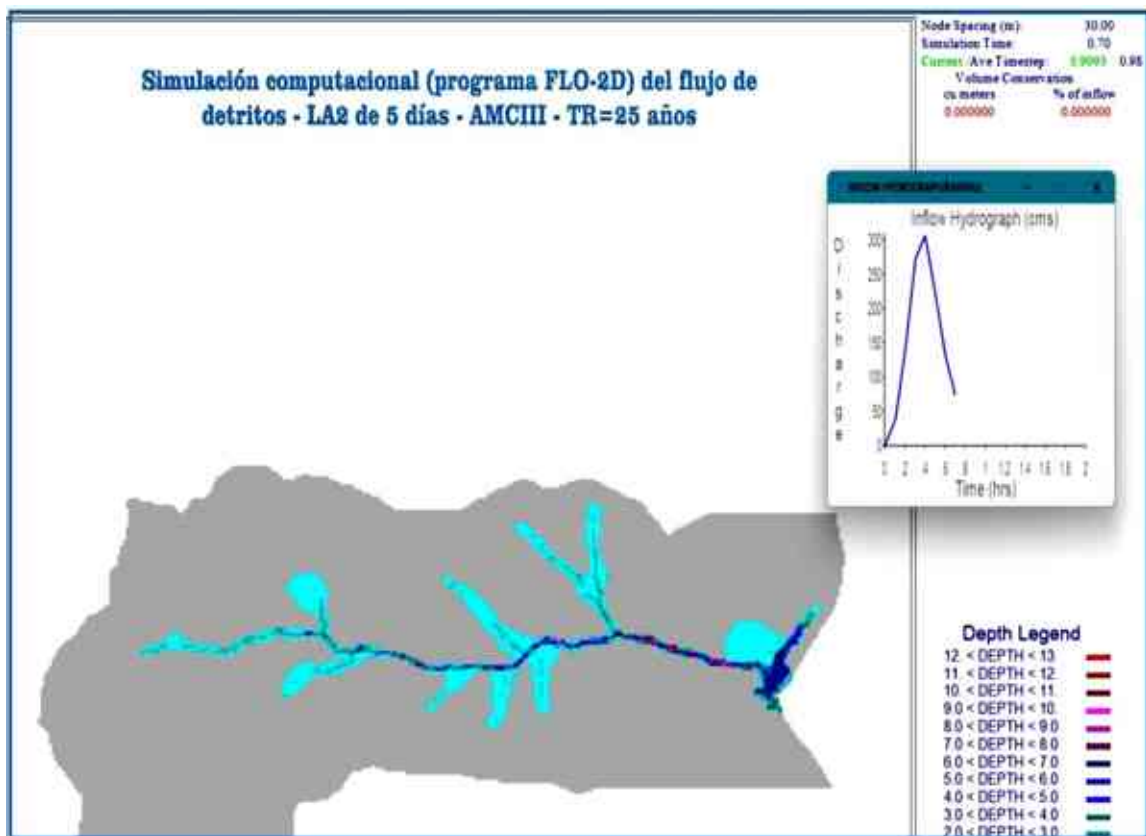
mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 10 años



**Figura 136**

Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral

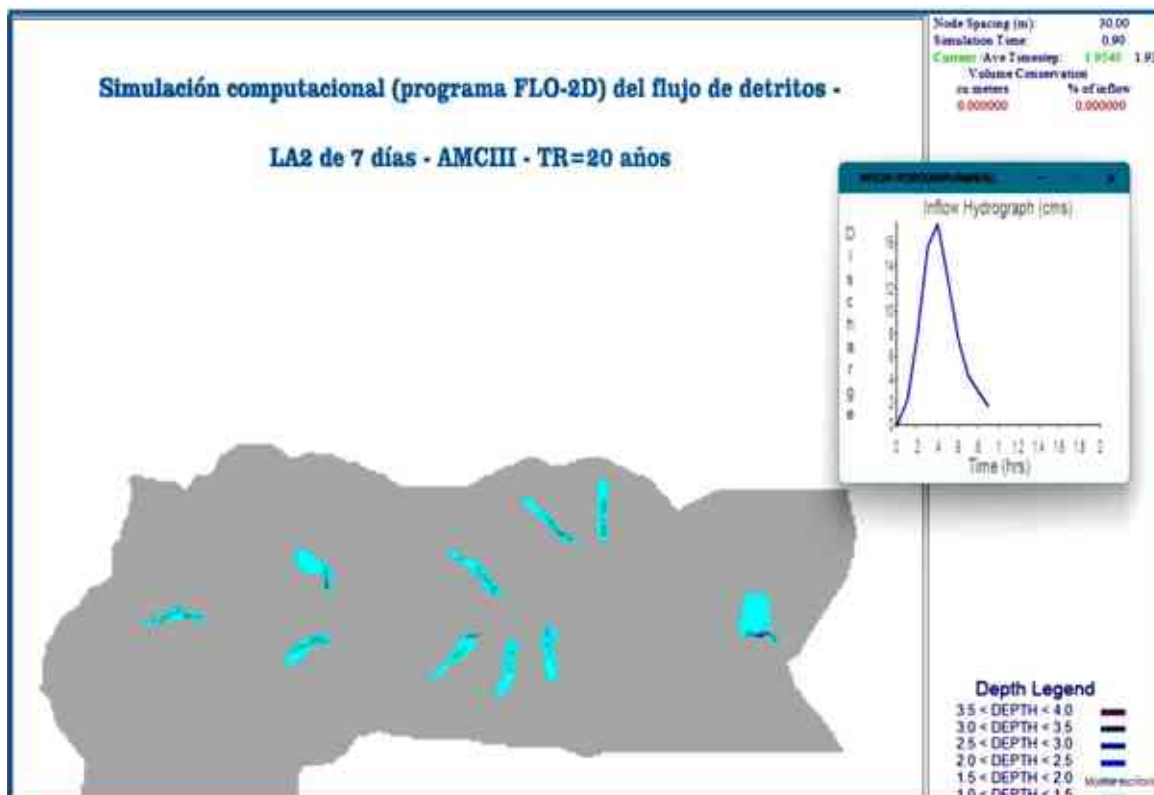
mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 25 años



**Figura 137**

Simulación computacional (programa FLO-2D) del flujo de detritos, a partir del umbral

mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para el periodo de retorno (TR) de 20 años



#### 4.7 Volúmenes y caudales del flujo de detritos detonado por los umbrales críticos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán

Tabla 92

Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR)

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN	
AMCIII	AMCIII
FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 15 AÑOS	FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 20 AÑOS

FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	2,995,428.69	4,974,400.16	1,978,971.47	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,148,750.51	5,229,052.49	2,080,301.98
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	407,721.40	677,088.20	269,366.79	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	406,060.49	674,334.66	268,274.17
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,587,707.29	4,297,311.96	1,709,604.68	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,742,690.02	4,554,717.83	1,812,027.80
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 25 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 50 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,261,911.81	5,416,999.53	2,155,087.72	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,593,942.45	5,968,408.44	2,374,465.99
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	403,052.00	669,341.36	266,289.36	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	401,044.33	666,008.54	264,964.21
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,858,859.81	4,747,658.17	1,888,798.36	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,192,898.12	5,302,399.90	2,109,501.78
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 100 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 200 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)

FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,900,889.13	6,478,155.77	2,577,266.63	FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,190,138.66	6,958,507.62	2,768,368.96
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	398,563.95	661,889.97	263,326.01	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	399,189.42	662,928.57	263,739.15
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,502,325.18	5,816,265.80	2,313,940.62	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,790,949.24	6,295,579.05	2,504,629.81
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

### AMCIII

#### FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 500 AÑOS

FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,552,209.84	7,559,768.41	3,007,558.57
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	400,180.52	664,572.18	264,391.67
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,152,029.32	6,895,196.23	2,743,166.90
CV =			0.40
BF =			1.66

**Nota**, estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

#### Tabla 93

Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA1 de 18 días de la

quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR)

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 18 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN

AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 10 AÑOS (M3)				FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 15 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,951,105.99	6,561,583.88	2,610,477.89	FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,441,647.13	7,376,148.96	2,934,501.84
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	398,293.09	661,443.53	263,150.44	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	398,018.40	660,980.70	262,962.30
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,552,812.90	5,900,140.35	2,347,327.45	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,043,628.72	6,715,168.26	2,671,539.54
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66
AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 20 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 25 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,776,153.71	7,931,654.01	3,155,500.29	FLUJO DE ENTRADA (M3)	5,025,040.85	8,344,944.03	3,319,903.18
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE	400,269.47	664,718.76	264,449.29	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE	399,146.30	662,851.04	263,704.74

ANÁLISIS O CAUCE (M3)				ANÁLISIS O CAUCE (M3)			
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,375,884.24	7,266,935.25	2,891,051.01	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,625,894.54	7,682,092.99	3,056,198.44
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 50 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 100 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	5,764,439.54	9,572,891.20	3,808,451.67	FLUJO DE ENTRADA (M3)	6,456,163.94	10,721,528.18	4,265,364.24
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	402,346.79	668,169.40	265,822.60	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	405,972.29	674,184.14	268,211.85
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	5,362,092.74	8,904,721.81	3,542,629.06	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	6,050,191.65	10,047,344.04	3,997,152.39
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 200 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 500 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	7,110,089.05	11,807,500.92	4,697,411.88	FLUJO DE ENTRADA (M3)	7,927,398.78	13,164,730.68	5,237,331.90



FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	409,093.82	679,369.22	270,275.40	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	411,105.48	682,707.28	271,601.81
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	6,700,995.23	11,128,131.71	4,427,136.48	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	7,516,293.31	12,482,023.40	4,965,730.10
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

**Nota**, estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

**Tabla 94**

*Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA2 de 5 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR)*

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN							
AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 25 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 50 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,146,184.08	5,224,806.05	2,078,621.97	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,626,638.65	6,022,714.75	2,396,076.10
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	404,715.22	672,102.61	267,387.39	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	401,123.96	666,141.69	265,017.73
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE	2,741,468.86	4,552,703.43	1,811,234.58	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE	3,225,514.69	5,356,573.06	2,131,058.38

DEPOSITACIÓN (M3)				DEPOSITACIÓN (M3)			
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 100 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 200 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,081,813.43	6,778,623.86	2,696,810.44	FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,511,921.69	7,492,863.96	2,980,942.28
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	397,302.69	659,796.33	262,493.64	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	398,812.68	662,300.76	263,488.08
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,684,510.74	6,118,827.54	2,434,316.80	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,113,109.01	6,830,563.21	2,717,454.20
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 500 AÑOS</b>							
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)				
FLUJO DE ENTRADA (M3)	5,055,283.27	8,395,209.42	3,339,926.16				
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	400,317.69	664,799.71	264,482.02				
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,654,965.58	7,730,409.72	3,075,444.14				

---

CV = 0.40

BF = 1.66

---

**Nota,** estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

**Tabla 95**

*Volumen del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo LA2 de 7 días de la quebrada Rosayoc/Batán, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo y con distintos periodos de retorno (TR)*

---

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 7 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN							
AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 20 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 25 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	181,032.15	300,627.09	119,594.94	FLUJO DE ENTRADA (M3)	193,629.29	321,532.79	127,903.49
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	181,032.15	300,627.09	119,594.94	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	193,607.33	321,496.32	127,888.99
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	0.00	0.00	0.00	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	21.96	36.47	14.51
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66
AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 50 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 100 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS	SEDIMENTOS (M3)

---

		(M3) = BF(AGUA)			(M3) = BF(AGUA)		
FLUJO DE ENTRADA (M3)	233,853.82	388,334.04	154,480.22	FLUJO DE ENTRADA (M3)	271,593.76	451,018.16	179,424.40
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	233,587.73	387,892.18	154,304.44	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	269,508.95	447,556.05	178,047.10
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	266.09	441.86	175.77	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,084.81	3,462.11	1,377.30
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>			
<b>FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 200 AÑOS</b>				<b>FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 500 AÑOS</b>			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	309,244.62	513,552.66	204,308.05	FLUJO DE ENTRADA (M3)	356,984.26	592,852.23	235,867.96
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	304,738.41	506,069.35	201,330.94	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	350,098.28	581,416.51	231,318.23
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,506.21	7,483.32	2,977.11	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	6,885.98	11,435.71	4,549.73
	CV =		0.40		CV =		0.40
	BF =		1.66		BF =		1.66

**Nota**, estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

Tabla 96

Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa

FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días de la quebrada

Rosayoc/Batán

CAUDALES DEL FLUJO DE DETRITOS A PARTIR DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN							
AMC	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
BF	PERIODO DE RETORNO (TR)						
	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
1.66	15	20	25	50	100	200	500
Tiempo	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )
0	0	0	0	0	0	0	0
0.04	7.63	8.03	8.31	9.16	9.94	10.68	11.6
0.07	25.45	26.75	27.71	30.53	33.14	35.6	38.67
0.11	48.35	50.83	52.65	58.01	62.96	67.63	73.48
0.15	78.89	82.93	85.91	94.65	102.73	110.35	119.88
0.19	119.6	125.73	130.24	143.5	155.75	167.3	181.76
0.22	167.95	176.55	182.9	201.51	218.71	234.93	255.24
0.26	208.66	219.35	227.23	250.36	271.74	291.88	317.11
0.30	236.66	248.78	257.72	283.95	308.19	331.04	359.65
0.33	251.92	264.83	274.34	302.27	328.07	352.4	382.86
<b>0.37</b>	<b>254.47</b>	<b>267.5</b>	<b>277.12</b>	<b>305.32</b>	<b>331.39</b>	<b>355.96</b>	<b>386.72</b>
0.41	251.92	264.83	274.34	302.27	328.07	352.4	382.86
0.44	236.66	248.78	257.72	283.95	308.19	331.04	359.65
0.48	218.84	230.05	238.32	262.57	284.99	306.12	332.58
0.52	198.48	208.65	216.15	238.15	258.48	277.65	301.64
0.56	173.04	181.9	188.44	207.62	225.34	242.05	262.97
0.59	142.5	149.8	155.18	170.98	185.58	199.34	216.56
0.63	117.06	123.05	127.47	140.45	152.44	163.74	177.89
0.67	99.24	104.33	108.08	119.07	129.24	138.82	150.82
0.70	83.97	88.28	91.45	100.76	109.36	117.47	127.62
0.74	71.25	74.9	77.59	85.49	92.79	99.67	108.28

0.81	52.67	55.37	57.36	63.2	68.6	73.68	80.05
0.89	37.41	39.32	40.74	44.88	48.71	52.33	56.85
0.96	27.23	28.62	29.65	32.67	35.46	38.09	41.38
1.04	19.59	20.6	21.34	23.51	25.52	27.41	29.78
1.11	14	14.71	15.24	16.79	18.23	19.58	21.27
1.18	10.18	10.7	11.08	12.21	13.26	14.24	15.47
1.26	7.38	7.76	8.04	8.85	9.61	10.32	11.21
1.33	5.34	5.62	5.82	6.41	6.96	7.48	8.12
1.41	3.82	4.01	4.16	4.58	4.97	5.34	5.8
1.48	2.8	2.94	3.05	3.36	3.65	3.92	4.25
1.67	1.27	1.34	1.39	1.53	1.66	1.78	1.93
1.85	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 97**

*Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo (LA1) de 18 días de la quebrada Rosayoc/Batán*

CAUDALES DEL FLUJO DE DETRITOS A PARTIR DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 DE 18 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN								
AMC	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
BF	PERIODO DE RETORNO (TR)							
	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
1.66	10	15	20	25	50	100	200	500
Tiempo	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	10.12	11.38	12.24	12.88	14.77	16.54	18.22	20.31
0.07	33.75	37.93	40.79	42.92	49.23	55.14	60.72	67.70
0.11	64.12	72.07	77.50	81.54	93.54	104.76	115.38	128.64
0.15	104.61	117.59	126.45	133.04	152.62	170.93	188.24	209.89
0.19	158.60	178.29	191.72	201.71	231.39	259.15	285.40	318.21

0.22	222.72	250.36	269.22	283.25	324.93	363.92	400.78	446.85
0.26	276.71	311.06	334.48	351.92	403.70	452.14	497.94	555.18
0.3	313.83	352.78	379.35	399.13	457.86	512.79	564.73	629.66
0.33	334.08	375.54	403.83	424.88	487.40	545.88	601.17	670.28
<b>0.37</b>	<b>337.45</b>	<b>379.34</b>	<b>407.91</b>	<b>429.17</b>	<b>492.32</b>	<b>551.39</b>	<b>607.24</b>	<b>677.05</b>
0.41	334.08	375.54	403.83	424.88	487.40	545.88	601.17	670.28
0.44	313.83	352.78	379.35	399.13	457.86	512.79	564.73	629.66
0.48	290.21	326.23	350.80	369.09	423.40	474.20	522.23	582.26
0.52	263.21	295.88	318.17	334.75	384.01	430.09	473.65	528.10
0.56	229.47	257.95	277.38	291.84	334.78	374.95	412.92	460.39
0.59	188.97	212.43	228.43	240.34	275.70	308.78	340.05	379.15
0.63	155.23	174.49	187.64	197.42	226.47	253.64	279.33	311.44
0.67	131.61	147.94	159.08	167.38	192.01	215.04	236.82	264.05
0.7	111.36	125.18	134.61	141.63	162.47	181.96	200.39	223.43
0.74	94.49	106.21	114.21	120.17	137.85	154.39	170.03	189.57
0.81	69.85	78.52	84.44	88.84	101.91	114.14	125.70	140.15
0.89	49.61	55.76	59.96	63.09	72.37	81.05	89.26	99.53
0.96	36.11	40.59	43.65	45.92	52.68	59.00	64.97	72.44
1.04	25.98	29.21	31.41	33.05	37.91	42.46	46.76	52.13
1.11	18.56	20.86	22.43	23.60	27.08	30.33	33.40	37.24
1.18	13.50	15.17	16.32	17.17	19.69	22.06	24.29	27.08
1.26	9.79	11.00	11.83	12.45	14.28	15.99	17.61	19.63
1.33	7.09	7.97	8.57	9.01	10.34	11.58	12.75	14.22
1.41	5.06	5.69	6.12	6.44	7.38	8.27	9.11	10.16
1.48	3.71	4.17	4.49	4.72	5.42	6.07	6.68	7.45
1.67	1.69	1.90	2.04	2.15	2.46	2.76	3.04	3.39
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Tabla 98**

*Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa*

*FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días de la quebrada*

*Rosayoc/Batán*

CAUDALES DEL FLUJO DE DETRITOS A PARTIR DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN					
AMC	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
BF	PERIODO DE RETORNO (TR)				
	TR	TR	TR	TR	TR
1.66	25	50	100	200	500
Tiempo	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )
0	0	0	0	0	0
0.04	8.01	9.24	10.4	11.49	12.87
0.07	26.71	30.79	34.65	38.3	42.92
0.11	50.75	58.5	65.84	72.78	81.54
0.15	82.8	95.44	107.43	118.74	133.04
0.19	125.54	144.71	162.87	180.03	201.71
0.22	176.29	203.21	228.71	252.81	283.25
0.26	219.03	252.47	284.16	314.1	351.91
0.30	248.41	286.33	322.28	356.23	399.12
0.33	264.43	304.81	343.07	379.21	424.87
<b>0.37</b>	<b>267.11</b>	<b>307.89</b>	<b>346.53</b>	<b>383.04</b>	<b>429.16</b>
0.41	264.43	304.81	343.07	379.21	424.87
0.44	248.41	286.33	322.28	356.23	399.12
0.48	229.71	264.78	298.02	329.42	369.08
0.52	208.34	240.15	270.3	298.77	334.75
0.56	181.63	209.36	235.64	260.47	291.83
0.59	149.58	172.42	194.06	214.5	240.33
0.63	122.87	141.63	159.41	176.2	197.41
0.67	104.17	120.08	135.15	149.39	167.37
0.70	88.14	101.6	114.36	126.4	141.62
0.74	74.79	86.21	97.03	107.25	120.17
0.81	55.29	63.73	71.73	79.29	88.84
0.89	39.26	45.26	50.94	56.31	63.09
0.96	28.58	32.94	37.08	40.99	45.92



1.04	20.57	23.71	26.68	29.49	33.05
1.11	14.69	16.93	19.06	21.07	23.6
1.18	10.68	12.32	13.86	15.32	17.17
1.26	7.75	8.93	10.05	11.11	12.45
1.33	5.61	6.47	7.28	8.04	9.01
1.41	4.01	4.62	5.2	5.75	6.44
1.48	2.94	3.39	3.81	4.21	4.72
1.67	1.34	1.54	1.73	1.92	2.15
1.85	0	0	0	0	0

**Tabla 99**

*Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa FLO-2D igual a 1.66, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días de la quebrada Rosayoc/Batán*

CAUDALES DEL FLUJO DE DETRITOS A PARTIR DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 7 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN						
AMC	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
BF	PERIODO DE RETORNO (TR)					
	TR	TR	TR	TR	TR	TR
1.66	20	25	50	100	200	500
Tiempo	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )
0	0	0	0	0	0	0
0.04	0.46	0.49	0.60	0.69	0.79	0.91
0.07	1.54	1.64	1.99	2.31	2.63	3.03
0.11	2.92	3.12	3.77	4.38	4.99	5.76
0.15	4.77	5.10	6.16	7.15	8.14	9.40
0.19	7.23	7.73	9.33	10.84	12.34	14.25
0.22	10.15	10.85	13.11	15.22	17.33	20.01
0.26	12.61	13.48	16.28	18.91	21.53	24.86
0.30	14.30	15.29	18.47	21.45	24.42	28.20
0.33	15.22	16.28	19.66	22.83	26.00	30.02
<b>0.37</b>	<b>15.37</b>	<b>16.44</b>	<b>19.86</b>	<b>23.06</b>	<b>26.26</b>	<b>30.32</b>

0.41	15.22	16.28	19.66	22.83	26.00	30.02
0.44	14.30	15.29	18.47	21.45	24.42	28.20
0.48	13.22	14.14	17.08	19.83	22.59	26.07
0.52	11.99	12.82	15.49	17.99	20.48	23.65
0.56	10.45	11.18	13.50	15.68	17.86	20.62
0.59	8.61	9.21	11.12	12.91	14.71	16.98
0.63	7.07	7.56	9.13	10.61	12.08	13.95
0.67	6.00	6.41	7.74	8.99	10.24	11.82
0.70	5.07	5.43	6.55	7.61	8.67	10.01
0.74	4.30	4.60	5.56	6.46	7.35	8.49
0.81	3.18	3.40	4.11	4.77	5.44	6.28
0.89	2.26	2.42	2.92	3.39	3.86	4.46
0.96	1.64	1.76	2.12	2.47	2.81	3.24
1.04	1.18	1.27	1.53	1.78	2.02	2.33
1.11	0.85	0.90	1.09	1.27	1.44	1.67
1.18	0.61	0.66	0.79	0.92	1.05	1.21
1.26	0.45	0.48	0.58	0.67	0.76	0.88
1.33	0.32	0.35	0.42	0.48	0.55	0.64
1.41	0.23	0.25	0.30	0.35	0.39	0.45
1.48	0.17	0.18	0.22	0.25	0.29	0.33
1.67	0.08	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15
1.85	0	0	0	0	0	0

#### 4.8 Máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por los umbrales críticos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán

**Tabla 100**

*Máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, para distintos escenarios, detonado por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA) de la quebrada Rosayoc/Batán*

---

**MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL FLUJO DE DETRITOS, PARA DISTINTOS ESCENARIOS, DETONADO POR LOS UMBRALES MÍNIMOS (LA) DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN**

---

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 5D			MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 18D		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
ESCENARIO 2: TR= 15 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.26	0.00 <V≤ 18.41	ESCENARIO 1: TR= 10 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 15.76	0.00 <V≤ 21.09
ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.49	0.00 <V≤ 19.06	ESCENARIO 2: TR= 15 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.56	0.00 <V≤ 22.32
ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.71	0.00 <V≤ 19.24	ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.43	0.00 <V≤ 22.97
ESCENARIO 5: TR= 50 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 15.18	0.00 <V≤ 20.22	ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.83	0.00 <V≤ 23.19
ESCENARIO 6: TR= 100 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 15.65	0.00 <V≤ 20.98	ESCENARIO 5: TR= 50 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 17.89	0.00 <V≤ 23.83
ESCENARIO 7: TR= 200 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.23	0.00 <V≤ 21.79	ESCENARIO 6: TR= 100 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 18.52	0.00 <V≤ 24.34
ESCENARIO 8: TR= 500 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.63	0.00 <V≤ 22.55	ESCENARIO 7: TR= 200 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 19.35	0.00 <V≤ 24.91
MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 5D			ESCENARIO 8: TR= 500 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 20.33	0.00 <V≤ 26.35
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 7D	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
			ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 3.88	0.00 <V≤ 1.52

<b>ESCENARIO 4:</b>				<b>ESCENARIO 4:</b>		
<b>TR= 25 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 14.46	0.00 <V≤ 18.90		<b>TR= 25 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 3.96	0.00 <V≤ 1.65
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>		
<b>ESCENARIO 5:</b>				<b>ESCENARIO 5:</b>		
<b>TR= 50 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 15.35	0.00 <V≤ 20.27		<b>TR= 50 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 4.21	0.00 <V≤ 2.08
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>		
<b>ESCENARIO 6:</b>				<b>ESCENARIO 6:</b>		
<b>TR= 100 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 15.98	0.00 <V≤ 21.58		<b>TR= 100 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 4.39	0.00 <V≤ 3.44
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>		
<b>ESCENARIO 7:</b>				<b>ESCENARIO 7:</b>		
<b>TR= 200 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 16.62	0.00 <V≤ 22.52		<b>TR= 200 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 4.55	0.00 <V≤ 4.58
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>		
<b>ESCENARIO 8:</b>				<b>ESCENARIO 8:</b>		
<b>TR= 500 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 17.51	0.00 <V≤ 23.21		<b>TR= 500 AÑOS -</b>	0.00 <h≤ 4.77	0.00 <V≤ 7.30
<b>AMCIII</b>				<b>AMCIII</b>		

**Nota**, estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

#### 4.9 Volúmenes y caudales del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán

**Tabla 101**

*Volumen del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán, en función de la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) y con distintos periodos de retorno (TR)*

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN							
AMCII				AMCII			
FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 10 AÑOS (M3)				FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 15 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	613,633.35	1,018,988.23	405,354.88	FLUJO DE ENTRADA (M3)	771,929.86	1,281,901.00	509,971.14

FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)				FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)			
477,475.79	792,887.50	315,411.71		485,336.46	805,971.28	320,634.82	
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)				FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)			
136,157.56	226,100.73	89,943.17		286,593.40	475,929.72	189,336.32	
CV =		0.40		CV =		0.40	
BF =		1.66		BF =		1.66	

## AMCIII

## AMCIII

## FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 20 AÑOS

## FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 25 AÑOS

FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,214,167.19	5,337,685.77	2,123,518.58	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,463,192.15	5,751,268.58	2,288,076.43
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	403,623.01	670,286.47	266,663.46	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	401,933.50	667,484.63	265,551.12
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,810,544.18	4,667,399.30	1,856,855.11	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,061,258.65	5,083,783.95	2,022,525.30
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

## AMCIII

## AMCIII

## FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 50 AÑOS

## FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 100 AÑOS

FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,278,112.66	7,104,612.33	2,826,499.68	FLUJO DE ENTRADA (M3)	5,160,921.03	8,570,642.54	3,409,721.51

AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 200 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 500 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	399,307.23	663,124.91	263,817.68	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	400,940.06	665,833.46	264,893.40
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,878,805.43	6,441,487.42	2,562,682.00	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,759,980.97	7,904,809.08	3,144,828.10
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
FLUJO DE ENTRADA (M3)	6,111,601.48	10,149,374.73	4,037,773.25	FLUJO DE ENTRADA (M3)	7,477,200.68	12,417,126.42	4,939,925.74
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	403,727.83	670,460.11	266,732.28	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	408,383.45	678,188.15	269,804.70
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	5,707,873.66	9,478,914.62	3,771,040.96	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	7,068,817.23	11,738,938.27	4,670,121.04
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

**Nota,** estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

**Tabla 102**

*Caudal del flujo de detritos, con factor de abultamiento (BF) corregido por el programa*

*FLO-2D igual a 1.66, a partir de la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán*

CAUDALES DEL FLUJO DE DETRITOS A PARTIR DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN								
AMC	AMCII	AMCII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII	AMCIII
PERIODO DE RETORNO (TR)								
BF	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
1.66	10	15	20	25	50	100	200	500
Tiempo	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )	Q salida (QT <sub>BF</sub> )
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	1.56	1.97	8.19	8.83	10.90	13.15	15.58	19.06
0.07	5.21	6.56	27.31	29.42	36.34	43.84	51.92	63.52
0.11	9.91	12.46	51.88	55.90	69.05	83.30	98.65	120.69
0.15	16.16	20.33	84.65	91.20	112.66	135.91	160.95	196.91
0.19	24.50	30.83	128.34	138.28	170.81	206.06	244.02	298.55
0.22	34.41	43.29	180.22	194.18	239.87	289.36	342.67	419.24
0.26	42.75	53.79	223.91	241.25	298.02	359.51	425.74	520.87
0.3	48.48	61.00	253.94	273.61	337.99	407.74	482.85	590.74
0.33	51.61	64.94	270.33	291.27	359.80	434.04	514.00	628.86
<b>0.37</b>	<b>52.13</b>	<b>65.59</b>	<b>273.06</b>	<b>294.21</b>	<b>363.43</b>	<b>438.43</b>	<b>519.19</b>	<b>635.21</b>
0.41	51.61	64.94	270.33	291.27	359.80	434.04	514.00	628.86
0.44	48.48	61.00	253.94	273.61	337.99	407.74	482.85	590.74
0.48	44.83	56.41	234.83	253.02	312.55	377.05	446.50	546.28
0.52	40.66	51.16	212.98	229.48	283.48	341.97	404.97	495.46
0.56	35.45	44.60	185.68	200.06	247.14	298.13	353.05	431.94
0.59	29.19	36.73	152.91	164.76	203.52	245.52	290.75	355.72
0.63	23.98	30.17	125.61	135.34	167.18	201.68	238.83	292.20
0.67	20.33	25.58	106.49	114.74	141.74	170.99	202.48	247.73
0.7	17.20	21.65	90.11	97.09	119.93	144.68	171.33	209.62
0.74	14.60	18.37	76.46	82.38	101.76	122.76	145.37	177.86
0.81	10.79	13.58	56.52	60.90	75.23	90.75	107.47	131.49

0.89	7.66	9.64	40.14	43.25	53.42	64.45	76.32	93.38
0.96	5.58	7.02	29.22	31.48	38.89	46.91	55.55	67.97
1.04	4.01	5.05	21.03	22.65	27.98	33.76	39.98	48.91
1.11	2.87	3.61	15.02	16.18	19.99	24.11	28.56	34.94
1.18	2.09	2.62	10.92	11.77	14.54	17.54	20.77	25.41
1.26	1.51	1.90	7.92	8.53	10.54	12.71	15.06	18.42
1.33	1.09	1.38	5.73	6.18	7.63	9.21	10.90	13.34
1.41	0.78	0.98	4.10	4.41	5.45	6.58	7.79	9.53
1.48	0.57	0.72	3.00	3.24	4.00	4.82	5.71	6.99
1.67	0.26	0.33	1.37	1.47	1.82	2.19	2.60	3.18
1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### 4.10 Máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán

**Tabla 103**

*Máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos de la precipitación máxima en 24 horas de la quebrada Rosayoc/Batán, para diferentes escenarios*

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
ESCENARIO 1: TR= 10 AÑOS - AMCII	0.00 <h≤ 5.88	0.00 <V≤ 10.50
ESCENARIO 2: TR= 15 AÑOS - AMCII	0.00 <h≤ 6.47	0.00 <V≤ 13.37
ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.52	0.00 <V≤ 19.05
ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.92	0.00 <V≤ 20.00
ESCENARIO 5: TR= 50 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.27	0.00 <V≤ 21.84
ESCENARIO 6: TR= 100 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.96	0.00 <V≤ 23.29
ESCENARIO 7: TR= 200 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 18.16	0.00 <V≤ 24.10
ESCENARIO 8: TR= 500 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 19.84	0.00 <V≤ 25.53



**Nota**, estos valores fueron obtenidos de la simulación computacional en el programa FLO-2D.

#### **4.11 Análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED)**

Los criterios de análisis y evaluación de la peligrosidad ante los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, se realizaron mediante el proceso de análisis jerárquico y, en base, a lo indicado en el Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales del CENEPRED (2014a).

Todos los procedimientos del análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, se realizó mediante los cálculos de los factores condicionantes, desencadenantes y el parámetro de evaluación en hojas Exceles y el geoprocésamiento en el programa QGIS.

**Tabla 104**

*Matriz de comparación del parámetro de evaluación*

<b>PÁRAMETRO DE EVALUACIÓN</b>					
<b><u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u></b>					
<b>FRECUENCIA</b>	<b>Todos los años</b>	<b>cada 2 años</b>	<b>cada 3 años</b>	<b>cada 5 años</b>	<b>cada 8 años</b>
<b>Todos los años</b>	1.00	2.00	3.00	5.00	8.00
<b>cada 2 años</b>	0.50	1.00	2.00	4.00	7.00
<b>cada 3 años</b>	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
<b>cada 5 años</b>	0.20	0.25	0.33	1.00	5.00
<b>cada 10 años</b>	0.13	0.14	0.17	0.20	1.00
<b>SUMA</b>	2.16	3.89	6.50	13.20	27.00

1/SUMA	0.46	0.26	0.15	0.08	0.04
--------	------	------	------	------	------

**Figura 138**

*Matriz de normalización del parámetro de evaluación*

**MATRIZ DE NORMALIZACION**

FRECUENCIA	Todos los años	cada 2 años	cada 3 años	cada 5 años	cada 10 años	Vector Priorizacion
Todos los años	0.463	0.514	0.462	0.379	0.296	0.423
cada 2 años	0.232	0.257	0.308	0.303	0.259	0.272
cada 3 años	0.154	0.128	0.154	0.227	0.222	0.177
cada 5 años	0.093	0.064	0.051	0.076	0.185	0.094
cada 10 años	0.058	0.037	0.026	0.015	0.037	0.034
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

Porcentaje (%)
42.274
27.170
17.724
9.382
3.449
100.000

**PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS**

Figura 139

Relación de consistencia del parámetro de evaluación

HALLANDO LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA					
HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO					
Resultados de la operación de matrices:					Vector Suma Ponderada
0.423	0.543	0.532	0.469	0.276	2.243
0.211	0.272	0.354	0.375	0.241	1.454
0.141	0.136	0.177	0.281	0.207	0.942
0.085	0.068	0.059	0.094	0.172	0.478
0.053	0.039	0.030	0.019	0.034	0.174

HALLANDO EL $\lambda_{max}$	
Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	
	5.306
	5.352
	5.317
	5.093
	5.058
<b>SUMA</b>	26.126
<b>n: # DE CRITERIOS</b>	5
<b>PROMEDIO</b>	5.225

INDICE DE CONSISTENCIA	
<b>IC</b>	0.056
<b>RC</b>	0.050

RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*) POR SER UNA MATRIZ DE 5 PARÁMETROS

Tabla 105

Matriz de comparación de los factores condicionantes

FACTORES CONDICIONANTES				
MATRIZ DE COMPARACION DE PARES				
F. Condicionantes	Pendiente	Unidades Geológicas	Unidades Geomorfológicas	Cobertura Vegetal
Pendiente	1.00	3.00	5.00	8.00
Unidades Geológicas	1/3	1.00	3.00	5.00
Unidades Geomorfológicas	1/5	1/3	1.00	4.00
Cobertura Vegetal	1/8	1/5	1/4	1.00
<b>SUMA</b>	1.66	4.53	9.25	18.00

1/SUMA	0.60	0.22	0.11	0.06
--------	------	------	------	------

Figura 140

Matriz de normalización de los factores condicionantes

**MATRIZ DE NORMALIZACION**

F. Condicionantes	Pendiente	Unidades Geológicas	Unidades Geomorfológicas	Cobertura Vegetal	Vector Priorización
Pendiente	0.603	0.662	0.541	0.444	0.562
Unidades Geológicas	0.201	0.221	0.324	0.278	0.256
Unidades Geomorfológicas	0.121	0.074	0.108	0.222	0.131
Cobertura Vegetal	0.075376884	0.044	0.027	0.056	0.051
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

PESO PONDERADO DE LOS PARÁMETROS	
Porcentaje (%)	56.244
	25.592
	13.112
	5.052

Figura 141

Relación de consistencia de los factores condicionantes

**HALLANDO LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA**

**HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO**

Resultados de la operación de matrices				Vector Suma Ponderada
0.562	0.768	0.656	0.404	2.390
0.187	0.256	0.393	0.253	1.089
0.112	0.085	0.131	0.202	0.531
0.070	0.051	0.033	0.051	0.205

**HALLANDO EL λmax**

Vector Suma Ponderado/Vector Priorización	
	4.249
	4.257
	4.050
	4.054
SUMA	16.609
n: # DE CRITERIOS	4
PROMEDIO	4.152

**INDICE DE CONSISTENCIA**  
**INDICE ALEATORIO**

**RELACIÓN DE CONSISTENCIA < 0.08 (\*) POR SER UNA MATRIZ DE 4 PARAMETROS**

IC	0.051
IA	0.882
RC	0.058

Tabla 106

Matriz de comparación del factor condicionante pendiente

F. C. PENDIENTE					
<u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u>					
PENDIENTE	70° - 80° (Relieve abrupto y escarpado)	50° - 70° (Relieve escarpado y empinado)	30° - 50° (Relieve accidentad)	10° - 30° (Relieve montañoso)	0° - 10° (Relieve plano y ondulado)
70° - 80° (Relieve abrupto y escarpado)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
50° - 70° (Relieve escarpado y empinado)	0.33	1.00	4.00	6.00	8.00
30° - 50° (Relieve accidentado)	0.20	0.25	1.00	4.00	6.00
10° - 30° (Relieve montañoso)	0.14	0.17	0.25	1.00	3.00
0° - 10° (Relieve plano y ondulado)	0.11	0.13	0.17	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	1.79	4.54	10.42	18.33	27.00
<b>1/SUMA</b>	0.56	0.22	0.10	0.05	0.04

Figura 142

*Pendientes de la quebrada Rosayoc/Batán*

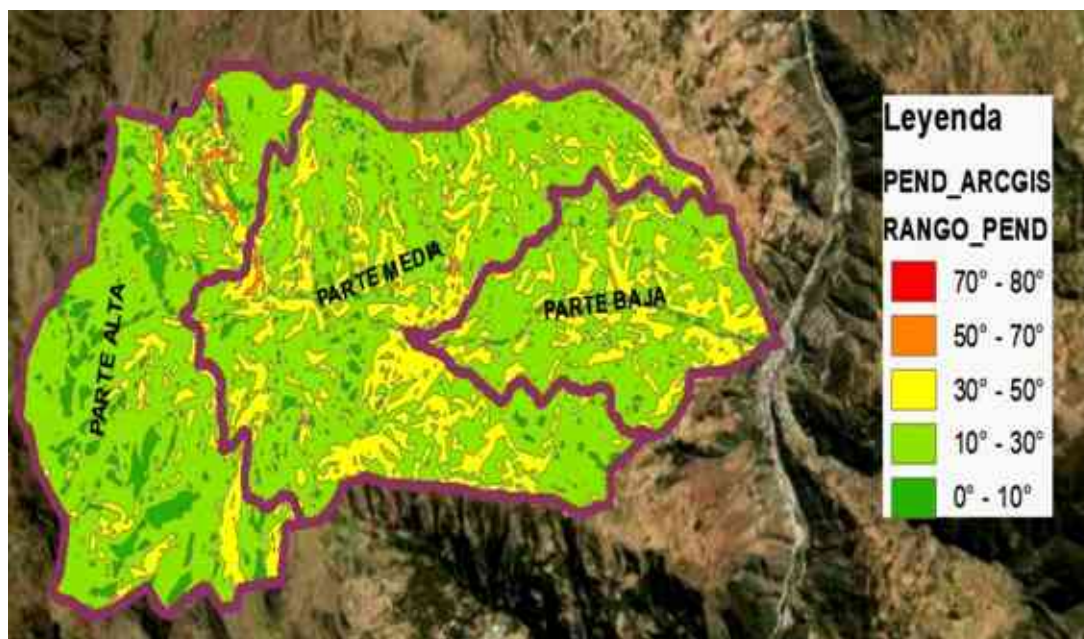


Tabla 107

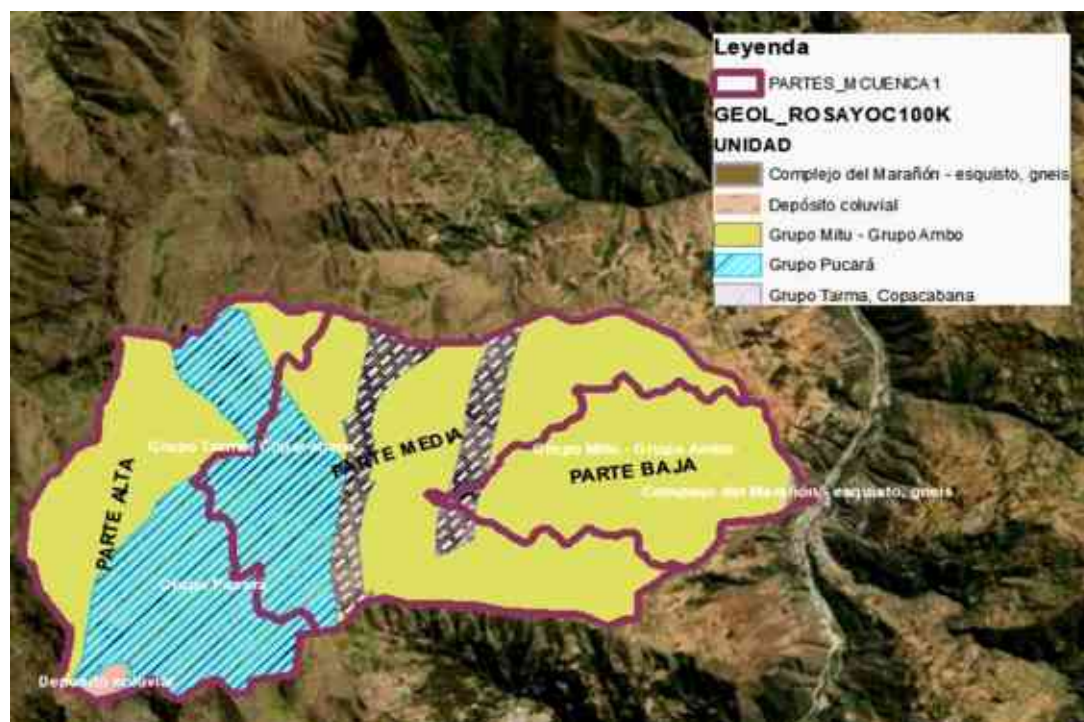
*Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades geológicas*

F. C. UNIDADES GEOLÓGICAS					
<u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u>					
Unidades Geológicas (Litología y fracturamiento)	Depósito coluvial	Complejo del Marañón - Esquisto, Gneis	Grupo Mitu - Grupo Ambo	Grupo Tarma, Copacabana	Grupo Pucará
Depósito coluvial	1.00	4.00	5.00	6.00	8.00
Complejo del Marañón - Esquisto, Gneis	0.25	1.00	3.00	5.00	7.00
Grupo Mitu - Grupo Ambo	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Grupo Tarma, Copacabana	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00

<b>Grupo Pucará</b>	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	1.74	5.68	9.53	15.33	24.00
<b>1/SUMA</b>	0.57	0.18	0.10	0.07	0.04

**Figura 143**

*Unidades geológicas de la quebrada Rosayoc/Batán*



*Nota*, las unidades geológicas obtenidas, se consiguieron a través del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Fuente: INGEMMET (2016).



Tabla 108

*Descripción de los depósitos geológicos en la quebrada Rosayoc/Batán*

<b>Depósitos geológicos</b>	<b>Componentes de los depósitos geológicos</b>	<b>Descripción de los componentes de los depósitos geológicos</b>
<b>Depósito Consolidado:</b> roca blanda de poca resistencia	<b>Pizarra:</b> procedente del metamorfismo de la arcilla. Si la pizarra se metamorfiza da esquistos (con láminas más gruesas que la pizarra). Así también, si este vuelve a metamorfizarse resulta en gneis (habitualmente con bandeo claro y oscuro, y cristales más grandes).	Las pizarras se presentan como una franja de coloración grises a marrón rojizas por efectos de la meteorización con algunos niveles de cuarzo. Por lo cual, la susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos de masa es alta; por consiguiente, se genera derrumbes, deslizamientos, reptación y flujos.
<b>Depósito Inconsolidado o Coluvial</b>	Arenas, limoarcillitas y guijarros (canto rodado de tamaño reducido) en suelos tanquesos y pantanosos (piedemonte)	Se caracterizan por contener gravas angulosas a subangulosas distribuidas en forma caótica, sin selección ni estratificación aparente, con regular a pobre consolidación

Fuente: Sosa (2016); Zapata et al. (2003).

Tabla 109

*Descripción del grupo geológico de la quebrada Rosayoc/Batán*

<b>Grupo geológico</b>	<b>Componentes del grupo geológico</b>	<b>Descripción de los componentes geológicos</b>	<b>Partes de la microcuenca Rosayoc/Batán</b>
<b>Complejo del Marañón</b>	- Esquisto cuarzo-mica y metasedimentos (roca sedimentaria	Los esquistos conforman un relieve accidentado irregular con abundante material de	Parte baja de la microcuenca



---

	<p>que muestra escombros en los flancos y evidencias de haber laderas, conformado por sido sometida a micaesquistos y esquistos de metamorfismo). coloraciones verdes y grises, con vetas de cuarzo. Su susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa es alta, produciéndose derrumbes, deslizamientos, flujos y reptación.</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gneises.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limolitas y limoarcillas rojizas.</li> <li>- Areniscas cuarzo-feldespáticas rojizas con limoarcillitas/ de grano grueso, gradando a areniscas de grano medio y fino, con intercalaciones de limolitas y lutitas.</li> </ul>	
<b>Grupo Mitu/ Ambo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Areniscas micáceas de grano medio y limolitas finas, con areniscas de grano medio y lutitas negras a bituminosas con restos de plantas.</li> <li>- Areniscas y canales de microconglomerados de grano medio gris claros a verdes intercalados con lutitas.</li> <li>- Conglomerados polimícticos (conformado por clastos de diferente roca).</li> </ul>	Parte baja, media y alta de la microcuenca
<b>Grupos Tarma y Copacabana</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calizas (roca dura y resistente) claras intercaladas con lutitas. Además presentan Intercalaciones de areniscas y lutitas (conformadas por partículas de arcilla y limo, asimismo, son materiales cristalinos de origen mineral con estructura laminar de compuestos de silicio y aluminio. Además, se presentan en capas relativamente impermeables de escaso espesor).</li> </ul>	Parte baja y media de la microcuenca
<b>Grupo Pucará</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calizas de color gris claro en estratos medianos a gruesos intercaladas con margas (suelo que</li> </ul>	Parte media y alta de la microcuenca

---

---

	<p>contiene arcillas, arenas y materias vegetales descompuestos).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calizas de color gris oscuro a bituminosas intercaladas con lutitas y areniscas en estratos delgados.</li> <li>- Calizas masivas de color gris blanquecinas.</li> </ul>
<b>Depósito Coluvial</b>	Arenas, limoarcillitas y guijarros en suelos fangosos y pantanosos. <span style="float: right;">Parte alta de la microcuenca</span>

---

Fuente: Sosa (2016); Zapata et al. (2003).

**Tabla 110**

*Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades geomorfológicas*

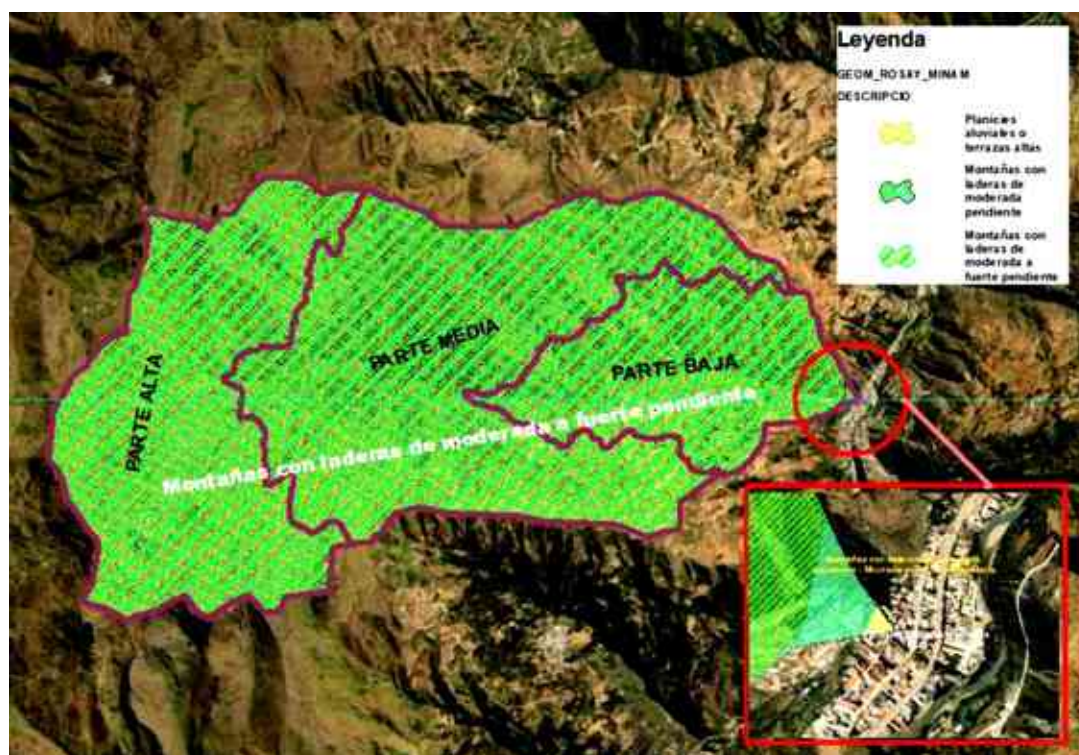
---

<b>F. C. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS</b>			
<b><u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u></b>			
<b>Unidades Geomorfológicas</b>	<b>Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente con fallas normales - Montaña en roca metamórfica</b>	<b>Montañas con laderas de moderada pendiente - Montaña en roca sedimentaria</b>	<b>Planicies aluviales o terrazas altas</b>
<b>Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente con fallas normales - Montaña en roca metamórfica</b>	1.00	5.00	9.00
<b>Montañas con laderas de moderada pendiente - Montaña en roca sedimentaria</b>	0.20	1.00	3.00
<b>Planicies aluviales o terrazas altas</b>	0.11	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	1.31	6.33	13.00
<b>1/SUMA</b>	0.76	0.16	0.08

---

Figura 144

Unidades geomorfológicas de la quebrada Rosayoc/Batán



Nota, las unidades geomorfológicas obtenidas, se consiguieron a través del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Fuente: <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Tabla 111

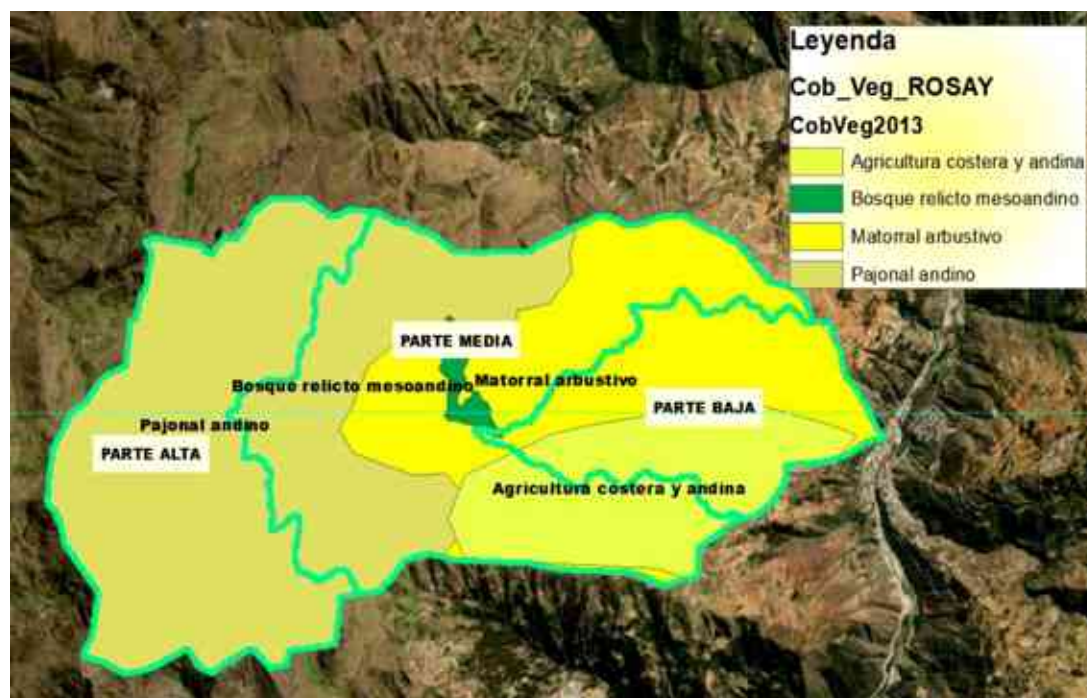
Matriz de comparación del factor condicionante de las unidades de cobertura vegetal

F. C. UNIDADES DE COBERTURA VEGETAL				
<u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u>				
Unidades de Cobertura Vegetal	Falta de cobertura vegetal 90% - 100%	Falta de cobertura vegetal 80% - 90%	Falta de cobertura vegetal 60% - 80%	Falta de cobertura vegetal 40% - 60%
Falta de cobertura vegetal 90% - 100%	1.00	3.00	4.00	7.00

Falta de cobertura vegetal 80% - 90%	0.33	1.00	3.00	5.00
Falta de cobertura vegetal 60% - 80%	0.25	0.33	1.00	4.00
Falta de cobertura vegetal 40% - 60%	0.14	0.20	0.25	1.00
<b>SUMA</b>	<b>1.73</b>	<b>4.53</b>	<b>8.25</b>	<b>17.00</b>
<b>1/SUMA</b>	<b>0.58</b>	<b>0.22</b>	<b>0.12</b>	<b>0.06</b>

**Figura 145**

*Unidades de cobertura vegetal de la quebrada Rosayoc/Batán*



*Nota*, las unidades de cobertura vegetal obtenidas, se consiguieron a través del Instituto del Ambiente (MINAM). Fuente: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/178>

Tabla 112

Matriz de comparación del factor detonante

---

FACTOR DETONANTE: PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS					
<u>MATRIZ DE COMPARACION DE PARES</u>					
Precipitación	120% - 130% superior a su normal climática	110% - 120% superior a su normal climática	100% - 110% superior a su normal climática	90% - 100% superior a su normal climática	80% - 90% superior a su normal climática
120% - 130% superior a su normal climática	1.00	3.00	4.00	5.00	7.00
110% - 120% superior a su normal climática	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00
100% - 110% superior a su normal climática	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
90% - 100% superior a su normal climática	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
80% - 90% superior a su normal climática	0.14	0.17	0.25	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	1.93	4.75	8.58	13.33	21.00
<b>1/SUMA</b>	0.52	0.21	0.12	0.08	0.05

---

Figura 146

Matriz de normalización del factor detonante

**MATRIZ DE NORMALIZACIÓN**

Precipitación	120% - 130% superior a su normal climática	110% - 120% superior a su normal climática	100% - 110% superior a su normal climática	90% - 100% superior a su normal climática	80% - 90% superior a su normal climática	Vector Priorización
120% - 130% superior a su normal climática	0.519	0.632	0.466	0.375	0.333	0.465
110% - 120% superior a su normal climática	0.173	0.211	0.350	0.300	0.286	0.264
100% - 110% superior a su normal climática	0.130	0.070	0.117	0.225	0.190	0.146
90% - 100% superior a su normal climática	0.104	0.053	0.039	0.075	0.143	0.083
80% - 90% superior a su normal climática	0.074	0.035	0.029	0.025	0.048	0.042

Porcentaje (%)
46.502
26.376
14.839
8.263
4.220
100.000

**PESO PONDERADO DE LOS PARAMETROS**

Figura 147

Relación de consistencia del factor detonante

**HALLANDO LA RELACIÓN DE CONSISTENCIA**

**HALLANDO EL VECTOR SUMA PONDERADO**

Resultados de la operación de matrices					Vector Suma Ponderada
0.465	0.791	0.586	0.413	0.296	2.560
0.156	0.264	0.439	0.331	0.253	1.442
0.116	0.088	0.146	0.248	0.169	0.767
0.093	0.066	0.049	0.083	0.127	0.417
0.066	0.044	0.037	0.028	0.042	0.217

**HALLANDO EL Amax**

Vector Suma Ponderado / Vector Priorización	
5.485	
5.466	
5.241	
5.046	
5.136	
<b>SUMA</b>	26.374
n: # DE CRITERIOS	5
<b>PROMEDIO</b>	5.275

**INDICE DE CONSISTENCIA  
INDICE ALEATORIO**

IC	0.069
IA	1.115
<b>RC</b>	<b>0.062</b>

**RELACION DE CONSISTENCIA < 0.1 (\*) POR SER UNA MATRIZ DE 5 PARÁMETROS**



Figura 148

Factor detonante: Porcentajes de las precipitaciones máximas en 24 horas de quebrada Rosayoc/Batán

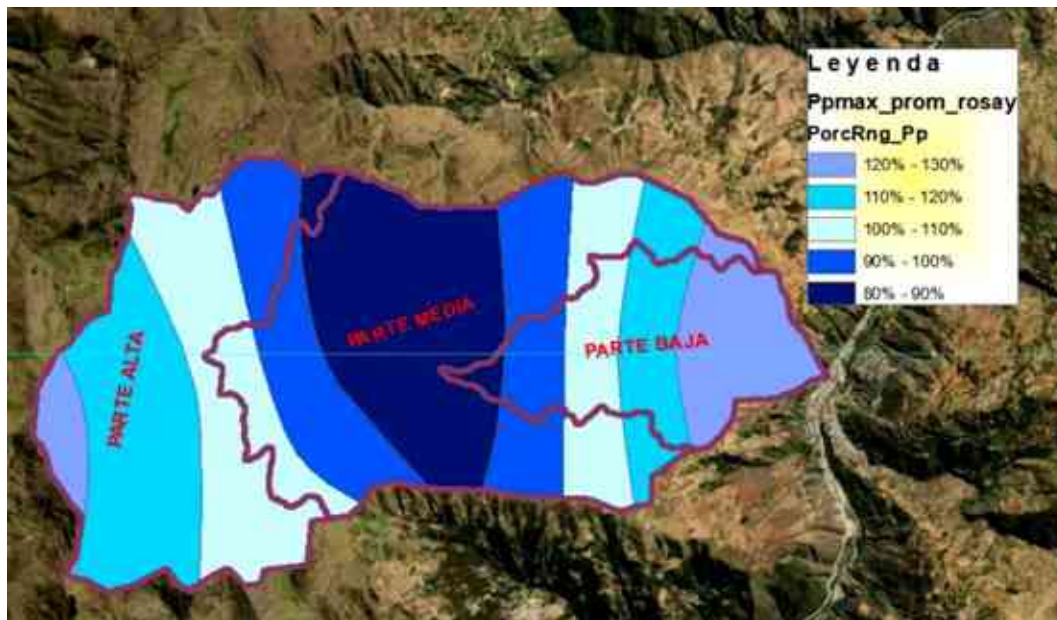


Figura 149

Determinación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán

PELIGROSIDAD							
PARAMETRO DE EVALUACION GENERAL DEL FENOMENO	SUSCEPTIBILIDAD						
P. E. PESO1 = 0.50	E. PESO1 = 0.50						
P. E. GENERAL	FACTORES CONDICIONANTES					FACTOR DESECADENANTE	
P. E. PESO2 = 1.00	F. C. PESO2 = 0.79					F. D. PESO2 = 0.30	
P. E. PESO3 = 1.00	F. C. PESO3 = 1.00					F. D. PESO3 = 1.00	
PESO	1.000	0.442	0.294	0.111	0.091	1.000	
DESCRIPTOR	FRECUENCIA	PENDIENTE	UND. GEOLOGICAS	UND. GEOMORFOLOGICAS	UND. COG. VEGETAL	UMBRALES DE PRECIPITACION LA	VALOR PELIGRO
D1	0.403	0.483	0.506	0.748	0.534	0.085	0.853 VP1
D2	0.272	0.263	0.250	0.180	0.268	0.264	0.265 VP2
D3	0.177	0.141	0.136	0.071	0.144	0.146	0.150 VP3
D4	0.094	0.061	0.071	0.030	0.051	0.082	0.078 VP4
D5	0.034	0.032	0.036	0.030	0.000	0.042	0.032 VP5

RANGO		NIVEL DE PELIGRO
0.207	≤ P < 0.465	MUY ALTO
0.158	≤ P < 0.257	ALTO
0.079	≤ P < 0.150	MEDIO
0.033	≤ P < 0.079	BAJO

Figura 150

Matriz de peligro por movimiento de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán

CUADRO DE ESTRATIFICACION DEL PELIGRO POR FLUJO DE DETRITOS		
DESCRIPCION	RANGO	NIVEL DE PELIGRO
Los Factores Condicionantes: predominan las unidades geológicas de Depósito coluvial y Complejo del Maraón - Esquisto, Gneis, predominan las unidades geomorfológicas de Montañas con laderas de moderada a fuerte pendiente con fallas normales - Montaña en roca sedimentaria y Montañas con laderas de moderada pendiente - Montaña en roca sedimentaria, predominan las pendientes de 70° - 80° (Relieve abrupto y escarpado) y 50° - 70° (Relieve escarpado y empinado), predominan las unidades de Falta de cobertura vegetal 90% - 100% y Falta de cobertura vegetal 80% - 90%; y con un Factor Desencadenante de Precipitación de 110% - 120% superior a su normal climática y 110% - 120% superior a su normal climática con Frecuencia de Todos los años y cada 2 años	$0.267 \leq P < 0.465$	MUY ALTO
Los Factores Condicionantes: predominan las unidades geológicas de Complejo del Maraón - Esquisto, Gneis y Grupo Mitu - Grupo Ambo, predominan las unidades geomorfológicas de Montañas con laderas de moderada pendiente - Montaña en roca metamórfica y Planicies aluviales o terrazas altas, predominan las pendientes de 50° - 70° (Relieve escarpado y empinado) y 30° - 50° (Relieve accidentado), predominan las unidades de Falta de cobertura vegetal 80% - 90% y Falta de cobertura vegetal 60% - 80%; y con un Factor Desencadenante de Precipitación de 100% - 110% superior a su normal climática y 100% - 110% superior a su normal climática con Frecuencia de cada 2 años y cada 3 años	$0.156 \leq P < 0.267$	ALTO
Los Factores Condicionantes: predominan las unidades geológicas de Grupo Mitu - Grupo Ambo y Grupo Tarma, Copacabana, predominan las unidades geomorfológicas de Planicies aluviales o terrazas altas y SUMA, predominan las pendientes de 30° - 50° (Relieve accidentado) y 10° - 30° (Relieve montañoso), predominan las unidades de Falta de cobertura vegetal 60% - 80% y Falta de cobertura vegetal 40% - 60%; y con un Factor Desencadenante de Precipitación de 90% - 100% superior a su normal climática y 90% - 100% superior a su normal climática con Frecuencia de cada 3 años y cada 5 años	$0.079 \leq P < 0.156$	MEDIO
Los Factores Condicionantes: predominan las unidades geológicas de Grupo Tarma, Copacabana y Grupo Pucará, predominan las pendientes de 10° - 30° (Relieve montañoso) y 0° - 10° (Relieve plano y ondulado), predomina la unidad de Falta de cobertura vegetal 40% - 60%; y con un Factor Desencadenante de Precipitación de 80% - 90% superior a su normal climática y 80% - 90% superior a su normal climática con Frecuencia de cada 5 años y cada 10 años	$0.033 \leq P < 0.079$	BAJO



**4.11.1 Mapa de peligro ante movimientos de flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán a escala local, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED).**

Luego del análisis y evaluación de la peligrosidad, según el proceso de análisis jerárquico y el manual del CENEPRED, se hallaron los rangos de la peligrosidad, definiéndose con niveles. Asimismo, con los valores de los factores condicionantes, desencadenantes y el parámetro de evaluación, así como cada uno de los rangos de peligrosidad, se pudieron establecer los niveles de peligrosidad en todo el espacio geográfico de la quebrada mediante el geoprocésamiento realizado en el programa QGIS; con el fin de obtener el mapa de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán. Además, para determinar el parámetro de evaluación, se tomaron 1, 2, 3, 5 y 8 años de frecuencia del evento; es decir, en general se consideró un periodo de retorno (TR) de 10 años, para el análisis y evaluación de la peligrosidad. Finalmente, se obtuvieron niveles medio, alto y muy alto de peligrosidad para la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán.

Complementariamente, se realizó el mapa de peligro en función de la profundidad y velocidad máxima del flujo de detritos en el programa FLO-2D.

**Tabla 113**

*Niveles de peligro en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán*

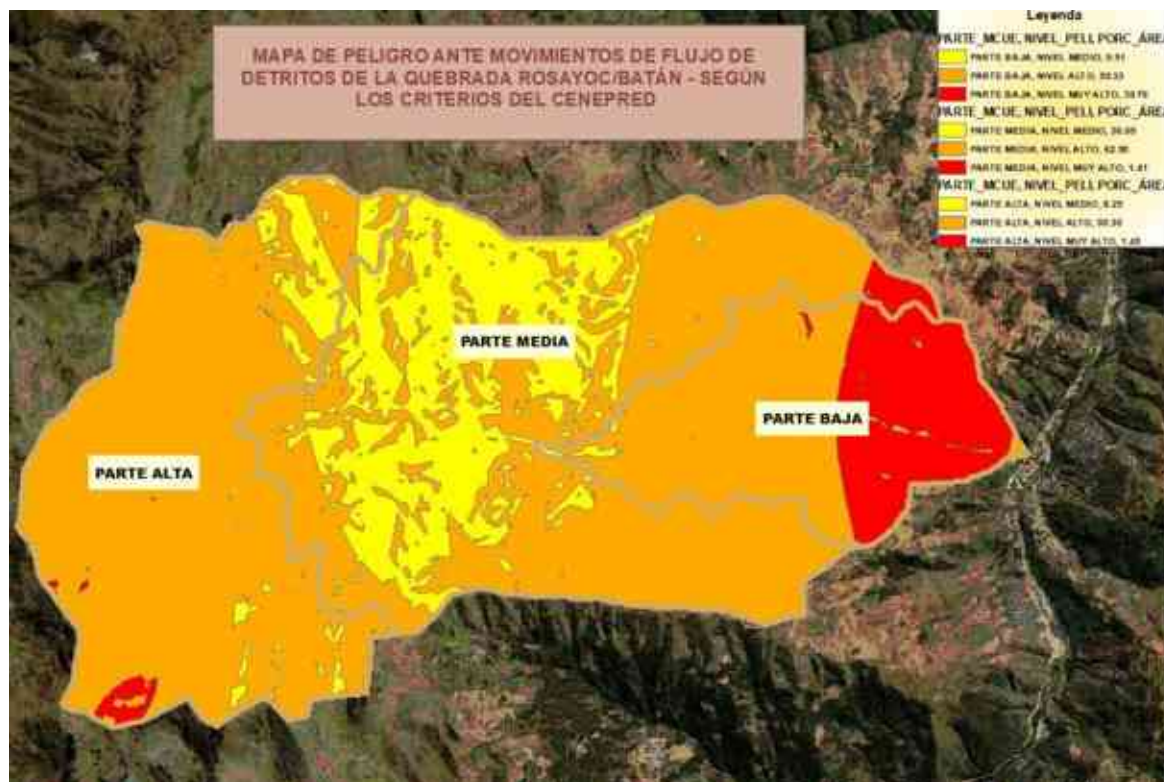
PARTES_QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN	NIVEL DE PELIGRO	% ÁREA	NIVEL DE PREDOMINACIÓN
PARTE BAJA	NIVEL MEDIO	0.91%	NIVEL MUY ALTO Y ALTO
PARTE BAJA	NIVEL ALTO	59.33%	
PARTE BAJA	NIVEL MUY ALTO	39.76%	

PARTE MEDIA	NIVEL MEDIO	36.09%	
PARTE MEDIA	NIVEL ALTO	62.50%	NIVEL ALTO Y MEDIO
PARTE MEDIA	NIVEL MUY ALTO	1.41%	
PARTE ALTA	NIVEL MEDIO	8.25%	
PARTE ALTA	NIVEL ALTO	90.30%	NIVEL ALTO
PARTE ALTA	NIVEL MUY ALTO	1.45%	

**Figura 151**

*Mapa de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, realizado según los criterios del CENEPRED, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada*

*Rosayoc/Batán*



Adicionalmente, el mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos que se realizó en el programa FLO-2D, se basó en la Tabla 2.8 del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas

(2007), la cual muestra datos muy conservadores de la máxima profundidad y el producto de la máxima profundidad y velocidad.

**Tabla 114**

*Intensidades para flujos de detritos*

<b>INTENDIDAD</b>	<b>MÁXIMA PROFUNDIDAD h (m)</b>	<b>PRODUCTO = hV (m2/seg)</b>
Alta	$h > 2.00$	$Vh > 1.00$
Medio	$1.00 < h < 2.00$	$0.20 < Vh < 1.00$
Bajo	$0.20 < h < 1.00$	$Vh < 0.20$

*Nota*, esta tabla muestra los datos conservadores para los niveles de peligro de la Tabla 2.8 de la publicación geológica multinacional – movimientos de masa en la región andina.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007).

Figura 152

Parámetros de profundidad y velocidad del flujo de detritos para el mapa de peligros en el programa FLO-2D

Hazard Map Intensities

Source Data  Use current data

Return Period (years)  Read from these directories

Type of Event  Water flooding  Mud and debris flow  USBR flow danger for: Houses

Water flood event intensity	Maximum depth h (mts)	Logical operation	Product of maximum velocity (v) times maximum depth (h) (mts <sup>2</sup> /s)
High	$h \geq 2.00$	OR	$vh \geq 1.00$
Medium	$1.00 \leq h < 2.00$	AND	$0.20 \leq vh < 1.00$
Low	$0.20 \leq h < 1.00$	AND	$vh < 0.20$

Use Defaults Fill Style: Solid

Compute Use Previous Cancel

Figura 153

Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de movimientos en masa: velocidad de desplazamiento

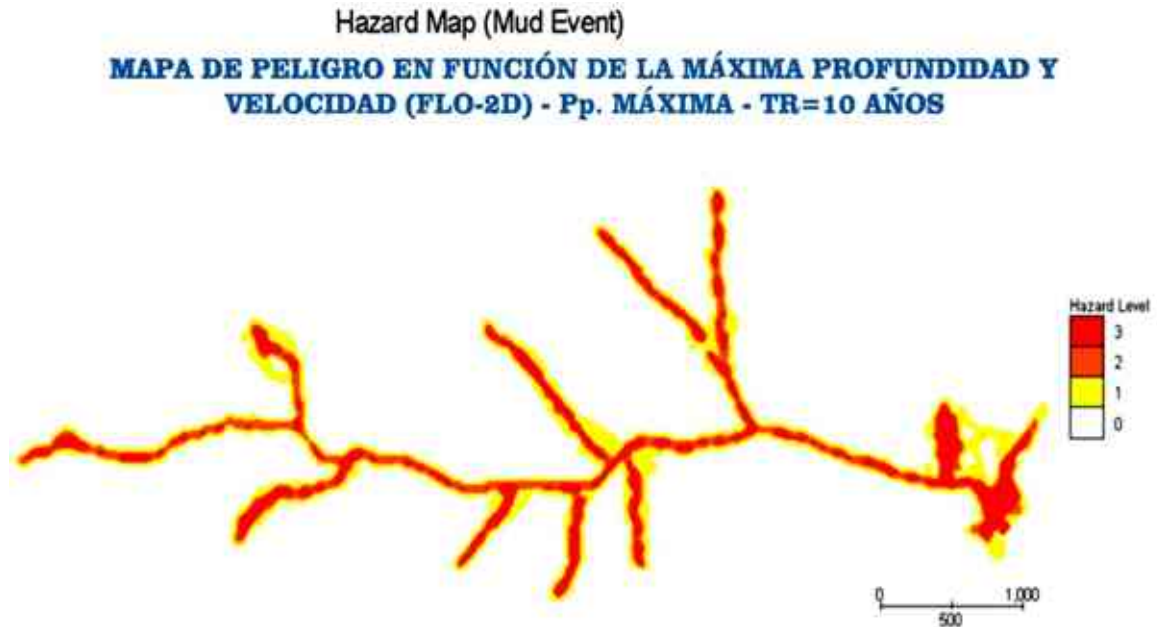
CUADRO 23: Velocidad de desplazamiento

PARÁMETRO	PENDIENTE	PESO PONDERADO: 0.045		
DESCRIPTORES	VD1	Extremadamente rápido ( $v=5\text{m/s}$ )	PVD1	0.503
	VD2	Muy rápido ( $v=0.05\text{m/s}$ )	PVD2	0.260
	VD3	Rápido ( $v=0.0033\text{m/s}$ )	PVD3	0.134
	VD4	Moderada ( $v=3.009 \times 10^{-4}\text{m/s}$ )	PVD4	0.068
	VD5	Lento a extremadamente lento ( $v=5.144 \times 10^{-8}\text{m/año}$ a $5.144 \times 10^{-10}\text{m/año}$ )	PVD5	0.035

Fuente: Cuadro 23: Velocidad de desplazamiento, citado en CENEPRED (2014a).

### Figura 154

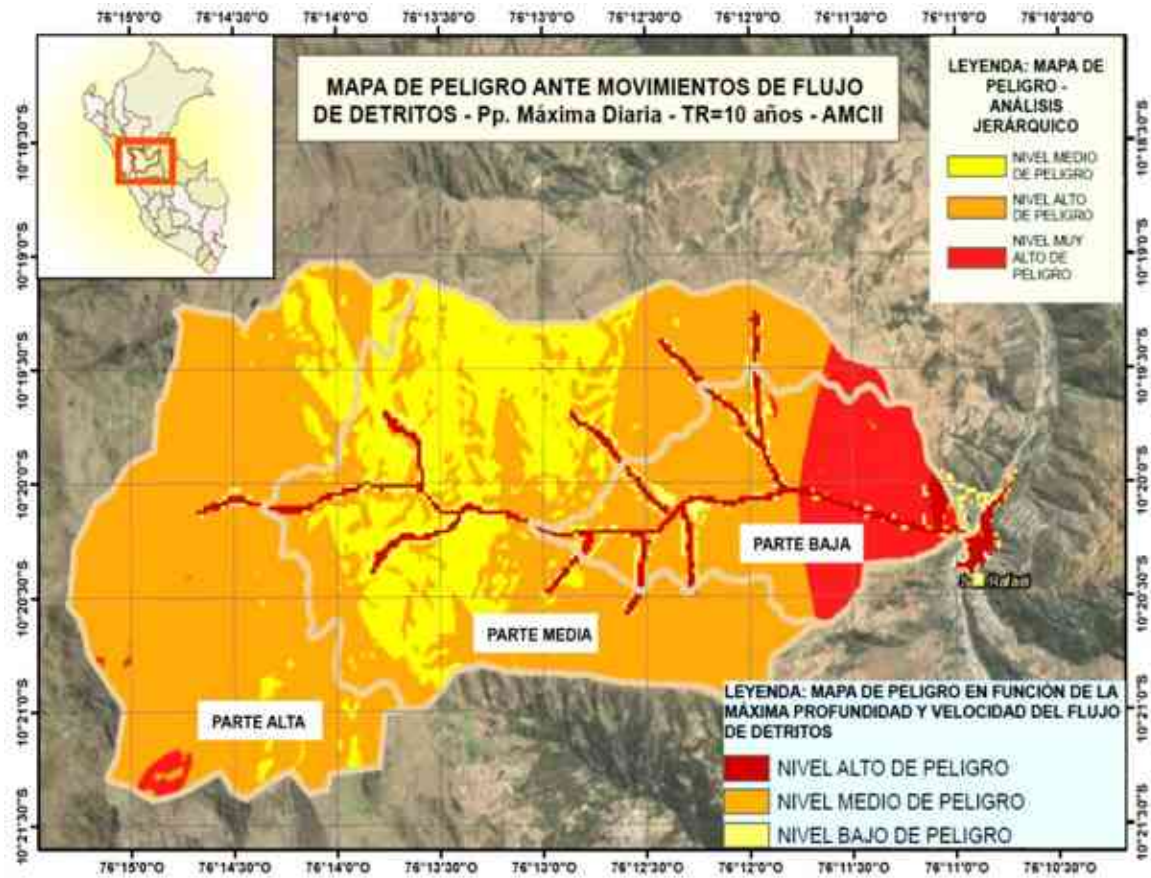
Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad (FLO-2D), a partir de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones normales (AMCII) del suelo para un periodo de retorno (TR) de 10 años



### Figura 155

Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos a

partir de la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años



**Figura 156**

Comparación de los mapas de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, detonado por la precipitación máxima en 24 horas, y el mapa de



peligro mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones normales (AMCII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años

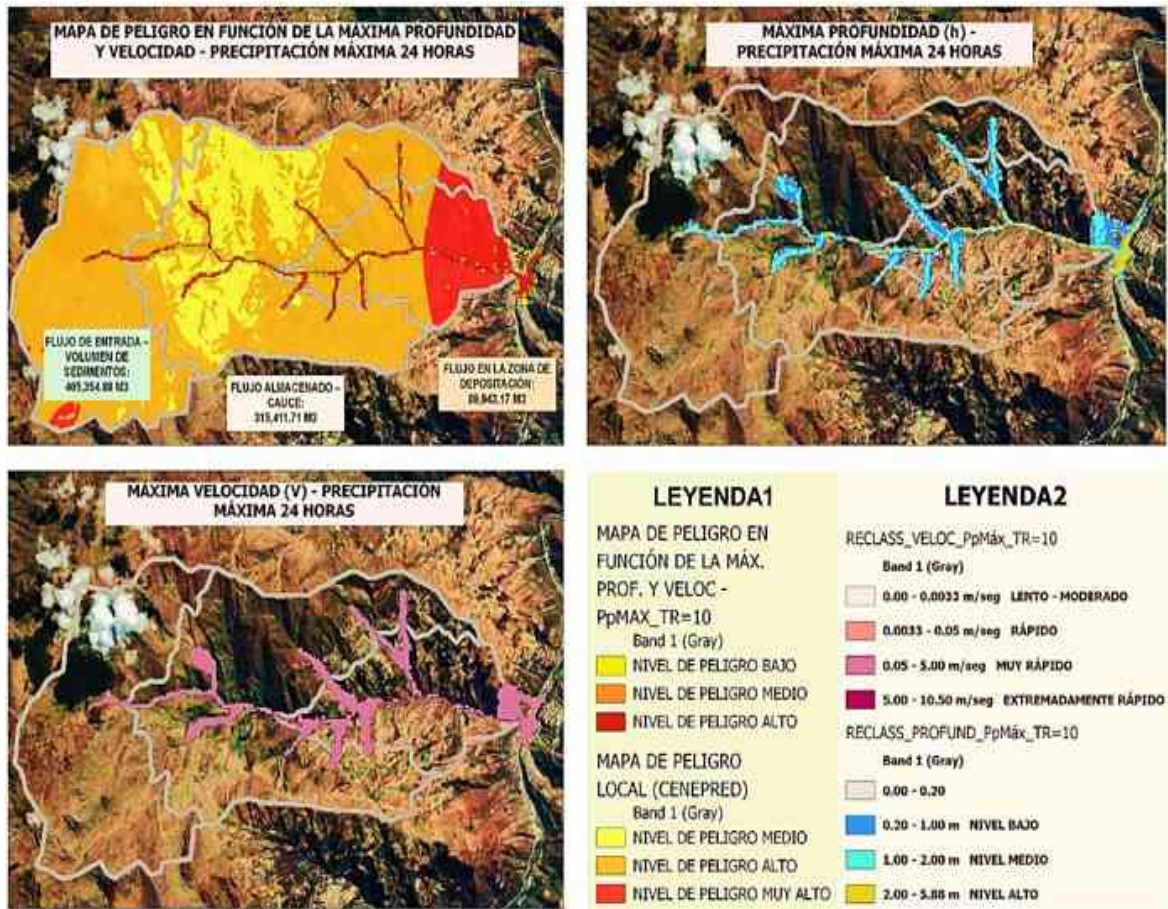
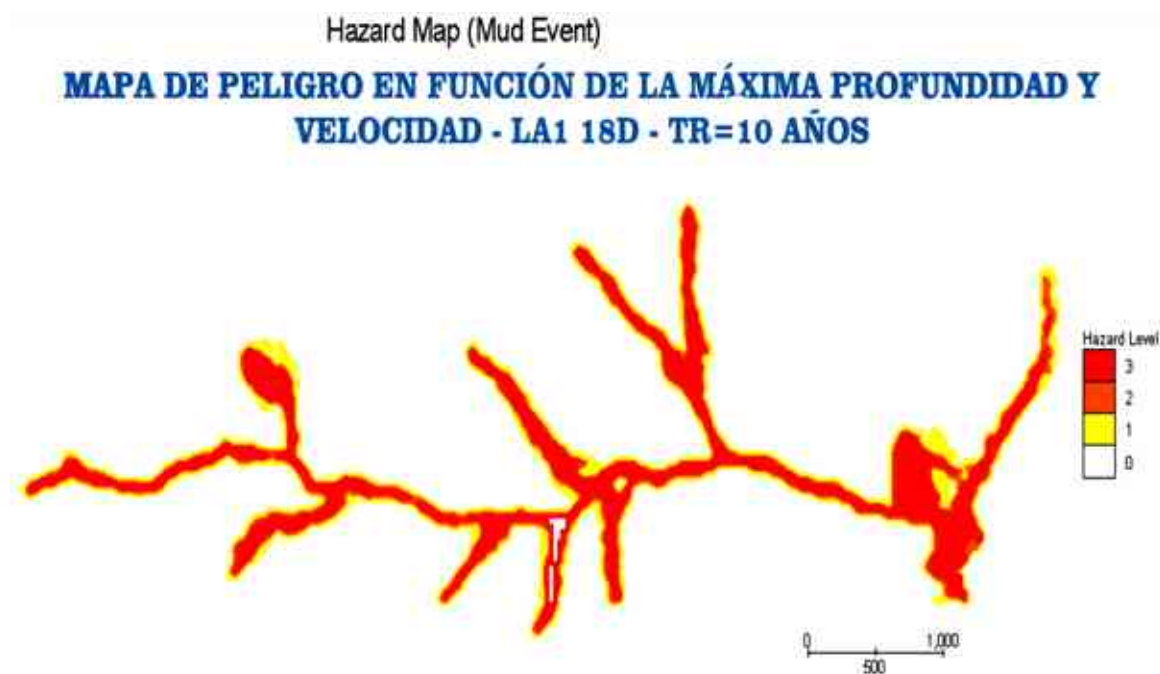


Figura 157

Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad (FLO-2D), a partir del

umbral mínimo (LA1) de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para un periodo de retorno (TR) de 10 años

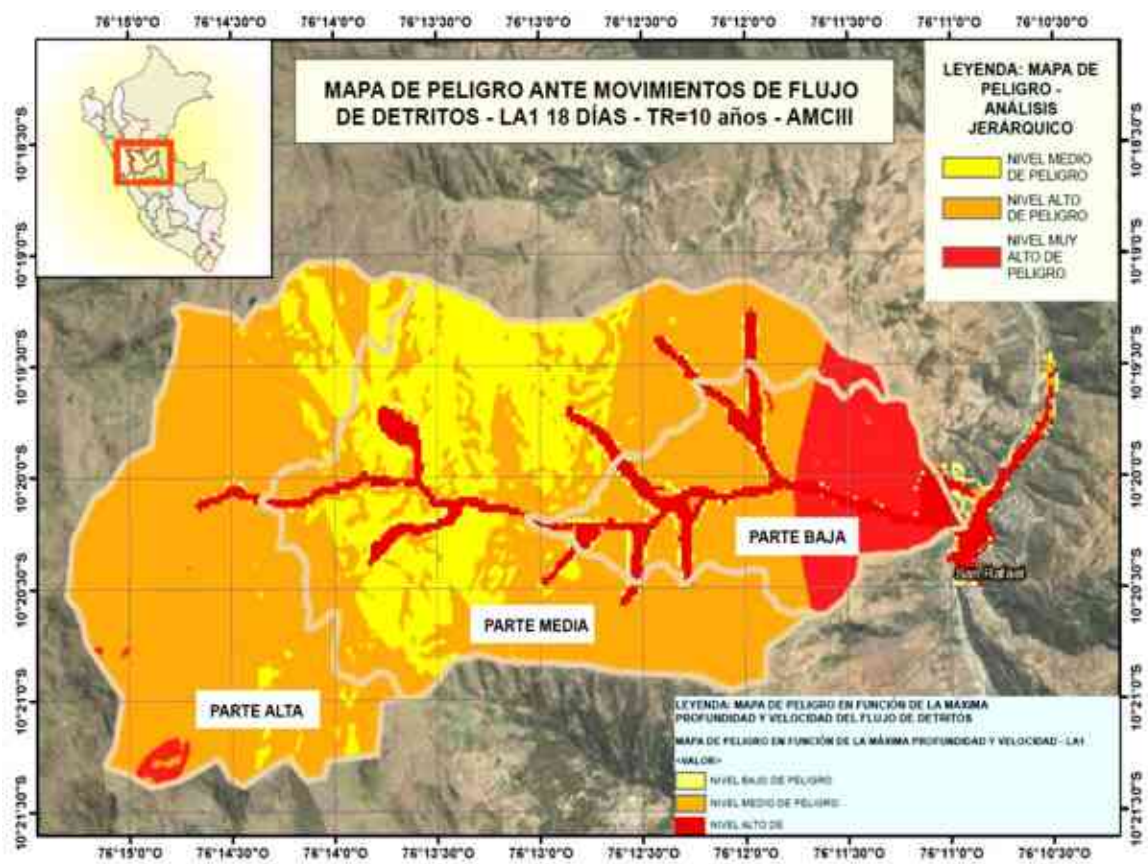


**Figura 158**

Comparación de los mapas de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, detonado por el umbral LA1 de 18 días, y el mapa de peligro



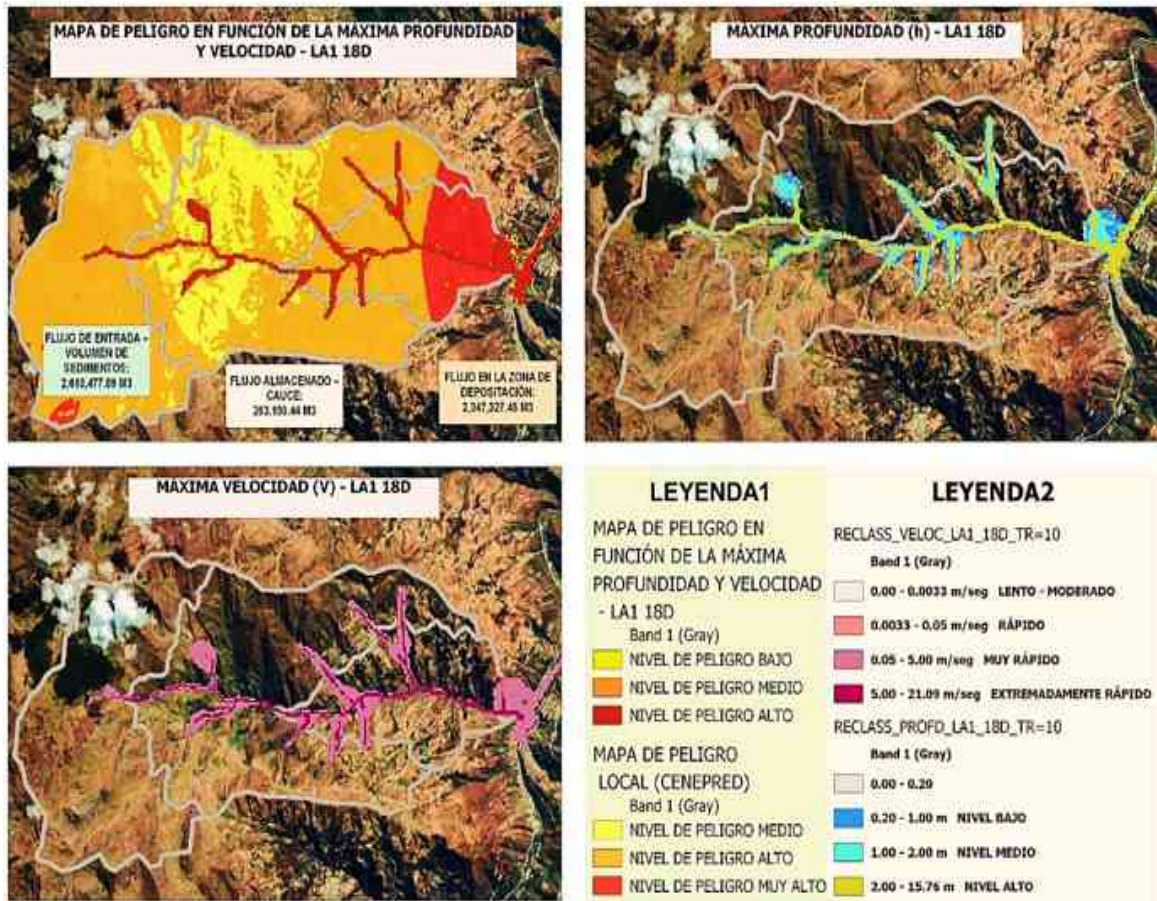
mediante el proceso de análisis jerárquico, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años



**Figura 159**

Mapa de peligro en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos a

partir del umbral mínimo (LA1) de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) para un periodo de retorno (TR) de 10 años



## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1 Comparación de los resultados

#### ***5.1.1 Comparación entre los umbrales mínimos LA y las precipitaciones máximas diarias.***

Los umbrales con similitud de ecuación estadística, difieren de una familia de curva potencial a otra; ya que, una serie de lluvia acumulada representa un umbral, la cual inicia desde el día en que ocurrió el movimiento de flujo de detritos hasta el día en que no hay lluvia pudiendo activarse después otro evento de precipitación (nueva serie). Asimismo, cuando nuevos eventos de precipitación de lluvia asociados a movimientos de flujo de escombros son registrados en el área de estudio, la población de datos cambia y, por consiguiente, el umbral debe ser recalculado. Por tal motivo, los umbrales mínimos LA1 y LA2, se compararon por separado y entre ellos mismos; debido a que, el primero posee diferentes coeficientes de intercepción con sus respectivas incertidumbres y el segundo presenta un coeficiente constante de intercepción igual a la unidad con carencia de incertidumbres ( $\alpha = 1 \wedge \pm\Delta\alpha = 0$ ). De lo anterior, se pudo observar que, el umbral mínimo LA1 de 18 días posee mayores precipitaciones que el umbral mínimo LA1 de 5 días. Además, el umbral mínimo LA2 de 5 días tiene las mayores precipitaciones que los umbrales mínimos LA2 de 6 y 7 días.

Adicionalmente, si se sabe que, los umbrales mínimos representan la cantidad de lluvia por encima de la cual, la probabilidad de ocurrencia de los movimientos de flujo de detritos aumenta severamente. Por lo que, se comparó los umbrales mínimos LA1 y LA2 con las precipitaciones máximas diarias. De esto, se deduce que, las precipitaciones máximas superan al umbral mínimo LA1 de 5 días desde el periodo de retorno (TR) de 20 años en adelante; asimismo, las precipitaciones máximas superan completamente a los umbrales mínimos LA2 de 5, 6 y 7 días. En cambio, las precipitaciones máximas no logran

superar al umbral mínimo LA1 de 18 días. Finalmente, podemos decir que, las precipitaciones máximas diarias pueden detonar movimientos de flujo de detritos en las condiciones de los umbrales mínimos LA1 (TR=20) de 5 días, LA2 de 5, 6 y 7 días.

### Cuadro 1

*Cuadro comparativo entre los umbrales mínimos (LA) y las precipitaciones máximas en 24 horas*

Periodo de Retorno (TR)	UMBRALES MÍNIMOS LA					PRECIPITACIÓN MÁXIMA en 24 HORAS
	LA1 MIN 5 DÍAS (mm)	LA1 MIN 18 DÍAS (mm)	LA2 MIN 5 DÍAS (mm)	LA2 MIN 6 DÍAS (mm)	LA2 MIN 7 DÍAS (mm)	
	$E = (6.6 + 0.7)D^{0.43 - 0.025}$	$E = (0.57 + 0.06)D^{(5.734 - 0.174)}$	$E = D^{(0.270 - 0.085)}$	$E = D^{(0.470 - 0.053)}$	$E = D^{(0.548 - 0.194)}$	
	AMCI - LAA	AMCI - LAA	AMCIII - LAA	AMCI - LAA	AMCIII - LAA	
	AMCIII - LA	AMCIII - LA	AMCIII - LA	AMCI - LA	AMCI - LA	
	24 ≤ D ≤ 120	24 ≤ D ≤ 432	24 ≤ D ≤ 120	24 ≤ D ≤ 144	24 ≤ D ≤ 168	AMCII y AMCIII - LA
10		61.06				48.85
15	53.02	64.94		25.29		52.68
20	54.36	67.48		26.15	18.85	55.41
25	55.34	69.35	54.33	26.79	17.23	57.51
60	58.14	74.71	58.43	28.6	18.3	64.12
100	60.67	79.53	62.11	30.24	19.27	70.77
200	62.90	83.94	65.48	31.73	20.15	77.56
500	65.70	89.20	69.57	33.55	21.22	86.78

#### **5.1.2 Comparación de los volúmenes, las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, detonados por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, así como LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 25 años.**

De acuerdo con el ítem 5.1.1, se eligió trabajar con los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días por pertenecer a la misma familia de curva potencial y con periodo de retorno (TR) de 15 años, por ser frecuente, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo; ya que para poder comparar estos umbrales se necesita características coincidentes. De igual

modo, se trabajó con los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, con periodo de retorno (TR) de 25 años.

Seguidamente, al comparar los resultados de los volúmenes, máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA1) de 5 y 18 días, se observó que los resultados obtenidos a partir del umbral crítico de lluvia acumulada (LA1) de 18 días posee los mayores volúmenes y profundidades, así como las más altas velocidades; por lo tanto, este umbral mínimo sería el más catastrófico de los umbrales críticos LA1. Igualmente, al comparar, los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, se dedujo que el umbral crítico LA2 de 5 días sería el más catastrófico; ya que tiene los mayores volúmenes y profundidades, así como las más altas velocidades; por ende, este umbral mínimo sería el más catastrófico de los umbrales críticos LA2.

## Cuadro 2

*Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años*

FLUJO DE DETRITOS - LA1 5D - TR = 15 AÑOS (M3)				FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 15 AÑOS (M3)			
$E = (6.6 + 0.7)D^{(0.43 - 0.03)}$				$E = (0.57 + 0.06)D^{(0.784 - 0.021)}$			
AMCIII				AMCIII			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	SEDIMENTOS (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	SEDIMENTOS (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	2,995,428.69	1,978,971.47	4,974,400.16	FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,441,647.13	2,934,501.84	7,376,148.96
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	407,721.40	269,366.79	677,088.20	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	398,018.40	262,962.30	660,980.70
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,587,707.29	1,709,604.68	4,297,311.96	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,043,628.72	2,671,539.54	6,715,168.26

CV =	0.40	CV =	0.40
BF =	1.66	BF =	1.66

**Cuadro 3**

*Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años*

VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 5 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN				VOLÚMENES DEL FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR EL UMBRAL MÍNIMO LA2 DE 7 DÍAS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN			
E = D(0.870 - 0.065)				E = D(0.568 - 0.034)			
AMCIII				AMCIII			
FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 25 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - LA2 7D - TR = 25 AÑOS			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,146,184.08	5,224,806.05	2,078,621.97	FLUJO DE ENTRADA (M3)	193,629.29	321,532.79	127,903.49
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	404,715.22	672,102.61	267,387.39	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	193,607.33	321,496.32	127,888.99
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,741,468.86	4,552,703.43	1,811,234.58	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	21.96	36.47	14.51
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

**Cuadro 4**

*Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años*

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 5D	MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 18D
--	---

$E = (6.6 + 0.7)D^{(0.43 - 0.03)}$			$E = (0.57 + 0.06)D^{(0.784 - 0.021)}$		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
ESCENARIO 2: TR= 15 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.26	0.00 <V≤ 18.41	ESCENARIO 2: TR= 15 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.56	0.00 <V≤ 22.32

### Cuadro 5

*Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años*

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 5D			MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 7D		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
$E = D(0.870 - 0.065)$			$E = D(0.568 - 0.034)$		
ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.46	0.00 <V≤ 18.90	ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 3.96	0.00 <V≤ 1.65



Figura 160

Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años

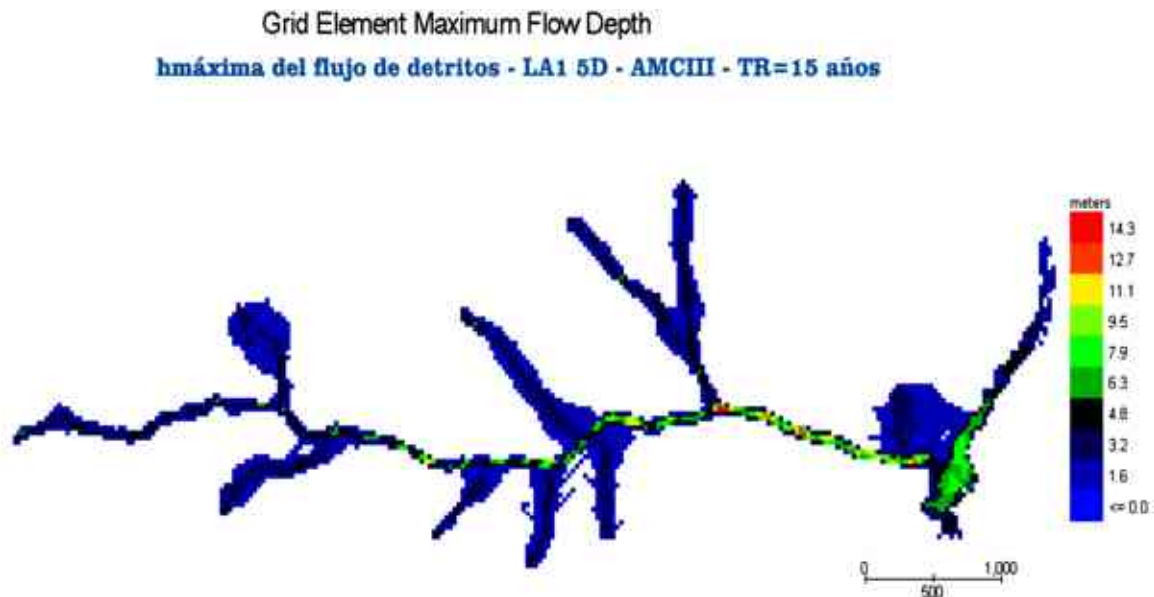
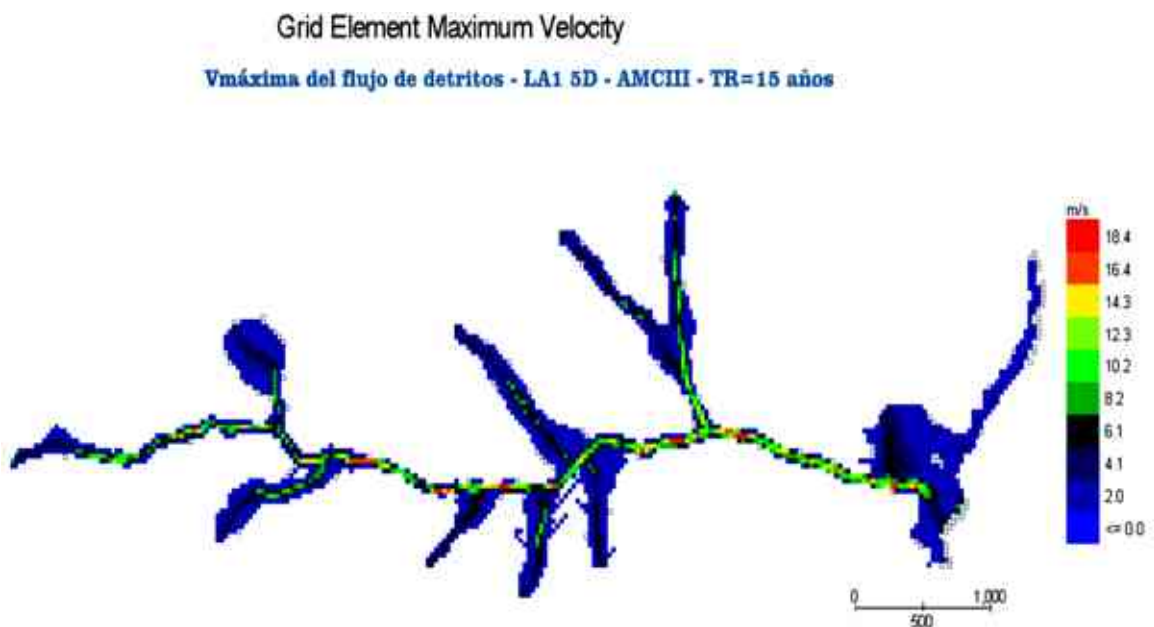


Figura 161

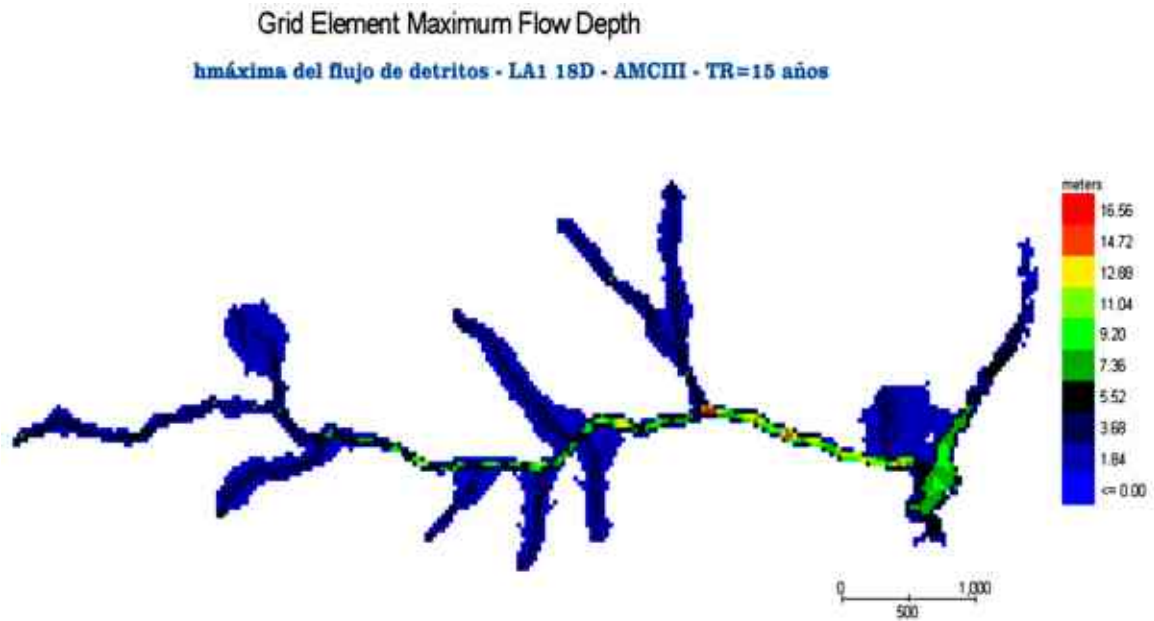
Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años





**Figura 162**

*Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años*



**Figura 163**

*Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 15 años*

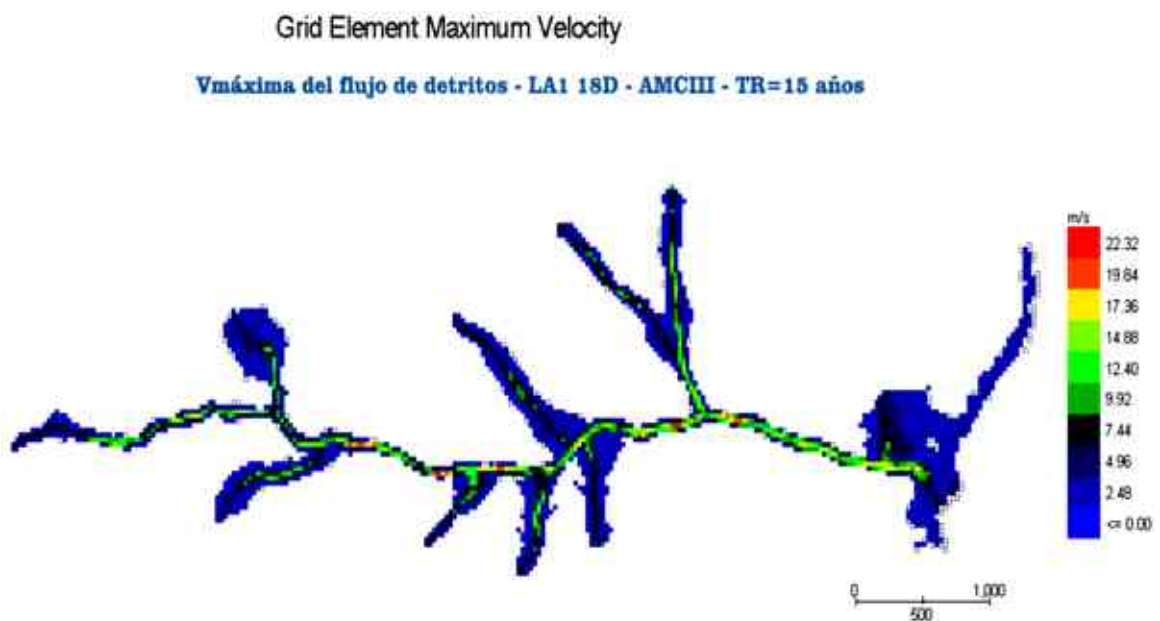


Figura 164

Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años

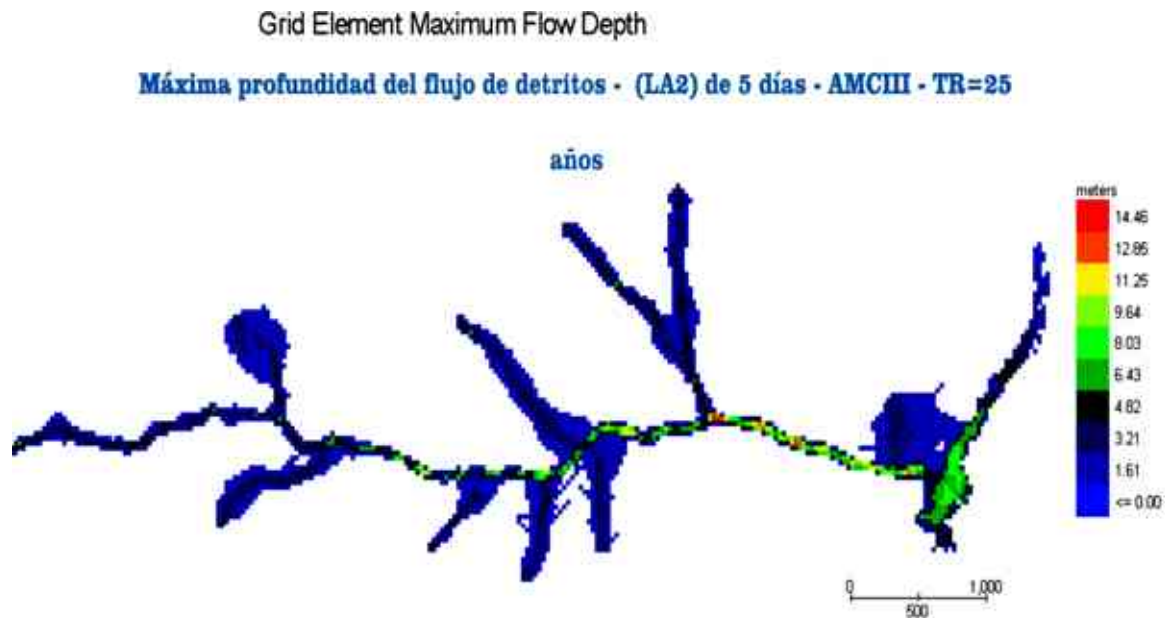


Figura 165

Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 5 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años

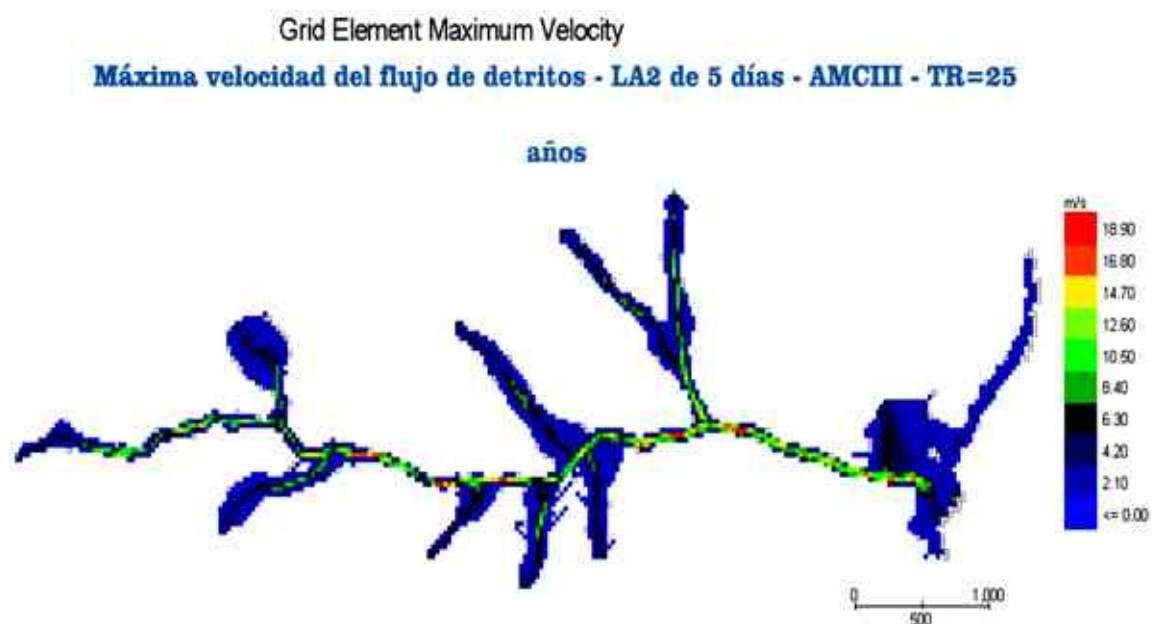


Figura 166

Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años

Grid Element Maximum Flow Depth

Máxima profundidad del flujo de detritos - LA2 de 7 días - AMCIII - TR=25 años

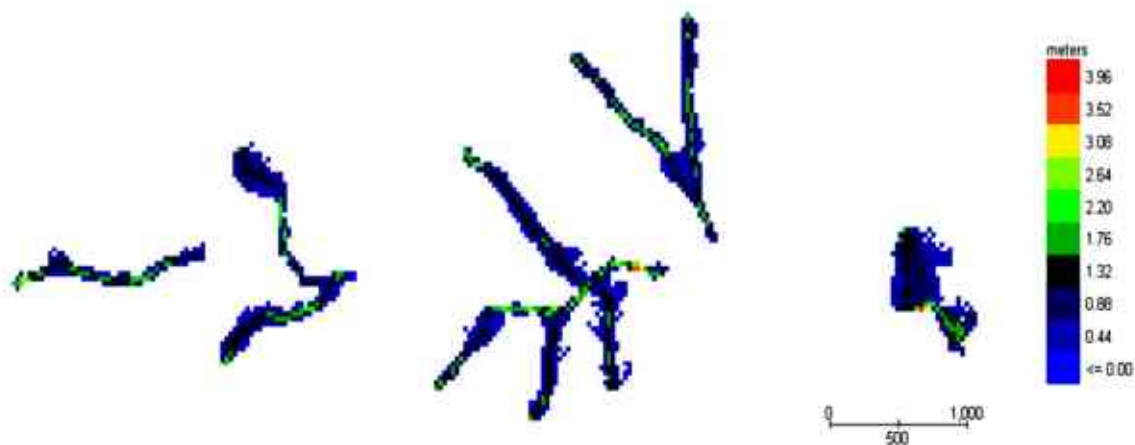
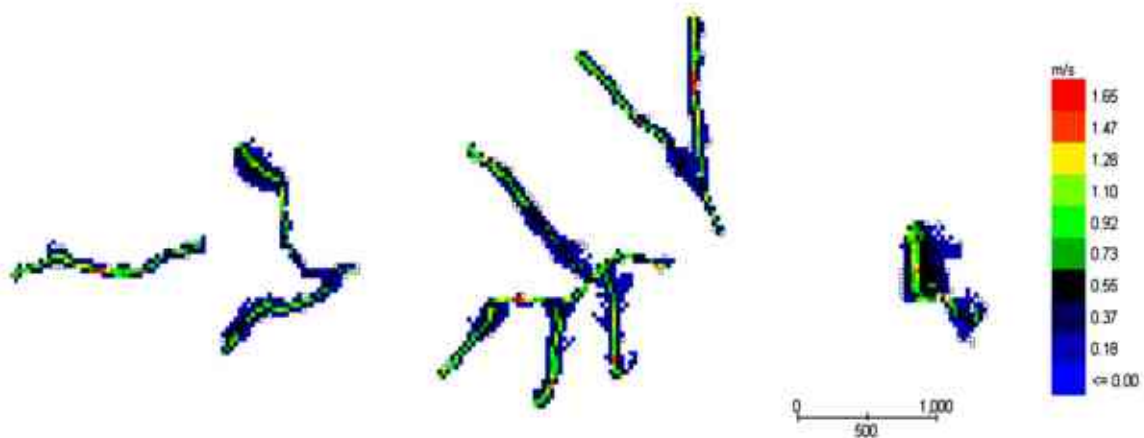


Figura 167

Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años

Grid Element Maximum Velocity

Máxima velocidad del flujo de detritos - LA2 de 7 días - AMCIII - TR=25 años



**5.1.3 Comparación de los volúmenes, las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos de la quebrada Rosayoc/Batán, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años.**

Según lo mostrado en el ítem 5.1.2, se escogió comparar los volúmenes, máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales críticos LA1 de 18 de días y LA2 de 5 días, por ser los más peligrosos, y las precipitaciones máximas en 24 horas para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo. Asimismo, el umbral crítico LA1 de 18 días es más peligroso en comparación de lo que generaría la precipitación máxima. Luego, se deduce que, los resultados logrados a partir de la precipitación máxima en 24 horas tienen los mayores volúmenes y profundidades, así como las más altas velocidades en comparación con el umbral crítico LA2 de 5 días; por tal motivo, las precipitaciones máximas en 24 horas ocasionarían el evento más catastrófico, en las condiciones del umbral crítico LA2 de 5 días.

**Cuadro 6**

*Cuadro comparativo de los volúmenes del flujo de detritos, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años*

FLUJO DE DETRITOS - LA1 18D - TR = 20 AÑOS (M3)	FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 20 AÑOS
$E = (0.57 + 0.06)D^{(0.784 - 0.021)}$	
AMCIII	AMCIII

FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	4,776,153.71	7,931,654.01	3,155,500.29	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,214,167.19	5,337,685.77	2,123,518.58
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	400,269.47	664,718.76	264,449.29	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	403,623.01	670,286.47	266,663.46
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	4,375,884.24	7,266,935.25	2,891,051.01	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,810,544.18	4,667,399.30	1,856,855.11
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66
FLUJO DE DETRITOS - LA2 5D - TR = 25 AÑOS				FLUJO DE DETRITOS - Pp. Máx - TR = 25 AÑOS			
E = D(0.870 - 0.065)							
AMCIII				AMCIII			
FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)	FLUJO (M3)	AGUA (M3)	AGUA + SEDIMENTOS (M3) = BF(AGUA)	SEDIMENTOS (M3)
FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,146,184.08	5,224,806.05	2,078,621.97	FLUJO DE ENTRADA (M3)	3,463,192.15	5,751,268.58	2,288,076.43
FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	404,715.22	672,102.61	267,387.39	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	401,933.50	667,484.63	265,551.12
FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	2,741,468.86	4,552,703.43	1,811,234.58	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	3,061,258.65	5,083,783.95	2,022,525.30
CV =			0.40	CV =			0.40
BF =			1.66	BF =			1.66

### Cuadro 7

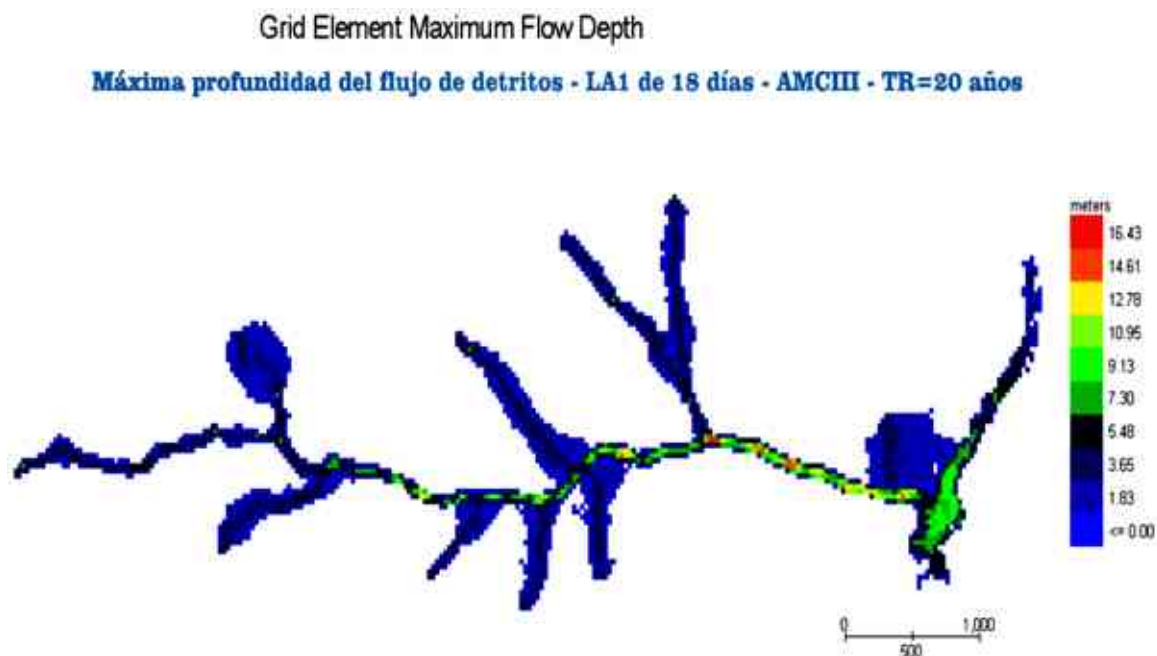
*Cuadro comparativo de las máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos, detonado por los umbrales mínimos LA1 de 18 días, LA2 de 5 días y la precipitación*

máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 20 y 25 años

MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA1 18D			MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 16.43	0.00 <V≤ 22.97	ESCENARIO 3: TR= 20 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.52	0.00 <V≤ 19.05
MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DEL UMBRAL MÍNIMO LA2 5D			MÁXIMAS PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS		
ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)	ESCENARIOS	MÁXIMAS PROFUNDIDADES (M)	MÁXIMAS VELOCIDADES (M/SEG)
ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.46	0.00 <V≤ 18.90	ESCENARIO 4: TR= 25 AÑOS - AMCIII	0.00 <h≤ 14.92	0.00 <V≤ 20.00

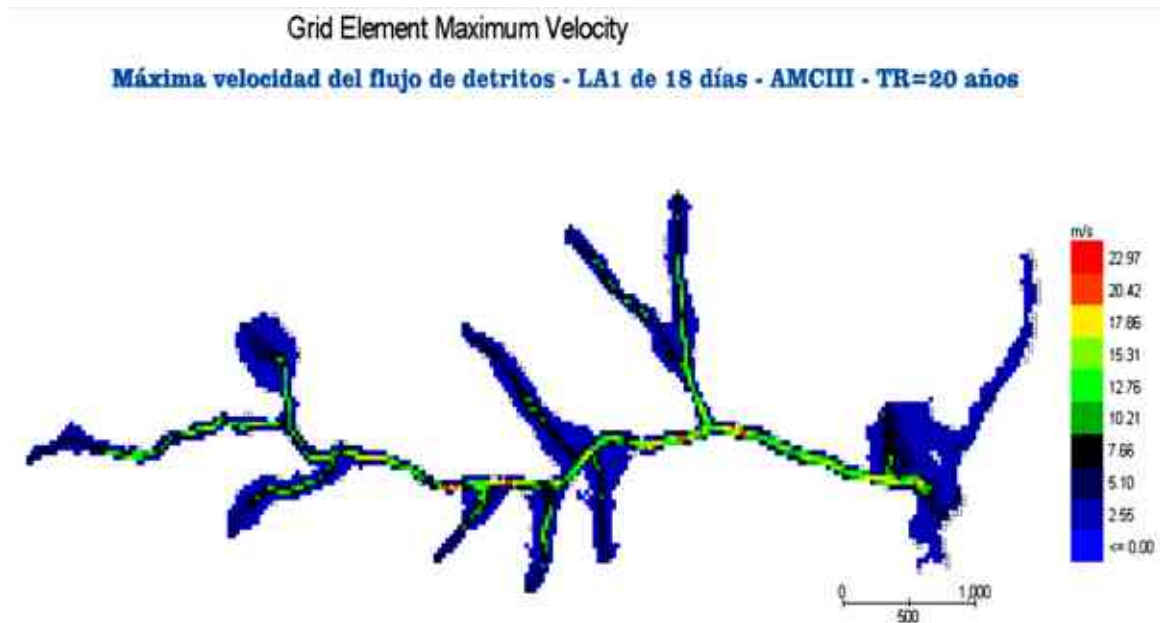
Figura 168

Máxima profundidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años



**Figura 169**

*Máxima velocidad del flujo de detritos, a partir del umbral mínimo LA1 de 18 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años*



**Figura 170**

*Máxima profundidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años*

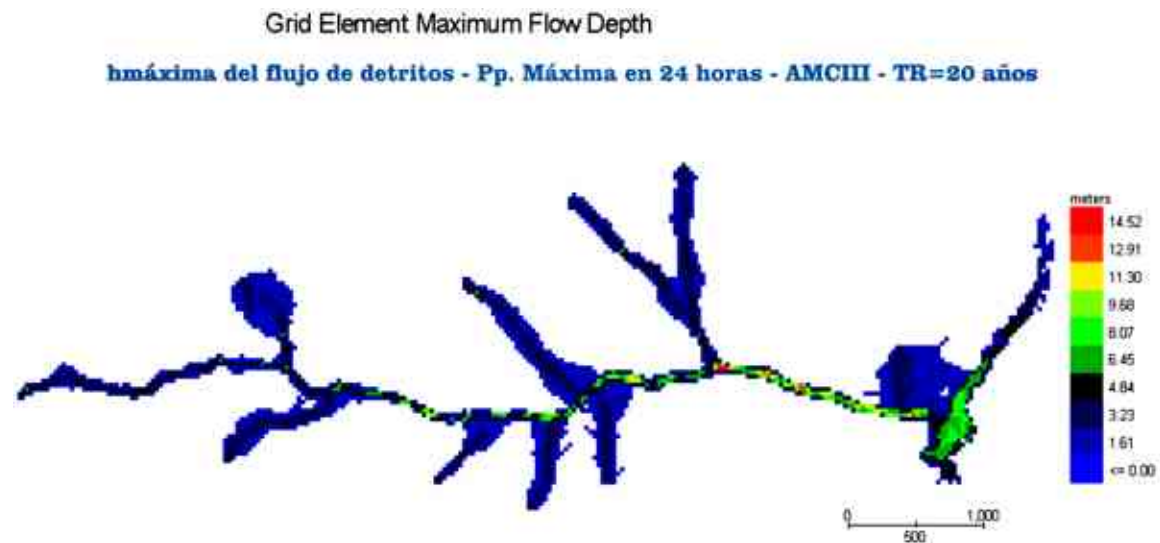




Figura 171

Máxima velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 20 años

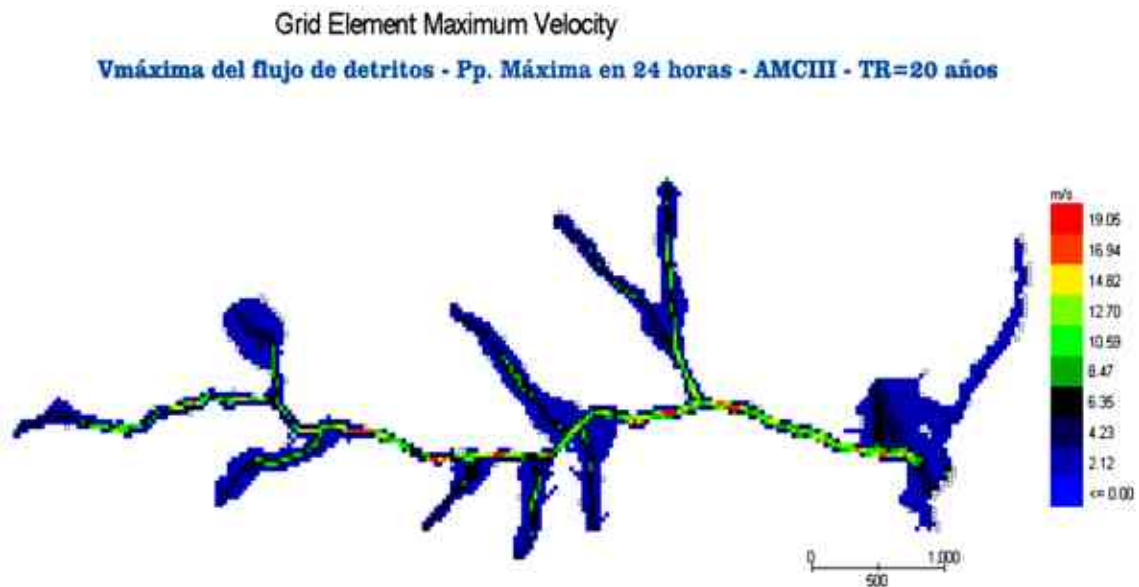


Figura 172

Máxima profundidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años

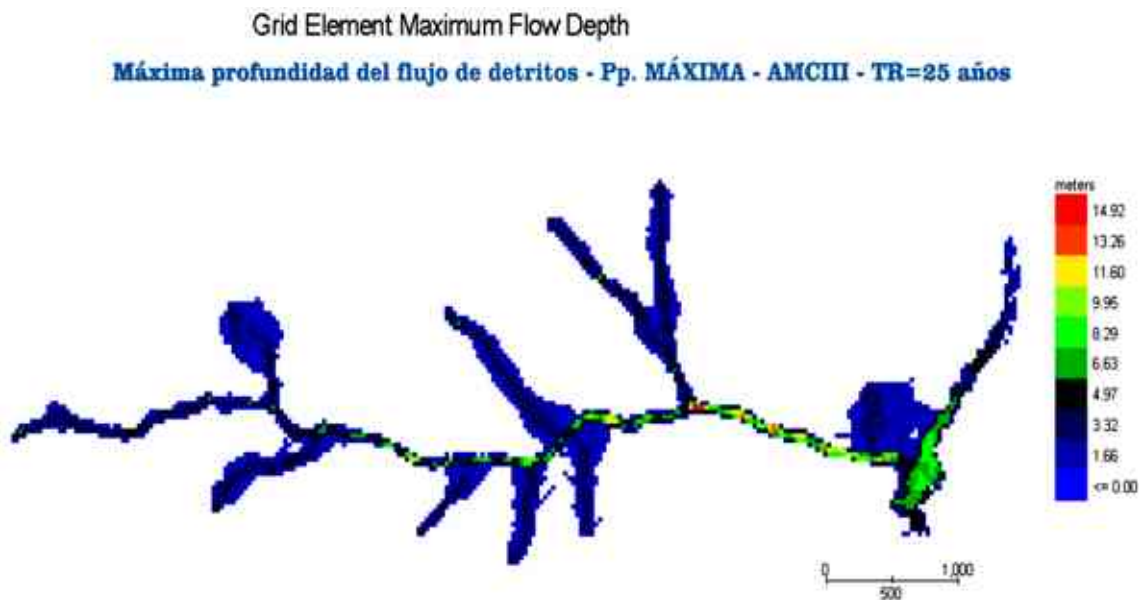
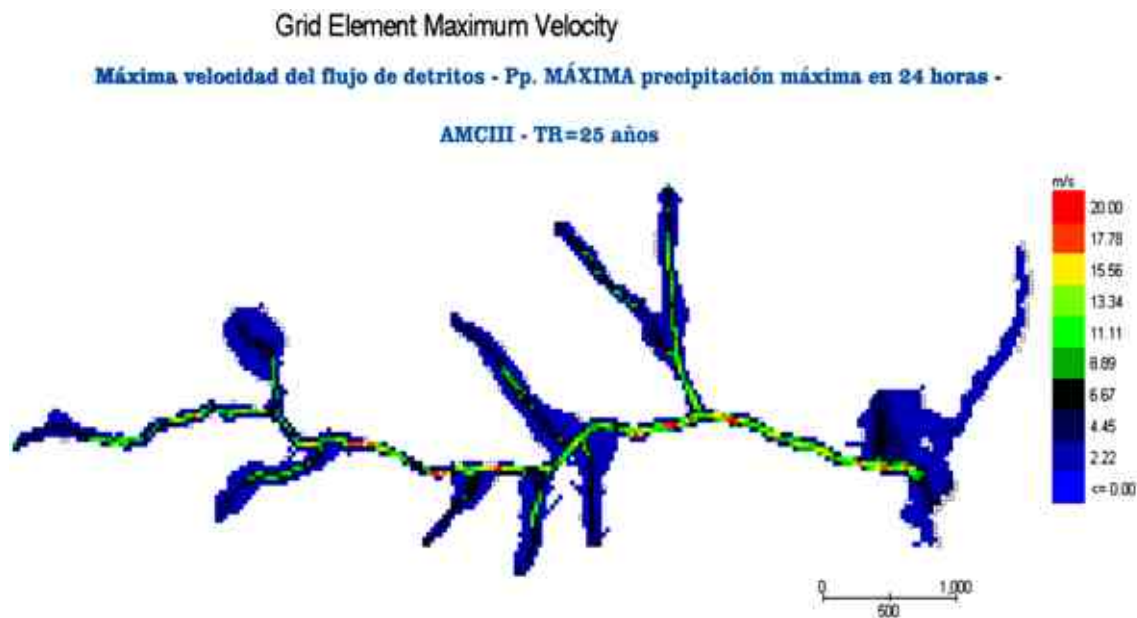




Figura 173

Máxima velocidad del flujo de detritos detonado por la precipitación máxima en 24 horas, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo con periodo de retorno (TR) de 25 años



**5.1.4 Comparación entre los volúmenes de sedimentos del flujo de detritos, encontrados por la municipalidad distrital de San Rafael y detonados por los umbrales mínimos LA1 de 5 y LA2 de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 20 años.**

Tabla 115

Eventos históricos del fenómeno EL NIÑO en los años 1991 - 2019

EVENTOS HISTÓRICOS DEL FENÓMENO "EL NIÑO"				
AÑO INICIAL	MES INICIAL	AÑO FINAL	MES FINAL	MAGNITUD
1991	Julio	1992	Junio	Moderado
1993	Marzo	1993	Setiembre	Moderado
1994	Noviembre	1995	Enero	Débil

1997	Marzo	1998	Setiembre	Extraordinario
2002	Marzo	2002	Mayo	Débil
2002	Octubre	2002	Diciembre	Débil
2006	Agosto	2007	Enero	Débil
2008	Marzo	2008	Setiembre	Débil
2009	Mayo	2009	Setiembre	Débil
2012	Marzo	2012	Julio	Débil
2014	Mayo	2014	Noviembre	Débil
2015	Abril	2016	Julio	Fuerte
2016	Diciembre	2017	Mayo	Moderado
2018	Noviembre	2019	Marzo	Débil

Fuente: Instituto Geofísico del Perú [IGP] y Ministerio del Ambiente [MINAM] (2015)

Del estudio de actividad de mitigación y capacidad de respuesta, con nombre: “LIMPIEZA, DESCOLMATACIÓN EN LA QUEBRADA BATAN (ROsayoc), DISTRITO DE SAN RAFAEL, PROVINCIA DE AMBO, DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO” que realizó la municipalidad distrital de San Rafael, en octubre del 2019, tuvo como finalidad evitar más daños ocasionados por el desborde de la quebrada Rosayoc/Batán. En esta actividad, se intervino el tramo colmatado por material pétreo sedimentado en la quebrada mencionada. Por lo cual, se efectuó los trabajos de limpieza y descolmatación del cauce (residuos sólidos, arena, material pétreo, residuos de arrastro por la activación de huaycos y derrumbes con cantos rodados), alojado en su totalidad en la quebrada. Asimismo, el tramo crítico donde se realizó los trabajos es de 430 metros de longitud; posteriormente, se efectuó la labor de perfilado y refine de taludes, que consiste en los trabajos de corte y retiro del material del talud de la ribera de la quebrada para dar forma a la inclinación propuesta para el asentado de la roca. Finalmente, la actividad terminó con la eliminación de material excedente (residuos sólidos, arena, material pétreo, residuos de arrastro por la activación de huaycos y derrumbes con cantos rodados) de la quebrada

Rosayoc/Batán, siendo este material trasladado y depositado en el botadero a 1.2 km de distancia desde el punto de la descolmatación.

**Tabla 116**

*Volumen total del material excedente generado por los movimientos de flujo de detritos, encontrado en el año 2019, en la quebrada Rosayoc/Batán*

---

<b>RESUMEN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	
<b>LIMPIEZA Y DESCOLMATAACION DE CAUCE</b>	
<b>VOLUMEN TOTAL DE CORTE</b>	13,889.73 m3
<b>VOLUMEN TOTAL DE RELLENO</b>	0.00 m3
<b>VOLUMEN TOTAL NETO</b>	13,889.73 m3
<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>	
<b>VOLUMEN A ELIMINAR</b>	13,889.73 m3
<b>FACTOR DE ESPONJAMIENTO (MATERIAL GRAVOSO SUELTO)</b>	1.15
<b>VOLUMEN TOTAL A ELIMINAR</b>	15,973.19 m3

---

Teniendo en cuenta, la relevancia de la determinación de las condiciones antecedentes (AMC) del suelo, en función de la cantidad de precipitación de lluvia; ya que, este dato sirve para hallar los caudales líquidos de escorrentía, así como las condiciones que generan la erosión superficial y subsuperficial, y la saturación del suelo, que favorecen a la desestabilización del mismo.

En el Cuadro 8, se evidencia que el volumen de sedimentos del flujo de detritos encontrado por la municipalidad distrital de San Rafael es mucho menor que los volúmenes detonados por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA1) de 5 y (LA2)

de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 20 años. Asimismo, se muestra que el volumen de sedimentos del flujo de detritos encontrado por la municipalidad distrital de San Rafael es cercano y coherente con el volumen de sedimentos del flujo de detritos detonado por el umbral mínimo de lluvia acumulada (LA2) de 7 días, con predominancia de almacenamiento o colmatación de sedimentos en el cauce de la quebrada.

### Cuadro 8

*Cuadro comparativo entre los volúmenes de sedimentos del flujo de detritos, encontrados en el año 2019 por la municipalidad distrital de San Rafael y detonados por los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA1) de 5 y (LA2) de 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 20 años*

VOLÚMENES DE SEDIMENTO DEL FLUJO DE DETRITOS DE LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN					
VOLUMEN DE SÓLIDOS DEL FLUJO DETRITOS – OCTUBRE DEL AÑO 2019 - MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL		AMCIII		AMCIII	
FENÓMENO “EL NIÑO” – MARZO DEL AÑO 2019	MAGNITUD: DÉBIL	LA1 5D - TR = 15 AÑOS		LA2 7D - TR = 20 AÑOS	
Tramo (Km)	0.43 Km	Tramo aprox. (Km)	7.48 Km.	Tramo aprox. (Km)	7.48 Km.
VOLUMEN DE SEDIMENTO (M3)	13,889.73	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	269,366.79	FLUJO ALMACENADO DENTRO DEL ÁREA DE ANÁLISIS O CAUCE (M3)	119,594.94
		FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	1,709,604.68	FLUJO FUERA DEL ÁREA DE ANÁLISIS O ZONA DE DEPOSITACIÓN (M3)	0.00

## CONCLUSIONES

1. **HIPÓTESIS GENERAL:** al determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, se logra el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.

### **CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN:**

se comprobó la hipótesis general, mediante un enfoque empírico-estadístico que relaciona la precipitación de lluvia con movimientos de flujo de detritos, a esta relación se incorporó la condición de humedad antecedente del suelo; así como algunos parámetros geomorfológicos y geotécnicos (parámetros físicos). Asimismo, a través de la calibración y la validación se definió umbrales de forma objetiva, tal como maximizar y mejorar la capacidad de desempeño predictivo. Con lo cual, se logró reducir los posibles errores referentes al seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujos de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.

2. **HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°01:** al establecer la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos, se obtienen los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).

### **CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°01:**

se comprobó esta hipótesis, a través de métodos empíricos que relacionan la lluvia con los movimientos de flujo de detritos; los cuales, consisten en series de lluvia acumulada que detonan estos movimientos. Adicionalmente, se procedió a hallar los umbrales estadísticos mediante la ley de la potencia en coordenadas lineales (relación logarítmica) y la estadística no paramétrica. En consecuencia, se pudo establecer los

umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).

- 3. HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°02:** al determinar la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA), se logra validar y diferenciar eventos de lluvia desencadenante, y no desencadenantes, de flujo de detritos.

**CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°02:** se comprobó esta hipótesis, mediante la calibración de los umbrales estadísticos, ya que la confiabilidad de estos umbrales está relacionada con las incertidumbres relativas ( $\Delta\alpha/\alpha$  y  $\Delta\gamma/\gamma$ ). Así también, según lo indicado por Peruccacci et al. (2012), se estableció que las incertidumbres deben ser menores, próximos, o iguales al 10 por ciento (limitación para mayor a 175 eventos); con el objetivo de obtener resultados confiables. Sin embargo, esta limitación de las incertidumbres puede cambiar para un conjunto de datos diferente. Además, a través de la validación se mostró el potencial de la capacidad de predecir o diferenciar eventos de lluvia desencadenantes y no desencadenantes. Por consiguiente, se determinó el TSS de los umbrales; es decir, se midió el rendimiento predictivo del modelo, y en consecuencia, se encontró las siguientes predicciones: (1) los umbrales mínimos LA1 de 5 y 18 días tienen incertidumbres menores y cercanas al 10%; asimismo, el mayor porcentaje de predicción de los umbrales mínimos LA1, lo posee el umbral mínimo LA1 de 18 días con 49%. De igual modo, los umbrales mínimos LA2 de 5, 6 y 7 días presentan incertidumbres menores al 10%; adicionalmente, el mayor porcentaje de predicción de los umbrales mínimos LA2, lo tiene el umbral mínimo LA2 de 7 días con 62%. (2) Los umbrales mínimos LAA2 de 3, 4, 5, 8 y 12 días tienen incertidumbres menores y cercanas al 10%; además, el mayor porcentaje de predicción de los umbrales mínimos LAA2, lo posee el umbral mínimo LAA2 de 3 días con 41%, sin embargo es probable

que no genere escorrentía. A esto, cabe destacar que, el umbral mínimo LAA2 de 12 días presenta 6% de predicción; no obstante, tiene una baja incertidumbre del 0.5% y, es probable que genere una gran escorrentía.

- 4. HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°03:** al asociar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo, se demuestra que, este factor contribuye a desencadenar movimientos de flujo de detritos; asimismo es fundamental para el cálculo de los caudales de escorrentía líquida a partir de los umbrales de lluvia acumulada (LA).

**CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°03:** se comprobó esta hipótesis, a través de la validación y confiabilidad del instrumento, en donde se tomaron series de lluvia acumulada aleatoriamente; de lo cual, se observó que existen series de lluvia acumulada detonante que superan el umbral mínimo determinado (LA mínimo), pero no generan movimientos de flujo de detritos. Mientras que, hay series de lluvia acumulada detonante que presentan, adicionalmente, series de lluvia acumulada antecedente; las cuales contribuyen a la formación de movimientos de flujo de detritos. Por tal motivo, se corroboró la importancia de los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA) mencionados en las investigaciones de la literatura de este tema. Además, se concluyó que, con la determinación de los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA) de la quebrada Rosayoc/Batán, se logra definir las condiciones de humedad antecedente (AMC) del suelo según el Soil Conservation Service (SCS), siendo este uno de los datos más importantes para calcular los caudales líquidos de escorrentía generados por los umbrales de lluvia acumulada detonante (LA), a través del método del hidrograma unitario sintético del SCS o hidrograma de escorrentía superficial.

5. **HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°04:** Al precisar los umbrales mínimos más catastróficos, que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, estos resultan ser la lluvia acumulada (LA1) de 18 días y LA2 de 5 días.

**CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°04:** se comprobó esta hipótesis, mediante de la comparación de los volúmenes, máximas profundidades y velocidades del flujo de detritos detonado por los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA1) de 5 y 18 días; igualmente, se cotejó los umbrales mínimos LA2 de 5 y 7 días, en condiciones húmedas (AMCIII) del suelo para los periodos de retorno (TR) de 15 y 25 años. De todo lo realizado, se logró precisar que, los umbrales mínimos más catastróficos son la lluvia acumulada (LA1) de 18 días y LA2 de 5 días, por generar los mayores volúmenes y profundidades, así como las más altas velocidades del flujo en comparación con los umbrales mínimos de lluvia acumulada (LA1) de 5 días y LA2 de 7 días respectivamente.

6. **HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°05:** Al relacionar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos, se consigue obtener la máxima profundidad y velocidad; así como, los volúmenes y caudales del flujo de detritos.

**CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°05:** se comprobó esta hipótesis, a través el método del hidrograma de escorrentía superficial o hidrograma unitario sintético del SCS; por otra parte, con este método se obtuvieron los resultados de las precipitaciones de escorrentía, así como las pérdidas que se generan al inicio de las precipitaciones y durante la escorrentía, y finalmente, los caudales líquidos de escorrentía para cada umbral. Por ende, con estos datos se consiguió hallar los volúmenes, caudales, máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos. Adicionalmente, para la determinación de estos datos mencionados, se



tuvo que calcular los parámetros reológicos; por lo cual, se necesitó establecer previamente los parámetros geotécnicos. Además, los umbrales de precipitación de lluvia resultan útiles cuando son complementados con parámetros físicos (geomorfológicos y geotécnicos), debido a que, si aumenta la precipitación varían estos parámetros; asimismo, también influye en la elección de los números de curva (CN), los cuales son características de la cuenca. Finalmente, para confirmar estos resultados tenemos los parámetros geomorfológicos; por consiguiente, estos parámetros señalan que la microcuenca es oval redonda, por lo que, posee cierto grado de peligrosidad. Igualmente, también es alargada y ensanchada, por lo cual, es susceptible a generar inundaciones; ya que el tiempo de concentración es corto en comparación si esta sería solo alargada. Por ende, esta microcuenca presenta velocidades altas del flujo. Además, se tiene un coeficiente de torrencialidad mayor a 1, lo cual indica que, posee un poder erosivo. Por último, según la curva hipsométrica obtenida, la microcuenca Rosayoc/Batán está en una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o madurez, y la de desequilibrio o juventud, implicando un potencial erosivo. Con todo lo expuesto, se concluyó que, los umbrales de precipitación de lluvia pueden ser considerados como una simplificación de la relación entre las precipitaciones y la ocurrencia de movimientos de flujo de detritos, los cuales deben de ser complementados con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos para obtener los caudales, volúmenes, máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos.

- 7. HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°06:** al hallar los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán, se obtienen los niveles medio, alto y muy alto de peligrosidad con mayor predominancia de área.

**CONCLUSIÓN, RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N°06:** se comprobó esta hipótesis, mediante el análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, según el proceso de análisis jerárquico (CENEPRED). De esta evaluación y análisis, se determinó que en la parte baja de la quebrada se encuentran los niveles muy alto y alto; en la parte media, se hallaron los niveles alto y medio; y en la parte alta, se encontró un nivel alto de peligrosidad, asimismo, estos niveles poseen la mayor predominancia de área en cada una de las partes de la quebrada. Por otra parte, también se hicieron los mapas de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos detonados por la precipitación máxima en 24 horas y el umbral mínimo de lluvia acumulada (LA1) de 18 días, en función de las máximas profundidades y velocidades que genera el flujo de detritos, en la simulación computacional del programa FLO-2D. Este modelo mencionado, presentó tres niveles, los cuales son bajo, medio y alto, teniendo como preponderante los niveles de peligro medio y alto, en los recorridos de los cauces.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a la poca densidad de estaciones pluvio-meteorológicas, tanto convencionales como automáticas, se sugiere a las instituciones públicas (SENAMHI, ANA, etc.) encargadas del registro de la precipitación, incrementar y mejorar la distribución de las estaciones. Asimismo, teniendo en cuenta que, tanto las mediciones de lluvia de los pluviómetros como las observaciones por satélite presentan mayores incertidumbres en regiones montañosas, se recomienda más estudios sobre la evaluación de la viabilidad de los umbrales basados en satélites, ya que sería muy útil comparar los umbrales de precipitación derivados de diferentes pluviómetros con los umbrales de estimaciones satelitales a escala local.
2. Se recomienda, el trabajo en conjunto entre las instituciones públicas (INDECI, CENEPRED, etc.) relacionadas con la prevención y control de desastres, con los gobiernos regionales y locales, entre otras instituciones; con el fin de mejorar y estandarizar el registro de información de deslizamientos de tierra y/o flujo de detritos (fecha, hora, tipo de movimiento en masa, ubicación geográfica, etc.), asimismo, aumentar la cantidad y calidad de los datos para que puedan ser utilizados en la determinación de umbrales de precipitación de lluvia que detonan movimientos en masa. Además, se sugiere realizar el monitoreo de las zonas más susceptibles ante movimientos de masa, a escala regional y local, para tener registros de información y mediciones más exactas, como por ejemplo, de las alturas y velocidades alcanzadas por estos eventos; ya que, esto nos ayudaría a establecer rangos más específicos, a nivel local, de profundidades y velocidades de peligro.
3. Se sugiere, contar con registros completos de precipitación de lluvia y movimientos en masa, o un mayor número de datos con mejor calidad, abundancia y distribución, según lo indicado por Peruccacci et al. (2012); a fin de obtener mejores resultados.

Así también, se recomienda que, para optimizar la capacidad predictiva de los umbrales de precipitación de lluvia, se debe realizar la calibración y validación del modelo.

4. Se sugiere el análisis de las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC), tal como, se realizó en esta investigación; ya que, no solo influye en la estabilidad del suelo sino también está relacionado con los umbrales de lluvia acumulada antecedente (LAA), siendo este uno de los datos más importantes para calcular los caudales líquidos de escorrentía generados por los umbrales de lluvia acumulada (LA) mediante el método del hidrograma de escorrentía superficial o hidrograma unitario sintético del SCS. Además, se sugiere investigar y realizar estudios sobre las condiciones de humedad antecedente del suelo, que contribuyen en la desestabilización de las laderas o taludes, en el Perú.
5. Para mejorar la resolución espacial y el análisis geomorfológico, se recomienda utilizar un DEM de mayor resolución tomados a partir de un levantamiento topográfico por dron.
6. Se sugiere buscar estudios realizados o información confiable para realizar el análisis y evaluación de la peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos. Adicionalmente, al hallar niveles de peligro medio, alto y muy alto, se recomienda lo siguiente:

**Nivel medio de peligro:**

- Realizar inspecciones y evaluaciones periódicas de las características geológicas y geotécnicas quebrada, así como, de sus alrededores; con el fin de identificar signos de inestabilidad como deslizamientos de tierra o erosión.
- Implementar medidas de mitigación temprana como la estabilización de taludes, la revegetación de laderas y la implementación de sistemas de drenaje adecuados. Además, se puede complementar con medidas de Orden Estructural.

**Nivel de peligro alto o muy alto:**

- Realizar un monitoreo constante de las áreas de peligro alto o muy alto, utilizando técnicas de teledetección, información satelital-grillada y alerta temprana.
  - Establecer sistemas de alerta temprana y difusión de información a la comunidad en zonas de peligro alto o muy alto.
  - Evitar construir viviendas en zonas identificadas de peligro alto o muy alto.
7. Con respecto a las medidas de orden estructural, se recomienda que las obras de protección ante flujo de detritos, deben aplicarse en la parte alta de quebrada para disminuir los impactos del evento; ya que, a mayor recorrido y pendientes pronunciadas, estos aumentan su velocidad y masa de sedimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abancó, C., Hürlimann, M., Moya, J., & Berenguer, M. (2016). Critical rainfall conditions for the initiation of torrential flows. Results from the Rebaixader catchment (Central Pyrenees). *Journal of Hydrology*, 541, 218-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.019>
- Acha Alhuay, N. I. (2022). *Estimación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2136>
- Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology*, 73(3-4), 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.01.007>
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(1), 21-44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>
- Amani, A., Balcázar, N., Naseri, A., & Rigola, J. (2020). A numerical approach for non-Newtonian two-phase flows using a conservative level-set method. *Chemical Engineering Journal*, 385, 123896. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2019.123896>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie* (1.ª reimpresión). Editorial Limusa.
- Arias, F. G. (2006). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Editorial Episteme.
- Aristizábal, E., Martínez, H. y Vélez, J. I. (2010a). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 209-227. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/621>

- Aristizábal, E., Gamboa, M. F. y Leoz, F. J. (2010b). Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el valle de Aburrá, Colombia. *Escuela de Ingeniería de Antioquia [EIA]*, 13, 155-169. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149213727011>
- Aristizábal, E., Riaño, F., & Jiménez-Ortiz, J. (2022). Umbrales de lluvia como detonante de movimientos en masa en el piedemonte de la cordillera Central en los Andes colombianos. *Boletín de Geología*, 44(2), 183–197. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022009>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2012). *Compendio de los recursos hídricos superficiales de Huánuco*. Ediciones ANA - Publicaciones. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/548>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA] y Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos [DCPRH]. (2012). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: memoria descriptiva*. Dirección de Planificación y Desarrollo de los Recursos Hídricos [DPDRH] - Publicaciones. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770-785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Aybar, C., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández, C., Vega-Jácome, F., Sabino, E., & Felipe-Obando, O. (2017). *Uso del producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica N° 001 SENAMHI-DHI-2017* (Nota Técnica

- [16]). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12542/260>
- Breña Puyol, A. F. y Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Brière, F. G. (2005). *Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua de lluvia* (Humberto Pizarro, Trad.). Presses internationales Polytechnique (Obra original publicada en 1970).
- Brunetti, M., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., & Guzzetti, F. (2010). Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 447-458. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-447-2010>
- Caine, N. (1980). The rainfall intensity: Duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 62(1-2), 23-27. <https://doi.org/10.2307/520449>
- Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., López de Armentia, A. y De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=383257036005>
- Campbell, R. H. (1975). *Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California* (Report USGS Professional Paper 851). United States Geological Survey [USGS]. <https://doi.org/10.3133/pp851>
- Campos Aranda, D. F. (1978). *Cálculo de las curvas IDF, a partir de registros de lluvia máxima en 24 horas y relaciones duración lluvia promedio* (1.ª ed.). Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural - San Luis de Potosí, México.



- Castillo Navarro, L. F. (2006). *Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/15817>
- Castro Garro, D. A. (2022). *Umbral de precipitación para deslizamientos de tierra en la cuenca del río Rímac* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5237>
- Cedano Niño, M. S. (2020). *Determinación de regiones hidrológicamente homogéneas en la cuenca Chira mediante análisis clúster* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. <https://hdl.handle.net/11042/4574>
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño [CIIFEN]. (s. f.). *Definición de Riesgo*. Conceptos Teóricos. <https://ciifen.org/definicion-de-riesgo/>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2013a). *Lineamientos Técnicos del Proceso de Reducción del Riesgo de Desastres* (Resolución Ministerial N° 220 – 2013 – PCM). Dirección de Gestión de Procesos [DGP] - Subdirección de Normas y Lineamientos - CENEPRED. <https://www.cenepred.gob.pe/web/lineamientos/>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2013b). *Lineamientos Técnicos del Proceso de Prevención del Riesgo de Desastres* (Resolución Ministerial N° 222 – 2013 – PCM). Dirección de Gestión de Procesos [DGP] - Subdirección de Normas y Lineamientos - CENEPRE. <https://www.cenepred.gob.pe/web/lineamientos/>

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2014a). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales* (Versión 02). <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2014b). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014–2021* (Decreto Supremo N° 034–2014-PCM). <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/417>
- Chow, Ven Te, Maidment, David R. y Mays, Larry W. (1994). *Hidrología aplicada* (Juan G. Saldarriaga, Trad., 1.ª ed.). McGraw - Hill Interamericana.
- Cruden, D. M. & Varnes, D.J. (1996). Chapter 3: Landslide type and processes. In A. K. Turner, R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and mitigation* (Special Report 247, pp. 36 - 75). Transportation Research Board, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, USA National Research Council [NRC]. <https://doi.org/10.17226/11057>
- Cordova Mendoza, D. P. (2017). *Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán ]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán [UNHEVAL]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/1534>
- Costa, J. E. (1988). Rheologic, geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In V. R. Baker, R. C. Kochel, & P. C. Patton (Eds.), *Flood geomorphology* (pp. 113-122). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Flood+Geomorphology-p-9780471625582>

- Crosta, G. (1998). Regionalization of rainfall thresholds: An aid to landslide hazard evaluation. *Environmental Geology*, 35, 131-145.  
<https://doi.org/10.1007/s002540050300>
- Crozier, M. J. (1999). Prediction of rainfall-triggered landslides: A test of the antecedent water status model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24, 825-833.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199908\)24:9%3C825::AID-ESP14%3E3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199908)24:9%3C825::AID-ESP14%3E3.0.CO;2-M)
- Crozier, M. J. (2010). Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, 124(3-4), 260-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.009>
- Damian Ancasí, R. y Huaman Llamoca, H. O. (2017). *Estimación de umbrales de precipitación, para un sistema de alerta temprana en deslizamiento de laderas, en el distrito de cuenca, provincia y región de Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1456>
- Das, B. (2014). Fundamentos de ingeniería geotécnica (J. L. Cárdenas, Trad., 4.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning. (Original work published in 2012).
- DesInventar.org. (2022). *UNDRR DesInventar Sendai: Perú. DesInventar online*. Recuperado de 1994, de <https://www.desinventar.org/>
- Dirección de Suelos y Manejo de Cuencas [DSMC] y Dirección General de Aguas, Suelos e Irrigaciones [DGASI]. (1983). *Metodología para priorización de cuencas, sub-cuencas y micro-cuencas: proyecto de manejo de cuencas*. Ministerio de Agricultura [MINAGRI] - Autoridad Nacional del Agua [ANA].
- Earle, S. (2019). *Physical geology* (2.<sup>a</sup> ed.). BCcampus.  
<https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/>

- Eder, M., Barbeito, O., Ambrosino, S., Hillman, G., Moya, G. y Rodríguez, A. (2017). Análisis y modelo hidráulico (2D) de flujos hiperconcentrados en piedemonte occidental de la Sierra de Ambato, Catamarca, Argentina. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 16(1), 65-87. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/97909>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (s. f.). *Ayuda: ¿Qué es ArcGIS?* ArcGIS Resources. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Escusa Arosquipa, F. E. (2016). *Análisis y modelamiento de flujos de escombros en la zona de Maranura, La Convención – Cusco* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/7371>
- Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical reference manual*. U.S. Army Corps of Engineers [USACE] - Hydrologic Engineering Center [HEC]. [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_Technical%20Reference%20Manual\\_\(CPD-74B\).pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)
- Fidel Smoll, L., Zegarra Loo, J., Vílchez Mata, M. S., Castillo Navarro, L. F., & Jackson, L. E. (2006). Evolution of landslide activity, and the origin of debris flows in the El Niño affected Payhua Creek basin, Matucana area, Huarochiri, Peru. *International Atomic Energy Agency [IAEG] 2006, Geological Society of London*, Paper number 32, 1-12. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2567>
- FLO-2D Software, Inc. (2021). *FLO-2D reference manual* (Build No. 20) [FLO-2D Software]. FLO-2D Software, Inc.

- Gao, L., Zhang, L. M., Chen, H. X., & Shen, P. (2016). Simulating debris flow mobility in urban settings. *Engineering Geology*, 214, 67-78.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2016.10.001>
- García Rodríguez, M. J. (2009). *Metodologías para la evaluación de la peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos* [Tesis doctoral, Universidad de Alcalá]. Escuela de Doctorado – Tesis Doctoral – Tesis de la UAH. <http://escuela-doctorado.uah.es/tesis/tesis.asp?CdPlan=D255&expe=7&proy=1>
- Gariano, S., Brunetti, M., Iovine, G., Melillo, M., Peruccacci, S., Terranova, O., Vennari, C., & Guzzetti, F. (2015). Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy. *Geomorphology*, 228, 653-665.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.019>
- Gibson S. & Alejandro Sánchez A. (2020). *HEC-RAS: Mud and debris flow manual (version 6.0)*. U.S. Army Corps of Engineers [USACE] - Hydrologic Engineering Center [HEC]. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasmuddebris/non-newtonian-user-s-manual/taxonomy-of-mud-and-debris-flows>
- Glade, T., & Crozier, M. J. (2005). Chapter 2: The nature of landslide hazard impact. In T. Glade, M. G. Anderson, & M. J. Crozier (Eds.), *Landslide Hazard and Risk* (pp. 41-74). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470012659.ch2>
- Glade, T., Crozier, M., & Smith, P. (2000). Applying probability determination to refine landslide-triggering rainfall thresholds using an empirical “antecedent daily rainfall model”. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 1059-1079.  
<https://doi.org/10.1007/s000240050017>
- Gómez Avalos, J. C. (2014). *Análisis del protocolo de CENEPRED para la evaluación de riesgos originada por fenómenos naturales (remoción en masa) en las tareas de evaluación, prevención y reducción de riesgos de desastres en el país* [Congreso].

XVII Congreso Peruano de Geología - Sociedad Geológica del Perú (SGP), Lima, Lima, Perú. <http://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=45405>

González Castellanos, R. A., Yll Lavín, M. y Curiel Lorenzo, L. D. (2003). *Metodología de la investigación científica para las ciencias técnica* (2.<sup>a</sup> parte: Organización y ejecución de la investigación). Universidad de Matanzas, Matanzas - Cuba.

Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshandlung Berlin. In I. Zavoianu (Ed.), *Morphometry of drainage basins*. Elsevier, Amsterdam.

Gregoretto, C., Stancanelli, L. M., 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.001>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [con su sigla en inglés, IPCC]. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. (Cuarto Informe de evaluación). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)

Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., Bezerra, J. F. R., & Shokr, M. S. (2017). Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, 27(1), 27-41. [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60294-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60294-7)

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31(1-4), 181-216. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)

- Guzzetti, F., Peruccacci, S., & Rossi, M. (2005). *Definition of critical threshold for different scenarios*. RISK-Advance Weather Forecast System to Advice on Risk Events and Management, 36 p.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98, 239-267. <https://doi.org/10.1007/s00703-007-0262-7>
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5, 3-17. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0112-1>
- de las Heras Jiménez, S. A. (2012). *Mecánica de fluidos en ingeniería* (1.<sup>a</sup> ed.). Iniciativa Digital Politècnica - Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech. <http://hdl.handle.net/2099.3/36608>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill/Interamericana.
- Hong, Y., Hiura, H., Shino, K., Sassa, K., Suemine, A., Fukuoka, H., & Wang, G. (2005). The influence of intense rainfall on the activity of large-scale crystalline schist landslides in Shikoku Island, Japan. *Landslides*, 2(2), 97-105. <https://doi.org/10.1007/s10346-004-0043-z>
- Huerta, A., Lavado, W., & Felipe-Obando, O. (2022). High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp\_h). *Data in Brief*, 45, 108570. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108570>
- Hungr, O. (2005). Chapter 2: Classification and terminology. In M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena* (pp. 9-23). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5\\_2](https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_2)

- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., & Hutchinson, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 7(3), 221-238. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.7.3.221>
- Hungr, O., Evans, S. G., & Hazzard, J. (1999). Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(2), 224-238. <https://doi.org/10.1139/t98-106>
- Ibsen, M., & Casagli, N. (2004). Rainfall patterns and related landslide incidence in the Porretta-Vergato region, Italy. *Landslides*, 1(2), 143-150. <https://doi.org/10.1007/s10346-004-0018-0>
- Ilinca, V. (2021). Using morphometrics to distinguish between debris flow, debris flood and flood (Southern Carpathians, Romania). *Catena*, 197, 104982. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2020.104982>
- Instituto Geofísico del Perú [IGP] y Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). *El Niño/La Niña Costeros - IGP*. Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera. Recuperado 1 de diciembre de 2022, de [http://met.igp.gob.pe/elnino/lista\\_eventos.html](http://met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html)
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2016). *Mapa geológico del Perú 1: 1 000 000*. Mapa geológico nacional. <https://portal.ingemmet.gob.pe/web/guest/mapa-geologico-nacional>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2015). *Lineamientos para la conformación y funcionamiento de la Red Nacional de Alerta Temprana - RNAT y la conformación, funcionamiento y fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana - SAT* (Resolución Ministerial N° 173–2015-PCM). Presidencia del



- Consejo de Ministros [PCM]. <https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/1093212-resolucion-ministerial-n-173-2015-pcm>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2016). *Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación* (SINPAD v2.0). Sistema informático bajo la plataforma Internet. Recuperado de 2003, de <http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/portal.html>
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI] y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2011). *Mapa de peligros, plan de usos de suelo ante desastres y medidas de mitigación de la ciudad de Huánuco* (Proyecto INDECI PNUD PER/02/051-Programa Ciudades Sostenibles). Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4351>
- Iverson, R. M. (1997). The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 35(3), 245-296. <http://dx.doi.org/10.1029/97rg00426>
- Iverson, R. M. (2014). Debris flows: Behaviour and hazard assessment. *Geology Today*, 30(1), 15-20. <http://dx.doi.org/10.1111/gto.12037>
- Jakob, M. (1996). *Morphometric and geotechnical controls of debris flow frequency and magnitude in Southwestern British Columbia* [Doctoral dissertation]. University of British Columbia [UBC]. University of British Columbia Library. <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0087740>
- Jakob, M., & Weatherly, H. (2003). A hydroclimatic threshold for landslide initiation on the North Shore Mountains of Vancouver, British Columbia. *Geomorphology*, 54(3-4), 137-156. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00339-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00339-2)
- Juárez Badillo, E. & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de suelos - Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos* (2.ª ed.). Editorial Limusa.

- Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 20(1), 1-56. <https://doi.org/10.1061/taceat.0000694>
- Laigle, D. & Bardou, E. (2022). Volume 5 - 5.05: Mass-movement types and processes: Flow-like mass movements, debris flows and earth flows. In J. F., Shroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 61-84). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00152-8>
- Lim, K. J., Engel, B. A., Muthukrishnan, S., & Harbor, J. (2006). Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology. *Journal of the American Water Resources Association*, 42(3), 629–643. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04481.x>
- López S., J. L. (2005). Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el Estado Vargas y en el Valle de Caracas: situación actual y perspectivas futuras. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 20(4), 61-73. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652005000400006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652005000400006&lng=es&tlng=es).
- Martinengo, M., Zugliani, D., & Rosatti, G. (2023). Validation and potential forecast use of a debris-flow rainfall threshold calibrated with the Backward Dynamical Approach. *Geomorphology*, 421, 108519. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108519>
- Martínez Álvarez, V. (1999). *Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre (S.I.G)* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.711>

- Mayorga Márquez, R. (2023). *Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Millán Arancibia, C., & Lavado-Casimiro, W. (2023). Rainfall thresholds estimation for shallow landslides in Peru from gridded daily data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(3), 1191-1206. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1191-2023>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Informe Nacional del Estado del Ambiente 2012 - 2013*. Ministerio del Ambiente [MINAM].
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC]. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje* (RD N° 20–2011-MTC/14). Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC]. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-07-11%20Hidrolog%C3%ADa,%20Hidr%C3%A1ulica%20y%20Drenaje.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-07-11%20Hidrolog%C3%ADa,%20Hidr%C3%A1ulica%20y%20Drenaje.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2021). *Norma Técnica CE.040: Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones* (RM N°126–2021-VIVIENDA). [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL\\_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366728/CE.040%20DRENAJE%20PLUVIAL_RM%20126-2021-VIVIENDA.pdf)
- Montgomery, D. R. & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30 (4), 1153-1171. <https://doi.org/10.1029/93WR02979>
- Mora, S. & Vahrson, W.-G. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Environmental & Engineering Geoscience*, 31(1), 49-58. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.xxxi.1.49>

- Moral Fernández, L. (2014). *Cálculo de la susceptibilidad de deslizamiento del terreno en Lorca, mediante un Sistema de Información Geográfica* [Trabajo fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital de la Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/33005/>
- Musy, A. (2001). *Cours: Hydrologie générale*. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM) - Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE) - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/>
- Navarro Vidal, J. (2012). *Susceptibilidad y amenaza de movimientos de ladera mediante S.I.G. en el municipio de Berlín, El Salvador* [Trabajo Fin de Máster, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional de la Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/19876/>
- Niño Piña, V. J. (2015). *Comparación de criterios de engrosamiento del flujo para la simulación de avalanchas en casos colombianos de estudio* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56726>
- Núñez Juárez, S. (2011, noviembre). *Inspección Geodinámica en el Sector de San Rafael, Valle del Huallaga y Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael, Provincia de Ambo - Región Huánuco* (Informe Técnico N° A6580). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1815#files>
- Ñaupas Paitán, H., Mejía, E., Novoa Ramírez, E. y Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la investigación: cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (4.ª ed.). Ediciones de la U.

- O'Brien, J. S. & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(8), 877-887. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1988\)114:8\(877\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:8(877))
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. (1976). *Mapa ecológico del Perú: guía explicativa*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] - Autoridad Nacional del Agua [ANA]. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1052>
- Oficina de la UNESCO San José y Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en Centroamérica [CEPREDENAC]. (2012). *Conceptos y herramientas: Sistemas de Alerta Temprana y gestión del riesgo para la comunidad educativa* (Apoyo al Ministerio de Educación Pública de Costa Rica). Oficina de la UNESCO San José para Centroamérica y México. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000227595>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Repositorio GitHub. <https://github.com/volaya/libro-sig>
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: ¿Qué es una cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima - Foro Peruano para el Agua - Global Water Partnership [GWP] Perú. <https://www.gwp.org/es/GWP-Sud-America/CONOCIMIENTO/PUBLICACIONES/Documentos-tecnicos/Otras-publicaciones/>
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2019). *Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] - Dirección de Hidrología [DHI]. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/291>
- Pan, H. L., Jiang, Y. J., Wang, J., & Ou, G. Q. (2018). Rainfall threshold calculation for debris flow early warning in areas with scarcity of data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(5), 1395–1409. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1395-2018>

- Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Luciani, S., Vennari, C., & Guzzetti, F. (2012). Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. *Geomorphology*, 139–140, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.10.005>
- Pfafstetter, O. (1989). *Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento [DNOS], p. 19. Manuscrito não publicado.
- Pierson, T.C. (2005). Chapter 8: Hyperconcentrated Flow - transitional process between water flow and debris flow. In M. Jakob, O. Hungr (Eds.), *Debris flow Hazards and Related Phenomena* (pp. 159-202). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5\\_8](https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_8)
- Pierson, T. C. (1986). Chapter 13: Flow behavior of channelized debris flows, Mount St. Helens. In A. D. Abrahams (Ed.), *Hillslope processes: Binghamton geomorphology symposium 16* (1<sup>st</sup> ed., pp. 269-296). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003028840>
- Presidencia del Consejo de Ministros [PCM]. (2019). *Programa presupuestal reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres*. Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/350692/Consolidado\\_PP0068\\_2019\\_v.oct19.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/350692/Consolidado_PP0068_2019_v.oct19.pdf)
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas* (Publicación Geológica Multinacional N°4). Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. Repositorio Institucional INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>

- QGIS.ORG. (2022). QGIS Desktop User Guide/Manual (QGIS 3.22): Prólogo. In *QGIS Documentation*. [https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user\\_manual/preamble/foreword.html](https://docs.qgis.org/3.22/es/docs/user_manual/preamble/foreword.html)
- Reichenbach, P., Cardinali, M., De Vita, P. & Guzzetti, F. (1998). Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (central Italy). *Environmental Geology*, 35, 146-159. <https://doi.org/10.1007/s002540050301>
- Rodríguez, A., García-Meléndez, E. Y Menéndez, R. (2016). Tema 5: “Movimientos de Ladera”. En J. Lario y T. Bardají (Coords.), *Introducción a los riesgos geológicos* (1.ª ed.). Universidad Nacional de Educación a Distancia [UNED], Madrid - España.
- Rubiano, D. y Ramírez, F. (2009). *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial: guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos* (1.ª ed.). Comunidad Andina: Secretaria General - Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN].
- Salinas Jasso, R. A. (2016). *Movimientos en masa desencadenados por eventos hidrometeorológicos en el Cañón Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León, México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio académico digital de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/15901/>
- Sánchez San Román, F. J. (2016). *Hidrología Superficial: Relaciones Precipitación-Escorrentía*. Departamento de Geología - Universidad de Salamanca. <http://hidrologia.usal.es/temas.html>
- Schuster, R. L. (1996). The 25 most catastrophic landslides of the 20th century. In J. Chacon, C. Irigaray and T. Fernandez (Eds.), *Landslides: Proceedings of the 8th International Conference and Field Trip on Landslides*, Granada, Spain, 27-28 September 1996 (pp. 53-62). Rotterdam: Balkema.

- Segoni, S., Rossi, G., Rosi, A. & Catani, F. (2014). Landslides triggered by rainfall: A semi-automated procedure to define consistent intensity – duration thresholds. *Computers & Geosciences*, 63, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.009>
- Sepúlveda Bello, A. y Patiño Franco, J. (2016). *Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Javeriana. <http://hdl.handle.net/10554/18828>
- Sepúlveda Bello, A., Patiño Franco, J., & Rodríguez Pineda, C. E. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y proyectos*, 20, 31-43. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132016000200003>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (1988). *Mapa de Clasificación Climática del Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI].
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2013). *Caracterización hidroclimática de la cuenca del río Chicama*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/806>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2014). Umbrales y precipitaciones absolutas. En *Repositorio Institucional SENAMHI*. Subdirección de Predicción Climática - SENAMHI. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/670>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2016, 22 de septiembre). *SENAMHI publica información histórica de 370 estaciones meteorológicas* [comunicado de prensa]. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=prensa&n=498#:~:text=SENAMHI%20publica%2>



0informaci%C3%B3n%20hist%C3%B3rica%20de%20370%20estaciones%20meteorol%C3%B3gicas

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2020). *Mapa de Clasificación Climática del Perú (2020)*, catálogo de metadatos cartográficos. <https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2018). *Prec v2p1 stable daily*. SENAMHI HSR PISCO. Recuperado 17 de abril de 2023, de <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.daily/?Set-Language=es>

Silva Medina, G. A. (1998). *Hidrología básica* (1.<sup>a</sup> ed.). Unidad de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia.

Soeters, R. & Van Westen, C. J. (1996). Chapter 8: Slope instability recognition, analysis, and zonation. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation And Mitigation*, Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247 (pp. 129-177). National Academy Press. <https://trid.trb.org/view/462506>

Sosa Senticala, N. L. (2016). *Análisis de susceptibilidad a los peligros geológicos por movimientos en masa - poblados de Pampamarca y Acobamba, región Huánuco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2969>

Starkel, L. (1978). The role of extreme meteorological events in the shaping of mountain relief. *Geographia Polonica*, 41, 13-20. <https://www.geographiapolonica.pl/article/item/8332.html>

- Suárez Díaz, J. (1998). Capítulo 1: Caracterización de los movimientos. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (pp. 1-34). Universidad Industrial de Santander.
- Suárez Díaz, J. (2009). Capítulo 5: Los flujos. *Deslizamientos: Tomo I. Análisis Geotécnico* (pp. 173-208). Universidad Industrial de Santander.
- Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial [SGOT] - Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial [GRPPAT] - Gobierno Regional Huánuco [GOREHCO]. (2013, julio). *Estudio de diagnóstico zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Ambo*. Gobierno Regional Huánuco [GOREHCO].
- Takahashi, T., & Das, D. K. (2014). *Debris flow: Mechanics, prediction and countermeasures* (2<sup>nd</sup> ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16647>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3<sup>rd</sup> ed.). John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-es/Soil+Mechanics+in+Engineering+Practice,+3rd+Edition-p-9780471086581>
- Torres Guzmán, F. H. (2013). *Umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa para la ruta CH-156* [Tesis de pregrado, Universidad del Bío-Bío]. Repositorio digital de la Universidad del Bío-Bío. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/2313>
- Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco [UNHEVAL]. (2019). *Normas y procedimientos para la presentación de proyectos, informes y artículos científicos de investigación de docentes con asignación económica – 2020* (Resolución N° 196-2019-UNHEVAL-VRI). Universidad Nacional Hermilio Valdizán Huánuco - Vicerrectorado de Investigación - Dirección de Investigación Universitaria. <http://diu.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2019/10/NORMAS-Y->

PROCEDIMIENTO-PARA-LA-PRESENTACION-DE-PROYECTOSINFORMES-  
Y-ARTICULOS-DE-INVESTIGACIÓN-DE-DOCENTES-CON-ASIGNACIÓN-  
ECONOMIA-2020.pdf

- United States Department of Agriculture [USDA]. (2007). Title 210: National engineering handbook - Part 630: Hydrology - Chapter 16: Hydrographs. In *National NRCS eDirective System*. Natural Resources Conservation Service [NRCS]. <https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid=21422>
- United States Department of Agriculture [USDA]. (2022). Title 210: National engineering handbook - Part 631: Geology - Chapter 3: Engineering classification of earth materials (2<sup>nd</sup> ed.). In *National NRCS eDirective System*. Natural Resources Conservation Service [NRCS]. <https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid=21423>
- United States Water Resources Council [USWRC]. (1981). *Guidelines for determining flood flow frequency* (Bulletin 17B). Department of the Interior - U.S. Geological Survey [USGS]. [https://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/dl\\_flow.pdf](https://water.usgs.gov/osw/bulletin17b/dl_flow.pdf)
- Varnes, D.J. (1978). Chapter 2: Slope movement types and processes. In R.L., Schuster, R.J., Krizek (Eds.), *Landslides: Analysis and Control* (Special Report 176, pp. 11 - 33). Transportation Research Board, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, USA National Research Council [NRC]. <https://trid.trb.org/View/86167>
- Vásquez Villanueva, A. (2000). *Manejo de cuencas altoandinas: Vol. Tomo I*. Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM].
- Viessman, W., & Hammer, M. J. (1998). *Water Supply and Pollution Control* (6.<sup>th</sup> ed.). Addison-Wesley.

- Wang, H., Xu, B., Zhang, J., Guo, X., Zeng, Q., & Zhang, L. (2022). Rainfall thresholds of debris flows based on varying rainfall intensity types in the mountain areas of Beijing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2166–2181. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2111281>
- Wendeler, C. (2016). *Debris-flow protection systems for mountain torrents. Basic principles for planning and calculation of flexible barriers* (Vol. 44). Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A9100/datastream/PDF/view>
- Wilson, R. C. & Wieczorek, G. F. (1995). Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California. *Environmental & Engineering Geoscience*, 1(1), 11-27. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.1.1.11>
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmelt, Jr., A. T., Van Mullem, J. A. & Quan, D. Q. (2002). *Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio*. Natural Resources Conservation Service [NRCS] - National Water and Climate Center [NWCC].
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, Jr., A. T., Van Mullem, J. A. & Quan, Q. D. (2003). Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In American Society of Civil Engineers [ASCE] (ed.). *Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress 2003*. [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)308](https://doi.org/10.1061/40685(2003)308)
- World Vision. (s.f.). *Manual de Manejo de Cuencas*. World Vision. <https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf>
- Yang, H., Hu, K., Zhang, S., & Liu, S. (2023). Feasibility of satellite-based rainfall and soil moisture data in determining the triggering conditions of debris flow: The Jiangjia

Gully (China) case study. *Engineering Geology*, 315, 107041.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107041>

Yolcubal, I., Brusseau, M. L., Artiola, J. F., Wierenga, P., & Wilson, L. G. (2004). Chapter 12: Environmental physical properties and processes. In J. F. Artiola, I. L. Pepper, & M. L. Brusseau (Eds.), *Environmental monitoring and characterization* (pp. 207-239). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012064477-3/50014-X>

Zapata Montes, A. A., Rosell Solís, W. y Abarca Castañeda, F. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ambo (21-k). Escala 1:100 000*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12544/2153>

Zavala Carrión, B. L. y Vílchez Mata, M. S. (2005). *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Huánuco* (Informe Técnico N° A6546: Geología Ambiental). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET].  
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2001>

# **ANEXOS**

### ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO</b>					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	Variable Independiente (x):	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿De qué modo los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, determinarán el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco?	Determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.	Al determinar los umbrales de precipitación de lluvia, como factor detonante, se logra el seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, distrito de San Rafael, provincia de Ambo y departamento de Huánuco.	Umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante	<b><u>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</u></b>  El nivel de investigación de este estudio es Aplicativo.	<b><u>POBLACIÓN:</u></b>  Movimientos de flujo de detritos detonado por precipitaciones de lluvia del distrito de San Rafael, provincia de Ambo, departamento de Huánuco.  <b><u>MUESTRA:</u></b>  Movimientos de flujo de detritos detonado por precipitaciones de lluvia, registrados desde el año 1990 hasta el año 2019, en la localidad de San Rafael, distrito San Rafael, provincia de Ambo, departamento de Huánuco.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	Variable Dependiente (y):		
- ¿De qué manera se establecerá la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos para obtener los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia	- Establecer la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos, con el propósito de obtener los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia	- Al establecer la relación de la precipitación de lluvia con los movimientos de flujo de detritos, se obtienen los umbrales críticos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia	Seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos	<b><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</u></b>  El tipo de investigación de este estudio es Cuantitativo.	

<p>acumulada antecedente (LAA)?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo se determinará la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA)?</li> <li>- ¿De qué modo se asociará los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo?</li> <li>- ¿De qué manera se precisará los umbrales mínimos, más catastróficos que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán?</li> </ul>	<p>acumulada antecedente (LAA).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA).</li> <li>- Asociar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo.</li> <li>- Precisar los umbrales mínimos más catastróficos que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán.</li> </ul>	<p>acumulada antecedente (LAA).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al determinar la capacidad predictiva de los umbrales mínimos de lluvia acumulada detonante (LA) y lluvia acumulada antecedente (LAA), se logra validar y diferenciar eventos de lluvia desencadenantes, y no desencadenantes, de flujo de detritos.</li> <li>- Al asociar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con las condiciones de humedad antecedente del suelo, se demuestra que, este factor contribuye a desencadenar movimientos de flujo de detritos; asimismo es fundamental para el cálculo de los caudales de escorrentía líquida a partir de los umbrales de lluvia acumulada (LA).</li> <li>- Al precisar los umbrales mínimos más catastróficos, que detonan movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán, estos resultan ser la lluvia acumulada (LA1) de 18 días y LA2 de 5 días.</li> </ul>			
--	---	--	--	--	--



<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cómo se relacionará los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos para obtener la máxima profundidad y velocidad, así como los volúmenes y caudales del flujo de detritos?</li>   <li>- ¿De qué forma se hallará los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relacionar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos para obtener la máxima profundidad y velocidad, así como los volúmenes y caudales del flujo de detritos.</li>   <li>- Hallar los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al relacionar los umbrales de precipitación de lluvia (LA y LAA) con los parámetros geomorfológicos y geotécnicos, se consigue obtener la máxima profundidad y velocidad; así como, los volúmenes y caudales del flujo de detritos.</li>   <li>- Al hallar los niveles de peligrosidad ante movimientos de flujo de detritos, en función de la parte baja, media y alta de la quebrada Rosayoc/Batán, se obtienen los niveles medio, alto y muy alto de peligrosidad con mayor predominancia de área.</li> </ul>			
--	--	---	--	--	--

## ANEXO 02: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	MEDICIÓN
<p><u>Variable Independiente (x):</u></p> <p>Umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante</p>	<p>Reichenbach et al. (1998) definieron el término umbral crítico de lluvia como el mínimo o máximo nivel crítico de lluvia, a partir de la cual ocurre un movimiento de flujo de detritos.</p>	<p>La variable de umbrales de precipitación de lluvia se va a medir mediante los pluviómetros de cada estación meteorológica requerida.</p>	<p><b>Umbrales críticos de precipitación de lluvia:</b> método empírico-estadístico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umbral de lluvia acumulada (LA)</li> <li>- Umbral de lluvia acumulada antecedente (LAA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Milímetros (mm.)</li> </ul>
<p><u>Variable Dependiente (y):</u></p> <p>Seguimiento y pronóstico de los movimientos de flujo de detritos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Seguimiento:</b> El término seguimiento se refiere a la observación o monitoreo minucioso sobre un tema o el desarrollo de un proceso.</li> <li>- <b>Pronóstico:</b> El término pronóstico refiere a aquel conocimiento anticipado de lo que sucederá en un futuro mediante ciertos indicios, señales, estudio, historia previa, entre otros.</li> <li>- <b>Medidas de control, prevención y reducción ante movimientos de masa:</b> debido al alto poder destructivo que tienen los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La variable del seguimiento y pronóstico de movimientos de flujo de detritos se va a medir en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo.</li> <li>- La variable de movimientos de flujo de detritos se va a medir mediante volúmenes.</li> </ul>	<p>Medidas de control de orden no estructural.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración del mapa de peligro, en función de la máxima profundidad y velocidad del flujo de detritos, a partir de los umbrales críticos de precipitación de lluvia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leyenda de colores rojo (nivel alto de peligro), naranja (nivel medio de peligro), amarillo (nivel bajo de peligro).</li> <li>- Metros (m.)</li> <li>- Metros por segundo (m/seg).</li> <li>- Metros cúbicos (m3).</li> </ul>

	<p>movimientos de masa es necesario implementar medidas de protección o prevención (anticipo), que les permitan a las poblaciones asentadas en zonas de alta amenaza reducir los riesgos que pueden correr ante estos sucesos.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Flujos de detritos:</b> los flujos de detritos, también denominados flujos de escombros o huaycos, son considerados como flujos de detritos saturados muy rápidos a extremadamente rápidos, no plásticos (Índice de Plasticidad menor al 5%), que transcurren principalmente a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Asimismo, presentan un fuerte arrastre de material y agua en la trayectoria del flujo hasta ser depositados en abanicos aluviales. Además, los flujos de escombros recogen y depositan material continuamente a lo largo de su recorrido; lo que les permite cambiar, a medida que avanzan, su estado de presión de poros interna y su mecánica.</li></ul>				
--	---	--	--	--	--

<p><u>Variables Intervinientes:</u></p> <p>Factores condicionantes: parámetros físicos (geotécnicos y morfométricos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Parámetros geotécnicos y morfométricos:</b> De acuerdo con Jakob (1996), para estudiar y caracterizar correctamente una cuenca relacionada a flujos de escombros, se debe combinar los factores hidrológicos con los factores geotécnicos y morfométricos. Por tal motivo, no solo se debe efectuar un análisis de series de precipitación de duración parcial basado en varios supuestos estadísticos; ya que, la falta de varias estimaciones de magnitud fiables impide seguir analizando únicamente con este método.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los parámetros geotécnicos se van a medir a través de la extracción de la muestra in situ y los ensayos de laboratorio.</li> <li>- Los parámetros morfométricos se van a medir mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis de imágenes satelitales, análisis topográfico y análisis hidrológico (longitud del cauce, pendiente media, red de drenaje).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensayo de granulometría por tamizado de suelos, ensayo de límite líquido y límite plástico, clasificación Unificada de Suelos (SUCS), clasificación de Suelos – AASHTO, ensayo de permeabilidad.</li> <li>- Análisis geomorfológico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulometría, índice de plasticidad, permeabilidad.</li> <li>- Área de la microcuenca o drenaje, longitud de cauce, altitud (cotas mínimas y máximas), pendiente (pendiente promedio del cauce principal).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gramos (gr), milímetros (mm), porcentaje (%), centímetros por segundo (cm/s).</li> <li>- Kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), kilómetros (km), metros (m), porcentaje (%).</li> </ul>
---	---	--	--	---	--

## **ANEXO 03: CONSENTIMIENTO INFORMADO**



# MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL

PROVINCIA DE AMBO- REGION HUANUCO

RUC: 20200197357

San Rafael, 19 de agosto del 2022

**CARTA N° 060-2022-MDSR/SIDUR/AMEC**

**A:**

**ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES**  
BACHILLER EN INGENIERIA CIVIL

**DE:**

**ING. ALAN M. ESTRADA CARDOZO**  
SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA, DESARROLLO URBANO Y RURAL

**ASUNTO : REMITO CONSENTIMIENTO INFORMADO**

**REFERENCIA : 1) FORMULARIO UNICO DE TRAMITE N°006051**  
**2) PLAN DE TESIS: "UMBRALES DE PRECIPITACION DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONOSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATAN – DISTRITO DE SAN RAFAEL – PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUANUCO".**

Mediante la presente me dirijo a Usted para saludarlo cordialmente y a la vez comunicarle lo siguiente:

Visto el documento en referencia (1), en el que solicita el consentimiento informado para poder utilizar información del estudio topográfico de la quebrada Rosayoc/Batan para la elaboración de su tesis de grado para optar el título profesional de ingeniero civil, la Subgerencia de Infraestructura de Desarrollo Urbano y Rural acepta participar en el proceso de validación del trabajo de investigación en referencia (2), ya que como resultado de la investigación se podrá tener conocimiento de la cantidad de precipitación que detona los movimientos de flujo de detritos, en donde se podrá ubicar los puntos más susceptibles de la quebrada. Del mismo modo la información que provee la Subgerencia de Infraestructura de Desarrollo Urbano y Rural es estrictamente confidencial y no se podrá usar para ningún otro propósito sin el consentimiento correspondiente.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para reiterarle mi cordial saludo.

Adjunto

- Consentimiento informado -firmado
- Planos de la quebrada Rosayoc/ Batan (CD)

Atentamente,

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL  
  
 Ing. Alan M. Estrada Cardozo  
 SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA  
 DE DESARROLLO URBANO Y RURAL

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, como representante de la municipal distrital de San Rafael, en mi condición de Subgerente de Infraestructura, **ACEPTO** participar en el proceso de validación del trabajo de investigación titulado **UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA OMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO** cuyo objetivo es determinar los umbrales de precipitación de lluvia como factor detonante, para el seguimiento y pronóstico, de movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán – distrito de San Rafael - provincia de Ambo – departamento de Huánuco.

Señalo que se me ha informado sobre el procedimiento y propósito de la investigación, el cual será en favor la población del distrito de San Rafael, ya que con esta investigación se podrá tener conocimiento de la cantidad de precipitación que detona los movimientos de flujo de detritos en la quebrada Rosayoc/Batán. Además, también proporcionará un mapa de peligros ante movimientos de flujo de detritos, en donde se podrá ubicar los puntos más susceptibles de la quebrada. Por todo ello, autorizo se proceda en todo lo necesario para favorecer y facilitar la información que se requiera.

Reconozco que la información que yo provea para esta investigación es estrictamente confidencial y no será usada para ningún otro propósito, fuera de los alcances de este estudio, sin mi consentimiento.

Este trabajo de investigación corresponde a la Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres identificada con D.N.I. Nro. 74023242 de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Carrera Profesional de Ingeniería de Civil, quien está asesorada por el Ing. Clifton Páucar y Montenegro con D.N.I. Nro. 22461007.

Finalmente, los responsables del proyecto podrán divulgar la información estrictamente para los fines que esta investigación requiera.

Declaro que mi participación no implica ninguna contraprestación, por tratarse de una investigación académica.


 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL  
  
 Ing. Alan Mihal Estrada Cardozo  
 SUB GERENTE DE INFRAESTRUCTURA  
 DE DESARROLLO URBANO Y RURAL

[Firma]

**SUBGERENTE DE INFRAESTRUCTURA**  
**MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL**



## ANEXO 04: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

INSTRUMENTOS	FUENTE DE OBTENCIÓN
Fichas de registro de precipitaciones de lluvia, los cuales fueron adquiridos de la medición del pluviómetro de cada estación requerida,	<b>SENAMHI</b>
Registro de los movimientos de flujo de detritos ocurridos en el lugar de estudio. Estos datos de información serán: registros de movimientos de masa (deslizamientos, huaicos y derrumbes).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Consulta de emergencia o SINPAD antiguo del 2003 - 2018:</b> <a href="http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/Mapa.asp?Tipo=0&amp;Vista=">http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/mapa/Mapa.asp?Tipo=0&amp;Vista=</a></li> <li>- <b>Visor SINPAD actualizado (v2.0) del 2016 en adelante:</b> <a href="http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/portal.html">http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/portal.html</a> <a href="http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/listSinpadEnviadosPublic.html">http://sinpad2.indeci.gob.pe/sinpad2/faces/public/listSinpadEnviadosPublic.html</a></li> <li>- <b>DESINVENTAR:</b> <a href="https://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp">https://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp</a></li> </ul>
Planos de topografía: plano de planta y perfil longitudinal, plano de secciones transversales.	<b>Municipalidad Distrital de San Rafael</b>



<p>Ensayos de geotecnia de los datos de campo (in situ): extracción de la muestra de suelo de la quebrada Rosayoc/Batán.</p>	
<p>Dispositivos tecnológicos: La utilización de una computadora y un ordenador portátil para el uso de las herramientas y programas como SIG (Sistema de Información Geográfica), Flo-2D, entre otros; que nos ayudarán en análisis y procesamiento de los datos del de las imágenes satelitales de la quebrada Rosayoc/Batán.</p>	
<p>Recursos de oficina: lapiceros, lápices y cuaderno de notas para el registro de toda la información del proceso de observación directa realizado.</p>	

**ANEXO 05: CONSTANCIA DE SIMILITUD DE LA  
TESIS**



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD



**N°022-2023- DI/FICyA**

El director de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan de Huánuco

**HACE CONSTAR** que:

La Tesis titulada "UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTO DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYO/BATÁN -DISTRITO DE SAN RAFAEL -PROVINCIA DE AMBO-DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO,," del (os) Bachiller (s) en Ingeniería civil, **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES**, cuenta con un índice de similitud del 14 % verificable en el Reporte de Originalidad del software anti-plagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

Huánuco, 19 de junio del 2023



Dr. José Luis VILLAVICENCIO GUARDIA  
Director de Investigación FICyA



NOMBRE DEL TRABAJO

**BORRADOR\_DE\_TESIS\_SANTIAGO\_TORRES2.pdf**

AUTOR

**ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TO**

RECuento DE PALABRAS

**109724 Words**

RECuento DE CARACTERES

**544139 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**565 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**47.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jun 16, 2023 9:22 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jun 16, 2023 9:28 AM GMT-5**

### ● 14% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)
- Material citado

**ANEXO 06: ACTA DE DEFENSA DE TESIS**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 15 días del mes de junio de 2023, siendo las 10.30 am, se dará cumplimiento a la Resolución de Decano N°305-2023-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°416-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 06.MAY.2023 (Fijando fecha y hora de sustentación de tesis), en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación de Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto público **presencial** de tesis titulada: **UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO- DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO**, para optar el Título de Ingeniero Civil del Bachiller **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES**, reuniéndose en el Auditorio de la FICyA, el jurado examinador integrado por los Docentes: Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza PRESIDENTE – Mg. Ing. Edgar Grimaldo Matto Pablo, SECRETARIO – Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, VOCAL y el bachiller mencionado, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de tesis y obtener el **TÍTULO de INGENIERO CIVIL** de la carrera profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

Concluido el acto de defensa los miembros de jurado, procedió a la evaluación de los aspirantes al título profesional de Ingeniero Civil, obteniendo luego el resultado siguiente:

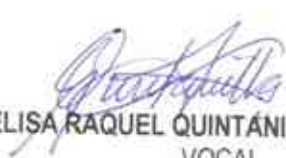
APELLIDOS Y NOMBRES	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
SANTIAGO TORRES ELIZABETH MILAGROS	APROBADO	15	BUENO

Calificación que se realizó de acuerdo al Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL - Título VII – Capítulo VI Art.78 Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán

Dándose por finalizado dicho acto a las: del mismo día 15/06/2023 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

  
**REYDER ALEXANDER LAMBRUSCHINI ESPINOZA**  
 PRESIDENTE

  
**EDGAR GRIMALDO MATTO PABLO**  
 SECRETARIO

  
**ELISA RAQUEL QUINTÁNILLA HERRERA**  
 VOCAL





## RESOLUCIÓN VIRTUAL N°416-2023-UNHEVAL-FICA-D

Cayhuayna, 06 junio 2023

**VISTO:** La solicitud virtual enviada por correo, de fecha 06.JUN.2023, del Bachiller de Ingeniería civil **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis

### CONSIDERANDO:

Que, con solicitud virtual enviada por correo, de fecha 06.JUN.2023 del Bachiller de Ingeniería civil **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis titulada: **UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO- DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO;**

Que, con Resolución Virtual N°305-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 16.MAY.2023, se designo la comisión de Revisar y Evaluar la Tesis a los docentes: PRESIDENTE. Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza, SECRETARIO: Mg. Ing. Edgar Grimaldo Matto Pablo, VOCAL: Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, ACCESITARIO: Mg Ing. Julio Antonio Vargas Campos, como jurados revisores de Tesis del Bachiller de Ingeniería Civil **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES;**

Que, con con INFORME N°009-2023-UNHEVAL-FICMNG.RALE del Mg. Ing. Reyder Alexander Lambruschini Espinoza, INFORME N°060-2023-HCO.EGMP-FICND,del Mg. Ing. Edgar Grimaldo Matto Pablo, Carta N° 40-2022-JD-ERQH del Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, dan la conformidad a la tesis Titulado: **UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL – PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO,** del Bachilleres en Ingeniería Civil **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES;**

Que, mediante Resolución Consejo Universitario N° 3412 – 2022 – UNHEVAL, de fecha 24 de octubre del 2022 en el Capítulo IV – Título III – Tesis – Art. 44\* Una vez que los miembros de Jurado de Tesis informen al Decano acerca de la suficiencia del trabajo de tesis para su sustentación, el interesado presentará una solicitud dirigida al Decano pidiendo se fije lugar, fecha y hora para el acto de sustentación...;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano por Ley Universitaria N° 30220 y por el Estatuto de la UNHEVAL;

### SE RESUELVE:

- 1° **SEÑALAR** Fecha y hora para la sustentación Presencial de la tesis titulada: **UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL – PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO,** de la Bachiller de Ingeniería civil **ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES,** para el **jueves 15 junio 2023 a horas 10.30 am,** en modalidad Presencial, en el Auditorio de la FICyA por los considerandos anotados.

Regístrese, comuníquese y archívese.

  
  
Dr. Víctor Manuel Golcochea Vargas  
DECANO

**ANEXO 07: AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN  
DIGITAL Y D.J. DEL TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**



## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

### 1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	<input checked="" type="checkbox"/>	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado	
----------	-------------------------------------	----------------------	--	-----------	----------	--	-----------	--

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	
Nombre del programa	
Título que Otorga	

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	
Grado que otorga	

### 2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los datos requeridos completos)

Apellidos y Nombres:	SANTIAGO TORRES, ELIZABETH MILAGROS	ORCID ID:	<a href="https://orcid.org/0009-0002-6478-9816">https://orcid.org/0009-0002-6478-9816</a>
Tipo de Documento:	DNI <input checked="" type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de Celular:	938113326
Nro. de Documento:	74023242	Correo Electrónico:	emist2694@gmail.com

Apellidos y Nombres:		ORCID ID:	
Tipo de Documento:	DNI <input type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:		Correo Electrónico:	

Apellidos y Nombres:		ORCID ID:	
Tipo de Documento:	DNI <input type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de Celular:	
Nro. de Documento:		Correo Electrónico:	

### 3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los datos requeridos completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
Apellidos y Nombres:	PAUCAR Y MONTENEGRO, CLIFTON	ORCID ID:	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4423-8083">https://orcid.org/0000-0002-4423-8083</a>	
Tipo de Documento:	DNI <input checked="" type="checkbox"/> Pasaporte <input type="checkbox"/> C.E. <input type="checkbox"/>	Nro. de documento:	22461007	

### 4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los Apellidos y Nombres completos según DNI, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	LAMBRUSCHINI ESPINOZA, REYDER ALEXANDER
Secretario:	MATTO PABLO, EDGAR GRIMALDO
Vocal:	QUINTANILLA HERRERA, ELISA RAQUEL
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	VARGAS CAMPOS, JULIO ANTONIO

**5. Declaración Jurada:** (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

<b>a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado:</b> (Ingrese el título tal y como está registrado en el <b>Acta de Sustentación</b> )
UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO
<b>b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de:</b> (tal y como está registrado en <b>SUNEDU</b> )
<b>TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL</b>
<b>c)</b> El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
<b>d)</b> El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
<b>e)</b> El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
<b>f)</b> Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
<b>g)</b> Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
<b>h)</b> Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.



**6. Datos del Documento Digital a Publicar:** (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

<b>Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación:</b> (Verifique la Información en el <b>Acta de Sustentación</b> )			2023
<b>Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional:</b> (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis <input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo	Tesis Formato Patente de Invención
	Trabajo de Investigación	Trabajo de Suficiencia Profesional	Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos
	Trabajo Académico	Otros (especifique modalidad)	
<b>Palabras Clave:</b> (solo se requieren 3 palabras)	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE UMBRALES DE LLUVIA	FLUJO DE ESCOMBROS	LLUVIA ACUMULADA ANTECEDENTE
<b>Tipo de Acceso:</b> (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto <input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*) <input checked="" type="checkbox"/>	ANEXOS
	Con Periodo de Embargo (*)	Fecha de Fin de Embargo:	
<b>¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora?</b> (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):			SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Información de la Agencia Patrocinadora:</b>			

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

### 7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente, Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	SANTIAGO TORRES, ELIZABETH MILAGROS	Huella Digital
DNI:	74023242	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha:	19/06/2023	

### Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una X en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibri**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.

**ANEXO 08: FICHAS DE REGISTRO DE  
PRECIPITACIONES DIARIAS – SENAMHI**



### DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA ANUAL	LONGITUD:	76° 10' 35.47" W	PROVINCIA:	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO:	SAN RAFAEL

AÑO - 1994

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SETIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	3.80	30.80	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	4.40	20.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	0.00
3	0.00	9.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	23.20	23.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	9.00
5	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00
6	1.40	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	2.00
7	0.00	15.00	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	2.50	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	3.50	38.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00
10	2.50	5.20	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00
11	2.50	1.50	2.50	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.00
12	1.20	1.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.80
13	7.40	13.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.80	0.00	5.70
14	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.70	0.00	0.00
15	7.30	18.80	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	3.40	0.00
16	3.50	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	12.30	0.00	19.20	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	0.00
19	1.40	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
20	8.30	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00
21	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00	0.00	0.00
22	0.00	6.00	5.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40	0.00	0.00	10.20
23	7.00	2.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	8.50	0.00	31.20
24	1.20	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	0.00	0.00
25	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	6.50
26	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	2.40	0.00	0.00
27	0.00	4.10	1.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	0.00
28	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	0.00
29	2.10		0.00	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	2.40	0.00	0.00
30	0.00		1.50	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	14.50
31	1.50		0.00		0.80		0.00	0.00		0.00		8.50
<b>TOTAL</b>	<b>105.40</b>	<b>198.10</b>	<b>71.20</b>	<b>43.50</b>	<b>6.20</b>	<b>0.80</b>	<b>0.00</b>	<b>2.10</b>	<b>24.20</b>	<b>64.20</b>	<b>57.60</b>	<b>100.40</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>23.20</b>	<b>38.50</b>	<b>20.10</b>	<b>12.80</b>	<b>5.40</b>	<b>0.80</b>	<b>0.00</b>	<b>2.10</b>	<b>11.00</b>	<b>15.80</b>	<b>9.40</b>	<b>31.20</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.40</b>	<b>7.08</b>	<b>2.30</b>	<b>1.45</b>	<b>0.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.81</b>	<b>2.07</b>	<b>1.92</b>	<b>3.24</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota**, datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 13' 45.27" S	DEPARTAMENTO:	HUANUCO
PARAMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 16' 35.47" W	PROVINCIA:	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO:	SAN RAFAEL

AÑO - 1998

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SEPTIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.40	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	2.20
3	0.00	5.50	0.40	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00
4	0.00	1.20	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	12.20
5	6.00	0.00	0.50	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00
6	9.20	22.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	9.20
7	19.70	16.60	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	17.20
8	1.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.20
9	12.50	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.00	7.20	4.40	2.70
10	0.30	4.50	7.80	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60
11	0.00	8.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	1.90	7.50
12	0.00	0.00	22.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	2.00
13	4.90	0.00	15.60	7.20	2.20	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	7.10	4.60
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	5.00	2.30
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40	5.60
16	0.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00
17	0.00	27.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
18	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00
19	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	0.00	0.00	4.60
20	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	17.70	3.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.30	0.00	1.70	6.80	0.00
22	7.80	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	16.20
23	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	29.40	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	0.00	5.60
25	15.50	12.00	12.00	1.80	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	6.00	0.00	0.00
26	0.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
27	6.30	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	3.40	27.50	1.60	0.00	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	7.70	0.00
29	0.00		1.50	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00
30	0.50		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	2.70
31	0.00		0.00		0.00		0.00	0.00		19.80		0.00
<b>TOTAL</b>	<b>143.40</b>	<b>164.20</b>	<b>79.70</b>	<b>29.50</b>	<b>6.60</b>	<b>12.50</b>	<b>0.00</b>	<b>7.60</b>	<b>10.70</b>	<b>72.10</b>	<b>90.40</b>	<b>129.20</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>29.40</b>	<b>27.50</b>	<b>22.50</b>	<b>7.20</b>	<b>4.40</b>	<b>7.80</b>	<b>0.00</b>	<b>5.10</b>	<b>6.20</b>	<b>19.80</b>	<b>19.00</b>	<b>24.60</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.63</b>	<b>5.86</b>	<b>2.57</b>	<b>0.98</b>	<b>0.21</b>	<b>0.42</b>	<b>0.00</b>	<b>0.25</b>	<b>0.36</b>	<b>2.33</b>	<b>3.01</b>	<b>4.17</b>
<b>MINIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota,** datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACION:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO	HUANUCO
PARAMETRO:	PRECIPITACION MAXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 10' 35.47" W	PROVINCIA	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACION PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO	SAN RAFAEL

AÑO - 1999

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SETIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	10.20	9.00	3.90	5.40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	0.00
2	0.00	2.90	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	1.20	0.00	0.00
3	0.00	3.10	12.20	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	0.00	0.00
4	0.00	21.00	0.00	0.00	0.00	9.70	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	0.00
5	0.00	16.20	2.90	3.90	0.00	0.00	2.00	0.00	12.60	0.00	17.60	2.20
6	2.60	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
7	11.70	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50
8	17.30	12.60	12.10	0.60	0.00	0.00	0.00	12.80	0.00	0.00	0.00	0.00
9	4.60	2.20	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00	6.70	0.00
10	2.60	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	11.20	0.00
11	7.90	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	8.60	0.00	3.20	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80
13	3.20	1.70	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.40
14	0.80	10.70	5.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.70
15	1.40	3.20	21.60	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00
16	0.00	6.40	12.90	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00
17	0.00	4.00	18.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	0.00	0.00
18	0.00	9.60	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	9.60	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	2.50	0.00	0.00
20	0.00	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	9.80	0.00
21	1.80	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.70
22	3.50	0.90	0.00	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
23	1.30	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.80	0.00
24	5.20	16.20	1.50	0.00	7.90	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	3.60	0.00	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	14.30	1.50	0.00	0.00
26	0.80	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	4.80	1.60	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00
28	12.90	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	19.20	0.00
29	6.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	5.00	0.00	0.00
30	13.80		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00		10.40		0.00		0.00	0.00		0.00		0.00
<b>TOTAL</b>	<b>129.40</b>	<b>160.10</b>	<b>115.10</b>	<b>42.80</b>	<b>11.71</b>	<b>10.90</b>	<b>4.40</b>	<b>13.20</b>	<b>64.40</b>	<b>24.00</b>	<b>75.00</b>	<b>63.10</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>17.30</b>	<b>21.00</b>	<b>21.60</b>	<b>9.00</b>	<b>7.90</b>	<b>9.70</b>	<b>2.40</b>	<b>12.80</b>	<b>14.30</b>	<b>6.60</b>	<b>19.20</b>	<b>14.70</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.17</b>	<b>5.72</b>	<b>3.71</b>	<b>1.43</b>	<b>0.38</b>	<b>0.36</b>	<b>0.14</b>	<b>0.43</b>	<b>2.15</b>	<b>0.77</b>	<b>2.50</b>	<b>2.04</b>
<b>MINIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota,** datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 10' 35.47" W	PROVINCIA:	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO:	SAN RAFAEL

### AÑO - 2006

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SEPTIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	0.00	2.60	4.20	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1.20	5.20	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.40	0.00
3	4.60	0.00	0.30	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	8.30	0.00
4	0.00	1.90	11.70	3.20	0.00	5.30	0.00	0.00	0.00	3.40	0.00	3.40
5	13.90	1.40	0.90	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.80
6	5.10	0.20	0.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	3.50	2.50
7	0.00	0.30	1.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	19.50	4.10
8	0.00	13.70	5.60	6.00	0.00	0.00	0.00	5.80	0.00	0.00	4.50	0.20
9	0.00	0.00	3.90	1.30	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	4.40	4.10	7.40
10	2.30	10.10	0.30	2.90	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	4.10	0.30
11	7.60	2.10	0.00	2.10	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.50	6.80	0.00
12	0.00	2.70	0.20	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40	0.00	1.50
13	8.40	0.20	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00
14	8.60	0.00	1.70	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	2.90	0.00	2.60	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
16	1.20	0.00	12.70	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	16.30	0.00	0.00	0.00
17	8.80	0.00	4.10	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	2.60	7.70
18	3.30	0.10	12.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.90	3.70
19	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.90
20	0.00	3.60	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	4.30	0.00	15.70
21	3.30	0.80	7.90	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.40	4.40	0.00	14.80
22	8.10	0.00	1.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
23	2.60	0.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
24	0.90	0.00	3.10	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00
25	6.90	3.80	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	12.70
26	10.20	13.60	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.80	7.00
27	1.80	7.90	0.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80	0.50	0.90
28	3.60	2.50	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.50	3.30	5.60	2.30
29	7.80		2.60	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	28.80	0.80
30	0.00		5.50	0.00	0.00	0.00	5.60	1.10	0.00	16.50	0.00	2.50
31	0.10		1.00		0.60		0.20	0.00		4.30		6.30
<b>TOTAL</b>	<b>112.00</b>	<b>68.70</b>	<b>104.60</b>	<b>54.20</b>	<b>0.90</b>	<b>9.70</b>	<b>5.80</b>	<b>9.80</b>	<b>22.10</b>	<b>64.30</b>	<b>97.90</b>	<b>96.90</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>13.90</b>	<b>13.70</b>	<b>12.70</b>	<b>9.00</b>	<b>0.60</b>	<b>5.30</b>	<b>5.60</b>	<b>5.80</b>	<b>16.30</b>	<b>16.50</b>	<b>28.80</b>	<b>15.70</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.61</b>	<b>2.45</b>	<b>3.37</b>	<b>1.81</b>	<b>0.00</b>	<b>0.32</b>	<b>0.19</b>	<b>0.32</b>	<b>0.74</b>	<b>2.07</b>	<b>3.26</b>	<b>3.13</b>
<b>MINIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota,** datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO:	HUÁNUCO
PARAMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	78° 10' 35.47" W	PROVINCIA:	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 mnm	DISTRITO:	SAN RAFAEL

## AÑO - 2010

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SETIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	6.40	2.70	0.20	17.30	17.50	0.00	0.00	0.00	0.80	0.60	3.10	3.90
2	0.40	0.80	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	4.70	0.70
3	0.30	0.90	2.80	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	8.00	10.50
4	3.30	11.70	0.80	20.80	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00
5	0.60	15.30	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.70	0.00	3.80
6	2.00	14.70	4.10	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.30	0.40	0.10
7	0.20	0.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
8	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.20
9	17.20	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90
10	13.40	2.20	0.00	0.00	3.80	0.00	7.70	0.00	0.00	1.00	0.00	1.10
11	0.00	3.60	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.40	11.10
12	0.00	0.40	8.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	2.00
13	7.10	0.40	20.90	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	0.00	0.60	0.40
14	10.30	0.80	1.60	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	1.60	1.20
15	0.90	14.60	11.60	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
16	0.10	1.30	0.10	1.30	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00
17	7.60	1.80	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	2.00	2.80
18	2.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	3.50	3.80	6.80
19	1.80	0.00	0.90	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.40	4.70
20	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	6.00
21	5.70	3.60	4.50	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	11.80	0.60	3.10
22	4.60	19.80	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2.00	2.10
23	5.40	2.50	19.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	7.80
24	10.90	0.80	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.90	0.00	10.70
25	25.10	12.20	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.40	9.00	0.50
26	0.60	7.10	0.00	6.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.70	8.00
27	0.00	6.90	0.50	5.30	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
28	0.00	7.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.60
29	2.60		3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00
30	0.00		0.10	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	16.00
31	0.00		15.20		0.00		0.00	5.40		9.50		3.40
<b>TOTAL</b>	<b>134.90</b>	<b>133.60</b>	<b>111.10</b>	<b>78.30</b>	<b>24.90</b>	<b>5.20</b>	<b>10.60</b>	<b>5.40</b>	<b>9.90</b>	<b>43.90</b>	<b>43.00</b>	<b>134.20</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>25.10</b>	<b>19.80</b>	<b>20.90</b>	<b>20.80</b>	<b>17.50</b>	<b>4.40</b>	<b>7.70</b>	<b>5.40</b>	<b>3.90</b>	<b>11.80</b>	<b>9.00</b>	<b>23.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.35</b>	<b>4.77</b>	<b>3.58</b>	<b>2.61</b>	<b>0.80</b>	<b>0.17</b>	<b>0.34</b>	<b>0.17</b>	<b>0.33</b>	<b>1.42</b>	<b>1.43</b>	<b>4.33</b>
<b>MINIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota,** datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS (mm)-DIARIA-MENSUAL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO:	HUANUCO
PARAMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 10' 35.47" W	PROVINCIA:	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO:	SAN RAFAEL

### AÑO - 2011

DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	FEBRERO 28	MARZO 31	ABRIL 30	MAYO 31	JUNIO 30	JULIO 31	AGOSTO 31	SEPTIEMBRE 30	OCTUBRE 31	NOVIEMBRE 30	DICIEMBRE 31
1	0.00	1.90	4.50	0.40	2.60	0.00	0.00	0.00	0.30	20.10	0.00	4.40
2	16.40	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.20
3	7.10	4.00	4.20	4.40	0.00	0.20	0.20	4.50	0.00	2.60	7.70	0.00
4	10.20	0.20	3.30	0.70	0.00	0.00	1.40	0.20	0.00	4.90	0.00	0.00
5	3.70	4.90	1.00	13.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00
6	0.30	3.40	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	1.20	1.40
7	0.90	11.80	8.20	21.80	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	3.80
8	0.60	1.50	8.00	1.80	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90
9	0.00	1.40	3.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.90	0.00	2.70
10	1.00	18.20	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	16.10
11	1.90	10.50	0.00	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.30	1.70	1.10	0.80
12	7.10	5.50	0.30	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	6.10
13	13.70	4.60	8.30	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40
14	1.80	0.70	0.70	1.10	14.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70
15	0.00	1.80	6.80	0.00	5.90	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00	7.20
16	0.10	0.00	1.90	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	0.00	6.30	0.30
17	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	3.70	9.50
18	0.00	0.90	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	8.90
19	0.30	14.20	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	10.20
20	0.90	0.30	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.90	4.00
21	6.10	5.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.10	1.10	1.20	9.10
22	15.80	4.80	0.70	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	3.60	12.40
23	3.40	3.30	10.40	1.30	0.00	0.80	0.00	0.00	4.30	0.60	2.00	2.20
24	2.50	6.80	4.10	0.90	0.10	0.00	0.00	0.00	10.30	1.50	0.00	0.10
25	1.80	5.50	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.20	13.90
26	1.20	0.30	9.20	0.20	2.10	0.00	0.00	0.00	0.30	1.70	3.30	0.10
27	13.30	0.10	4.10	0.90	2.30	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	2.40
28	1.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	7.30
29	6.50		3.30	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	0.90	8.10
30	3.40		5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.20	0.50
31	4.70		0.40		0.00		0.00	0.50		0.00		2.60
<b>TOTAL</b>	<b>125.70</b>	<b>116.70</b>	<b>99.30</b>	<b>53.40</b>	<b>33.70</b>	<b>1.00</b>	<b>1.60</b>	<b>5.20</b>	<b>32.40</b>	<b>66.20</b>	<b>49.40</b>	<b>157.30</b>
<b>MAXIMO</b>	<b>16.40</b>	<b>18.20</b>	<b>10.40</b>	<b>21.80</b>	<b>14.40</b>	<b>0.80</b>	<b>1.40</b>	<b>4.50</b>	<b>10.30</b>	<b>20.10</b>	<b>12.20</b>	<b>16.10</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.05</b>	<b>4.17</b>	<b>3.20</b>	<b>1.78</b>	<b>1.09</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.17</b>	<b>1.08</b>	<b>2.14</b>	<b>1.65</b>	<b>5.07</b>
<b>MINIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

**Nota,** datos descargados de la página web del SENAMHI. Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.

**ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL**

LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.

DPTO.: Huánuco  
PROV.: Ambo  
DIST.: San Rafael

Periodo : **2013**

PARÁMETRO: Precipitación Total Diaria (mm).

DÍA	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
'01	0.7	6.7	3.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	4.6
'02	4.8	0.0	2.3	0.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.9
'03	2.4	2.1	2.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.9	4.5
'04	2.1	2.6	15.5	1.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.1	9.1	19.1
'05	2.5	0.4	0.2	2.6	0.9	0.0	1.2	0.0	0.0	3.6	27.0	2.8
'06	0.0	2.3	2.8	12.2	0.5	1.9	3.1	0.0	0.0	3.0	0.3	3.7
'07	3.0	6.1	15.9	11.3	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	1.2
'08	0.8	5.1	0.5	11.2	0.0	0.3	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	1.7
'09	1.4	24.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
'10	0.1	2.9	3.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	1.4
'11	6.8	16.4	0.7	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	0.6	2.3
'12	0.8	0.9	6.0	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.8	8.5	3.0
'13	3.7	2.9	10.0	4.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	4.0	17.2
'14	5.1	4.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	24.6	0.0	0.1
'15	0.0	0.9	3.1	1.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9	0.9	12.8
'16	12.3	0.8	15.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
'17	0.6	4.1	4.0	2.7	2.2	0.0	0.8	0.0	0.0	2.2	0.3	0.9
'18	0.0	8.9	0.8	8.8	0.6	9.9	0.6	0.0	6.6	0.0	1.7	0.0
'19	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	11.6	12.7	2.5
'20	0.0	5.9	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	10.4
'21	10.5	1.5	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.6	41.1
'22	5.5	2.1	2.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	36.8
'23	2.1	0.9	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.9	9.1	0.5	0.6	2.9
'24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.9	0.0	10.6	1.2	0.0
'25	3.2	3.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	0.0	9.2	0.0	2.5
'26	0.0	10.3	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.6	0.0	0.0
'27	0.0	7.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.5	0.0	0.0
'28	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	9.7	1.0	0.1
'29	15.6	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
'30	0.4	-	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.6	0.7
'31	9.6	-	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-	1.1	-	2.4
<b>TOTAL</b>	<b>94.0</b>	<b>135.9</b>	<b>123.1</b>	<b>71.4</b>	<b>11.9</b>	<b>16.9</b>	<b>7.5</b>	<b>39.4</b>	<b>24.5</b>	<b>104.3</b>	<b>96.5</b>	<b>175.6</b>

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 181-2021-DZ10

PRESUPUESTO N° 2021-00004286

HUÁNUCO, 20 DE JULIO DEL 2021.

**INFORMACIÓN PREPARADA PARA : TESISISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**

**\* UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO\***

**OBRA:**



Firma Digital  
Firmado digitalmente por VERA AREVALO Hector Alberto FAU 20191369028 hars  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 20.07.2021 17:43:50 -05:00

Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo  
Director Zonal 10

Prog. Apto M23 A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.  
TEL: 062 - 512070 RPN #95889144 RPC 98256931  
LINK: <http://huánuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)







PERU

Ministerio  
del AmbienteBICENTENARIO  
PERU 20212018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".  
"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ : 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL

LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.DPTO.: Huánuco  
PROV.: Ambo  
DIST.: San Rafael  
Periodo : 2016

PARÁMETRO: Precipitación Total Diaria (mm).

DÍA	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
'01	3.7	5.1	0.7	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.9
'02	0.0	7.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0
'03	0.1	7.8	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	4.6	5.2
'04	0.9	4.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	0.1
'05	1.9	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	1.2	0.0	0.9
'06	0.1	9.3	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	0.4
'07	1.3	12.0	12.5	2.9	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0	2.8	28.2
'08	0.9	0.0	0.1	18.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0	10.7	3.6
'09	0.0	1.2	5.2	7.1	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0	0.8	13.6
'10	0.0	3.0	7.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	10.6	0.0	0.2
'11	1.1	0.9	5.6	21.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.9
'12	0.0	4.3	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
'13	0.0	0.1	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	4.0	0.0
'14	0.3	1.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.5
'15	0.0	6.9	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	0.0	9.8
'16	8.5	2.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0
'17	0.0	4.7	0.0	1.4	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	9.9	0.0
'18	0.2	0.2	3.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	1.8	4.7
'19	5.4	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.1	0.0	0.1
'20	2.5	9.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	1.3
'21	0.0	1.4	0.0	3.2	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	3.9
'22	0.0	5.1	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
'23	0.0	3.4	0.0	1.3	0.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
'24	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
'25	2.8	5.8	7.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8	13.1	3.7	0.0
'26	0.0	6.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	1.8	10.7
'27	0.3	20.5	1.6	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.4
'28	6.8	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	3.0	19.6
'29	3.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	7.2
'30	5.1	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	10.4	0.5
'31	4.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	0.0	-	0.0	-	8.8
TOTAL	49.6	148.5	63.9	61.9	16.4	1.5	2.2	2.2	9.4	75.2	53.9	122.6

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 181-2021-DZ10

PRESUPUESTO N° 2021-00004286

HUÁNUCO, 20 DE JULIO DEL 2021.

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.****OBRA:** \* UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO\*

Firma Digital

Firmado digitalmente por VERA  
AREVALO Hector Alberto FAU  
20131366028 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 20.07.2021 17:44:38 -05:00Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo.  
Director Zonal 10Prog. Abto M23 A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.  
Tel: 042-512070 RPM 895899144 RPC 982569931  
Link: <http://huancayo.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)



ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL

LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.

DPTO.: Huánuco  
PROV.: Ambo  
DIST.: San Rafael  
Periodo : '2017

PARÁMETRO: Precipitación Total Diaria (mm).

DÍA	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
'01	0.7	0.0	7.4	0.1	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
'02	0.0	1.6	6.7	0.8	1.3	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	14.2
'03	0.8	1.0	1.1	3.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
'04	6.4	0.0	1.2	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.1	0.9
'05	2.1	0.6	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2
'06	8.0	7.6	4.2	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	4.4
'07	2.1	7.0	10.1	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	2.6
'08	0.7	8.1	1.6	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
'09	6.3	2.2	20.8	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	2.2	0.0	1.1	1.4
'10	0.7	0.1	0.5	2.1	5.2	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	4.6	0.6
'11	10.1	0.5	0.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	19.7	0.2
'12	2.6	4.9	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
'13	7.5	10.2	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
'14	15.0	1.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	11.5	2.5	0.0
'15	7.7	0.0	4.1	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.5	5.9
'16	6.1	9.1	1.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.9
'17	3.8	1.9	0.6	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	16.6
'18	0.0	0.3	6.1	4.4	0.9	0.0	0.0	7.0	0.2	0.0	1.3	28.6
'19	3.8	2.9	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
'20	1.2	0.1	0.2	0.5	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	4.6
'21	1.5	2.2	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0
'22	5.1	0.5	2.9	2.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	11.1
'23	1.0	3.2	1.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	4.1	0.0	1.5
'24	11.6	4.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	9.7	3.2	0.1	5.1
'25	0.8	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	5.5	0.0	0.8
'26	2.5	4.1	19.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.4	0.0	8.3
'27	1.5	2.5	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	3.2	3.9	8.0
'28	0.0	0.0	0.4	1.2	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	6.9
'29	0.0	-	6.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	9.0	1.7	7.3
'30	0.0	-	7.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.2	0.7
'31	0.0	-	6.3	-	0.0	-	0.0	0.3	-	0.0	-	8.6
<b>TOTAL</b>	<b>109.6</b>	<b>104.8</b>	<b>139.5</b>	<b>36.9</b>	<b>45.2</b>	<b>1.3</b>	<b>14.0</b>	<b>8.6</b>	<b>45.4</b>	<b>62.3</b>	<b>54.9</b>	<b>149.6</b>

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS.

COD. REG. N° 181-2021-DZ10

PRESUPUESTO N° 2021-00004286

HUÁNUCO, 20 DE JULIO DEL 2021.

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**

" UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"

Firma Digital



Firmado digitalmente por VERA AREVALO Hector Alberto FAU  
20131360026 hard  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 20.07.2021 17:45:10 -05:00

Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo  
Director Zonal 10  
SENAMHI

Prog. A030 M23 A Lit 4 - Huánuco, Huánuco.  
Tel.: 042 - 812073 RPM: 495589144 RPC 982569931  
Link: <http://huatucos.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)





**ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL**

 LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
 LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
 ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.

 DPTO.: Huánuco  
 PROV.: Ambo  
 DIST.: San Rafael  
 Periodo: '2018

**PARÁMETRO: Precipitación Total Diaria (mm).**

DÍA	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
'01	0.0	0.0	1.9	0.9	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	2.5	0.4	0.0
'02	0.0	0.0	13.5	1.5	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	4.4	2.2	0.0
'03	0.9	0.0	2.2	22.2	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
'04	30.2	0.2	0.1	1.0	0.8	0.6	0.0	0.0	0.0	5.3	7.3	0.1
'05	17.8	4.8	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.3	7.2
'06	3.7	0.0	10.8	0.2	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0	3.4
'07	7.3	0.1	0.0	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
'08	2.9	19.2	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.8	0.3	0.8
'09	0.0	4.0	1.2	6.6	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
'10	0.8	4.1	4.9	0.3	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
'11	2.2	0.0	1.6	0.1	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	29.8	1.2	0.0
'12	0.0	0.0	0.0	21.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0
'13	6.7	5.6	4.9	7.7	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.2
'14	10.3	4.9	21.2	2.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5.9	0.1	9.3
'15	6.6	2.9	18.6	0.2	0.0	0.3	0.0	0.8	2.1	0.6	0.8	6.1
'16	7.8	0.0	13.9	0.0	0.2	2.8	0.0	0.0	0.0	4.1	0.7	3.2
'17	5.2	1.0	30.2	0.0	9.9	0.2	2.2	0.0	17.2	0.8	10.5	0.0
'18	0.8	9.7	0.9	0.0	3.2	0.9	1.6	0.0	0.2	2.4	0.0	3.3
'19	3.7	5.2	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	7.5	3.8
'20	2.4	26.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	5.8	3.7	15.5
'21	1.6	0.1	0.6	0.3	0.0	0.0	3.5	0.5	0.0	2.9	1.7	5.6
'22	3.2	18.5	0.7	3.5	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	1.4	6.8	0.0
'23	4.6	1.2	5.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.7	3.9	0.0
'24	0.0	1.5	2.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.2	0.3
'25	0.1	5.4	4.1	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	27.4	0.0
'26	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	4.2	5.5	0.5
'27	0.0	0.1	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.8	0.0	0.0
'28	0.0	10.0	8.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	18.2
'29	0.0	-	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
'30	0.0	-	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0
'31	0.0	-	2.5	-	0.0	-	0.0	0.0	-	3.4	-	0.2
<b>TOTAL</b>	<b>118.8</b>	<b>124.5</b>	<b>162.0</b>	<b>81.3</b>	<b>20.4</b>	<b>20.5</b>	<b>15.8</b>	<b>12.8</b>	<b>22.5</b>	<b>124.8</b>	<b>87.2</b>	<b>83.6</b>

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 181-2021-DZ10

PRESUPUESTO N° 2021-00004286

HUÁNUCO, 20 DE JULIO DEL 2021.

**INFORMACIÓN PREPARADA PARA : TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**
**\* UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO\***
**OBRA:**

 Firmado digitalmente por VERA  
 AREVALO Hector Alberto FAU  
 20131366028 hard  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 20.07.2021 17:45:34 -05:00

 Ing. Héctor Alberto Vera Arevalo.  
 Director Zonal 10

 Proq. Abtao Mza A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.  
 Tel: 062 - 512070 RPA: #955899144 RPC 882569931  
 LPA: <http://huancuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)


**ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL**

 LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
 LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
 ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.

 DPTO.: Huánuco  
 PROV.: Ambo  
 DIST.: San Rafael  
 Periodo : **2019**
**PARÁMETRO: Precipitación Total Diaria (mm).**

DÍA	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
'01	0.0	0.0	1.2	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	1.5	2.0
'02	0.0	2.4	0.1	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.3	14.7
'03	0.0	6.5	4.8	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
'04	6.2	1.8	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	11.2
'05	0.1	2.8	4.8	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.5
'06	1.6	6.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.9	0.3	7.6
'07	1.0	20.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	5.7	3.2
'08	8.2	23.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.5	2.5
'09	0.0	1.4	6.5	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4
'10	10.1	11.0	13.5	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	3.7
'11	12.3	11.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	1.8
'12	0.9	6.2	29.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	7.0
'13	3.7	1.0	9.9	21.0	8.2	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	22.9
'14	17.4	0.0	13.8	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
'15	1.8	0.1	8.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3
'16	3.8	2.6	0.2	0.1	0.0	2.6	0.9	0.0	0.0	2.0	0.9	3.0
'17	0.6	0.2	1.0	0.7	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	17.9	0.1	8.4
'18	14.2	2.5	1.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	4.6	12.3
'19	1.0	5.1	3.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	5.1	12.2	0.0	2.3
'20	0.1	0.1	9.3	0.4	0.0	0.0	0.3	0.7	4.5	2.9	0.2	4.9
'21	10.9	0.0	10.6	1.7	0.0	0.0	0.0	0.1	3.7	0.2	0.0	5.9
'22	5.6	0.0	3.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	2.2	2.6
'23	13.4	0.7	4.9	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	4.8	15.9
'24	1.0	0.0	7.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	4.7
'25	8.0	7.1	8.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
'26	0.1	6.1	9.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
'27	4.7	1.7	9.0	0.7	0.0	0.3	2.5	0.0	0.8	0.9	0.0	0.6
'28	4.9	2.8	0.5	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	7.5
'29	16.5	-	0.1	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	4.4
'30	3.7	-	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.7	1.4	0.2
'31	10.5	-	0.2	-	0.0	-	0.0	0.0	-	0.6	-	7.0
<b>TOTAL</b>	<b>162.3</b>	<b>123.9</b>	<b>167.0</b>	<b>76.0</b>	<b>23.1</b>	<b>4.8</b>	<b>6.8</b>	<b>0.8</b>	<b>26.7</b>	<b>62.3</b>	<b>46.2</b>	<b>171.9</b>

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23580 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 181-2021-DZ10

PRESUPUESTO N° 2021-00004286

HUÁNUCO, 20 DE JULIO DEL 2021.

**INFORMACIÓN PREPARADA PARA : TESISISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**
**\* UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO\***
**OBRA:**

 Firma Digital  
 Firmado digitalmente por VIERA  
 AREVALO Hector Alberto FAU  
 20131366028 hard  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 20.07.2021 17:45:52 -05:00

 Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo.  
 Director Zona 10  
 SENAMHI

 Proig. Avda Mza A Lte 4 - Huánuco, Huánuco.  
 Tel.: 062 - 512070 RPM #925899144 RPC 982589931  
 Link: <http://huancuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)


**ANEXO 09: FICHAS DE REGISTRO DE  
PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS -  
SENAMHI**





PERU

Ministerio  
del Ambiente2015 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".  
"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL

LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.DPTO.: Huánuco  
PROV.: Ambo  
DIST.: San Rafael

PARÁMETRO: Precipitación Máxima 24 Horas (mm).

Periodo: 1995 - 2010.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 1995	25.5	30.0	36.8	16.0	18.5	13.0	1.5	3.5	18.0	22.0	26.3	31.7
2 1996	18.0	17.4	22.8	22.2	8.0	8.0	0.9	3.7	21.1	3.5	19.5	18.0
3 1997	13.0	18.8	10.2	12.2	4.5	0.0	0.0	7.0	8.7	22.4	14.3	56.7
4 1998	29.4	27.5	22.5	7.2	4.4	7.8	0.0	5.1	6.2	19.8	19.0	24.6
5 1999	17.3	21.0	21.6	9.0	7.9	9.7	2.4	12.8	14.3	6.8	19.2	14.7
6 2000	15.9	19.8	20.7	12.8	2.9	14.5	3.5	12.3	12.2	9.4	5.9	25.1
7 2001	24.4	18.8	17.6	16.0	5.1	5.6	5.3	7.9	9.2	16.2	41.8	26.1
8 2002	10.2	16.0	20.2	9.6	11.4	2.7	17.6	0.7	7.0	29.9	12.0	25.0
9 2003	7.5	8.6	15.2	52.9	1.9	7.2	0.0	22.8	9.4	6.7	27.3	18.6
10 2004	29.8	16.3	20.2	10.8	15.0	8.0	3.0	4.3	27.4	22.8	24.1	41.9
11 2005	9.9	32.0	25.9	15.5	1.3	0.0	1.9	9.3	10.6	13.0	16.1	10.1
12 2006	13.9	13.7	12.7	9.0	0.6	5.3	5.6	5.8	16.3	16.5	28.8	15.7
13 2007	22.5	11.1	25.8	6.8	6.8	0.7	31.9	3.5	12.0	17.1	12.0	22.6
14 2008	17.0	28.2	8.6	6.1	6.3	6.1	1.2	1.8	42.1	15.3	24.5	17.6
15 2009	16.1	17.6	25.5	14.7	14.7	3.6	7.1	4.9	9.3	12.7	16.3	22.9
16 2010	25.1	19.8	20.9	20.8	17.5	4.4	7.7	5.4	3.9	11.8	9.0	23.0

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 00029-2021-0210

PRESUPUESTO N° 0000020210000476

HUÁNUCO, 09 DE FEBRERO DEL 2021.

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.

OBRA: " UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"

Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo.  
Director Zonal 10  
SENAMHIProje. Albo Nra A Lte 4 - Huánuco, Huánuco  
Td.: 062-512070 RPM #95899144 RPC 98259931  
Link: <http://huancuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)



PERU

Ministerio del Ambiente



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".  
"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA "

ESTACIÓN: CO SAN RAFAEL.

LATITUD: 10° 19' 45.27" S  
LONGITUD: 76° 10' 35.47" W  
ALTITUD: 2,722 m.s.n.m.

DPTO.: Huánuco  
PROV.: Ambo  
DIST.: San Rafael

PARÁMETRO: Precipitación Máxima 24 Horas (mm).

Periodo : 2011 - 2019.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2011	16.4	18.2	10.4	21.8	14.4	0.8	1.4	4.5	10.3	20.1	12.2	16.1
2 2012	13.2	19.5	15.3	24.3	5.0	6.1	1.7	6.4	1.9	14.8	21.3	33.5
3 2013	15.6	24.8	15.9	12.2	4.7	9.9	3.1	29.0	9.1	24.6	27.0	41.1
4 2014	18.5	16.9	25.7	10.4	8.9	2.7	0.0	3.4	21.3	3.5	9.2	11.2
5 2015	13.4	9.7	16.4	12.1	13.6	0.6	6.9	3.2	4.9	10.9	13.6	15.6
6 2016	8.5	20.5	12.5	21.3	9.1	1.0	1.9	1.2	4.7	14.3	10.7	28.2
7 2017	15.0	28.4	20.8	7.2	12.1	0.9	14.0	7.0	13.3	13.6	19.7	28.6
8 2018	30.2	26.0	30.2	22.2	9.9	10.0	7.0	6.7	17.2	32.7	27.4	18.2
9 2019	17.4	23.8	29.3	21.0	8.2	2.6	2.5	0.7	5.5	17.9	10.4	22.9

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

SD: SIN DATOS

COD. REG. N° 00025-2021-0210

PRESUPUESTO N° ORH00020210000476

HUÁNUCO, 09 DE FEBRERO DEL 2021.

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**

OBRA: "UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"



Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo.  
Director Zonal 10  
SENAMHI

Progr. Abasco Mza A Lte 4 - Huánuco, Huánuco.  
Tel.: 062 - 512070 RPM #955899144 RPC 982569531  
Link: <http://huanuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)



## ESTACIÓN YANAHUANCA

Estación	YANAHUANCA	LATITUD	10° 29' 29" S	Dpto.	Cerro de Pasco
Parámetro	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD	76° 30' 29" W	Prov.	Daniel Alcides Carrión
Fuente	SENAMHI	ALTURA	3190 msnm	Dist.	Yanahuanca

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1995	1.80	1.50	1.50	1.70	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.90	1.70	2.10
1996	1.90	2.00	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00
1998	19.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	54.80	22.90
2004	6.90	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.00	5.00	15.10	22.50	30.70	12.40
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	9.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	4.40	15.70	8.30	6.00	15.00	20.00	12.00
2010	11.00	20.00	12.90	9.90	6.50	5.80	0.00	0.00	3.20	12.00	20.30	18.20
2011	17.00	12.10	25.50	21.50	3.20	0.00	3.00	2.20	4.00	8.30	17.10	28.00
2012	10.00	12.10	10.00	12.00	4.20	15.80	5.80	0.00	18.20	13.00	20.00	36.20
2013	17.80	14.50	13.80	10.30	4.30	4.10	4.10	7.10	4.10	10.80	15.20	10.60
2014	13.10	17.20	13.10	8.10	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	15.80	18.50	17.40
2015	22.30	16.80	19.90	14.00	22.80	4.40	0.00	4.80	9.90	15.00	18.70	18.60

**Nota,** datos obtenidos de tesis “Aplicación de la simulación hidrológica e hidráulica con sistemas de información geográfica para identificar las áreas de inundación del río Huallaga en el tramo Huaylla - Ambo, 2017” (Cordova Mendoza, 2017) – SENAMHI.



2018 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".  
 "AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

ESTACIÓN: **CO CHAGLLA**

LATITUD: 09° 51' 01" S  
 LONGITUD: 75° 54' 24" W  
 ALTITUD: 3038 msnm

DPTO.: Huánuco  
 PROV.: Pachitea  
 DIST.: Chaglla  
 Periodo: 1998 - 2013.

PARÁMETRO: Precipitación Máxima 24 Horas (mm).

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 1998	20.4	19.6	10.3	18.3	5.9	5.0	1.0	5.2	16.6	15.3	19.6	20.2
2 1999	17.7	24.8	33.6	33.2	30.4	6.0	22.2	4.3	20.7	19.6	16.5	28.0
3 2000	26.8	26.6	35.2	27.0	14.3	29.2	14.2	9.6	12.3	41.5	20.8	8.6
4 2001	20.2	14.8	25.4	6.8	7.3	4.0	8.8	11.6	10.0	13.7	28.7	9.3
5 2002	6.1	21.1	21.7	24.2	4.2	3.8	24.6	10.0	22.4	22.1	14.6	9.8
6 2003	23.0	15.2	20.0	5.2	30.0	3.5	2.3	29.0	16.6	11.8	10.5	46.0
7 2004	10.0	29.6	45.0	9.0	21.2	11.4	11.2	19.5	23.4	34.0	18.2	23.3
8 2005	29.4	12.4	28.8		4.5	3.7	7.4	6.7	11.4	20.6	35.5	23.3
9 2006	20.6	20.0	30.8	28.3	4.0	19.8	4.4	6.8	6.0	41.5	30.3	32.2
10 2007	30.2	38.6	30.0	30.0	10.0	11.0	9.6	14.2	12.4	16.0	30.6	20.8
11 2008	16.8	18.8	23.2	30.4	5.6	6.4	13.0	3.4	13.8	16.0	32.6	20.4
12 2009	26.6	16.6	16.6	8.4	14.8	14.4	16.0	10.4	14.8	17.4	17.4	28.0
13 2010	35.6	49.2	27.2	26.2	10.2	0.0	10.2	18.6	15.0	19.4	27.8	26.6
14 2011	16.4	18.6	24.4	20.8	16.4	14.8	12.6	17.4	14.8	16.4	16.4	11.8
15 2012	6.6	16.8	14.8	16.8	16.4	6.4	10.4	9.6	13.0	14.4	40.8	17.4
16 2013	16.8	16.4	20.4	16.4	20.6	12.6	12.0	23.2	20.2	23.6	26.8	27.4

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)

SD: SIN DATOS

COD. REG. N° 00023-2021-0210

PRESUPUESTO N° 00100020210000476

HUÁNUCO, 09 DE FEBRERO DEL 2021.

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**

OBRA: "UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"



Ing. Héctor Alberto Vera Arévalo  
 Director Zonal 10

Proy. Abasco Mas A Lta 4 - Huánuco, Huánuco.  
 Tel.: 062 - 512070 RPM 4955899144 RPC 982569531  
 Link: <http://huanuco.senamhi.gob.pe/>



2015 al 2027 el "Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres".  
"AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

ESTACIÓN: **CO CHAGLLA**

LATITUD: 09° 51' 01" S  
LONGITUD: 75° 54' 24" W  
ALTITUD: 3036 msnm

DPTO.: Huánuco  
PROV.: Pachitea  
DIST.: Chaglla

PARÁMETRO: Precipitación Máxima 24 Horas (mm).

Periodo: 2014 - 2019.

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Set.	Oct	Nov	Dic
1 2014	26.2	33.6	23.6	32.6	25.0	17.8	12.4	15.2	35.0	31.6	27.2	25.0
2 2015	23.0	21.8	24.0	17.2	28.2	11.6	18.6	19.6	13.4	30.0	34.0	40.6
3 2016	20.4	19.4	28.4	27.8	16.4	14.8	7.4	9.0	9.6	14.8	24.6	23.8
4 2017	28.0	25.0	28.6	24.0	22.8	12.4	21.4	18.2	20.0	25.6	25.4	26.2
5 2018	23.2	28.6	19.8	22.8	19.2	21.6	24.2	20.6	11.6	27.8	12.4	21.0
6 2019	23.8	24.0	15.4	9.6	24.8	17.2	16.8	16.8	23.0	21.2	36.4	

Fuente: Archivos de la Sede Central - Lima

SLUMP N° 23560 (PROHIBIDO PROPORCIONAR A TERCEROS)  
S/D: SIN DATOS

COD. REG. N° 00629-2021-0210

PRESUPUESTO N° ORH00020210006476

HUÁNUCO, 09 DE FEBRERO DEL 2021.

Pág. 6 de 7

INFORMACIÓN PREPARADA PARA : **TESISTA ELIZABETH MILAGROS SANTIAGO TORRES.**

TÍTULO: "UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC / BATÁN - DISTRITO DE SAN RAFAEL PROVINCIA DE AMBO - DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"

Financiado digitalmente por VERBA  
Módulo: Director Alberto Vera  
2021020909: hector  
Dato: 09/02/2021 10:44:47 -05:00

Ing. Hector Alberto Vera Arevalo.  
Director Zonal 10  
SENAMHI

Profy. Abtao Mas A Lla 4 - Huánuco, Huánuco.  
Tel.: 082 - 512070 RPMI 4950899144 RPC 982569931  
Link: <http://huánuco.senamhi.gob.pe/>  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)



**ANEXO 10: LUEGO DEL TRATAMIENTO,  
CONSISTENCIA, CALIDAD Y EXTENSIÓN DE  
PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE 24 HORAS, SE  
TIENE LA SIGUIENTE INFORMACIÓN**

## DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m m) - DIARIA-ANUAL

### ESTACIÓN SAN RAFAEL

ESTACIÓN:	SAN RAFAEL	LATITUD:	10° 19' 45.27" S	DEPARTAMENTO	HUÁNUCO
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 10' 35.47" W	PROVINCIA	AMBO
FUENTE:	SENAMHI - ELABORACIÓN PROPIA	ALTITUD:	2722 msnm	DISTRITO	SAN RAFAEL

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Pp. Máx en 24h. Anual
1990	18.20	15.61	19.22	71.17	6.23	6.23	9.18	6.23	7.31	13.95	11.13	9.83	71.17
1991	16.33	14.89	15.61	16.36	11.46	9.52	9.64	10.84	11.78	16.73	18.18	20.77	20.77
1992	12.67	13.67	14.66	14.32	9.10	8.03	8.85	9.77	8.43	10.84	12.00	11.28	14.66
1993	12.00	13.44	15.03	11.28	7.67	6.95	8.75	9.26	9.57	14.11	15.20	35.09	35.09
1994	23.20	38.50	20.10	12.80	5.40	0.80	0.00	2.10	11.00	15.80	9.40	31.20	38.50
1995	25.50	30.00	36.80	16.00	18.50	13.00	1.50	3.50	18.00	22.00	26.30	31.70	36.80
1996	18.00	17.40	22.80	22.20	8.00	6.00	0.90	3.70	21.10	3.50	19.50	16.00	22.80
1997	13.00	18.60	10.20	12.20	4.50	0.00	0.00	7.00	8.70	22.40	14.30	56.70	56.70
1998	29.40	27.50	22.50	7.20	4.40	7.80	0.00	5.10	6.20	19.80	19.00	24.60	29.40
1999	17.30	21.00	21.60	9.00	7.90	9.70	2.40	12.80	14.30	6.60	19.20	14.70	21.60
2000	15.90	19.80	20.70	12.80	2.90	14.50	3.50	12.30	12.20	9.40	5.90	25.10	25.10
2001	24.40	18.80	17.60	16.00	5.10	5.60	5.30	7.90	9.20	16.20	41.80	26.10	41.80
2002	10.20	16.00	20.20	9.60	11.40	2.70	17.60	0.70	7.00	29.90	12.00	25.00	29.90
2003	7.50	8.60	15.20	52.90	1.90	7.20	0.00	22.80	9.40	6.70	27.30	18.60	52.90
2004	29.60	16.30	20.20	10.80	15.00	8.00	3.00	4.30	27.40	22.80	24.10	41.90	41.90
2005	9.90	32.00	25.90	15.50	1.30	0.00	1.90	9.30	10.60	13.00	16.10	10.10	32.00
2006	13.90	13.70	12.70	9.00	0.60	5.30	5.60	5.80	16.30	16.50	28.80	15.70	28.80
2007	22.50	11.10	25.80	6.80	6.80	0.70	31.90	3.50	12.00	17.10	12.00	22.60	31.90
2008	17.00	28.20	8.60	6.10	6.30	6.10	1.20	1.80	42.10	15.30	24.50	17.60	42.10
2009	16.10	17.60	25.50	14.70	14.70	3.60	7.10	4.90	9.30	12.70	16.30	22.90	25.50
2010	25.10	19.80	20.90	20.80	17.50	4.40	7.70	5.40	3.90	11.80	9.00	23.00	25.10
2011	16.40	18.20	10.40	21.80	14.40	0.80	1.40	4.50	10.30	20.10	12.20	16.10	21.80
2012	13.20	19.50	15.30	24.30	5.00	6.10	1.70	6.40	1.90	14.80	21.30	33.50	33.50
2013	15.60	24.80	15.90	12.20	4.70	9.90	3.10	29.00	9.10	24.60	27.00	41.10	41.10
2014	18.50	16.90	25.70	10.40	8.90	2.70	0.00	3.40	21.30	3.50	9.20	11.20	25.70
2015	13.40	9.70	16.40	12.10	13.60	0.60	6.90	3.20	4.90	10.90	13.60	15.60	16.40
2016	8.50	20.50	12.50	21.30	9.10	1.00	1.90	1.20	4.70	14.30	10.70	28.20	28.20
2017	15.00	28.40	20.80	7.20	12.10	0.90	14.00	7.00	13.30	13.60	19.70	28.60	28.60
2018	30.20	26.00	30.20	22.20	9.90	10.00	7.00	8.70	17.20	32.70	27.40	18.20	32.70
2019	17.40	23.80	29.30	21.00	8.20	2.60	2.50	0.70	5.50	17.90	10.40	22.90	29.30



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m m) - DIARIA-ANUAL

### ESTACIÓN YANAHUANCA

ESTACIÓN:	YANAHUANCA	LA TITUD:	10° 29' 29" S	DEPARTAMENTO	Cerro de Pasco
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	76° 30' 29" W	PROVINCIA	Daniel Alcides Carrión
FUENTE:	SENAMHI	ALTITUD:	3190 msnm	DISTRITO	Yanahuanca

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Pp. Máx en 24h. Anual
1990	14.75	17.11	17.97	15.07	10.61	4.81	6.20	5.68	9.47	15.69	20.24	19.83	20.24
1991	11.47	12.37	13.56	11.79	5.83	4.26	4.59	4.21	7.33	11.17	15.04	15.29	15.29
1992	7.41	7.05	8.33	7.71	2.91	3.31	2.72	2.49	4.69	6.19	8.98	9.73	9.73
1993	9.81	10.12	11.39	10.13	4.36	3.92	3.81	3.49	6.25	9.05	12.51	13.01	13.01
1994	11.24	12.05	13.26	11.56	5.59	4.22	4.48	4.10	7.18	10.87	14.68	14.97	14.97
1995	1.80	1.50	1.50	1.70	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.90	1.70	2.10	2.10
1996	1.90	2.00	17.50	21.00	13.00	0.00	0.00	4.10	20.40	14.20	12.70	8.70	21.00
1997	22.00	21.00	13.40	12.00	10.00	0.00	1.00	3.00	8.80	7.00	15.00	18.00	22.00
1998	19.40	37.70	18.80	20.00	5.40	7.20	0.00	0.30	7.00	15.00	10.80	14.50	37.70
1999	14.00	23.00	32.00	13.00	5.70	4.20	4.50	11.00	14.00	15.00	15.00	30.00	32.00
2000	18.00	13.80	18.60	10.00	4.30	4.00	4.60	0.00	3.00	7.00	14.00	19.20	19.20
2001	15.70	11.20	16.00	18.20	10.00	6.60	13.00	12.50	5.70	9.40	20.00	28.30	28.30
2002	10.10	15.20	14.20	18.20	9.70	2.10	10.60	7.30	14.50	14.70	15.90	18.00	18.20
2003	17.30	23.20	19.20	14.60	18.80	4.40	0.00	7.50	7.50	16.30	54.80	22.90	54.80
2004	6.90	22.10	10.60	7.30	17.00	11.10	7.60	6.50	23.40	20.90	20.00	22.70	23.40
2005	15.40	15.70	12.70	10.30	24.80	0.00	7.00	5.00	15.10	22.50	30.70	12.40	30.70
2006	16.80	14.00	16.80	18.70	6.60	3.90	0.50	4.90	11.20	17.10	15.40	22.50	22.50
2007	17.80	10.20	19.00	12.50	9.30	0.70	23.30	8.00	5.00	35.30	21.50	15.60	35.30
2008	12.00	23.30	12.80	14.50	9.00	7.50	0.00	3.80	13.20	15.90	15.10	13.70	23.30
2009	20.00	17.60	27.00	31.50	13.40	4.40	15.70	8.30	6.00	15.00	20.00	12.00	31.50
2010	11.00	20.00	12.90	9.90	6.50	5.80	0.00	0.00	3.20	12.00	20.30	18.20	20.30
2011	17.00	12.10	25.50	21.50	3.20	0.00	3.00	2.20	4.00	8.30	17.10	28.00	28.00
2012	10.00	12.10	10.00	12.00	4.20	15.80	5.80	0.00	18.20	13.00	20.00	36.20	36.20
2013	17.80	14.50	13.80	10.30	4.30	4.10	4.10	7.10	4.10	10.80	15.20	10.60	17.80
2014	13.10	17.20	13.10	8.10	10.10	5.90	7.80	4.30	12.00	15.80	18.50	17.40	18.50
2015	22.30	16.80	19.90	14.00	22.80	4.40	0.00	4.80	9.90	15.00	18.70	18.60	22.80
2016	7.44	7.08	8.36	7.73	2.92	3.32	2.73	2.50	4.71	6.22	9.01	9.76	9.76
2017	12.63	14.01	15.11	12.95	7.18	4.47	5.15	4.72	8.09	12.72	16.85	16.89	16.89
2018	24.67	33.23	31.95	24.88	75.88	5.94	11.49	10.53	16.02	31.47	37.17	33.80	75.88
2019	10.25	10.70	11.96	10.57	4.70	4.02	4.01	3.68	6.53	9.60	13.17	13.61	13.61



## DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (m m) - DIARIA-ANUAL

### ESTACIÓN CHAGLLA

ESTACIÓN:	CHAGLLA	LATITUD:	09° 51' 01" S	DEPARTAMENTO	Huánuco
PARÁMETRO:	PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA-ANUAL	LONGITUD:	75° 54' 24" W	PROVINCIA	Pachitea
FUENTE:	SENAMHI	ALTITUD:	3036 msnm	DISTRITO	Chaglla

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Pp. Máx en 24h. Anual
1990	20.88	21.47	23.45	20.39	15.81	11.38	10.53	11.70	16.05	20.64	23.30	21.33	23.45
1991	21.26	21.97	23.91	20.72	16.27	11.45	10.68	11.97	16.29	21.16	23.39	21.73	23.91
1992	22.05	23.07	24.87	21.40	17.23	11.59	11.00	12.54	16.81	22.27	23.57	22.57	24.87
1993	21.52	22.33	24.23	20.94	16.59	11.50	10.79	12.16	16.46	21.52	23.45	22.00	24.23
1994	21.29	22.02	23.95	20.74	16.31	11.45	10.70	11.99	16.32	21.20	23.39	21.76	23.95
1995	20.18	20.57	22.61	19.79	14.92	11.25	10.25	11.20	15.60	19.73	23.14	20.59	23.14
1996	21.51	22.31	24.21	20.93	16.57	11.49	10.78	12.15	16.45	21.50	23.44	21.99	24.21
1997	21.34	22.08	24.01	20.79	16.38	11.46	10.72	12.03	16.35	21.27	23.40	21.82	24.01
1998	20.40	19.60	10.30	18.30	5.90	5.00	1.00	5.20	16.60	15.30	19.60	20.20	20.40
1999	17.70	24.80	33.60	33.20	30.40	6.00	22.20	4.30	20.70	19.60	16.50	28.00	33.60
2000	26.80	26.80	35.20	27.00	14.30	29.20	14.20	9.60	12.30	41.50	20.80	8.60	41.50
2001	20.20	14.80	25.40	6.80	7.30	4.00	8.80	11.60	10.00	13.70	28.70	9.30	28.70
2002	6.10	21.10	21.70	24.20	4.20	3.80	24.60	10.00	22.40	22.10	14.60	9.80	24.60
2003	23.00	15.20	20.00	5.20	30.00	3.50	2.30	29.00	18.60	11.80	10.50	48.00	48.00
2004	10.00	29.80	45.00	9.00	21.20	11.40	11.20	19.50	23.40	34.00	18.20	23.30	45.00
2005	29.40	12.40	28.80	20.81	4.50	3.70	7.40	6.70	11.40	20.60	35.50	23.30	35.50
2006	20.60	20.00	30.80	28.30	4.00	19.80	4.40	6.80	8.00	41.50	30.30	32.20	41.50
2007	30.20	38.80	30.00	30.00	10.00	11.00	9.80	14.20	12.40	18.00	30.60	20.80	38.80
2008	16.80	18.80	23.20	30.40	5.60	6.40	13.00	3.40	13.80	18.00	32.80	20.40	32.80
2009	28.60	16.60	16.60	8.40	14.80	14.40	16.00	10.40	14.80	17.40	17.40	28.00	28.60
2010	35.60	49.20	27.20	26.20	10.20	0.00	10.20	18.60	15.00	19.40	27.80	26.60	49.20
2011	16.40	18.60	24.40	20.80	18.40	14.80	12.60	17.40	14.80	16.40	16.40	11.80	24.40
2012	6.60	16.80	14.80	18.80	16.40	6.40	10.40	9.60	13.00	14.40	40.80	17.40	40.80
2013	18.80	18.40	20.40	16.40	20.60	12.60	12.00	23.20	20.20	23.60	26.80	27.40	27.40
2014	26.20	33.60	23.60	32.60	25.00	17.80	12.40	15.20	35.00	31.60	27.20	25.00	35.00
2015	23.00	21.80	24.00	17.20	26.20	11.60	18.60	19.60	13.40	30.00	34.00	40.60	40.60
2016	20.40	19.40	28.40	27.80	16.40	14.80	7.40	9.00	9.60	14.80	24.60	23.80	28.40
2017	28.00	25.00	28.60	24.00	22.80	12.40	21.40	18.20	20.00	25.60	25.40	26.20	28.60
2018	23.20	28.60	19.80	22.80	19.20	21.60	24.20	20.60	11.60	27.80	12.40	21.00	28.60
2019	23.80	24.00	15.40	9.60	24.80	17.20	16.80	16.80	23.00	21.20	36.40	23.41	36.40

**ANEXO 11: COMPARACIÓN DE DATOS  
PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: AÑOS 1994,  
1998, 2011, 2013 Y 2016**

**PARTE I: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 1994**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	ENERO		FEBRE RO 28	FEBRE RO		MARZ O 31	MARZ O		ABRIL 30	ABRIL		MAYO 31	MAYO		JUNIO 30	JUNIO	
1	3.80	7.98	0.52	30.80	25.20	0.22	0.00	2.31	1.00	0.00	1.78	1.00	0.00	0.09	1.00	0.80	1.46	0.45
2	1.00	3.51	0.72	4.40	5.54	0.21	20.10	40.95	0.51	0.00	1.67	1.00	0.00	0.10	1.00	0.00	0.03	1.00
3	0.00	0.45	1.00	9.00	7.48	0.20	2.00	7.92	0.75	0.00	0.25	1.00	0.00	0.11	1.00	0.00	0.01	1.00
4	23.20	34.33	0.32	23.70	27.49	0.14	0.00	4.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.07	1.00
5	1.00	1.94	0.48	0.00	2.68	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.01	1.00
6	1.40	1.27	0.10	7.00	20.45	0.66	0.00	0.04	1.00	0.00	2.58	1.00	0.00	0.14	1.00	0.00	0.05	1.00
7	0.00	0.93	1.00	15.00	3.85	2.90	6.40	4.60	0.39	0.00	3.15	1.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.03	1.00
8	2.50	3.30	0.24	5.00	5.07	0.01	0.00	6.58	1.00	0.00	2.21	1.00	0.00	0.14	1.00	0.00	0.10	1.00
9	3.50	5.32	0.34	38.50	26.55	0.45	0.00	1.48	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	1.00	0.00	0.06	1.00
10	2.50	4.92	0.49	5.20	5.72	0.09	0.00	0.03	1.00	2.00	3.49	0.43	0.00	0.28	1.00	0.00	0.00	0.00
11	2.50	1.24	1.02	1.50	2.85	0.47	2.50	5.74	0.56	4.00	2.84	0.41	0.00	0.18	1.00	0.00	0.03	1.00
12	1.20	0.50	1.40	1.00	2.43	0.59	2.80	9.05	0.69	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00

13	7.40	2.50	1.96	13.20	15.82	0.17	0.00	4.27	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	2.10	1.93	0.09	0.00	0.07	1.00	0.00	0.11	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00
15	7.30	10.35	0.29	18.80	10.22	0.84	0.00	2.71	1.00	8.50	5.56	0.53	0.00	0.01	1.00	0.00	0.07	1.00
16	3.50	6.09	0.43	0.00	0.80	1.00	0.00	0.89	1.00	8.50	4.94	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
17	12.30	4.03	2.05	0.00	1.56	1.00	19.20	18.24	0.05	12.80	19.68	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	1.43	1.00	0.00	0.18	1.00	0.00	4.96	1.00	0.00	1.67	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00
19	1.40	1.14	0.23	7.00	5.62	0.25	0.00	1.48	1.00	0.00	0.19	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
20	8.30	3.58	1.32	2.00	3.67	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	7.00	6.80	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80	1.00	0.00	0.17	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	2.18	1.00	6.00	5.34	0.12	5.00	16.71	0.70	1.00	0.76	0.32	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00
23	7.00	9.47	0.26	2.00	3.50	0.43	2.50	2.25	0.11	0.00	0.03	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.01	1.00
24	1.20	1.54	0.22	0.00	0.70	1.00	4.80	3.81	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.05	1.00
25	0.00	2.49	1.00	0.00	0.04	1.00	2.50	2.60	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	1.00
26	3.80	4.53	0.16	0.00	1.08	1.00	0.00	0.56	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.07	1.00
27	0.00	0.14	1.00	4.10	1.48	1.77	1.90	1.79	0.06	1.00	1.41	0.29	0.00	0.03	1.00	0.00	0.01	1.00
28	0.00	1.59	1.00	1.80	3.07	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00
29	2.10	5.29	0.60				0.00	0.00	0.00	5.70	3.96	0.44	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00
30	0.00	1.36	1.00				1.50	8.31	0.82	0.00	0.55	1.00	5.40	6.93	0.22	0.00	0.00	0.00
31	1.50	2.49	0.40				0.00	2.49	1.00				0.80	0.59	0.36			
<b>TOTAL</b>	<b>105.40</b>	<b>132.69</b>	<b>21.59</b>	<b>198.10</b>	<b>190.32</b>	<b>17.47</b>	<b>71.20</b>	<b>158.44</b>	<b>19.95</b>	<b>43.50</b>	<b>59.43</b>	<b>20.48</b>	<b>6.20</b>	<b>10.62</b>	<b>21.58</b>	<b>0.80</b>	<b>2.37</b>	<b>21.45</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.40</b>	<b>4.28</b>	<b>0.70</b>	<b>7.08</b>	<b>6.80</b>	<b>0.62</b>	<b>2.30</b>	<b>5.11</b>	<b>0.64</b>	<b>1.45</b>	<b>1.98</b>	<b>0.68</b>	<b>0.20</b>	<b>0.34</b>	<b>0.70</b>	<b>0.03</b>	<b>0.08</b>	<b>0.72</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>23.20</b>	<b>34.33</b>	<b>2.05</b>	<b>38.50</b>	<b>27.49</b>	<b>2.90</b>	<b>20.10</b>	<b>40.95</b>	<b>1.00</b>	<b>12.80</b>	<b>19.68</b>	<b>1.00</b>	<b>5.40</b>	<b>6.93</b>	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	<b>1.46</b>	<b>1.00</b>



17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.00	0.00	1.32	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	1.15	1.00	3.30	2.34	0.41	0.00	0.50	1.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.09	1.00	2.80	1.84	0.52	0.00	0.21	1.00	0.00	2.19	1.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	1.80	3.36	0.46	0.00	1.91	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	1.22	1.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	0.60	1.00	2.82	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	1.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.40	5.18	0.43	0.00	0.03	1.00	0.00	0.27	1.00	10.20	20.27	0.50
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00	3.80	1.57	1.42	8.50	9.98	0.15	0.00	0.07	1.00	31.20	27.09	0.15
24	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00	6.50	19.13	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	1.00
25	0.00	0.01	1.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.19	1.00	2.00	3.82	0.48	0.00	0.00	0.00	6.50	9.93	0.35
26	0.00	0.00	0.00	2.10	2.90	0.28	0.00	0.07	1.00	2.40	9.38	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	3.08	1.00
27	0.00	0.01	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.20	1.00	0.00	0.74	1.00	9.40	6.41	0.47	0.00	0.60	1.00
28	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	1.00	0.00	0.00	0.00	9.40	4.17	1.25	0.00	3.32	1.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	11.00	6.64	0.66	2.40	1.92	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	1.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.05	1.00	4.00	2.59	0.54	0.00	0.07	1.00	14.50	23.75	0.39
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00				0.00	0.00	0.00				8.50	11.66	0.27
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.22</b>	<b>12.00</b>	<b>2.10</b>	<b>4.60</b>	<b>20.28</b>	<b>24.20</b>	<b>21.57</b>	<b>26.57</b>	<b>64.20</b>	<b>90.29</b>	<b>19.08</b>	<b>57.60</b>	<b>40.18</b>	<b>17.52</b>	<b>100.40</b>	<b>140.20</b>	<b>20.35</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.39</b>	<b>0.07</b>	<b>0.15</b>	<b>0.65</b>	<b>0.81</b>	<b>0.72</b>	<b>0.89</b>	<b>2.07</b>	<b>2.91</b>	<b>0.62</b>	<b>1.92</b>	<b>1.34</b>	<b>0.58</b>	<b>3.24</b>	<b>4.52</b>	<b>0.66</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.04</b>	<b>1.00</b>	<b>2.10</b>	<b>2.90</b>	<b>1.00</b>	<b>11.00</b>	<b>6.64</b>	<b>1.42</b>	<b>15.80</b>	<b>19.13</b>	<b>1.08</b>	<b>9.40</b>	<b>6.41</b>	<b>1.44</b>	<b>31.20</b>	<b>27.09</b>	<b>1.49</b>

Nota, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**PARTE I: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 1998**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	ENERO		FEBRE RO 28	FEBRE RO		MARZ O 31	MARZO		ABRIL 30	ABRIL		MAYO 31	MAY O		JUNIO 30	JUNIO	
1	0.00	1.40	1.00	0.00	0.83	1.00	7.00	20.41	0.66	0.00	0.06	1.00	0.00	0.20	1.00	7.80	4.86	0.60
2	0.00	0.03	1.00	0.00	1.79	1.00	0.40	3.25	0.88	1.60	1.24	0.29	0.00	0.05	1.00	0.00	0.34	1.00
3	0.00	0.00	0.00	5.50	2.81	0.96	0.40	0.00	0.00	2.60	1.67	0.56	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	1.20	0.27	3.44	0.00	0.00	0.00	5.20	6.59	0.21	0.00	0.02	1.00	0.00	0.06	1.00
5	6.00	10.14	0.41	0.00	0.39	1.00	0.50	0.00	0.00	3.20	3.27	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	9.20	9.47	0.03	22.50	20.98	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00
7	19.70	16.66	0.18	16.60	17.88	0.07	0.70	0.77	0.09	0.00	0.60	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00
8	1.20	3.63	0.67	2.00	3.78	0.47	0.00	0.09	1.00	0.00	0.63	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	1.00
9	12.50	6.86	0.82	0.00	2.04	1.00	6.50	4.04	0.61	0.00	0.16	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.30	1.71	0.82	4.50	2.89	0.56	7.80	13.07	0.40	6.70	4.88	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00
11	0.00	0.04	1.00	8.10	11.94	0.32	1.70	0.22	6.73	0.00	0.61	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.05	1.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.00	22.50	39.40	0.43	0.00	0.05	1.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.04	1.00
13	4.90	7.47	0.34	0.00	0.10	1.00	15.60	25.19	0.38	7.20	13.48	0.47	2.20	1.46	0.51	4.20	6.53	0.36
14	0.00	0.45	1.00	0.00	0.10	1.00	0.00	2.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
15	0.00	0.93	1.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00	0.00	0.03	1.00
16	0.00	0.42	1.00	9.50	1.85	4.14	0.00	0.20	1.00	0.00	2.10	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00

17	0.00	0.00	0.00	27.40	14.94	0.83	0.00	0.28	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.01	1.00	4.80	6.81	0.30	0.00	4.18	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.80	3.88	0.54	0.00	1.58	1.00	0.00	1.92	1.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
20	6.40	7.96	0.20	0.00	1.13	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
21	17.70	12.81	0.38	3.50	1.70	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.80	0.38
22	7.80	3.40	1.29	12.80	22.84	0.44	0.00	1.22	1.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00
23	0.80	1.80	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
24	29.40	39.38	0.25	3.50	4.80	0.27	0.00	0.02	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00
25	15.50	20.07	0.23	12.00	6.21	0.93	12.00	12.63	0.05	1.80	1.70	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00
26	0.00	2.51	1.00	2.80	4.09	0.32	0.00	0.05	1.00	0.00	1.13	1.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.01	1.00
27	6.30	6.96	0.09	0.00	1.26	1.00	1.50	2.39	0.37	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	3.40	4.59	0.26	27.50	48.14	0.43	1.60	1.31	0.22	0.00	0.00	0.00	4.40	3.97	0.11	0.00	0.01	1.00
29	0.00	0.05	1.00				1.50	3.62	0.59	1.20	0.96	0.25	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00
30	0.50	2.17	0.77				0.00	0.04	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	1.49	1.00				0.00	4.18	1.00				0.00	1.17	1.00			
<b>TOTAL</b>	<b>143.40</b>	<b>166.29</b>	<b>17.85</b>	<b>164.20</b>	<b>181.54</b>	<b>25.61</b>	<b>79.70</b>	<b>140.49</b>	<b>22.40</b>	<b>29.50</b>	<b>40.52</b>	<b>17.23</b>	<b>6.60</b>	<b>7.28</b>	<b>14.62</b>	<b>12.50</b>	<b>13.07</b>	<b>19.34</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.63</b>	<b>5.36</b>	<b>0.58</b>	<b>5.86</b>	<b>6.48</b>	<b>0.91</b>	<b>2.57</b>	<b>4.53</b>	<b>0.72</b>	<b>0.98</b>	<b>1.35</b>	<b>0.57</b>	<b>0.21</b>	<b>0.23</b>	<b>0.47</b>	<b>0.42</b>	<b>0.44</b>	<b>0.64</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>29.40</b>	<b>39.38</b>	<b>1.29</b>	<b>27.50</b>	<b>48.14</b>	<b>4.14</b>	<b>22.50</b>	<b>39.40</b>	<b>6.73</b>	<b>7.20</b>	<b>13.48</b>	<b>1.00</b>	<b>4.40</b>	<b>3.97</b>	<b>1.00</b>	<b>7.80</b>	<b>6.53</b>	<b>1.00</b>

**PARTE II: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 1998**



FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	JULIO 31	JULIO		AGOSTO 31	AGOSTO		SEPTIEMBRE 30	SEPTIEMBRE		OCTUBRE 31	OCTUBRE		NOVIEMBRE 30	NOVIEMBRE		DICIEMBRE 31	DICIEMBRE	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	1.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.30	4.36	0.44	0.00	0.01	1.00	2.20	1.30	0.69
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	3.60	1.22	1.95	0.00	0.11	1.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	2.58	2.64	12.20	13.92	0.12
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79	1.00	19.00	22.02	0.14	0.00	0.12	1.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.02	1.00	4.20	1.49	1.82	9.20	7.80	0.18
7	0.00	0.01	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.08	1.00	2.20	2.01	0.09	0.00	0.00	0.00	17.20	11.95	0.44
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.15	1.00	1.00	1.47	0.32	0.00	0.05	1.00	9.20	11.78	0.22
9	0.00	0.01	1.00	5.10	3.78	0.35	0.00	0.10	1.00	7.20	5.71	0.26	4.40	1.52	1.89	2.70	5.95	0.55
10	0.00	0.01	1.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60	26.82	0.08
11	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00	5.70	5.28	0.08	1.90	0.38	4.00	7.50	5.02	0.49
12	0.00	0.01	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	1.20	1.00	3.20	2.00	0.60	2.00	5.75	0.65
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	7.10	3.41	1.08	4.60	9.37	0.51
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	2.10	2.29	0.08	0.00	5.35	1.00	5.00	4.16	0.20	2.30	3.01	0.24
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40	2.30	2.65	5.60	3.34	0.68
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.01	1.00	4.20	1.50	1.80	0.00	1.24	1.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.14	1.00	0.00	5.75	1.00	2.00	2.66	0.25	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.14	1.00	0.00	0.25	1.00	3.50	2.08	0.68	0.00	0.11	1.00
19	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	6.20	3.90	0.59	0.00	1.37	1.00	0.00	0.26	1.00	4.60	3.91	0.18

<b>20</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.29	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	1.00
<b>21</b>	0.00	0.00	0.00	1.30	1.30	0.00	0.00	0.07	1.00	1.70	18.26	0.91	6.80	1.89	2.60	0.00	0.00	0.00
<b>22</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.80	1.54	0.48	0.00	0.00	0.00	16.20	6.14	1.64
<b>23</b>	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.41	1.00	0.00	0.21	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	1.00
<b>24</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	6.20	8.72	0.29	0.00	0.22	1.00	5.60	8.55	0.35
<b>25</b>	0.00	0.00	0.00	1.20	1.27	0.06	0.00	0.03	1.00	6.00	5.65	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	1.00
<b>26</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.99	0.19
<b>27</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.78	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	1.00
<b>28</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.17	1.00	12.20	7.14	0.71	7.70	3.75	1.05	0.00	1.06	1.00
<b>29</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	2.40	2.99	0.20	0.00	0.86	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	1.00
<b>30</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	2.26	0.33	0.00	0.00	0.00	2.70	5.46	0.51
<b>31</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00				19.80	44.34	0.55				0.00	0.63	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.12</b>	<b>11.00</b>	<b>7.60</b>	<b>7.44</b>	<b>19.40</b>	<b>10.70</b>	<b>10.76</b>	<b>17.87</b>	<b>72.10</b>	<b>130.09</b>	<b>18.53</b>	<b>90.40</b>	<b>53.50</b>	<b>27.36</b>	<b>129.20</b>	<b>139.74</b>	<b>19.71</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.24</b>	<b>0.63</b>	<b>0.36</b>	<b>0.36</b>	<b>0.60</b>	<b>2.33</b>	<b>4.20</b>	<b>0.60</b>	<b>3.01</b>	<b>1.78</b>	<b>0.91</b>	<b>4.17</b>	<b>4.51</b>	<b>0.64</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>1.00</b>	<b>5.10</b>	<b>3.78</b>	<b>1.00</b>	<b>6.20</b>	<b>3.90</b>	<b>1.00</b>	<b>19.80</b>	<b>44.34</b>	<b>1.00</b>	<b>19.00</b>	<b>22.02</b>	<b>4.00</b>	<b>24.60</b>	<b>26.82</b>	<b>1.64</b>

Nota, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**PARTE I: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2011**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	ENERO		FEBRE RO 28	FEBRE RO		MARZ O 31	MARZO		ABRIL 30	ABRIL		MAYO 31	MAYO		JUNIO 30	JUNIO	
1	0.00	1.41	1.00	1.90	1.47	0.29	4.50	3.61	0.25	0.40	0.29	0.38	2.60	2.18	0.19	0.00	0.00	0.00
2	16.40	13.86	0.18	0.00	0.10	1.00	0.00	0.83	1.00	2.70	2.72	0.01	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00
3	7.10	10.06	0.29	4.00	4.24	0.06	4.20	3.82	0.10	4.40	6.47	0.32	0.00	0.01	1.00	0.20	0.10	1.00
4	10.20	14.43	0.29	0.20	1.22	0.84	3.30	9.48	0.65	0.70	1.61	0.57	0.00	0.01	1.00	0.00	0.42	1.00
5	3.70	5.28	0.30	4.90	5.08	0.04	1.00	7.04	0.86	13.80	14.90	0.07	0.00	0.03	1.00	0.00	0.09	1.00
6	0.30	0.78	0.62	3.40	4.86	0.30	0.00	1.37	1.00	1.50	4.33	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
7	0.90	2.23	0.60	11.80	17.07	0.31	8.20	7.56	0.08	21.80	16.87	0.29	0.10	0.06	0.67	0.00	0.00	0.00
8	0.60	1.63	0.63	1.50	3.55	0.58	8.00	16.23	0.51	1.80	2.67	0.33	0.20	0.12	0.67	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.01	1.00	1.40	2.00	0.30	3.10	6.31	0.51	0.20	0.43	0.53	0.00	0.15	1.00	0.00	0.03	1.00
10	1.00	1.27	0.21	18.20	19.57	0.07	2.70	3.65	0.26	0.00	0.03	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00
11	1.90	3.70	0.49	10.50	12.17	0.14	0.00	0.99	1.00	0.00	0.07	1.00	2.90	1.24	1.34	0.00	0.05	1.00
12	7.10	5.15	0.38	5.50	5.86	0.06	0.30	0.02	14.00	0.00	0.34	1.00	0.10	0.08	0.25	0.00	0.00	0.00
13	13.70	11.60	0.18	4.60	4.46	0.03	8.30	12.60	0.34	0.00	0.47	1.00	0.90	1.49	0.40	0.00	0.02	1.00
14	1.80	3.43	0.48	0.70	1.16	0.40	0.70	1.89	0.63	1.10	1.25	0.12	14.40	3.66	2.93	0.00	0.00	0.00
15	0.00	1.22	1.00	1.80	1.58	0.14	6.80	5.32	0.28	0.00	1.05	1.00	5.90	4.21	0.40	0.00	0.03	1.00
16	0.10	0.60	0.83	0.00	0.02	1.00	1.90	3.53	0.46	0.10	1.00	0.90	0.00	0.03	1.00	0.00	0.03	1.00

17	0.00	0.98	1.00	2.20	3.17	0.31	0.00	0.01	1.00	0.00	0.26	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.04	1.00
18	0.00	0.11	1.00	0.90	2.29	0.61	0.00	1.24	1.00	0.70	1.39	0.50	0.00	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00
19	0.30	1.88	0.84	14.20	12.67	0.12	6.40	11.55	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.01	1.00
20	0.90	2.31	0.61	0.30	0.69	0.57	1.90	3.70	0.49	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
21	6.10	11.47	0.47	5.00	5.56	0.10	0.20	0.29	0.31	0.00	0.11	1.00	0.20	0.11	0.82	0.00	0.00	0.00
22	15.80	18.49	0.15	4.80	5.95	0.19	0.70	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	1.90	0.98	0.94	0.00	0.03	1.00
23	3.40	5.25	0.35	3.30	4.87	0.32	10.40	17.52	0.41	1.30	2.45	0.47	0.00	0.05	1.00	0.80	0.38	1.11
24	2.50	2.37	0.05	6.80	6.29	0.08	4.10	8.29	0.51	0.90	2.54	0.65	0.10	0.09	0.11	0.00	0.01	1.00
25	1.80	4.60	0.61	5.50	7.93	0.31	0.00	0.12	1.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.88	1.00	0.00	0.00	0.00
26	1.20	3.55	0.66	0.30	0.48	0.38	9.20	17.50	0.47	0.20	0.24	0.17	2.10	0.93	1.26	0.00	0.01	1.00
27	13.30	17.50	0.24	0.10	0.39	0.74	4.10	7.68	0.47	0.90	0.34	1.65	2.30	0.98	1.35	0.00	0.03	1.00
28	1.00	2.59	0.61	2.90	4.14	0.30	0.00	0.04	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00
29	6.50	7.97	0.18				3.30	7.05	0.53	0.80	0.49	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00
30	3.40	3.46	0.02				5.60	9.77	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00
31	4.70	5.10	0.08				0.40	2.21	0.82				0.00	0.00	0.00			
<b>TOTAL</b>	<b>125.70</b>	<b>164.29</b>	<b>15.36</b>	<b>116.70</b>	<b>138.84</b>	<b>9.56</b>	<b>99.30</b>	<b>171.22</b>	<b>30.80</b>	<b>53.40</b>	<b>62.44</b>	<b>17.23</b>	<b>33.70</b>	<b>17.44</b>	<b>24.32</b>	<b>1.00</b>	<b>1.42</b>	<b>21.11</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.05</b>	<b>5.30</b>	<b>0.50</b>	<b>4.17</b>	<b>4.96</b>	<b>0.34</b>	<b>3.20</b>	<b>5.52</b>	<b>0.99</b>	<b>1.78</b>	<b>2.08</b>	<b>0.57</b>	<b>1.09</b>	<b>0.56</b>	<b>0.78</b>	<b>0.03</b>	<b>0.05</b>	<b>0.70</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>16.40</b>	<b>18.49</b>	<b>1.00</b>	<b>18.20</b>	<b>19.57</b>	<b>1.00</b>	<b>10.40</b>	<b>17.52</b>	<b>14.00</b>	<b>21.80</b>	<b>16.87</b>	<b>1.65</b>	<b>14.40</b>	<b>4.21</b>	<b>2.93</b>	<b>0.80</b>	<b>0.42</b>	<b>1.11</b>

**PARTE II: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2011**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	JULIO 31	JULIO		AGOSTO 31	AGOSTO		SETIEMBRE 30	SETIEMBRE		OCTUBRE 31	OCTUBRE		NOVIEMBRE 30	NOVIEMBRE		DICIEMBRE 31	DICIEMBRE	
1	0.00	0.41	1.00	0.00	0.04	1.00	0.30	0.17	0.76	20.10	11.36	0.77	0.00	0.00	0.00	4.40	10.08	0.56
2	0.00	0.34	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.75	0.87	0.00	0.00	0.00	1.20	1.43	0.16
3	0.20	2.07	0.90	4.50	4.78	0.06	0.00	0.01	1.00	2.60	7.01	0.63	7.70	3.63	1.12	0.00	0.00	0.00
4	1.40	1.87	0.25	0.20	0.24	0.17	0.00	0.01	1.00	4.90	6.54	0.25	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	1.30	2.72	0.52	0.00	0.70	1.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	3.74	0.28	1.20	0.79	0.52	1.40	4.81	0.71
7	0.00	0.12	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.35	1.00	0.40	0.48	0.17	3.80	4.28	0.11
8	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	8.82	1.00	0.00	0.00	0.00	4.90	2.22	1.21
9	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	14.90	13.56	0.10	0.00	0.07	1.00	2.70	6.39	0.58
10	0.00	0.13	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	1.30	2.61	0.50	0.00	0.01	1.00	16.10	19.28	0.16
11	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00	0.30	0.23	0.30	1.70	3.78	0.55	1.10	1.03	0.07	0.80	5.28	0.85
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	1.75	1.00	0.40	0.54	0.26	6.10	3.44	0.77
13	0.00	0.01	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.09	1.00	3.40	5.61	0.39
14	0.00	0.09	1.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.70	20.29	0.32
15	0.00	0.05	1.00	0.00	0.01	1.00	2.80	0.89	2.15	0.00	1.98	1.00	0.00	0.80	1.00	7.20	15.25	0.53
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	2.40	0.77	2.12	0.00	2.40	1.00	6.30	4.58	0.38	0.30	0.39	0.23
17	0.00	0.05	1.00	0.00	0.01	1.00	3.70	2.33	0.59	0.00	2.60	1.00	3.70	3.51	0.05	9.50	16.71	0.43
18	0.00	0.29	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00	0.00	0.77	1.00	12.20	7.63	0.60	8.90	3.86	1.31
19	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.10	1.93	0.43	10.20	17.94	0.43

<b>20</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.14	1.00	0.90	2.19	0.59	3.90	2.34	0.67	4.00	3.93	0.02
<b>21</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.24	1.00	1.10	0.78	0.41	1.10	6.49	0.83	1.20	1.12	0.07	9.10	13.16	0.31
<b>22</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	4.80	3.00	0.60	0.00	0.02	1.00	3.60	4.44	0.19	12.40	12.51	0.01
<b>23</b>	0.00	0.03	1.00	0.00	0.10	1.00	4.30	2.77	0.55	0.60	1.22	0.51	2.00	1.81	0.10	2.20	2.31	0.05
<b>24</b>	0.00	0.02	1.00	0.00	0.02	1.00	10.30	6.67	0.54	1.50	2.17	0.31	0.00	0.06	1.00	0.10	1.08	0.91
<b>25</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.80	0.56	0.43	0.00	0.22	1.00	0.20	0.40	0.50	13.90	21.10	0.34
<b>26</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.30	0.25	0.20	1.70	3.57	0.52	3.30	2.29	0.44	0.10	1.28	0.92
<b>27</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.02	1.00	1.10	0.47	1.34	0.00	3.42	1.00	0.00	0.08	1.00	2.40	2.59	0.07
<b>28</b>	0.00	0.03	1.00	0.00	0.03	1.00	0.20	0.02	9.00	0.00	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00	7.30	7.01	0.04
<b>29</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	6.30	4.94	0.28	0.90	0.82	0.10	8.10	9.05	0.10
<b>30</b>	0.00	0.05	1.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.22	1.00	4.10	14.35	0.71	0.20	0.26	0.23	0.50	3.60	0.86
<b>31</b>	0.00	0.00	0.00	0.50	0.53	0.06				0.00	1.89	1.00				2.60	4.94	0.47
<b>TOTAL</b>	<b>1.60</b>	<b>5.85</b>	<b>25.15</b>	<b>5.20</b>	<b>6.32</b>	<b>21.28</b>	<b>32.40</b>	<b>19.74</b>	<b>32.00</b>	<b>66.20</b>	<b>114.61</b>	<b>21.22</b>	<b>49.40</b>	<b>39.47</b>	<b>13.89</b>	<b>157.30</b>	<b>219.82</b>	<b>12.87</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.05</b>	<b>0.19</b>	<b>0.81</b>	<b>0.17</b>	<b>0.20</b>	<b>0.69</b>	<b>1.08</b>	<b>0.66</b>	<b>1.07</b>	<b>2.14</b>	<b>3.70</b>	<b>0.68</b>	<b>1.65</b>	<b>1.32</b>	<b>0.46</b>	<b>5.07</b>	<b>7.09</b>	<b>0.42</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.40</b>	<b>2.07</b>	<b>1.00</b>	<b>4.50</b>	<b>4.78</b>	<b>1.00</b>	<b>10.30</b>	<b>6.67</b>	<b>9.00</b>	<b>20.10</b>	<b>14.35</b>	<b>1.00</b>	<b>12.20</b>	<b>7.63</b>	<b>1.12</b>	<b>16.10</b>	<b>21.10</b>	<b>1.31</b>

Nota, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**PARTE I: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2013**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	ENERO		FEBRERO 28	FEBRERO		MARZO 31	MARZO		ABRIL 30	ABRIL		MAYO 31	MAYO		JUNIO 30	JUNIO	
1	0.70	1.42	0.51	6.70	7.10	0.06	3.90	13.28	0.71	0.00	0.07	1.00	0.10	0.32	0.69	0.00	0.13	1.00
2	4.80	8.45	0.43	0.00	0.14	1.00	2.30	3.50	0.34	0.20	1.76	0.89	0.00	0.02	1.00	1.20	0.74	0.62
3	2.40	6.58	0.64	2.10	5.82	0.64	2.00	3.30	0.39	5.80	1.53	2.79	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00
4	2.10	1.91	0.10	2.60	4.63	0.44	15.50	9.92	0.56	1.80	1.33	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00
5	2.50	2.48	0.01	0.40	1.17	0.66	0.20	1.66	0.88	2.60	3.79	0.31	0.90	1.18	0.24	0.00	0.03	1.00
6	0.00	0.43	1.00	2.30	2.98	0.23	2.80	9.48	0.70	12.20	11.27	0.08	0.50	0.95	0.47	1.90	1.73	0.10
7	3.00	2.43	0.23	6.10	7.45	0.18	15.90	4.57	2.48	11.30	10.38	0.09	1.20	1.44	0.17	0.10	0.28	0.64
8	0.80	1.39	0.42	5.10	8.26	0.38	0.50	3.21	0.84	11.20	7.56	0.48	0.00	0.02	1.00	0.30	0.38	0.21
9	1.40	2.49	0.44	24.80	12.27	1.02	6.20	10.95	0.43	0.00	0.20	1.00	0.00	0.05	1.00	0.00	0.08	1.00
10	0.10	0.38	0.74	2.90	4.86	0.40	3.50	8.96	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.44	0.82
11	6.80	6.66	0.02	16.40	21.99	0.25	0.70	4.33	0.84	6.40	3.30	0.94	0.00	0.08	1.00	0.00	0.03	1.00
12	0.80	2.17	0.63	0.90	1.85	0.51	6.00	3.15	0.90	0.30	1.76	0.83	0.00	0.64	1.00	0.40	0.39	0.03
13	3.70	5.05	0.27	2.90	3.74	0.22	10.00	16.47	0.39	4.00	1.75	1.29	1.50	1.81	0.17	0.00	0.07	1.00
14	5.10	10.73	0.52	4.20	7.13	0.41	0.80	5.06	0.84	0.40	0.51	0.22	0.00	0.26	1.00	0.00	0.03	1.00
15	0.00	3.79	1.00	0.90	1.46	0.38	3.10	5.82	0.47	1.00	0.54	0.85	0.20	0.37	0.46	0.00	0.00	0.00
16	12.30	11.32	0.09	0.80	0.73	0.10	15.70	10.47	0.50	1.00	0.41	1.44	0.00	0.21	1.00	0.00	0.03	1.00

17	0.60	5.28	0.89	4.10	3.25	0.26	4.00	10.38	0.61	2.70	5.16	0.48	2.20	2.25	0.02	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.12	1.00	8.90	7.70	0.16	0.80	2.52	0.68	8.80	6.21	0.42	0.60	1.12	0.46	9.90	14.87	0.33
19	0.00	0.12	1.00	7.20	9.01	0.20	0.00	1.67	1.00	0.00	0.17	1.00	0.00	0.26	1.00	0.00	0.17	1.00
20	0.00	0.16	1.00	5.90	7.55	0.22	10.70	23.39	0.54	0.00	0.01	1.00	0.00	0.23	1.00	0.00	0.21	1.00
21	10.50	15.16	0.31	1.50	5.13	0.71	2.10	6.06	0.65	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.11	1.00
22	5.50	14.79	0.63	2.10	5.32	0.61	2.00	4.77	0.58	0.00	0.02	1.00	0.00	0.08	1.00	2.30	2.12	0.08
23	2.10	4.70	0.55	0.90	1.40	0.36	0.00	2.12	1.00	1.70	0.96	0.77	0.00	0.04	1.00	0.00	0.03	1.00
24	0.00	0.45	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	3.20	3.51	0.09	3.80	5.51	0.31	0.10	1.64	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00
26	0.00	0.34	1.00	10.30	8.30	0.24	10.50	23.11	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1.00	0.00	0.03	1.00
27	0.00	0.98	1.00	7.20	6.96	0.03	3.80	11.15	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.10	1.00	4.90	5.76	0.15	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	1.00	0.00	0.00	0.00
29	15.60	12.25	0.27				0.00	0.23	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00	0.00	0.02	1.00
30	0.40	0.82	0.51				0.00	0.11	1.00	0.00	0.01	1.00	4.70	3.21	0.46	0.00	0.32	1.00
31	9.60	6.81	0.41				0.00	0.06	1.00				0.00	0.24	1.00			
<b>TOTAL</b>	<b>94.00</b>	<b>133.27</b>	<b>17.71</b>	<b>135.90</b>	<b>157.47</b>	<b>10.13</b>	<b>123.10</b>	<b>202.25</b>	<b>24.12</b>	<b>71.40</b>	<b>58.72</b>	<b>20.22</b>	<b>11.90</b>	<b>15.26</b>	<b>20.15</b>	<b>16.90</b>	<b>22.36</b>	<b>18.84</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>3.03</b>	<b>4.30</b>	<b>0.57</b>	<b>4.85</b>	<b>5.62</b>	<b>0.36</b>	<b>3.97</b>	<b>6.52</b>	<b>0.78</b>	<b>2.38</b>	<b>1.96</b>	<b>0.67</b>	<b>0.38</b>	<b>0.49</b>	<b>0.65</b>	<b>0.56</b>	<b>0.75</b>	<b>0.63</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.10</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.34</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>15.60</b>	<b>15.16</b>	<b>1.00</b>	<b>24.80</b>	<b>21.99</b>	<b>1.02</b>	<b>15.90</b>	<b>23.39</b>	<b>2.48</b>	<b>12.20</b>	<b>11.27</b>	<b>2.79</b>	<b>4.70</b>	<b>3.21</b>	<b>1.00</b>	<b>9.90</b>	<b>14.87</b>	<b>1.00</b>

**PARTE II: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2013**



FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	JULIO 31	JULIO		AGOSTO 31	AGOSTO		SETIEMBRE 30	SETIEMBRE		OCTUBRE 31	OCTUBRE		NOVIEMBRE 30	NOVIEMBRE		DICIEMBRE 31	DICIEMBRE	
1	0.00	11.07	1.00	0.00	0.03	1.00	4.70	2.66	0.77	0.00	0.08	1.00	0.00	0.00	0.00	4.60	7.20	0.36
2	0.00	0.18	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	3.50	2.62	0.34	0.00	0.06	1.00	0.90	1.29	0.30
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.65	0.27	1.90	2.48	0.23	4.50	8.19	0.45
4	1.00	0.41	1.44	0.00	0.03	1.00	0.00	0.01	1.00	0.10	0.30	0.67	9.10	7.42	0.23	19.10	16.62	0.15
5	1.20	0.09	12.33	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	3.60	2.86	0.26	27.00	9.37	1.88	2.80	5.23	0.46
6	3.10	0.03	102.33	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00	2.38	0.26	0.30	0.65	0.54	3.70	8.31	0.55
7	0.00	0.07	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	8.99	0.49	0.00	0.00	0.00	1.20	0.73	0.64
8	0.00	0.08	1.00	0.60	0.00	0.00	0.40	0.67	0.40	0.00	0.13	1.00	0.00	0.03	1.00	1.70	1.24	0.37
9	0.00	0.04	1.00	0.00	0.16	1.00	0.00	0.19	1.00	0.00	0.05	1.00	0.10	0.05	1.00	0.00	0.38	1.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.29	1.00	0.00	0.00	0.00	8.40	6.00	0.40	1.40	4.11	0.66
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.03	1.00	13.10	4.86	1.70	0.60	0.79	0.24	2.30	2.20	0.05
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.80	4.00	0.80	8.50	5.65	0.50	3.00	4.53	0.34
13	0.00	0.07	1.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.27	1.00	2.60	3.56	0.27	4.00	2.81	0.42	17.20	14.37	0.20
14	0.30	0.08	2.75	0.00	0.05	1.00	0.00	0.14	1.00	24.60	30.60	0.20	0.00	0.03	1.00	0.10	0.87	0.89
15	0.10	0.17	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00	0.90	1.17	0.23	0.90	0.63	0.43	12.80	5.33	1.40
16	0.00	0.02	1.00	0.00	0.16	1.00	0.00	0.02	1.00	0.10	3.88	0.97	0.00	0.01	1.00	0.00	0.13	1.00
17	0.80	0.06	12.33	0.00	2.46	1.00	0.00	0.44	1.00	2.20	6.12	0.64	0.30	0.62	0.52	0.90	2.02	0.55
18	0.60	0.02	29.00	0.00	0.00	0.00	6.60	5.08	0.30	0.00	0.90	1.00	1.70	1.55	0.10	0.00	0.52	1.00
19	0.00	0.09	1.00	0.00	0.00	0.00	3.70	2.84	0.30	11.60	4.33	1.68	12.70	3.91	2.25	2.50	4.22	0.41

<b>20</b>	0.00	0.09	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.18	1.00	2.90	1.82	0.59	10.40	11.21	0.07
<b>21</b>	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.10	0.27	0.63	4.60	3.53	0.30	41.10	6.32	5.50
<b>22</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00	3.70	2.53	0.46	36.80	12.41	1.97
<b>23</b>	0.00	0.01	1.00	0.90	0.02	44.00	9.10	4.85	0.88	0.50	0.57	0.12	0.60	0.48	0.25	2.90	2.55	0.14
<b>24</b>	0.40	0.07	4.71	0.90	0.02	44.00	0.00	0.00	0.00	10.60	9.86	0.08	1.20	0.94	0.28	0.00	0.45	1.00
<b>25</b>	0.00	0.10	1.00	29.00	10.27	1.82	0.00	0.00	0.00	9.20	56.72	0.84	0.00	0.22	1.00	2.50	1.82	0.37
<b>26</b>	0.00	0.00	0.00	4.70	11.17	0.58	0.00	0.00	0.00	0.60	1.98	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00
<b>27</b>	0.00	0.00	0.00	1.30	0.38	2.42	0.00	0.79	1.00	0.50	1.06	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>28</b>	0.00	0.00	0.00	2.00	0.14	13.29	0.00	0.00	0.00	9.70	12.44	0.22	1.00	1.06	0.06	0.10	0.74	0.86
<b>29</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	2.60	1.00	1.40	0.69	1.03	0.00	0.00	0.00
<b>30</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.17	0.91	5.60	3.55	0.58	0.70	0.36	0.94
<b>31</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00				1.10	5.01	0.78				2.40	3.88	0.38
<b>TOTAL</b>	<b>7.50</b>	<b>12.80</b>	<b>177.32</b>	<b>39.40</b>	<b>25.27</b>	<b>124.11</b>	<b>24.50</b>	<b>18.45</b>	<b>17.65</b>	<b>104.30</b>	<b>170.34</b>	<b>19.57</b>	<b>96.50</b>	<b>56.88</b>	<b>17.29</b>	<b>175.60</b>	<b>127.29</b>	<b>23.03</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.24</b>	<b>0.41</b>	<b>5.72</b>	<b>1.27</b>	<b>0.82</b>	<b>4.00</b>	<b>0.82</b>	<b>0.62</b>	<b>0.59</b>	<b>3.36</b>	<b>5.49</b>	<b>0.63</b>	<b>3.22</b>	<b>1.90</b>	<b>0.58</b>	<b>5.66</b>	<b>4.11</b>	<b>0.74</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>3.10</b>	<b>11.07</b>	<b>102.33</b>	<b>29.00</b>	<b>11.17</b>	<b>44.00</b>	<b>9.10</b>	<b>5.08</b>	<b>1.00</b>	<b>24.60</b>	<b>56.72</b>	<b>1.70</b>	<b>27.00</b>	<b>9.37</b>	<b>2.25</b>	<b>41.10</b>	<b>16.62</b>	<b>5.50</b>

Nota, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**PARTE I: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2016**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	ENERO 31	ENERO		FEBRE RO 28	FEBRE RO		MARZO 31	MARZO		ABRIL 30	ABRIL		MAYO 31	MAYO		JUNIO 30	JUNIO	
1	3.70	1.85	1.00	5.10	5.86	0.13	0.70	3.28	0.79	1.20	1.34	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1.00
2	0.00	0.24	1.00	7.90	7.07	0.12	0.90	4.79	0.81	0.00	0.31	1.00	0.00	0.18	1.00	0.00	0.24	1.00
3	0.10	0.16	0.38	7.80	3.56	1.19	0.00	1.78	1.00	0.50	0.63	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00
4	0.90	0.91	0.01	4.80	8.02	0.40	0.20	0.03	5.67	0.00	0.74	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00
5	1.90	1.97	0.04	13.90	7.41	0.88	0.00	14.91	1.00	0.00	0.40	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.03	1.00
6	0.10	0.26	0.62	9.30	19.04	0.51	8.90	0.32	26.81	0.00	0.03	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.08	1.00
7	1.30	3.21	0.60	12.00	2.57	3.67	12.50	23.58	0.47	2.90	2.25	0.29	0.00	0.06	1.00	0.00	0.28	1.00
8	0.90	1.94	0.54	0.00	0.08	1.00	0.10	1.85	0.95	18.20	12.16	0.50	0.00	0.09	1.00	1.00	2.32	0.57
9	0.00	0.11	1.00	1.20	1.59	0.25	5.20	1.84	1.83	7.10	14.94	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	3.66	1.00
10	0.00	0.06	1.00	3.00	7.36	0.59	7.70	17.21	0.55	0.20	2.13	0.91	0.00	0.09	1.00	0.00	0.50	1.00
11	1.10	1.10	0.00	0.90	2.01	0.55	5.60	9.36	0.40	21.30	10.35	1.06	0.20	0.43	0.53	0.00	0.00	0.00
12	0.00	1.09	1.00	4.30	4.20	0.02	1.20	1.29	0.07	0.20	1.19	0.83	0.00	0.02	1.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	3.80	9.81	0.61	0.00	0.03	1.00	0.00	0.06	1.00	0.00	0.01	1.00
14	0.30	0.30	0.00	1.50	1.28	0.17	2.80	2.88	0.03	0.00	0.24	1.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.51	1.00	6.90	6.26	0.10	0.20	0.29	0.31	1.30	1.86	0.30	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00
16	8.50	7.09	0.20	2.00	1.96	0.02	0.00	0.13	1.00	2.90	4.62	0.37	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00

17	0.00	0.00	0.00	4.70	4.38	0.07	0.00	0.01	1.00	1.40	1.84	0.24	9.10	0.09	100.11	0.00	0.02	1.00
18	0.20	0.47	0.57	0.20	0.38	0.47	3.70	2.30	0.61	0.20	0.36	0.44	0.00	0.05	1.00	0.00	0.00	0.00
19	5.40	3.93	0.37	0.10	0.20	0.50	0.40	0.37	0.08	0.00	0.12	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00
20	2.50	5.85	0.57	9.50	5.30	0.79	0.60	0.88	0.32	0.00	0.05	1.00	0.00	0.27	1.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.01	1.00	1.40	0.71	0.97	0.00	0.04	1.00	3.20	3.20	0.00	0.40	0.51	0.22	0.00	0.19	1.00
22	0.00	0.00	0.00	5.10	17.06	0.70	0.00	0.23	1.00	0.00	0.14	1.00	4.80	4.88	0.02	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	3.40	1.99	0.71	0.00	0.00	0.00	1.30	1.34	0.03	0.90	0.87	0.03	0.00	0.01	1.00
24	0.00	0.00	0.00	5.90	5.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	1.00	0.00	0.11	1.00	0.00	0.02	1.00
25	2.80	6.54	0.57	5.80	8.81	0.34	7.30	2.98	1.45	0.00	0.02	1.00	1.00	0.84	0.19	0.00	0.00	0.00
26	0.00	0.70	1.00	6.00	8.55	0.30	0.50	2.25	0.78	0.00	0.06	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	1.00
27	0.30	0.73	0.59	20.50	18.70	0.10	1.60	5.96	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	1.00	0.50	2.45	0.80
28	6.80	10.13	0.33	3.30	5.27	0.37	0.00	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00
29	3.70	4.51	0.18	1.90	3.58	0.47	0.00	2.48	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	5.10	4.35	0.17				0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
31	4.00	5.83	0.31				0.00	0.11	1.00				0.00	0.04	1.00			
<b>TOTAL</b>	<b>49.60</b>	<b>63.85</b>	<b>14.04</b>	<b>148.50</b>	<b>158.53</b>	<b>15.51</b>	<b>63.90</b>	<b>111.29</b>	<b>52.26</b>	<b>61.90</b>	<b>60.83</b>	<b>19.80</b>	<b>16.40</b>	<b>9.01</b>	<b>117.10</b>	<b>1.50</b>	<b>11.07</b>	<b>19.36</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.60</b>	<b>2.06</b>	<b>0.45</b>	<b>5.12</b>	<b>5.47</b>	<b>0.53</b>	<b>2.06</b>	<b>3.59</b>	<b>1.69</b>	<b>2.06</b>	<b>2.03</b>	<b>0.66</b>	<b>0.53</b>	<b>0.29</b>	<b>3.78</b>	<b>0.05</b>	<b>0.37</b>	<b>0.65</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>8.50</b>	<b>10.13</b>	<b>1.00</b>	<b>20.50</b>	<b>19.04</b>	<b>3.67</b>	<b>12.50</b>	<b>23.58</b>	<b>26.81</b>	<b>21.30</b>	<b>14.94</b>	<b>1.06</b>	<b>9.10</b>	<b>4.88</b>	<b>100.11</b>	<b>1.00</b>	<b>3.66</b>	<b>1.00</b>

**PARTE II: COMPARACIÓN DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS Y GRILLADOS: PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO - 2016**

FUENTE	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO	DATOS DEL PLUVIÓMETRO	DATOS DE PISCO - SENAMHI	ERROR RESPECTO A LOS DATOS DE PISCO
DÍAS (24 HORAS)	JULIO 31	JULIO		AGOSTO 31	AGOSTO		SETIEMBRE 30	SETIEMBRE		OCTUBRE 31	OCTUBRE		NOVIEMBRE 30	NOVIEMBRE		DICIEMBRE 31	DICIEMBRE	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.08	1.00	2.20	2.90	0.24	0.00	0.01	1.00	0.90	3.94	0.77
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.09	1.00	3.10	2.78	0.12	0.00	0.05	1.00	0.00	0.03	1.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.18	1.00	4.60	1.47	2.13	5.20	7.21	0.28
4	0.00	0.03	1.00	0.00	0.07	1.00	0.00	0.04	1.00	0.80	0.57	0.40	0.40	0.44	0.09	0.10	0.07	0.43
5	0.10	0.76	0.87	0.00	0.03	1.00	0.00	0.02	1.00	1.20	1.77	0.32	0.00	0.17	1.00	0.90	2.58	0.65
6	0.00	0.30	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00	9.70	18.41	0.47	0.00	0.01	1.00	0.40	2.02	0.80
7	0.20	1.04	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	2.80	1.70	0.65	28.20	9.84	1.87
8	0.00	0.08	1.00	0.00	0.02	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	10.70	1.81	4.91	3.60	8.44	0.57
9	1.90	2.15	0.12	0.00	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	1.00	0.80	0.64	0.25	13.60	18.43	0.26
10	0.00	0.01	1.00	0.30	0.65	0.54	0.00	0.00	0.00	10.60	24.80	0.57	0.00	0.62	1.00	0.20	0.35	0.43
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	1.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.40	0.74
12	0.00	0.02	1.00	0.00	0.30	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	1.70	1.00
13	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	9.50	12.96	0.27	4.00	2.33	0.72	0.00	1.62	1.00
14	0.00	0.11	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	1.00	1.20	3.25	0.63	0.00	0.13	1.00	1.50	2.01	0.25
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	0.20	0.00	0.00	1.60	1.65	0.03	0.00	0.00	0.00	9.80	14.62	0.33
16	0.00	0.01	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	2.60	11.87	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	14.30	16.42	0.13	9.90	0.00	0.00	0.00	0.15	1.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	1.00	0.00	0.01	1.00	4.40	4.70	0.06	1.80	0.76	1.37	4.70	7.40	0.36
19	0.00	0.00	0.00	1.20	1.10	0.09	0.00	0.19	1.00	0.10	0.21	0.52	0.00	0.20	1.00	0.10	1.82	0.95

<b>20</b>	0.00	0.02	1.00	0.00	0.05	1.00	0.00	0.43	1.00	0.00	0.10	1.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.82	0.29
<b>21</b>	0.00	0.01	1.00	0.30	0.59	0.49	0.00	0.32	1.00	0.00	0.03	1.00	0.00	0.01	1.00	3.90	11.23	0.65
<b>22</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00	0.00	0.48	1.00	0.00	0.04	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.54	0.94
<b>23</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	2.06	0.32	0.00	0.09	1.00	0.00	0.15	1.00	0.00	0.11	1.00
<b>24</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	0.50	0.58	0.14	0.00	0.03	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00
<b>25</b>	0.00	0.59	1.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.68	0.18	13.10	11.17	0.17	3.70	3.06	0.21	0.00	0.00	0.00
<b>26</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00	4.70	4.29	0.10	0.00	1.82	1.00	1.80	1.56	0.15	10.70	7.62	0.40
<b>27</b>	0.00	0.24	1.00	0.00	0.02	1.00	1.00	3.64	0.73	0.00	2.60	1.00	0.00	0.02	1.00	0.40	1.63	0.75
<b>28</b>	0.00	0.01	1.00	0.00	0.06	1.00	0.80	1.19	0.33	0.00	0.06	1.00	3.00	1.59	0.89	19.60	27.41	0.28
<b>29</b>	0.00	0.00	0.00	0.40	0.42	0.05	0.00	0.06	1.00	0.00	0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	7.20	9.92	0.27
<b>30</b>	0.00	0.11	1.00	0.00	1.49	1.00	0.00	0.09	1.00	0.80	3.03	0.74	10.40	7.64	0.36	0.50	5.02	0.90
<b>31</b>	0.00	0.02	1.00	0.00	2.19	1.00				0.00	1.51	1.00				8.80	16.82	0.48
<b>TOTAL</b>	<b>2.20</b>	<b>5.52</b>	<b>16.79</b>	<b>2.20</b>	<b>7.69</b>	<b>23.17</b>	<b>9.40</b>	<b>14.36</b>	<b>18.78</b>	<b>75.20</b>	<b>126.68</b>	<b>20.46</b>	<b>53.90</b>	<b>24.38</b>	<b>22.73</b>	<b>122.60</b>	<b>168.89</b>	<b>20.66</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.07</b>	<b>0.18</b>	<b>0.54</b>	<b>0.07</b>	<b>0.25</b>	<b>0.75</b>	<b>0.31</b>	<b>0.48</b>	<b>0.63</b>	<b>2.43</b>	<b>4.09</b>	<b>0.66</b>	<b>1.80</b>	<b>0.81</b>	<b>0.76</b>	<b>3.95</b>	<b>5.45</b>	<b>0.67</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>1.90</b>	<b>2.15</b>	<b>1.00</b>	<b>1.20</b>	<b>2.19</b>	<b>1.00</b>	<b>4.70</b>	<b>4.29</b>	<b>1.00</b>	<b>14.30</b>	<b>24.80</b>	<b>1.00</b>	<b>10.70</b>	<b>7.64</b>	<b>4.91</b>	<b>28.20</b>	<b>27.41</b>	<b>1.87</b>

Nota, los datos grillados de precipitación diaria fueron obtenidos del producto Piscop V2.1. Fuente: SENAMHI (2018).

**ANEXO 12: RESUMEN DE LOS PORCENTAJES DE  
ERROR RESPECTO DE LOS DATOS GRILLADOS  
DE PRECIPITACIÓN de Piscop V2.1**

Resumen del porcentaje de error respecto de los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1 - AÑO 1994														
% ERROR - RESPECTO A PISCO	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
<= 10%	2	4	7	5	8	8	19	10	2	7	10	6	88	24.11%
10% - < 50%	13	12	3	6	2	1	0	1	2	4	4	6	54	14.79%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MENOR AL 50%													142	38.90%
> 50% - 100%	3	3	6	2	0	0	0	0	2	7	2	2	27	7.40%
>= 100%	13	9	15	17	21	21	12	20	24	13	14	17	196	53.70%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MAYOR AL 50%													223	61.10%
CANTIDAD TOTAL DE DATOS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100.00%
Resumen del porcentaje de error respecto de los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1 - AÑO 1998														
% ERROR - RESPECTO A PISCO	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
<= 10%	6	3	10	9	15	9	20	11	11	8	11	3	116	31.78%



10% - < 50%	8	7	5	5	1	2	0	1	1	6	3	9	48	13.15%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MENOR AL 50%													164	44.93%
> 50% - 100%	6	4	4	1	1	1	0	0	1	3	2	6	29	7.95%
>= 100%	11	14	12	15	14	18	11	19	17	14	14	13	172	47.12%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MAYOR AL 50%													201	55.07%
CANTIDAD TOTAL DE DATOS	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100.00%
<b>Resumen del porcentaje de error respecto de los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1 - AÑO 2011</b>														
% ERROR - RESPECTO A PISCO	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD DE DATOS	CANTIDAD TOTAL DE DATOS	% TOTAL DE DATOS
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
<= 10%	3	6	3	6	5	9	5	9	4	3	9	8	70	19.18%
10% - < 50%	14	15	12	8	5	0	1	1	4	4	8	12	84	23.01%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MENOR AL 50%													154	42.19%
> 50% - 100%	9	5	8	6	4	0	1	0	5	11	4	9	62	16.99%
>= 100%	5	2	8	10	17	21	24	21	17	13	9	2	149	40.82%
PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MAYOR AL 50%													211	57.81%

<b>CANTIDAD TOTAL DE DATOS</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100.00%
<b>Resumen del porcentaje de error respecto de los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1 - AÑO 2013</b>														
<b>% ERROR - RESPECTO A PISCO</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD TOTAL DE DATOS</b>	<b>% TOTAL DE DATOS</b>
	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SETIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>		
<b>&lt;= 10%</b>	5	4	0	8	6	9	11	7	10	3	6	4	73	20.00%
<b>10% - &lt; 50%</b>	8	17	6	6	7	2	1	0	3	10	10	12	82	22.47%
<b>PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MENOR AL 50%</b>													155	42.47%
<b>&gt; 50% - 100%</b>	9	5	17	5	1	3	0	1	2	10	5	7	65	17.81%
<b>&gt;= 100%</b>	9	2	8	11	17	16	19	23	15	8	9	8	145	39.73%
<b>PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MAYOR AL 50%</b>													210	57.53%
<b>CANTIDAD TOTAL DE DATOS</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100.00%
<b>Resumen del porcentaje de error respecto de los datos grillados de precipitación de Piscop V2.1 - AÑO 2016</b>														
<b>% ERROR - RESPECTO A PISCO</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD TOTAL DE DATOS</b>	<b>% TOTAL DE DATOS</b>
	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SETIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>		

<= 10%	9	5	6	4	11	10	13	7	8	3	9	1	86	23.56%
10% - < 50%	7	11	4	8	2	0	1	1	4	8	4	12	62	16.99%
<b>PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MENOR AL 50%</b>													148	40.55%
> 50% - 100%	7	9	8	3	1	2	2	1	1	5	3	10	52	14.25%
>= 100%	8	3	13	15	17	18	15	22	17	15	14	8	165	45.21%
<b>PORCENTAJE DE ERROR RESPECTO A PISCO: MAYOR AL 50%</b>													217	59.45%
<b>CANTIDAD TOTAL DE DATOS</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	100.00%

**ANEXO 13: CERTIFICADO DEL LABORATORIO  
DONDE SE REALIZÓ LOS ENSAYOS DE SUELO**

**RUC N° 20573238258**

## **REGISTRO NACIONAL DE PROVEEDORES**

### **CONSTANCIA DE INSCRIPCIÓN PARA SER PARTICIPANTE, POSTOR Y CONTRATISTA**

#### **CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.**

Domiciliado en: BLOCK LOS PORTALES URBANIZACION LOS PORTALES (A 50MTS LADRILLERIA CHAPACUETE) /HUANUCO-HUANUCO-AMARILIS (Según información declarada en la SUNAT)

***Se encuentra con inscripción vigente en los siguientes registros:***

---

#### **PROVEEDOR DE BIENES**

Vigencia : Desde 19/07/2017

---

#### **PROVEEDOR DE SERVICIOS**

Vigencia : Desde 19/07/2017

---

**FECHA IMPRESIÓN: 02/02/2023**

#### **Nota:**

\* De acuerdo al artículo 15 del Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, aprobado por D.S. N° 344-2018-EF, vigente a partir del 30/01/2019, la especialidad se denomina "Consultoría de obras en edificaciones y afines".

Para mayor información la Entidad deberá verificar el estado actual de la vigencia de inscripción del proveedor en la página web del RNP: [www.rnp.gob.pe](http://www.rnp.gob.pe) - opción [Verifique su Inscripción.](#)

Retornar

Imprimir

## Consulta RUC

### Resultado de la Búsqueda

#### Número de RUC:

20573238258 - CONSULTORA Y CONSTRUCTORA GEO ESTRUCTURAS S.A.C.

#### Tipo Contribuyente:

SOCIEDAD ANONIMA CERRADA

#### Nombre Comercial:

GEO ESTRUCTURAS SAC

#### Fecha de Inscripción:

27/03/2014

#### Fecha de Inicio de Actividades:

01/04/2014

#### Estado del Contribuyente:

ACTIVO

#### Condición del Contribuyente:

HABIDO

#### Domicilio Fiscal:

JR. LOS EUCALIPTOS MZA. F LOTE. 25 URB. LOS PORTALES (A UNA CDRA DEL BUNJAR)  
HUANUCO - HUANOUCO - AMARILIS

#### Sistema Emisión de Comprobante:

MANUAL

#### Actividad Comercio Exterior:

SIN ACTIVIDAD

#### Sistema Contabilidad:

COMPUTARIZADO

#### Actividad(es) Económica(s):

Principal - 7120 - ENSAYOS Y ANÁLISIS TÉCNICOS

Secundaria 1 - 45207 - CONSTRUCCION EDIFICIOS COMPLETOS.

Secundaria 2 - 4390 - OTRAS ACTIVIDADES ESPECIALIZADAS DE CONSTRUCCIÓN

#### Comprobantes de Pago c/aut. de impresión (F. 806 u 816):

**"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"**

## **CERTIFICADO**

EL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES de la empresa GEO ESTRUCTURAS SAC

**CERTIFICA:**

Que la señorita, **SANTIAGO TORRES ELIZABETH MILAGROS**, identificada con DNI N° 74023242, Bachiller en Ingeniería Civil, realizó en este laboratorio los ensayos de suelo correspondiente a su investigación de tesis titulada: **"UMBRALES DE PRECIPITACIÓN DE LLUVIA COMO FACTOR DETONANTE, PARA EL SEGUIMIENTO Y PRONÓSTICO, DE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ROSAYOC/BATÁN – DISTRITO DE SAN RAFAEL - PROVINCIA DE AMBO – DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO"**, para fines de optar el título de ingeniero civil.

La tesista ha realizado los siguientes ensayos:

- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - CLASIFICACIÓN SEGÚN EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS [SUCS] (determina el tipo de suelo y la capacidad de respuesta del suelo frente a las precipitaciones).
- LÍMITES DE ATTERBERG (límites de consistencia: límite líquido y plástico).
- ENSAYO DE CORTE DIRECTO (los parámetros que se hallan son el contenido de humedad, la cohesión, la densidad aparente y el ángulo de fricción interna).

Se expide este documento a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 21 de julio del 2022



CONSULTORIA Y CONSTRUCCIONES  
GEO ESTRUCTURAS S.A.C.

\*\*\*\*\*  
Oscar H. Nolasco Salazar  
GERENTE GENERAL

## **ANEXO 14: RESULTADOS DE LABORATORIO**







**TESIS** : "Umbrales de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"

**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco

**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres

**SONDEO** : C-1

**FECHA** : JULIO DEL 2022

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NTP 339.128

TAMIZ N°	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	16.80	1.00	1.00	99.00
1/2"	12.70	27.00	1.61	2.61	97.39
3/8"	9.53	23.60	1.41	4.01	95.99
1/4"	6.35	23.70	1.41	5.43	94.57
No 4	4.76	15.70	0.94	6.36	93.64
No 10	2.00	43.50	2.59	8.95	91.05
No 20	0.84	46.80	2.78	11.73	88.27
No 30	0.59	25.60	1.52	13.25	86.75
No 40	0.43	45.70	2.72	15.98	84.02
No 50	0.30	73.40	4.37	20.35	79.65
No 60	0.25	22.70	1.35	21.70	78.30
No 100	0.15	67.50	4.02	25.72	74.28
No 200	0.07	26.50	1.58	27.30	72.70
CAZOLETA	0.00	1220.5	72.70	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1678.8</b>			

<b>Peso de la Muestra Húmeda</b>		1942.40 gr
<b>Peso de la Muestra Seca</b>		1789.50 gr
<b>Peso de la Muestra Seca Lavada</b>		569.00 gr
<b>Peso de la Tara</b>		114.90 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Limite líquido LL	33.46%	Porcentaje Grava	6.36%
Limite plástico LP	26.21%	Porcentaje de Arena	20.94%
Ind. de Plasticidad IP	7.25%	Porcentaje Limo-Arcilla	72.70%
<b>Material granular equivalente a:</b>		<b>27.30%</b>	

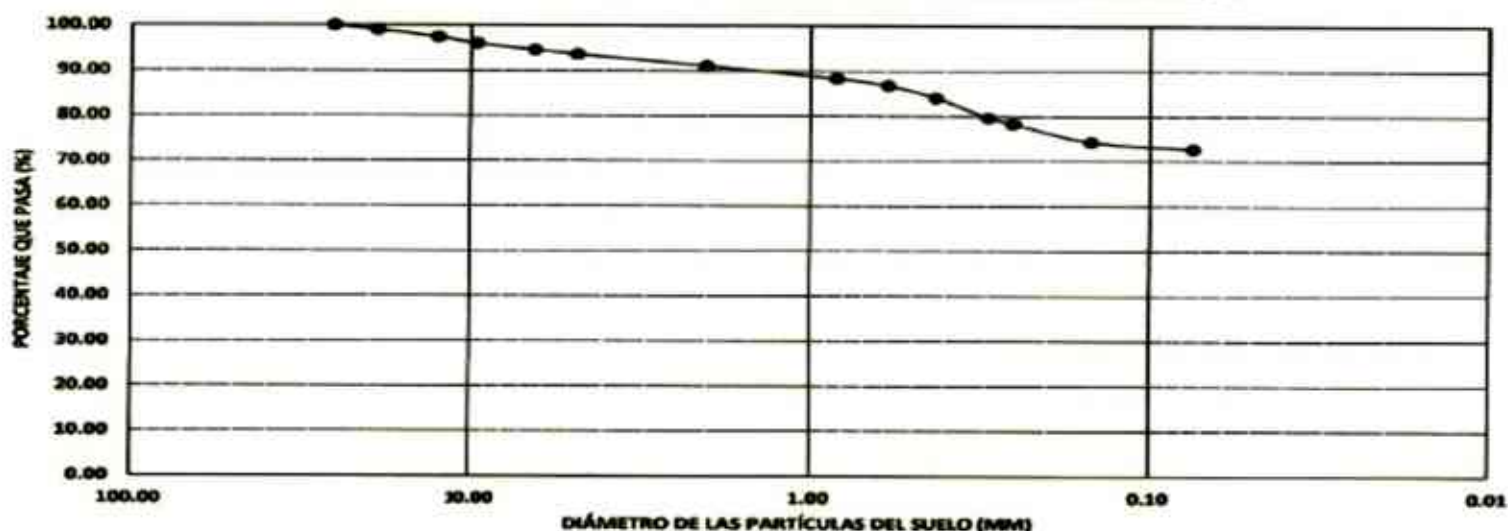
  

<b>Pasa tamiz N° 4 :</b>	93.638 %
<b>Pasa tamiz N° 200:</b>	72.701 %
<b>D60(díámetro efectivo):</b>	0.06 mm
<b>D30(díámetro efectivo):</b>	0.03 mm
<b>D10 (díámetro efectivo):</b>	0.01 mm
<b>Coef. de uniformidad (Cu):</b>	6.00
<b>Grado de curvatura (Cc):</b>	1.50

**OBSERVACIONES:**  
 Humedad: 9.13%

Gráfico de la Granulometría con Mallas Estándar



**TESIS** : "Umbrales de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"  
**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco  
**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres  
**SONDEO** : C-1  
**FECHA** : JULIO DEL 2022

**LIMITES DE ATTERBERG - NTP 339.129**
**ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO (ASTM D - 423)**

N° DE GOLPES	12	23	34	42
S. Humedo + Tara	17.57	16.97	15.22	14.73
S. seco + Tara	14.03	13.86	12.57	12.40
Peso de la Tara	4.46	4.69	4.41	4.75
Peso del Agua	3.53	3.11	2.65	2.33
Peso de Suelo Seco	9.57	9.17	8.16	7.65
<b>HUMEDAD %</b>	<b>36.91</b>	<b>33.96</b>	<b>32.48</b>	<b>30.45</b>

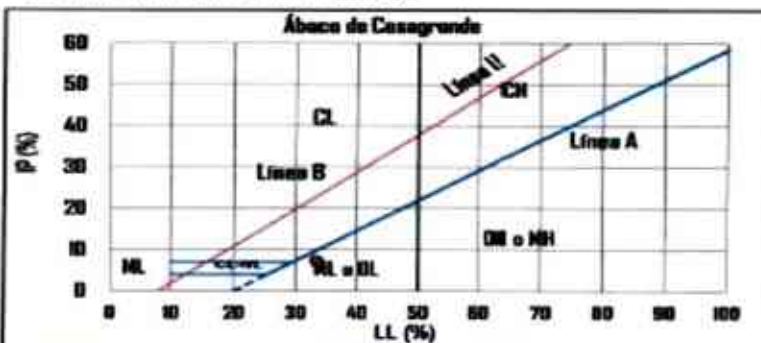
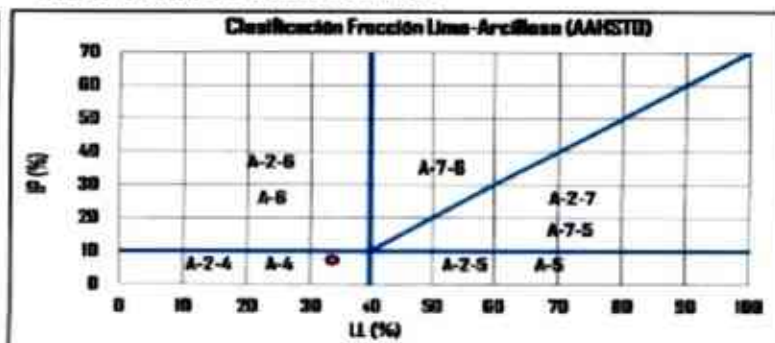
**ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D - 424)**

N° DE MUESTRA	01	02	03	04
S. Humedo + Tara	6.24	5.21	6.11	5.88
S. seco + Tara	6.11	5.07	5.97	5.74
Peso de la Tara	5.59	4.55	5.48	5.21
Peso del Agua	0.13	0.14	0.14	0.14
Peso de Suelo Seco	0.52	0.52	0.50	0.53
<b>HUMEDAD %</b>	<b>25.48</b>	<b>25.76</b>	<b>28.08</b>	<b>25.52</b>


**LÍMITE LÍQUIDO (LL) :** 33.46%

**LÍMITE PLÁSTICO (LP) :** 26.21%

**ÍNDICE PLÁSTICO (IP) :** 7.25%

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS):**

**CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO:**

**Clasificación de suelos: S.U.C.S.**

 Suelos de grano fino. Limos y arcillas  
 ML Limo con arcilla

**Clasificación de suelos: AASHTO**

Materiales de limo y arcilla	Regular a malo	Ind. Grupo:
A-4 Suelos limosos		5





**TESIS** : "Umbral de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"  
**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco  
**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres  
**SONDEO** : C-2 Estrato: E-02  
**FECHA** : Julio del 2022

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NTP 339.128**

TAMIZ N°	Dímetro (mm)	Peso Reten. (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	125.50	8.84	8.84	91.16
3/4"	19.05	61.30	4.32	13.16	86.84
1/2"	12.70	225.40	15.88	29.03	70.97
3/8"	9.53	116.60	8.21	37.24	62.76
1/4"	6.35	172.60	12.16	49.40	50.60
No 4	4.75	73.40	5.17	54.57	45.43
No 10	2.00	170.40	12.00	66.57	33.43
No 20	0.84	93.70	6.60	73.17	26.83
No 30	0.59	29.00	2.04	75.21	24.79
No 40	0.43	23.50	1.66	76.87	23.13
No 50	0.30	18.90	1.33	78.20	21.80
No 60	0.25	9.30	0.66	78.86	21.14
No 100	0.15	18.30	1.29	80.15	19.85
No 200	0.07	5.70	0.40	80.55	19.45
CAZOLETA	0.00	276.20	19.45	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1419.80</b>			

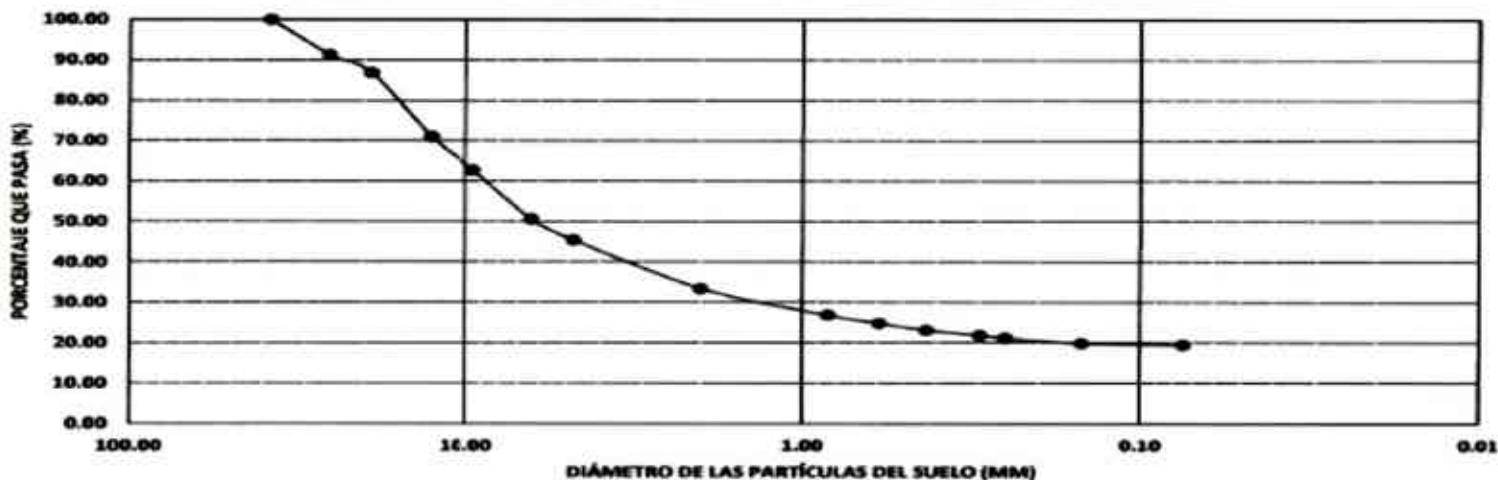
Peso de la Muestra Húmeda	1571.90 gr
Peso de la Muestra Seca	1510.50 gr
Peso de la Muestra Seca Lavada	1234.30 gr
Peso de la Tara	93.70 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Límite líquido LL	NP	Cantidad de Grava	54.57%
Límite plástico LP	NP	Cantidad de Arena	25.98%
Ind. de Plasticidad IP	NP	Cantidad de Limo-Arcilla	19.45%
		<b>Material granular equivalente a:</b>	<b>80.55%</b>

Pasa tamiz N° 4 :	45.429 %
Pasa tamiz N° 200:	19.453 %
D60(diámetro efectivo):	8.81 mm
D30(diámetro efectivo):	1.40 mm
D10 (diámetro efectivo):	0.04 mm
Coef. de uniformidad (Cu):	231.48
Grado de curvatura (Cc):	5.83

**OBSERVACIONES:**

Humedad Natural: 4.33%

**Gráfico de la Granulometría con Mallas Estándar**

**Clasificación de suelos: S.U.C.S.**

 Suelos de grano grueso. Gravas con finos  
 GM Grava limosa con arena

**Clasificación de suelos: AASHTO**

Materiales granulares	Excelente a buena	Ind. Grupo:
A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena		0



**TESIS** : "Umbral de Precipitación de LLuvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"  
**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco  
**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres  
**SONDEO** : C-3 Estrato: E-01  
**FECHA** : Julio del 2022

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NTP 339.128

TAMIZ N°	Diametro (mm)	Peso Reten. (gr)	Retenido (%)	Retenido acum. (%)	Pasa (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	100.20	7.09	7.09	92.91
3/4"	19.05	108.60	7.69	14.78	85.22
1/2"	12.70	261.40	18.51	33.29	66.71
3/8"	9.53	167.40	11.85	45.14	54.86
1/4"	6.35	220.50	15.61	60.75	39.25
No 4	4.75	107.20	7.59	68.34	31.66
No 10	2.00	200.60	14.20	82.55	17.45
No 20	0.84	68.40	4.84	87.39	12.61
No 30	0.59	11.60	0.82	88.21	11.79
No 40	0.43	11.20	0.79	89.00	11.00
No 50	0.30	16.40	1.16	90.17	9.83
No 60	0.25	22.40	1.59	91.75	8.25
No 100	0.15	62.40	4.42	96.17	3.83
No 200	0.07	22.90	1.62	97.79	2.21
GAZOLETA	0.00	31.20	2.21	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>1412.40</b>			

<b>Peso de la Muestra Húmeda</b>		1581.30 gr
<b>Peso de la Muestra Seca</b>		1558.70 gr
<b>Peso de la Muestra Seca Lavada</b>		1527.50 gr
<b>Peso de la Tara</b>		140.50 gr

LÍMITES DE ATTERBERG		GRANULOMETRÍA	
Limite líquido LL	NP	Cantidad de Grava	68.34%
Limite plástico LP	NP	Cantidad de Arena	29.45%
Ind. de Plasticidad IP	NP	Cantidad de Limo-Arcilla	2.21%
		<b>Material granular equivalente a:</b>	<b>97.79%</b>

<b>Pasa tamiz N° 4 :</b>	31.655 %
<b>Pasa tamiz N° 200:</b>	2.209 %
<b>D60(díámetro efectivo):</b>	10.90 mm
<b>D30(díámetro efectivo):</b>	4.44 mm
<b>D10 (díámetro efectivo):</b>	0.32 mm
<b>Coef. de uniformidad (Cu):</b>	34.57
<b>Grado de curvatura (Cc):</b>	5.73

<b>OBSERVACIONES:</b>	
Humedad Natural:	1.59%

## Gráfico de la Granulometría con Mallas Estándar



Clasificación de suelos: S.U.C.S.

Suelos de grano grueso. Gravas limpias

GP Grava mal graduada con arena

Clasificación de suelos: AASHTO

Materiales granulares

Excelente a buena

A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

Ind. Grupo:

0





RUC: 20573238258

Dirección: Bq. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, Píllco Marca - Huánuco

E-mail: geo.estructuras2020@gmail.com

Celular: 982006201, 980400610



**TESIS** : "Umbrales de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco" **REGISTRO N°:** -  
**SOLICITANTE** : Bach. Elizabeth Milagres Santiago Torres **MUESTREADO POR :** Solicitante  
**SONDEO** : C-2 **ESTRATO:** E-2 **ENSAYADO POR :** N. Salvador  
**UBICACIÓN DE PROYEC** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco **TURNO :** Diurno  
**FECHA** : Julio del 2022

**INFORME: CONTENIDO DE HUMEDAD EVAPORABLE DE LOS SUELOS ASTM C566-19**

ITEM	DESCRIPCION	UND.	DATOS	CALICATA
1	Peso del Recipiente	g	245.6	SONDEO: C-2 ESTRATO: E-2
2	Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	2594.1	
3	Peso del Recipiente + muestra seca	g	2534.8	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.59	



**PROYECTO** : "Umbrales de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de..."  
**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres  
**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco  
**FECHA** : Julio del 2022  
**CALICATA** : C-2

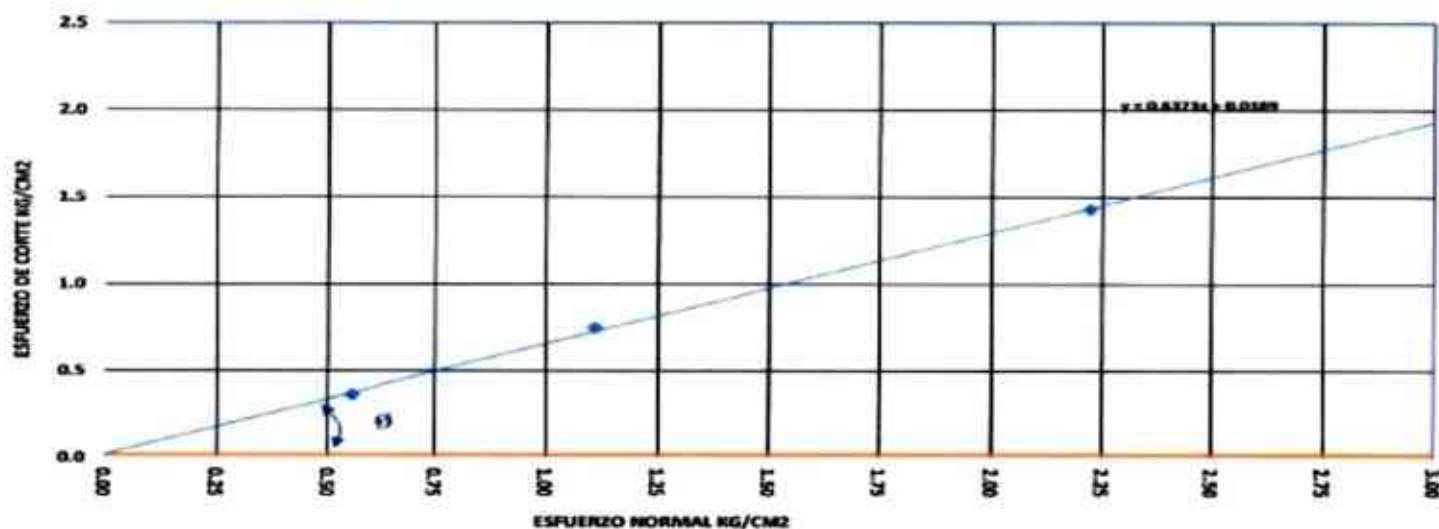
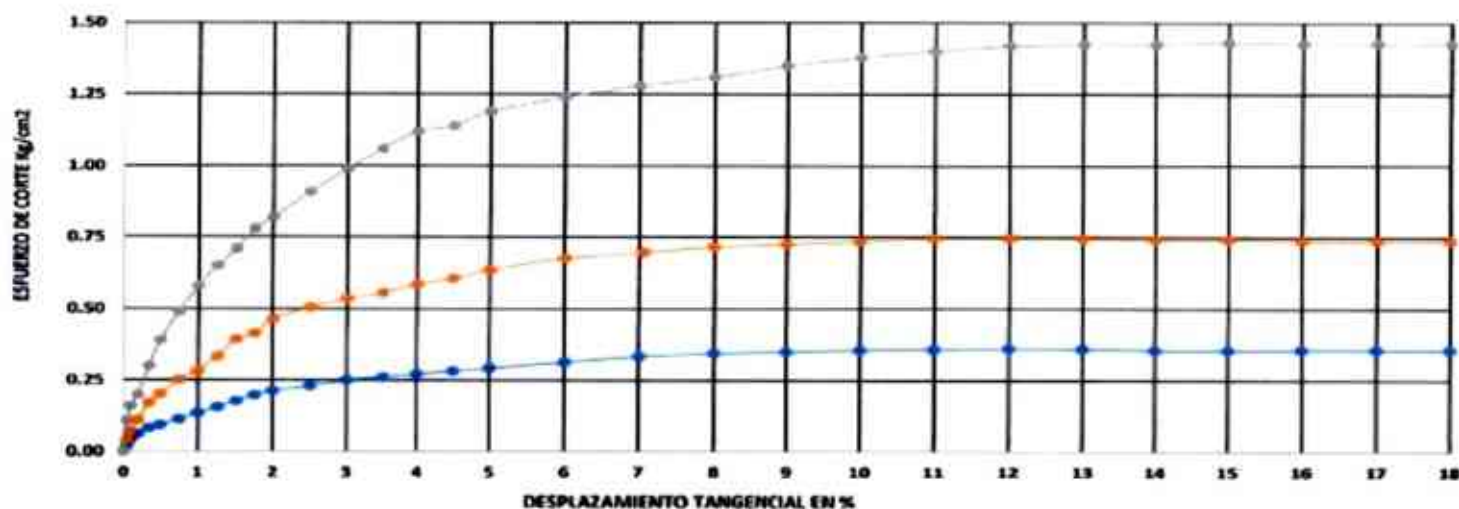
Estado: Remoldeado  
 clasificación: GM Grava limosa con arena

**CORTE DIRECTO ASTM D - 3080, AASHTO T - 236**

DATOS DEL ESPECIMEN			ESPECIMEN 01		ESPECIMEN 02		ESPECIMEN 03	
Esfuerzo Normal		Kg/cm <sup>2</sup>	0.56		1.11		2.22	
Etapas			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Altura	mm		19.05	17.07	19.05	16.34	19.04	18.03
Lado	mm		60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
Humedad	%		3.20	28.66	3.20	26.35	3.20	23.02
Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>		1.930	2.158	1.930	2.290	1.930	2.282
ESPECIMEN 01			ESPECIMEN 02			ESPECIMEN 03		
Deformación Tangencial %	Esfuerzo de Corte Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Normalizado Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Tangencial %	Esfuerzo de Corte Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Normalizado Kg/cm <sup>2</sup>	Deformación Tangencial %	Esfuerzo de Corte Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Normalizado Kg/cm <sup>2</sup>
0.00	0.00	1.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00
0.05	0.02	1.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.11	0.05
0.10	0.04	1.08	0.10	0.07	0.06	0.10	0.16	0.07
0.20	0.06	1.11	0.20	0.11	0.10	0.20	0.20	0.09
0.35	0.08	1.15	0.35	0.17	0.15	0.35	0.30	0.13
0.50	0.09	1.17	0.50	0.20	0.18	0.50	0.39	0.18
0.75	0.11	1.21	0.75	0.25	0.23	0.75	0.49	0.22
1.00	0.14	1.24	1.00	0.28	0.25	1.00	0.58	0.26
1.25	0.16	1.28	1.25	0.33	0.30	1.25	0.65	0.29
1.50	0.18	1.32	1.50	0.39	0.35	1.50	0.71	0.32
1.75	0.20	1.36	1.75	0.41	0.37	1.75	0.78	0.35
2.00	0.21	1.38	2.00	0.46	0.42	2.00	0.82	0.37
2.50	0.23	1.41	2.50	0.50	0.45	2.50	0.91	0.41
3.00	0.25	1.45	3.00	0.53	0.48	3.00	0.99	0.45
3.50	0.26	1.47	3.50	0.55	0.50	3.50	1.06	0.48
4.00	0.27	1.49	4.00	0.58	0.53	4.00	1.12	0.50
4.50	0.28	1.51	4.50	0.60	0.54	4.50	1.14	0.51
5.00	0.29	1.53	5.00	0.63	0.57	5.00	1.19	0.54
6.00	0.31	1.56	6.00	0.68	0.61	6.00	1.24	0.56
7.00	0.33	1.60	7.00	0.70	0.63	7.00	1.28	0.58
8.00	0.34	1.62	8.00	0.72	0.64	8.00	1.31	0.59
9.00	0.35	1.63	9.00	0.73	0.65	9.00	1.35	0.61
10.00	0.36	1.64	10.00	0.74	0.66	10.00	1.38	0.62
11.00	0.36	1.65	11.00	0.75	0.67	11.00	1.40	0.63
12.00	0.36	1.65	12.00	0.75	0.67	12.00	1.42	0.64
13.00	0.36	1.65	13.00	0.75	0.67	13.00	1.42	0.64
14.00	0.36	1.64	14.00	0.74	0.67	14.00	1.42	0.64
15.00	0.35	1.64	15.00	0.74	0.67	15.00	1.43	0.64
16.00	0.36	1.64	16.00	0.74	0.66	16.00	1.43	0.64
17.00	0.36	1.64	17.00	0.74	0.66	17.00	1.43	0.64
18.00	0.36	1.64	18.00	0.74	0.66	18.00	1.43	0.64

**TESIS** : "Umbral de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"  
**SOLICITA** : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres  
**UBICACIÓN** : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco  
**FECHA** : Julio del 2022

Estado : Remoldeado  
 clasificación : GM Grava limosa con arena

**CORTE DIRECTO ASTM D - 3080, AASHTO T - 236**


$\phi = 32.5^\circ$   
 $c = 0.019 \text{ Kg/cm}^2$





RUC: 20573238258

Dirección: Bq. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, Pillico Marca - Huánuco

E-mail: geo.estructuras2020@gmail.com

Celular: 982008201, 960400610



TESIS : "Umbrales de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Detritos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"

REGISTRO N°: -

SOLICITANTE : Bach. Elizabeth Milagros Santiago Torres

MUESTREADO POR : Solicitante

SONDEO : C-2 PROFUNDIDAD: 1.50 m

ENSAYADO POR : N. Salvador

UBICACIÓN DE TESIS : Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco

TURNO : Diurno

FECHA : Julio del 2022

### INFORME: ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU POR RETENCION

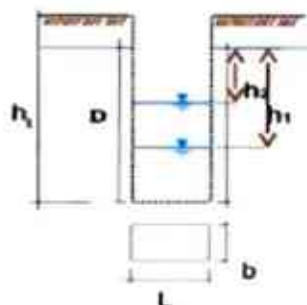
#### Datos del ensayo

$$h_1 = 150.00 \text{ cm}$$

$$D = 120.00 \text{ cm}$$

$$L = 90.00 \text{ cm}$$

$$b = 60.00 \text{ cm}$$



#### Radio equivalente

$$r = \sqrt{\frac{L \cdot b}{\pi}}$$

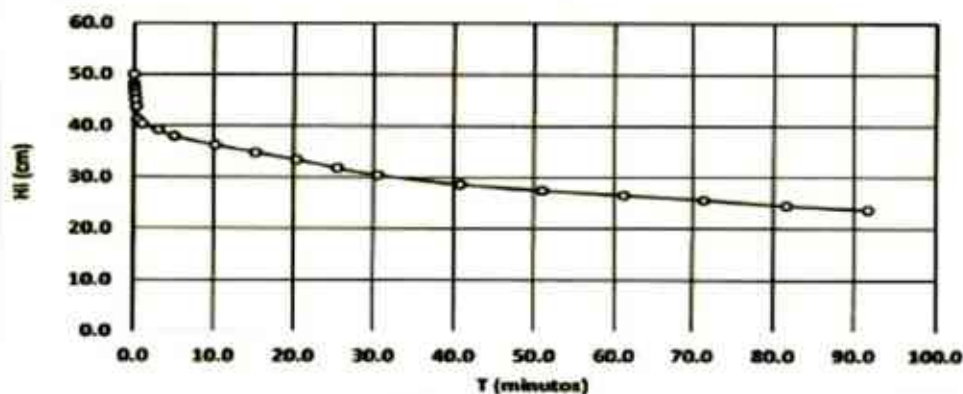
$$r = 41.46 \text{ cm}$$

#### Cálculo de la permeabilidad

$$k = \frac{\pi r}{4(t_1 - t_2)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

#### Registro de lecturas

T (min)	h (cm)	$\Delta t$	$\ln(h_1/h_2)$
0.00	50.00		
0.02	48.02	0.02	0.0404
0.05	47.63	0.03	0.0082
0.08	47.04	0.03	0.0124
0.17	46.16	0.09	0.0189
0.26	45.08	0.08	0.0236
0.34	43.71	0.08	0.0309
0.51	41.16	0.17	0.0601
1.02	40.38	0.51	0.0192
3.06	39.20	2.04	0.0296
5.10	37.93	2.04	0.0330
10.20	36.26	5.10	0.0449
15.30	34.79	5.10	0.0414
20.40	33.42	5.10	0.0402
25.50	31.75	5.10	0.0511
30.60	30.38	5.10	0.0442
40.80	28.62	10.20	0.0598
51.00	27.44	10.20	0.0420
61.20	26.48	10.20	0.0356
71.40	25.60	10.20	0.0339
81.60	24.50	10.20	0.0438
91.80	23.70	10.20	0.0332



$$k = 1.1E-01 \text{ cm/s}$$



RUC: 20573238258

Dirección: Bq. Marabamba N° Parc. 35 CPMen. Marabamba, Pilco Marca - Huánuco

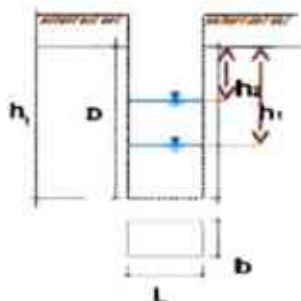
E-mail: geo.estructuras2020@gmail.com

Celular: 982008201, 960400610



TESIS	: "Umbral de Precipitación de Lluvia como Factor Detonante, para el Seguimiento y Pronóstico de Movimientos de Flujo de Debridos en la Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco"	REGISTRO N°: -
SOLICITANTE	: Bach. Elizabeth Vilagros Santiago Torres	MUESTREADO POR : Solicitante
SONDEO	: C-3 PROFUNDIDAD: 1.50 m	ENSAYADO POR : N. Salvador
UBICACIÓN DE TESIS	: Quebrada Rosayoc/Batán - Distrito de San Rafael - Provincia de Ambo - Departamento de Huánuco	TURNO : Diurno
FECHA	: Julio del 2022	

### INFORME: ENSAYO DE PERMEABILIDAD IN-SITU POR RETENCIÓN



#### Datos del ensayo

$$h_1 = 150.00 \text{ cm}$$

$$D = 120.00 \text{ cm}$$

$$L = 90.00 \text{ cm}$$

$$b = 60.00 \text{ cm}$$

#### Radio equivalente

$$r = \sqrt{\frac{L \cdot b}{\pi}}$$

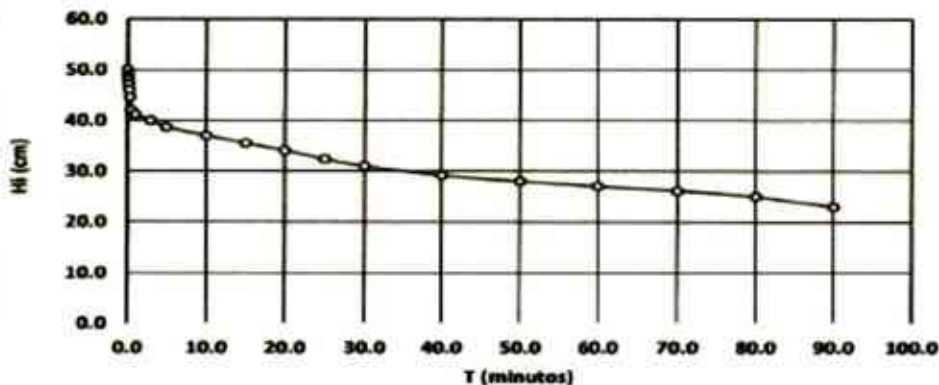
$$r = 41.46 \text{ cm}$$

#### Cálculo de la permeabilidad

$$k = \frac{\pi r}{4(t_1 - t_2)} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

#### Registro de lecturas

T (min)	h (cm)	$\Delta t$	$\ln(h_1/h_2)$
0.00	50.00		
0.02	49.00	0.02	0.1202
0.05	48.60	0.03	0.1082
0.08	48.00	0.03	0.1124
0.17	47.10	0.08	0.1189
0.25	46.00	0.08	0.1236
0.33	44.60	0.08	0.1309
0.50	42.00	0.17	0.1601
1.00	41.20	0.50	0.1192
3.00	40.00	2.00	0.1296
5.00	38.70	2.00	0.1330
10.00	37.00	5.00	0.1449
15.00	35.60	5.00	0.1414
20.00	34.10	5.00	0.1402
25.00	32.40	5.00	0.1511
30.00	31.00	5.00	0.1442
40.00	29.20	10.00	0.1598
50.00	28.00	10.00	0.1420
60.00	27.02	10.00	0.1356
70.00	26.12	10.00	0.1339
80.00	25.00	10.00	0.1438
90.00	23.00	10.00	0.1834

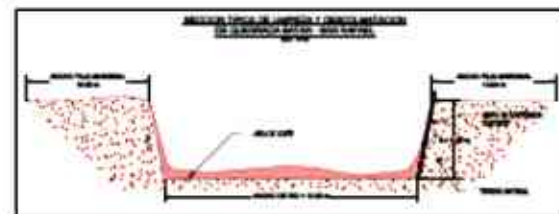
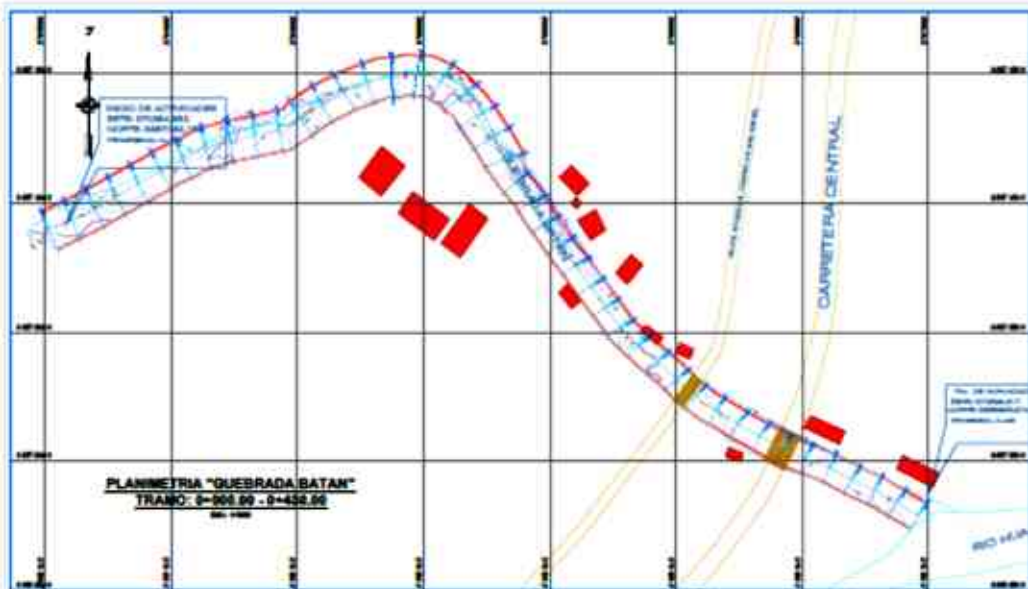


$$k = 2.7E-01 \text{ cm/s}$$



**ANEXO 15: PLANO DE PLANIMETRIA Y PERFIL  
LONGITUDINAL REALIZADO POR LA  
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL –  
AÑO 2019**

## PLANO DE PLANIMETRIA Y PERFIL LONGITUDINAL



**PERFIL LONGITUDINAL "QUEBRADA BATÁN"**  
TRAMO: 0+000.00 - 0+450.00



CALCULO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS									
ESTACION	ESTACION ANTERIOR	AREA DE CORTA (M <sup>2</sup> )	AREA DE RELLENO (M <sup>2</sup> )	VOL. DE CORTA (M <sup>3</sup> )	VOL. DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	EXCESO DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	DEFICIT DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	ESTACION DE BALANCE	VOL. BALANCE (M <sup>3</sup> )
0+000.00	0+000.00	4075	0	0	0	0	0	0	0
0+010.00	0+000.00	2747	0	427	0	0	0	0	427
0+020.00	0+010.00	3041	0	502	0	0	0	0	929
0+030.00	0+020.00	3243	0	581	0	0	0	0	1510
0+040.00	0+030.00	3453	0	663	0	0	0	0	2173
0+050.00	0+040.00	3671	0	749	0	0	0	0	2922
0+060.00	0+050.00	3897	0	839	0	0	0	0	3761
0+070.00	0+060.00	4131	0	933	0	0	0	0	4694
0+080.00	0+070.00	4373	0	1031	0	0	0	0	5725
0+090.00	0+080.00	4623	0	1133	0	0	0	0	6858
0+100.00	0+090.00	4881	0	1239	0	0	0	0	8093
0+110.00	0+100.00	5147	0	1349	0	0	0	0	9442
0+120.00	0+110.00	5421	0	1463	0	0	0	0	10905
0+130.00	0+120.00	5703	0	1581	0	0	0	0	12486
0+140.00	0+130.00	5993	0	1703	0	0	0	0	14189
0+150.00	0+140.00	6291	0	1829	0	0	0	0	16014
0+160.00	0+150.00	6597	0	1959	0	0	0	0	17963
0+170.00	0+160.00	6911	0	2093	0	0	0	0	20036
0+180.00	0+170.00	7233	0	2231	0	0	0	0	22243
0+190.00	0+180.00	7563	0	2373	0	0	0	0	24586
0+200.00	0+190.00	7901	0	2519	0	0	0	0	27075
0+210.00	0+200.00	8247	0	2669	0	0	0	0	29700
0+220.00	0+210.00	8601	0	2823	0	0	0	0	32473
0+230.00	0+220.00	8963	0	2981	0	0	0	0	35394
0+240.00	0+230.00	9333	0	3143	0	0	0	0	38463
0+250.00	0+240.00	9711	0	3309	0	0	0	0	41692
0+260.00	0+250.00	10097	0	3479	0	0	0	0	45091
0+270.00	0+260.00	10491	0	3653	0	0	0	0	48664
0+280.00	0+270.00	10893	0	3831	0	0	0	0	52411
0+290.00	0+280.00	11303	0	4013	0	0	0	0	56334
0+300.00	0+290.00	11721	0	4200	0	0	0	0	60444
0+310.00	0+300.00	12147	0	4391	0	0	0	0	64741
0+320.00	0+310.00	12581	0	4587	0	0	0	0	69224
0+330.00	0+320.00	13023	0	4787	0	0	0	0	73891
0+340.00	0+330.00	13473	0	4991	0	0	0	0	78742
0+350.00	0+340.00	13931	0	5199	0	0	0	0	83777
0+360.00	0+350.00	14397	0	5411	0	0	0	0	89008
0+370.00	0+360.00	14871	0	5627	0	0	0	0	94435
0+380.00	0+370.00	15353	0	5847	0	0	0	0	101068
0+390.00	0+380.00	15843	0	6071	0	0	0	0	107899
0+400.00	0+390.00	16341	0	6300	0	0	0	0	114939
0+410.00	0+400.00	16847	0	6533	0	0	0	0	122192
0+420.00	0+410.00	17361	0	6771	0	0	0	0	129659
0+430.00	0+420.00	17883	0	7014	0	0	0	0	137343
0+440.00	0+430.00	18413	0	7261	0	0	0	0	145244
0+450.00	0+440.00	18951	0	7513	0	0	0	0	153367

ESTACION	ESTACION ANTERIOR	AREA DE CORTA (M <sup>2</sup> )	AREA DE RELLENO (M <sup>2</sup> )	VOL. DE CORTA (M <sup>3</sup> )	VOL. DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	EXCESO DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	DEFICIT DE RELLENO (M <sup>3</sup> )	ESTACION DE BALANCE	VOL. BALANCE (M <sup>3</sup> )
0+000.00	0+000.00	4075	0	0	0	0	0	0	0
0+010.00	0+000.00	2747	0	427	0	0	0	0	427
0+020.00	0+010.00	3041	0	502	0	0	0	0	929
0+030.00	0+020.00	3243	0	581	0	0	0	0	1510
0+040.00	0+030.00	3453	0	663	0	0	0	0	2173
0+050.00	0+040.00	3671	0	749	0	0	0	0	2922
0+060.00	0+050.00	3897	0	839	0	0	0	0	3761
0+070.00	0+060.00	4131	0	933	0	0	0	0	4694
0+080.00	0+070.00	4373	0	1031	0	0	0	0	5725
0+090.00	0+080.00	4623	0	1133	0	0	0	0	6858
0+100.00	0+090.00	4881	0	1239	0	0	0	0	8093
0+110.00	0+100.00	5147	0	1349	0	0	0	0	9442
0+120.00	0+110.00	5421	0	1463	0	0	0	0	10905
0+130.00	0+120.00	5703	0	1581	0	0	0	0	12486
0+140.00	0+130.00	5993	0	1703	0	0	0	0	14189
0+150.00	0+140.00	6291	0	1829	0	0	0	0	16014
0+160.00	0+150.00	6597	0	1959	0	0	0	0	17963
0+170.00	0+160.00	6911	0	2093	0	0	0	0	20036
0+180.00	0+170.00	7233	0	2231	0	0	0	0	22243
0+190.00	0+180.00	7563	0	2373	0	0	0	0	24586
0+200.00	0+190.00	7901	0	2519	0	0	0	0	27075
0+210.00	0+200.00	8247	0	2669	0	0	0	0	29700
0+220.00	0+210.00	8601	0	2823	0	0	0	0	32473
0+230.00	0+220.00	8963	0	2981	0	0	0	0	35394
0+240.00	0+230.00	9333	0	3143	0	0	0	0	38463
0+250.00	0+240.00	9711	0	3309	0	0	0	0	41692
0+260.00	0+250.00	10097	0	3479	0	0	0	0	45091
0+270.00	0+260.00	10491	0	3653	0	0	0	0	48664
0+280.00	0+270.00	10893	0	3831	0	0	0	0	52411
0+290.00	0+280.00	11303	0	4013	0	0	0	0	56334
0+300.00	0+290.00	11721	0	4200	0	0	0	0	60444
0+310.00	0+300.00	12147	0	4391	0	0	0	0	64741
0+320.00	0+310.00	12581	0	4587	0	0	0	0	69224
0+330.00	0+320.00	13023	0	4787	0	0	0	0	73891
0+340.00	0+330.00	13473	0	4991	0	0	0	0	78742
0+350.00	0+340.00	13931	0	5199	0	0	0	0	83777
0+360.00	0+350.00	14397	0	5411	0	0	0	0	89008
0+370.00	0+360.00	14871	0	5627	0	0	0	0	94435
0+380.00	0+370.00	15353	0	5847	0	0	0	0	101068
0+390.00	0+380.00	15843	0	6071	0	0	0	0	107899
0+400.00	0+390.00	16341	0	6300	0	0	0	0	114939
0+410.00	0+400.00	16847	0	6533	0	0	0	0	122192
0+420.00	0+410.00	17361	0	6771	0	0	0	0	129659
0+430.00	0+420.00	17883	0	7014	0	0	0	0	137343
0+440.00	0+430.00	18413	0	7261	0	0	0	0	145244
0+450.00	0+440.00	18951	0	7513	0	0	0	0	153367

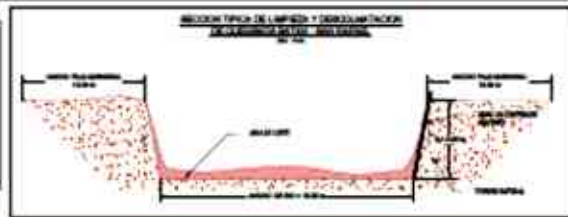
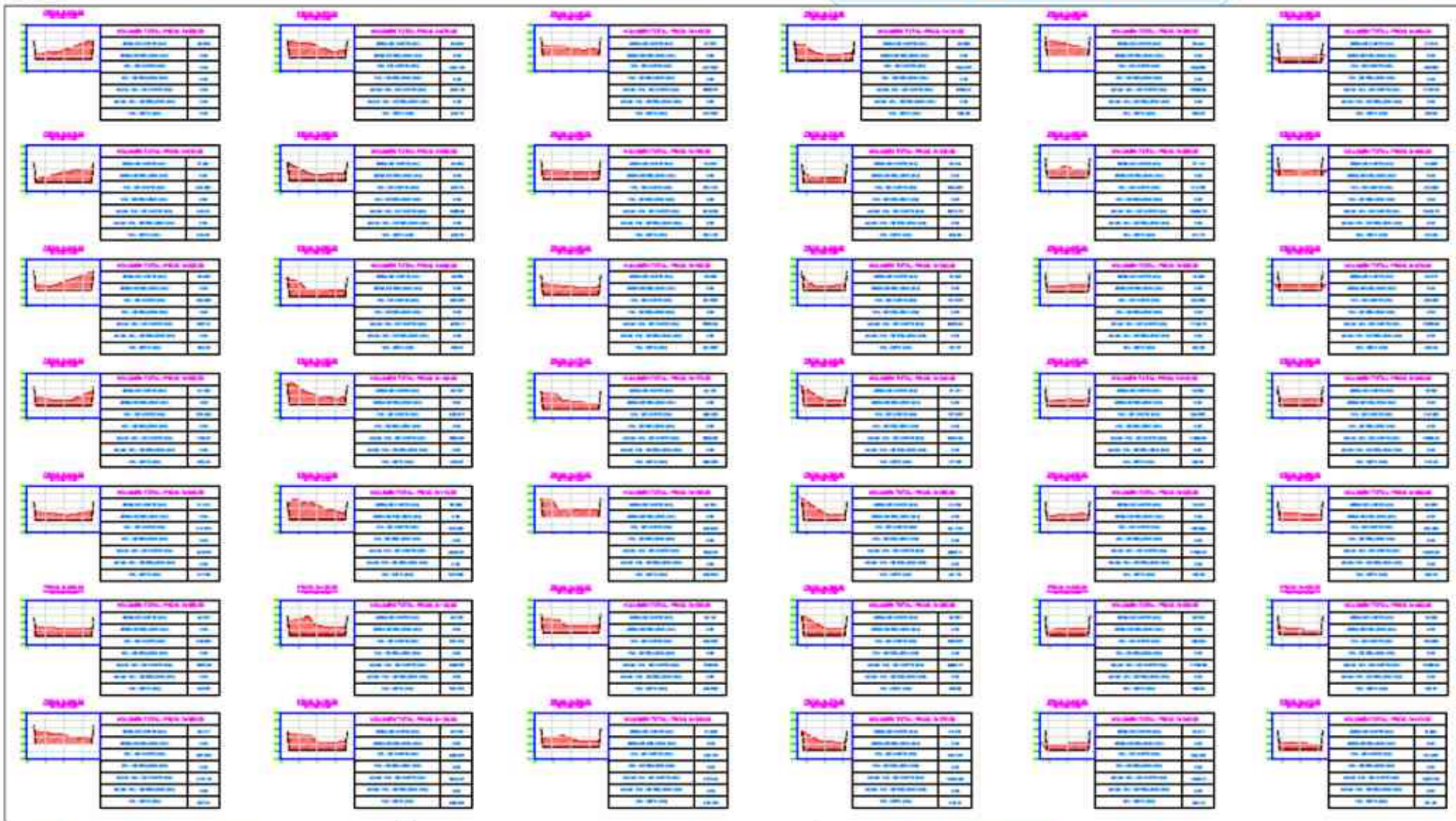

**PLANO DE PLANIMETRIA Y PERFIL LONGITUDINAL**  
 PP-01

**ANEXO 16: PLANO DE SECCIONES  
TRANSVERSALES REALIZADO POR LA  
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN RAFAEL –  
AÑO 2019**



**PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES**  
**TRAMO: 0+000.00 - 0+430.00**  
 Esc: 1:500

**PLANO DE SECCIONES TRANSVERSALES**



**RESUMEN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS**

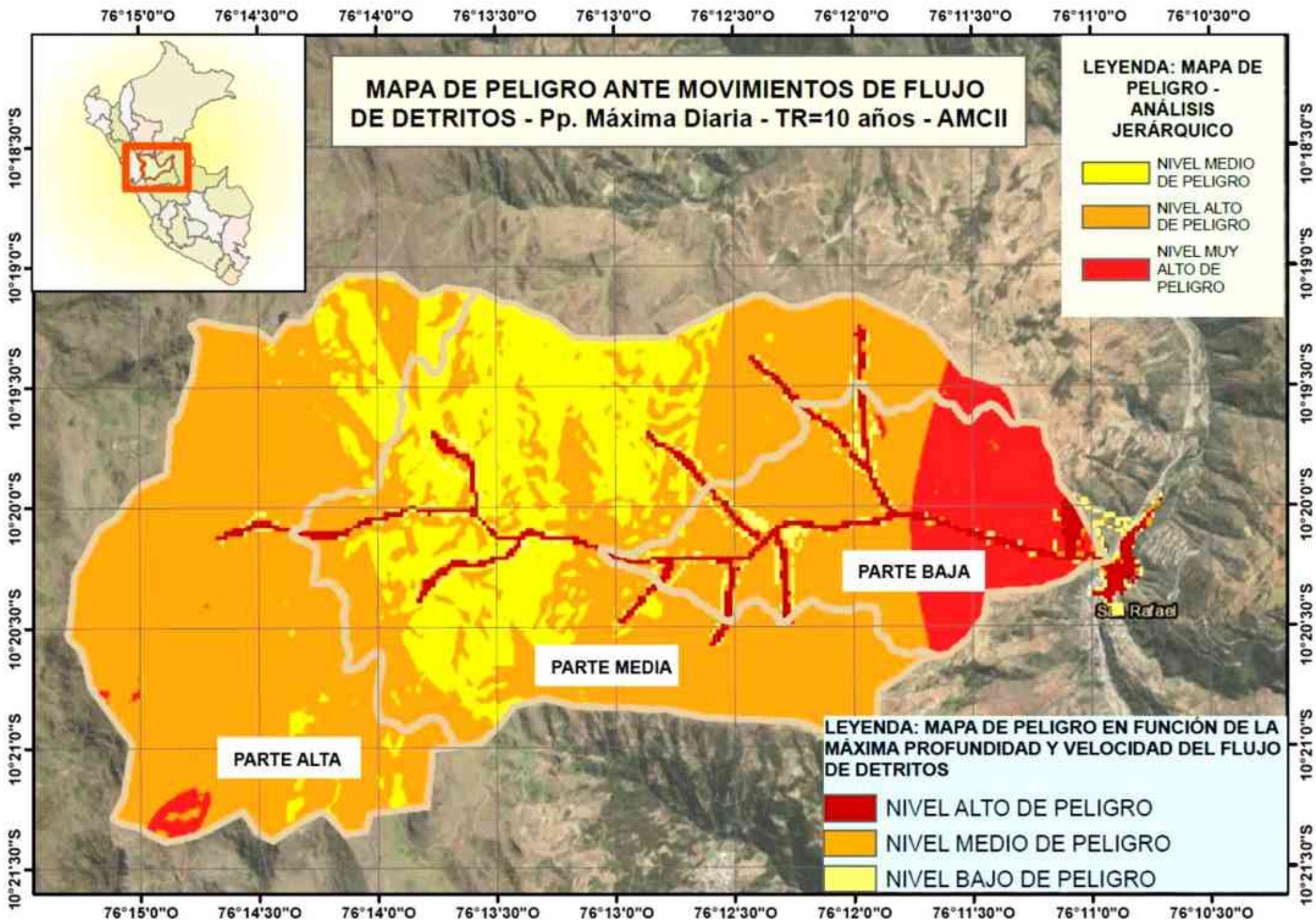
LIMPES Y DESBOLSAPIERAS DE CANAL	
VOLÚMEN TOTAL DE COBRE	12,887.75 m³
VOLÚMEN TOTAL DE RELLENOS	0.00 m³
VOLÚMEN TOTAL NETO	12,887.75 m³
BARRIOS DE MATERIAL EXCEDENTE	
VOLÚMEN A BARRIO	12,887.75 m³
FACT. DE BARRIOS/COBRE (GENERAL) (RESUMIDO EN PLAN)	1.10
VOLÚMEN TOTAL A BARRIO	14,176.53 m³

PLAN DE SECCIONES TRANSVERSALES

ST-01

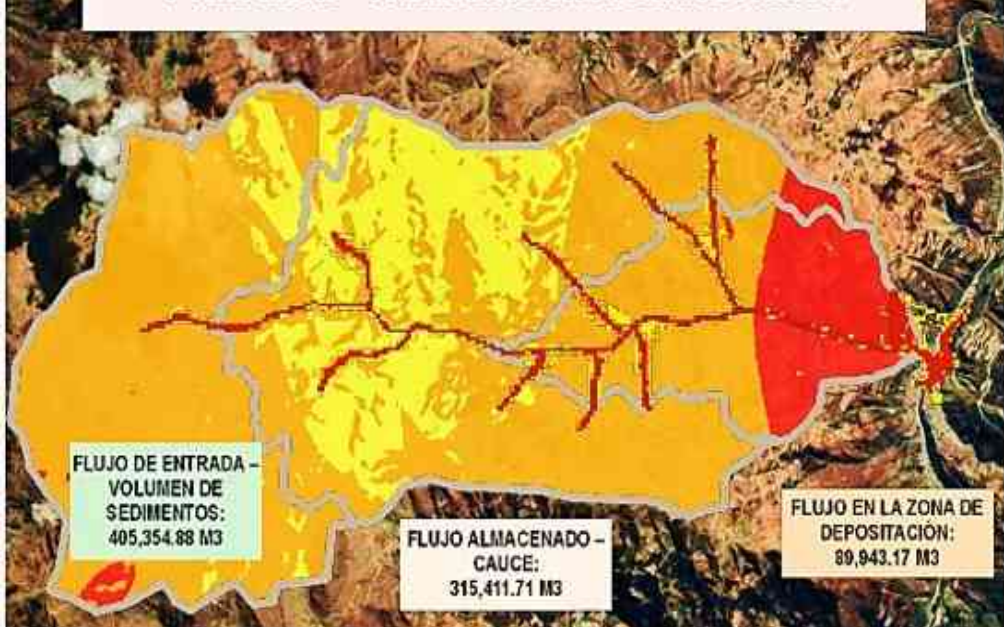
**ANEXO 17: MAPA DE PELIGRO ANTE  
MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS  
DETONADO POR LAS PRECIPITACIONES  
MÁXIMAS DIARIAS, EN CONDICIONES  
NORMALES (AMCII) DEL SUELO PARA UN  
PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10 AÑOS**







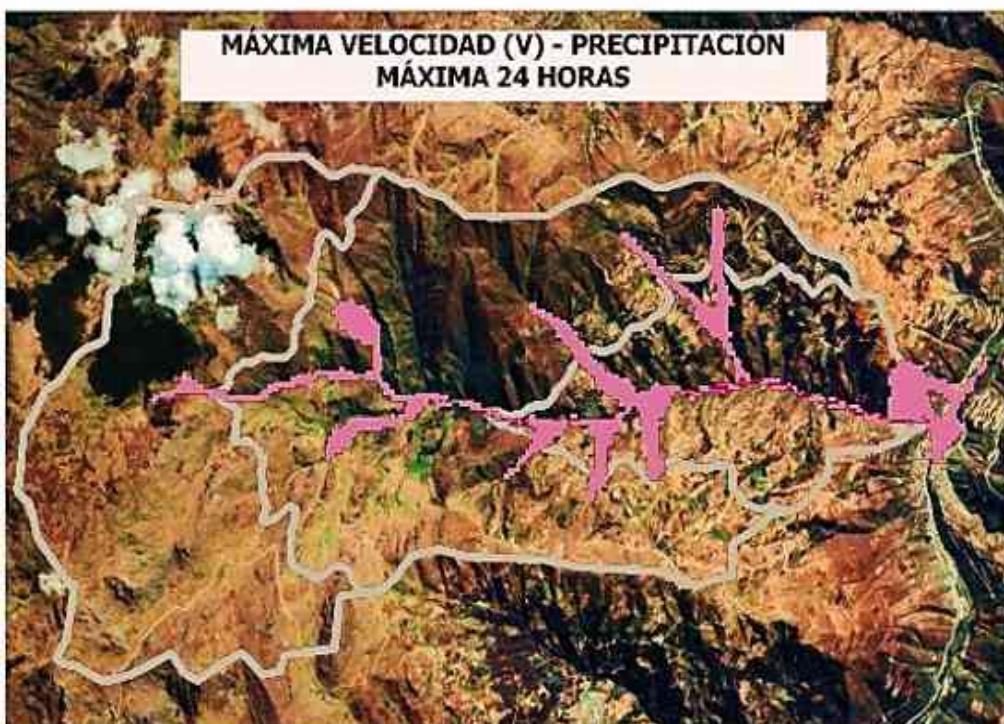
**MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD - PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS**



**MÁXIMA PROFUNDIDAD (h) - PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS**



**MÁXIMA VELOCIDAD (V) - PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS**



### LEYENDA1

MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁX. PROF. Y VELOC -

PpMAX\_TR=10

Band 1 (Gray)

- NIVEL DE PELIGRO BAJO
- NIVEL DE PELIGRO MEDIO
- NIVEL DE PELIGRO ALTO

MAPA DE PELIGRO LOCAL (CENEPRED)

Band 1 (Gray)

- NIVEL DE PELIGRO MEDIO
- NIVEL DE PELIGRO ALTO
- NIVEL DE PELIGRO MUY ALTO

### LEYENDA2

RECLASS\_VELOC\_PpMáx\_TR=10

Band 1 (Gray)

- 0.00 - 0.0033 m/seg LENTO - MODERADO
- 0.0033 - 0.05 m/seg RÁPIDO
- 0.05 - 5.00 m/seg MUY RÁPIDO
- 5.00 - 10.50 m/seg EXTREMADAMENTE RÁPIDO

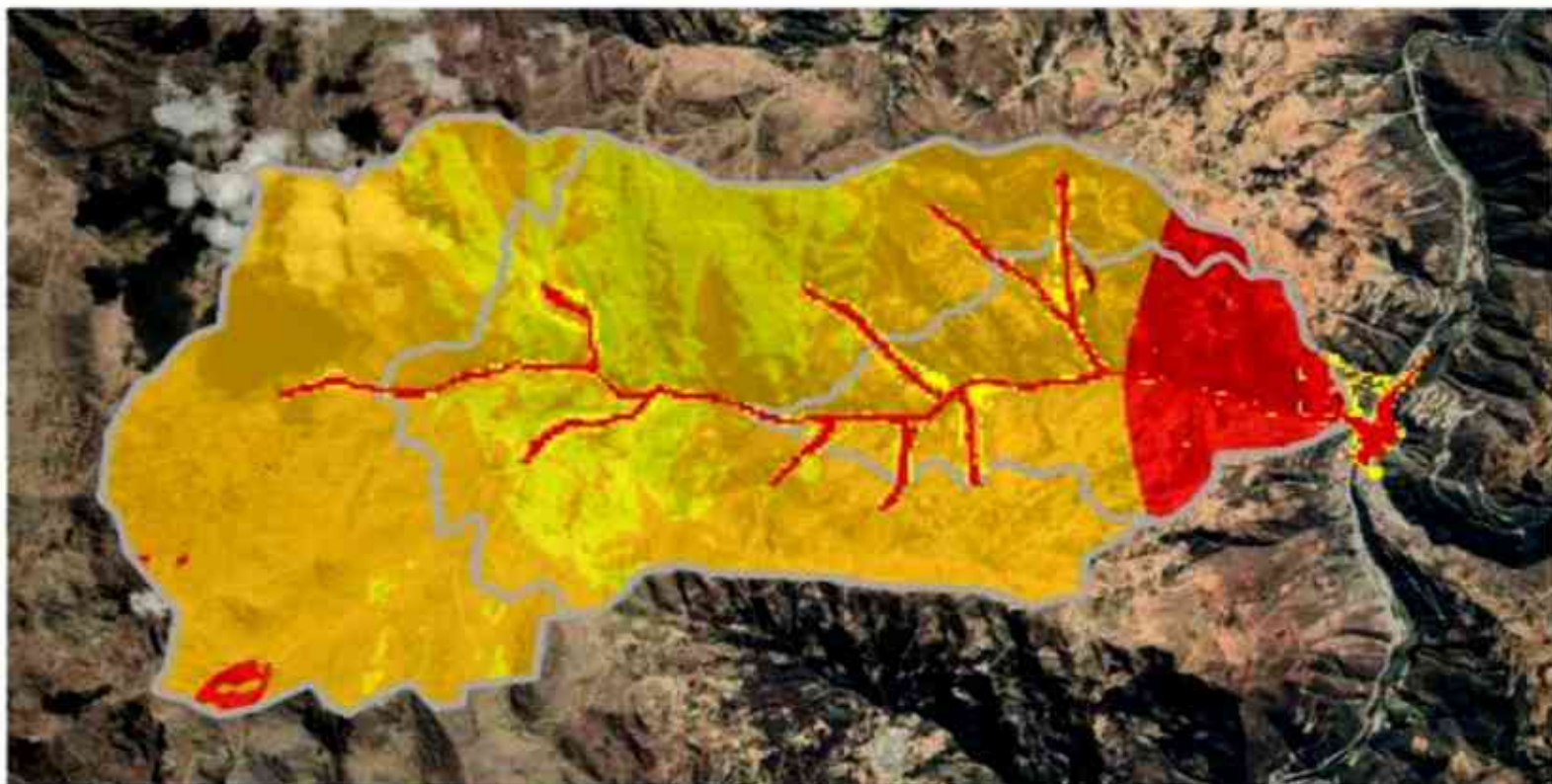
RECLASS\_PROFUND\_PpMáx\_TR=10

Band 1 (Gray)

- 0.00 - 0.20
- 0.20 - 1.00 m NIVEL BAJO
- 1.00 - 2.00 m NIVEL MEDIO
- 2.00 - 5.88 m NIVEL ALTO



**MAPA DE PELIGRO ANTE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR LA PREIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA, EN CONDICIONES NORMALES (AMCII) DEL SUELO Y PARA UN PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10 AÑOS**



**LEYENDA\_NIVELES DE PELIGRO**

MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD LOCAL

Band 1 (Gray)

- NIVEL BAJO
- NIVEL MEDIO
- NIVEL ALTO



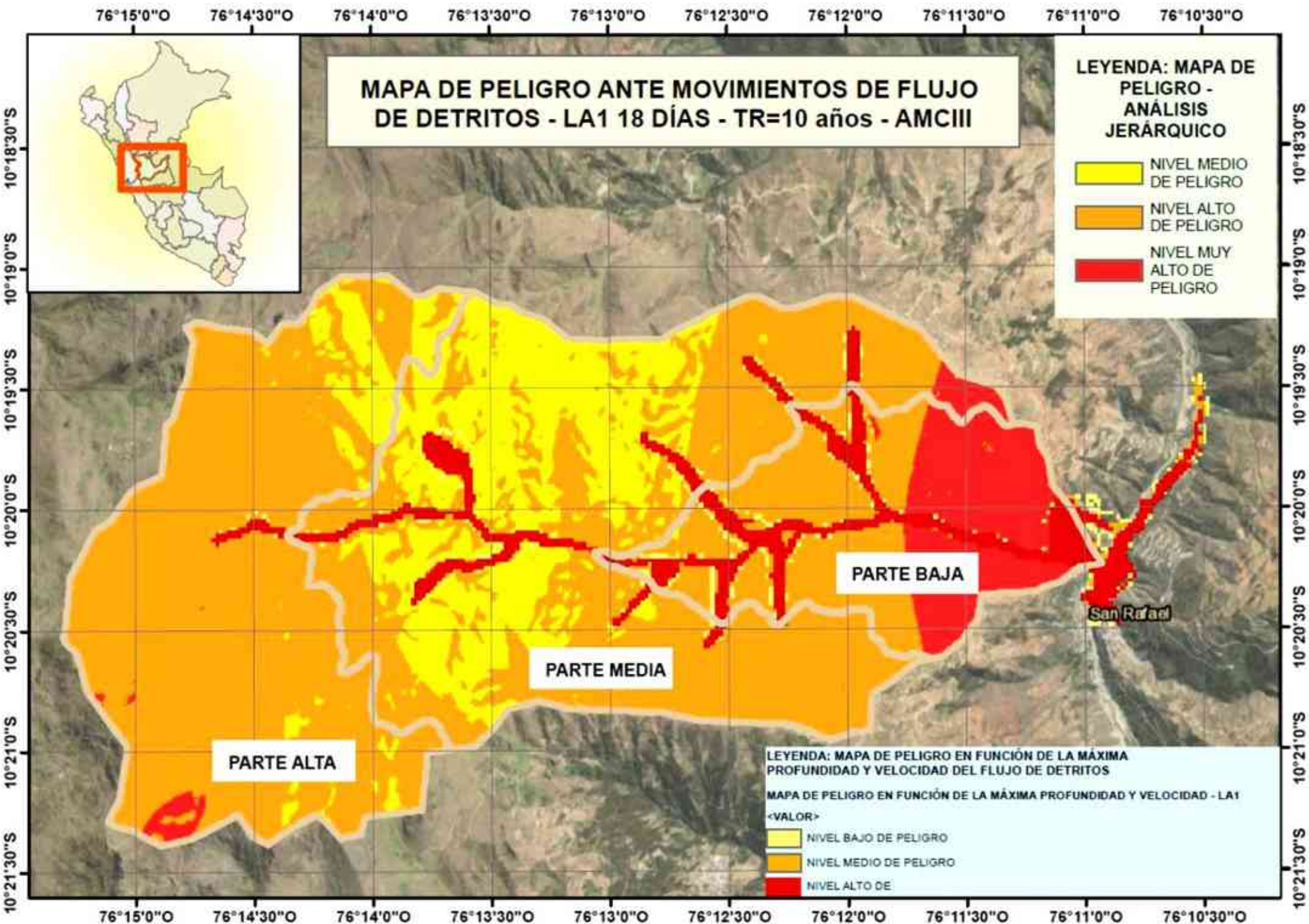
MAPA DE PELIGRO LOCAL (CENEPRED)

Band 1 (Gray)

- NIVEL DE PELIGRO MEDIO
- NIVEL DE PELIGRO ALTO
- NIVEL DE PELIGRO MUY ALTO

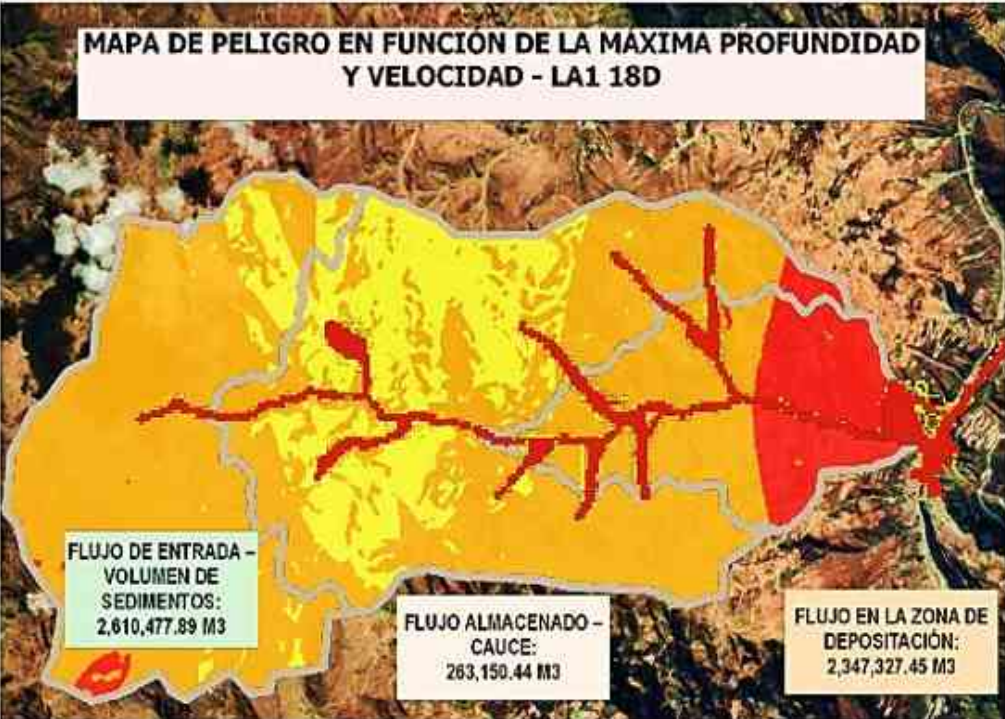
**ANEXO 18: MAPA DE PELIGRO ANTE  
MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS  
DETONADO POR EL UMBRAL LA1 DE 18 DÍAS,  
EN CONDICIONES HÚMEDAS (AMCIII) DEL SUELO  
PARA UN PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10  
AÑOS**



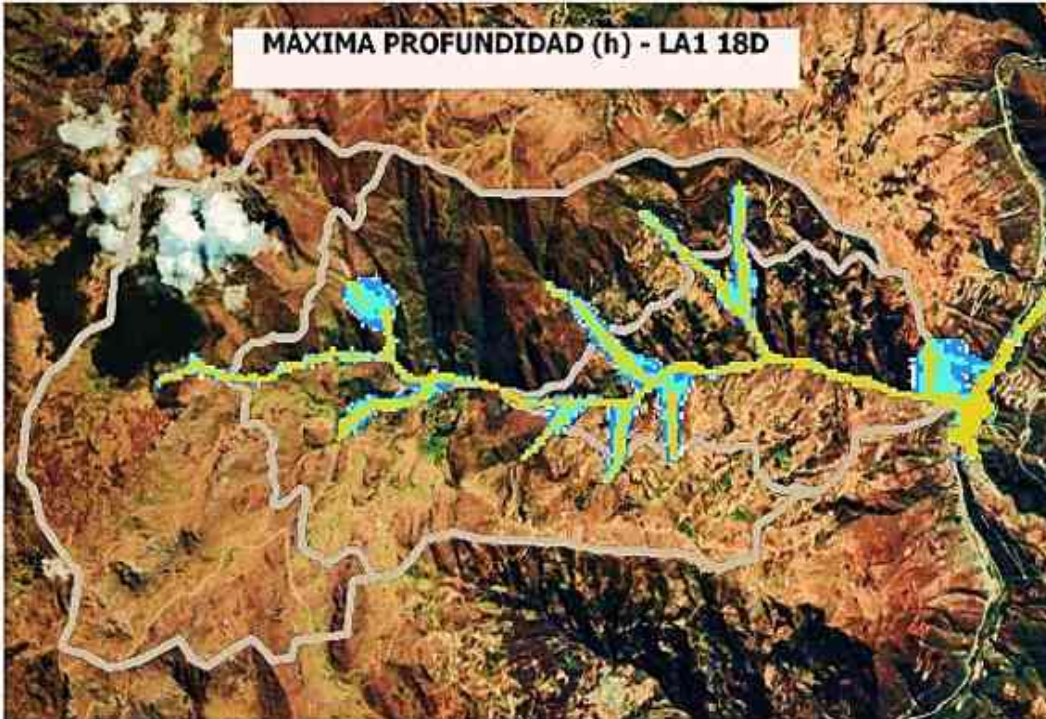




**MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD - LA1 18D**



**MAXIMA PROFUNDIDAD (h) - LA1 18D**



**MÁXIMA VELOCIDAD (V) - LA1 18D**



**LEYENDA1**

MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD - LA1 18D

- Band 1 (Gray)
- NIVEL DE PELIGRO BAJO
  - NIVEL DE PELIGRO MEDIO
  - NIVEL DE PELIGRO ALTO

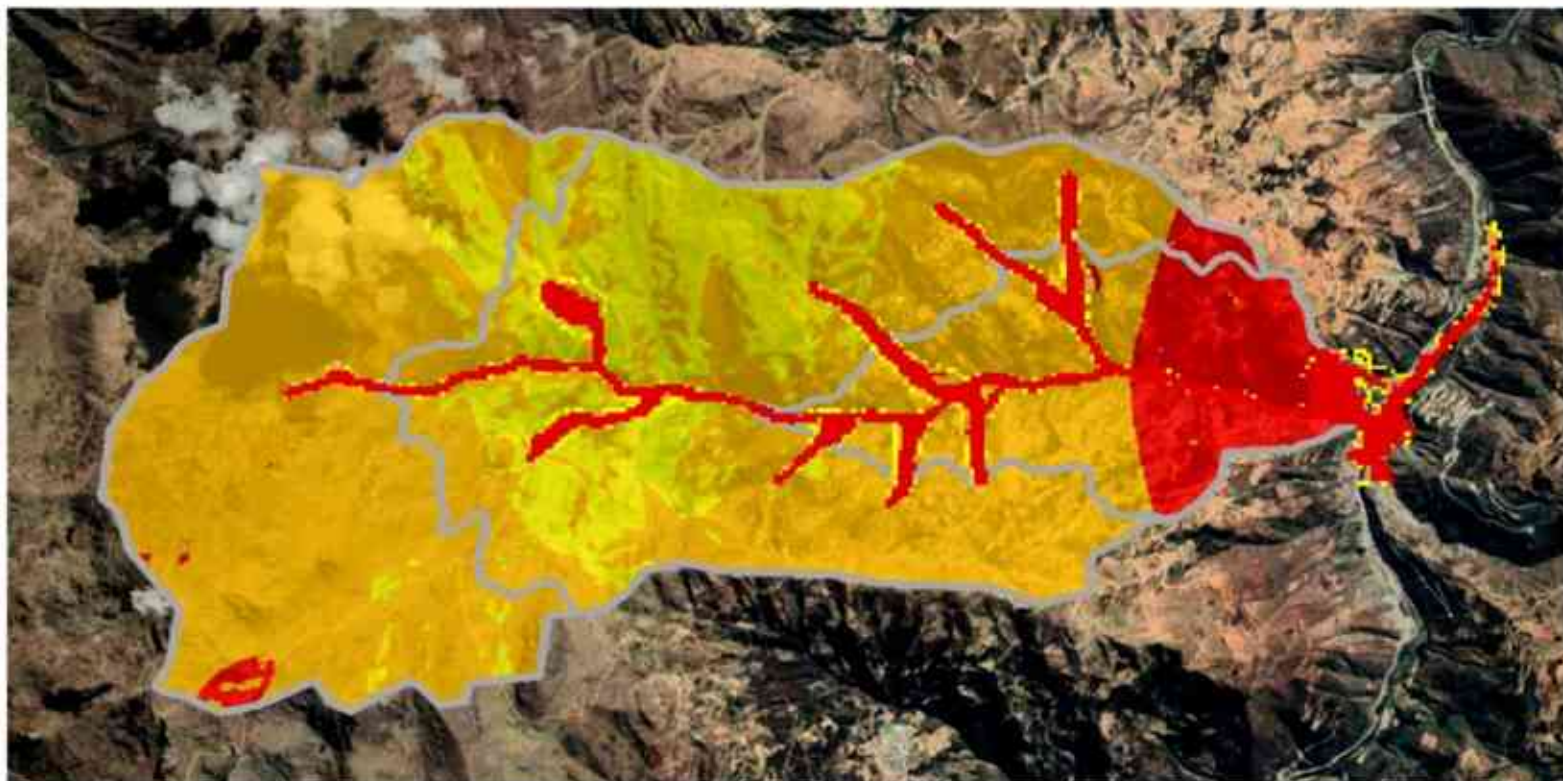
- MAPA DE PELIGRO LOCAL (CENEPRED)
- Band 1 (Gray)
- NIVEL DE PELIGRO MEDIO
  - NIVEL DE PELIGRO ALTO
  - NIVEL DE PELIGRO MUY ALTO

**LEYENDA2**

- RECLASS\_VELOC\_LA1\_18D\_TR=10
- Band 1 (Gray)
- 0.00 - 0.0033 m/seg LENTO - MODERADO
  - 0.0033 - 0.05 m/seg RÁPIDO
  - 0.05 - 5.00 m/seg MUY RÁPIDO
  - 5.00 - 21.09 m/seg EXTREMADAMENTE RÁPIDO
- RECLASS\_PROFD\_LA1\_18D\_TR=10
- Band 1 (Gray)
- 0.00 - 0.20
  - 0.20 - 1.00 m NIVEL BAJO
  - 1.00 - 2.00 m NIVEL MEDIO
  - 2.00 - 15.76 m NIVEL ALTO



**MAPA DE PELIGRO ANTE MOVIMIENTOS DE FLUJO DE DETRITOS DETONADO POR LA1 DE 18 DÍAS, EN CONDICIONES HÚMEDAS (AMCIII) DEL SUELO Y PARA UN PERIODO DE RETORNO (TR) DE 10 AÑOS**



**LEYENDA\_NIVELES DE PELIGRO**

MAPA DE PELIGRO EN FUNCIÓN DE LA MÁXIMA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD - LA1 18D

Band 1 (Gray)

- NIVEL BAJO
- NIVEL MEDIO
- NIVEL ALTO

MAPA DE PELIGRO LOCAL (CENEPRED)

Band 1 (Gray)

- NIVEL DE PELIGRO MEDIO
- NIVEL DE PELIGRO ALTO
- NIVEL DE PELIGRO MUY ALTO

**ANEXO 19: FOTOGRAFÍAS DE LA VISITA A  
CAMPO**







