

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROPUESTA DE UN MODELO NUMÉRICO Y ALTERNATIVAS  
PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE DETRITOS QUEBRADA EL  
TINGO - PATAZ - PERÚ**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. ORDOÑEZ CASTRO DE GABRIELLI, JOHANNY ROSARIO**

**Bach. RUIZ ZELADA, ABEL BUENAVENTURA**

**ASESOR: MSc. ING. MOGROVEJO GUTIERREZ, RUBEN ESAÚ**

**LIMA - PERÚ**

**AÑO: 2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos, esposo, quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis años de estudio.

Johanny Ordoñez Castro

A mis padres, quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Abel Ruiz Zelada

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra alma mater, porque en sus aulas obtuvimos conocimientos de esta maravillosa carrera; y a todas las personas que de alguna manera hicieron posible el desarrollo de la presente tesis.

Johanny Ordoñez y Abel Ruiz

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de la realidad de la problemática .....	3
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema Principal.....	3
1.2.2 Problemas Específicos .....	3
1.3 Objetivo de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Justificación e importancia de la investigación .....	4
1.5 Límites de la investigación .....	4
1.5.1 Espacial.....	4
1.5.2 Temporal.....	6
1.5.3 Conceptual y temático .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 En el ámbito Internacional.....	7
2.1.2 En el ámbito Nacional.....	8
2.2 Definiciones conceptuales .....	11
2.3 Bases Teóricas .....	12
2.3.1 Precipitación .....	12
2.3.2 Infiltración .....	12
2.3.3 Curva hipsométrica.....	12
2.3.4 Tiempo de concentración.....	12
2.3.5 Concepto Hidráulico de los flujos de detritos.....	13
2.3.6 Modelo dinámico de simulación utilizado.....	31
2.4. Formulación de hipótesis .....	33
2.4.1 Hipótesis general.....	33
2.4.2 Hipótesis específicas.....	33

2.4.3 Variables .....	33
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>34</b>
3.1 Tipo y nivel.....	34
3.2 Diseño de la Investigación:.....	34
3.3 Población y muestra.....	34
3.4 Técnicas de recolección de datos.....	34
3.4.1 Tipo de técnicas e instrumentos.....	34
3.4.2 Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	35
3.4.3 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	36
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Recopilación y levantamiento de información .....	37
4.1.1 Levantamiento topográfico .....	37
4.1.2 Geología.....	51
4.1.3 Caracterización hidrológica .....	57
4.1.4 Precipitaciones e Intensidades de Diseño .....	72
<b>CAPÍTULO V: PROPUESTA DEL MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO .....</b>	<b>75</b>
5.1 Cálculo de Caudales Máximos .....	75
5.1.1 Cálculo de Caudales Máximos Líquido.....	75
5.1.2 Cálculo de Caudales Máximos del Flujo de Barro y del Flujo de Detritos ...	83
5.2 Parámetros reológicos.....	86
5.3 Modelamiento de flujo de detritos en la Cuenca El Tingo .....	89
5.3.1 Modelamiento de flujo de detritos con FLO 2D.....	89
<b>CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>104</b>
6.1 Discusión de resultados del modelo Flo 2D en la Quebrada El Tingo. ....	104
6.2 Alternativas de solución.....	105
6.2.1 Diques de Gaviones .....	106
6.2.2 Cálculo del volumen retenido por los 9 diques de gaviones.....	109
6.2.3 Otras alternativas para el control de flujo de detritos a considerar.....	121
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>126</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>128</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>
Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	136
Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables .....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Sistema de acceso vial Lima-Pataz. ....	6
Tabla N° 2: Tipos de flujo de acuerdo a las características de la mezcla y del canal. ....	18
Tabla N° 3: Rugosidades de cauce para el modelamiento de avalanchas de tierra.....	26
Tabla N° 4: Tabla de grado de amenaza .....	32
Tabla N° 5: Significado de los colores .....	32
Tabla N° 6: Rangos y magnitud de validez .....	35
Tabla N° 7: Recolección de datos.....	35
Tabla N° 8: Rango de pendientes del terreno.....	37
Tabla N° 9: Parámetros morfológicos de la quebrada El Tingo .....	38
Tabla N° 10: Leyenda del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Pataz.....	54
Tabla N° 11: Unidades Litoestratigraficas de la cuenca “El Tingo” .....	57
Tabla N° 12. Edades de la formación Rocosa en la provincia de Pataz .....	60
Tabla N° 13: Datos Morfológicos de la cuenca .....	61
Tabla N° 14: Parámetros de la Quebrada El Oso .....	61
Tabla N° 15: Parámetros de la Quebrada Chorro Blanco .....	62
Tabla N° 16: Parámetros de la Quebrada Santa Filomena.....	62
Tabla N° 17: Parámetros de la Quebrada El Tingo.....	62
Tabla N° 18: Ubicación de Estación Huamachuco. ....	63
Tabla N° 19: Precipitación de la Estación Huamachuco .....	63
Tabla N° 20: Valores de Kn para la prueba de datos dudosos. ....	64
Tabla N° 21: Logaritmo de la precipitación log(P24).....	65
Tabla N° 22: Número de datos.....	65
Tabla N° 23: Valores de Kn .....	66
Tabla N° 24: Análisis estadístico .....	66
Tabla N° 25: Valor observado.....	67
Tabla N° 26: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov.....	70
Tabla N° 27: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas.....	71
Tabla N° 28: Precipitaciones de diseño para duración de 24 horas .....	72
Tabla N° 29: Intensidades de diseño para duración de 24 horas.....	73
Tabla N° 30: Intensidades Máximas .....	74
Tabla N° 31: Condición hidrológica y el Tipo de cobertura.....	79
Tabla N° 32: Número de Curva de escorrentía (CN).....	80

Tabla N° 33: Caudales y Volúmenes ( $T_r = 50$ años) .....	82
Tabla N° 34: Caudales y Volúmenes ( $T_r = 100$ años) .....	82
Tabla N° 35: Caudales y Volúmenes ( $T_r = 500$ años) .....	83
Tabla N° 36: Caudales máximos de Flujo de Barro.....	84
Tabla N° 37: Caudales Máximos de Flujo de Detritos (Fórmula Takahashi).....	85
Tabla N° 38: Valores escogidos de la tabla del $C_v$ .....	86
Tabla N° 39: Esfuerzo de cedencia y Viscosidad en función del $C_v$ .....	86
Tabla N° 40: Valores de Rugosidad.....	87
Tabla N° 41: Parámetros de resistencias de flujo laminar .....	91
Tabla N° 42: Concentración de sedimento ( $C_v$ ) .....	92
Tabla N° 43: Cantidad de Diques de Gaviones por Subcuenca .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	5
Figura N° 2. Cuenca del Río Iruya. ....	8
Figura N° 3. Quebrada Paihua- Matucana en Lima.....	9
Figura N° 4. Imagen satelital de la Quebrada El Carmen.....	9
Figura N° 5. Imagen satelital de la quebrada Shaphy.....	10
Figura N° 6. Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St. Helens Washington.....	14
Figura N° 7. Clasificación de los Fluidos. ....	14
Figura N° 8. Tasa de deformación Vs esfuerzo cortante. ....	15
Figura N° 9. Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujo.....	19
Figura N° 10. Movimiento de la onda frontal de un flujo viscoso. ....	21
Figura N° 11. Esquema de un flujo hiperconcentrado.....	22
Figura N° 12. Esquema de un flujo de detritos (Debris flow). ....	23
Figura N° 13. Distribución de velocidades de un Fluido Manning. ....	26
Figura N° 14. Distribución de velocidades de un Fluido Bingham. ....	27
Figura N° 15. Comparación de los caudales obtenidos para profundidades, de acuerdo a los modelos de Manning y de fluido dilatante. ....	28
Figura N° 16. Distribución.....	29
Figura N° 17. Vista Aérea de la Zona de estudio. ....	38
Figura N° 18. Mapa de curvas de nivel. ....	39
Figura N° 19. Delimitación de la Zona de estudio y cortes transversales en cada quebrada.....	41
Figura N° 20. Perfil longitudinal de la Quebrada Chorro Blanco. ....	42
Figura N° 21. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco. 1 .....	43
Figura N° 22. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco .2 .....	43
Figura N° 23. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco. 3 .....	44
Figura N° 24. Perfil longitudinal de la Quebrada El Oso. ....	45
Figura N° 25. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 1 .....	45
Figura N° 26. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 2.....	46
Figura N° 27. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 3.....	46
Figura N° 28. Perfil longitudinal de la Quebrada Santa Filomena. ....	47
Figura N° 29. Perfil Transversal de la Quebrada Santa Filomena. 1 .....	48



Figura N° 60. Mapa de Amenazas. Tr = 100 años.....	99
Figura N° 61. Elevación del tirante de flujo sobre el terreno para. Tr =100 años.....	99
Figura N° 62. Mapa de profundidad máxima del Flujo para.Tr=500 años.....	100
Figura N° 63. Mapa de Velocidades máximas del flujo. Tr = 500 años.....	101
Figura N° 64. Mapa de fuerza de Impacto máximas. Tr = 500 años.....	101
Figura N° 65. Mapa de Amenazas. Tr = 500 años.....	102
Figura N° 66. Elevación del tirante de flujo sobre el terreno para Tr =500 años. ....	103
Figura N° 67. Cauce del Río Tingo .....	105
Figura N° 68. Dique de gaviones.....	107
Figura N° 69. Sistemas de disipación de la energía al pie de un dique transversal.....	108
Figura N° 70. Esquema típico de una Quebrada.....	109
Figura N° 71. Ubicación propuesta de nueve Diques de Gaviones a lo largo del cauce. ....	112
Figura N° 72. Sección transversal del cauce para el Dique 1 .....	113
Figura N° 73. Sección del cauce para el Dique 2 .....	114
Figura N° 74. Sección del cauce para el Dique 3 .....	114
Figura N° 75. Sección del cauce para el Dique 4 .....	115
Figura N° 76. Sección del cauce para el Dique 5 .....	116
Figura N° 77. Sección del cauce para el Dique 6 .....	117
Figura N° 78. Sección del cauce para el Dique 7 .....	118
Figura N° 79. Sección del cauce para el Dique 9 .....	119
Figura N° 80. Sección del cauce para el Dique 8 .....	120
Figura N° 81. Sección típica de una barrera flexible.....	121
Figura N° 82. Barrera Flexible contra flujo de detritos .....	122
Figura N° 83. Captación de Hayagawa, Japón .....	123
Figura N° 84. SABO dam Abierta Boyong River, Indonesia. ....	123
Figura N° 85. Presas permeables. Uesugi-tani river, Japón.....	124

## RESUMEN

El presente estudio de investigación titulado Propuesta de un Modelo Numérico y Alternativas para el control del Flujo de Detritos Quebrada El Tingo-Pataz-Perú, tuvo como objetivo dar un aporte en el estudio del flujo de detritos mediante la propuesta de un modelo numérico que permitió entender su comportamiento dinámico y la amenaza frente a la ocurrencia de dicho fenómeno en la Quebrada El Tingo en diferentes períodos de retorno, información que sirvió para plantear alternativas de solución con la finalidad de controlarlo y por consecuencia mitigar sus terribles efectos.

En esta investigación se realizó la interpretación de las ecuaciones que gobiernan el flujo de detritos, a partir del cual se realizó la simulación dinámica bidimensional con el modelo FLO-2D, utilizando como datos de entrada la topografía del terreno, la geometría del canal, los valores de rugosidad del cauce y de la planicie de inundación, los hidrogramas líquidos y sólidos, las precipitaciones y las propiedades reológicas del flujo.

Con la simulación se obtuvieron tirantes de 3.8 m, 7.7 m, 4.5 m, velocidades de flujo de 2.7 m/s, 2.9 m/s, 3.3 m/s en el cono de deyección, volúmenes de 688 653  $m^3$ , 781 081  $m^3$ , 1 047 018  $m^3$  y mapas de riesgo para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Indicando un evidente peligro de inundación por lo que se propusieron diques de gavión para el control del flujo, resultando una alternativa adecuada por sus ventajas y características, siendo el diseño de estos causal de futuras investigaciones.

Palabras claves: Flujos de Detritos, FLO 2D, Modelo Numérico, Dique de Gavión.

## ABSTRACT

The present research study entitled Proposal of a Numerical Model and Alternatives for the control of the Broken Debris Flow El Tingo-Pataz-Peru, aimed to provide a contribution in the study of the flow of debris through the proposal of a numerical model that allowed understand its dynamic behavior and the threat against the occurrence of this phenomenon in the El Tingo Gorge in different return periods, information that served to propose alternative solutions in order to control it and consequently mitigate its terrible effects.

In this investigation, the interpretation of the equations that govern the flow of debris was performed, from which the two-dimensional dynamic simulation with the FLO-2D model was performed, using as input data the topography of the terrain, the geometry of the channel, the roughness values of the channel and floodplain, liquid and solid hydrographs, rainfall and rheological properties of the flow.

With the simulation we obtained braces of 3.8 m, 7.7 m, 4.5 m, flow rates of 2.7 m/s, 2.9 m/s, 3.3 m/s in the dejection cone, volumes of  $688\,653\,m^3$ ,  $781\,081\,m^3$ ,  $1\,047\,018\,m^3$  and risk maps for return periods of 50, 100 and 500 years. Indicating an obvious danger of flooding for which gabion dikes were proposed for flow control, resulting in an adequate alternative due to its advantages and characteristics, being the design of these grounds for future research.

Keywords: Debris Flows, FLO 2D, Numerical Model, Flexible Barrier, Gabion Dam.

## INTRODUCCIÓN

La Presente tesis supone un nuevo aporte en el de estudio del flujo de detritos por medio de un modelo numérico que después de la calibración de los datos de campo, adquiere una confiabilidad aceptable.

El Perú tiene una geografía que cuenta con topografía compleja donde la lluvia a menudo induce movimientos masivos como los flujos de detritos, por lo que está constantemente sometido a riesgos naturales. En los años 1997, 2001 y 2004, la ciudad de Vijus, ubicada en la desembocadura de la Quebrada El Tingo (Distrito de Pataz, Provincia de Pataz, departamento de La Libertad), fue devastada por el flujo de lodo y detritos, arriesgando la vida humana, afectando las viviendas, tierras de cultivo e infraestructura civil (Ingemmet, 2007). En este trabajo se desarrolló la interpretación de las ecuaciones que rigen el flujo de detritos, desde donde se realizó la simulación dinámica bidimensional con el modelo FLO-2D, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para la generación de Modelos de Terreno Digital

En el modelado numérico, el objetivo principal es comprender el comportamiento dinámico del fenómeno y el grado de amenaza contra la ocurrencia del flujo de detritos en la quebrada El Tingo en los diferentes tiempos de retorno. Esta información nos ayudará a plantear alternativas de solución para mitigar los terribles efectos del fenómeno; medidas como, por ejemplo, la construcción de muros de gaviones y barreras flexibles para contener los detritos en las zonas del cauce donde el flujo tiene mayor volumen, velocidad e impacto.

En el Capítulo I, se presenta el problema que da inicio a esta tesis, en que se plantean algunas interrogantes que direccionan la investigación, se describe la justificación, la delimitación, los objetivos tanto generales como específicos, además la importancia y la metodología que se emplea en esta investigación.

En el Capítulo II, se analiza el Marco Teórico, en el cual se tocan los temas de parámetros morfológicos de la cuenca, factores de diseño y las definiciones conceptuales.

En el Capítulo III se describe la metodología de estudio de nuestra cuenca, diseño de investigación y técnicas de recolección de datos. Se ha recopilado, revisado las imágenes de satélite proporcionadas por el CONIDA provenientes del satélite PERU SAT- 1.

En el Capítulo IV, se realiza la ubicación de la cuenca en estudio delimitando las áreas, mostrando el perfil longitudinal y transversal, el tipo de suelos y la caracterización hidrológica. Seguidamente se obtiene el caudal en estudio.

En el Capítulo V, se calcula el caudal de diseño para diferentes tiempos de retorno, seguido por el cálculo del volumen del flujo de detritos con el método de Takahashi; el caudal de diseño sirve de información para modelar con el flo 2D resultados que permiten hacer una comparación con el método teórico y determinar el volumen que se debe controlar en el trayecto del río El Tingo.

En el Capítulo VI, se muestran las alternativas de solución, como los diques de gavión.

Finalmente, se realizan las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

Esta tesis ha sido elaborada para optar el grado de Ingeniero Civil a nombre de la nación en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la realidad de la problemática

"El flujo de escombros son deslizamientos de tierra rápidos y peligrosos para la vida y la propiedad porque destruye todo a su paso" (Highland, E. y Brown, Ch., 1997).

La Quebrada El Tingo, ubicada en la provincia de Pataz (La Libertad), es un área vulnerable en temporadas de lluvia al tener desplazamientos de flujo de detritos debido a que sus características geológicas y geográficas son afectadas por las precipitaciones pluviales, principalmente en las temporadas de lluvia entre octubre y abril. En la desembocadura de la quebrada, se encuentra la ciudad de Vijus, que, en 1977, 2001 y 2004 fue arrasada por el flujo de lodo y detritos, poniendo en riesgo la vida humana, así como afectando las viviendas humanas, terreno de cultivo y las infraestructuras civiles.

Este trabajo de investigación busca expandir el conocimiento específico a través de herramientas científicas para comprender el comportamiento del flujo de detritos, a fin de proponer alternativas de control y, en consecuencia, mitigar los terribles efectos del fenómeno.

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Problema Principal

¿Mediante una propuesta de modelo numérico es posible conocer el comportamiento del flujo de detritos en la Quebrada El Tingo a fin de analizar las alternativas para el control del flujo y mitigar las consecuencias de la ocurrencia de este fenómeno?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿De qué manera es posible conocer la información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo?
- b) ¿Qué alternativas existen para el control del flujo de detritos y cuáles serían las más aplicables para la Quebrada El Tingo?

### 1.3 Objetivo de la investigación

#### 1.3.1 Objetivo General

Proponer un modelo numérico para el flujo de detritos en la quebrada El Tingo que permita conocer el comportamiento y las consecuencias de la ocurrencia del fenómeno y luego proponer alternativas de control del flujo de detritos para mitigar sus consecuencias.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Recopilar y validar información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo.
- b) Analizar, evaluar y proponer las alternativas posibles para el control del flujo de detritos de la Quebrada El Tingo.

### 1.4 Justificación e importancia de la investigación

El desarrollo de la presente investigación es importante ya que servirá para obtener un nuevo conocimiento científico de algunos patrones del comportamiento del flujo de detritos de la Quebrada El Tingo. Este estudio es justificable por que será una ventaja y un beneficio para futuros proyectos de obras civiles adyacentes a la quebrada que a su vez harán posible mitigar la amenaza de inundación en el anexo de Vijus – Pataz, brindando seguridad a su población.

### 1.5 Límites de la investigación

Existen tres tipos de límites de la investigación (espacial, temporal y conceptual y temático).

#### 1.5.1 Espacial

La zona de estudio está ubicada en la quebrada El Tingo, a continuación, se muestra la siguiente información que son: Ubicación geográfica, Extensión, Población, Vías de acceso.

### Ubicación Geográfica:

En la siguiente figura se visualiza el mapa del Perú y de color amarillo la ubicación del departamento de La Libertad. Debajo del mapa del Perú se ha colocado otro cuadro más amplio de la libertad para tener una mejor apreciación de su forma, tamaño y ubicación de la cuenca Del Tingo. En la imagen principal se visualiza de color verde toda el área de la cuenca en estudio, que se encuentra ubicada en el distrito de Pataz; la cual se encuentra limitada por lo distritos de Sartimbamba y Cochorco por el oeste, Condomarca por el norte, Huicungo por el este y Pias por el sur. (ver figura N°1).

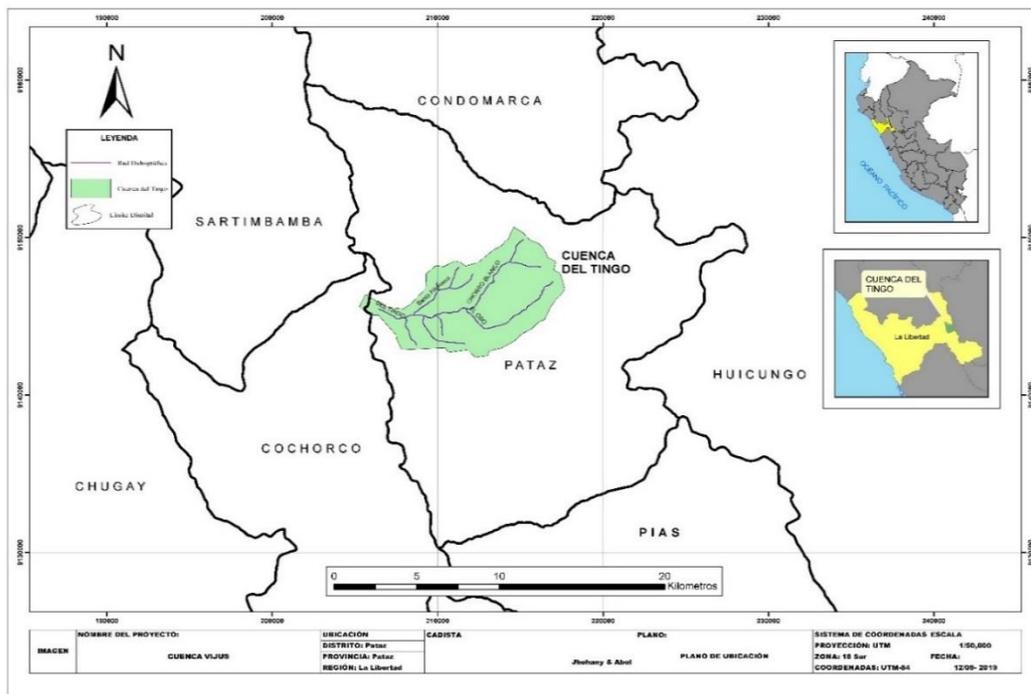


Figura N° 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

### Extensión

La superficie total de la Quebrada del Tingo es de 50.70 kilómetros cuadrados, con un perímetro de 31.61 km.

### Límites de la cuenca el tingo

Este : Distrito de Huicungo, Provincia Mariscal Cáceres, Departamento de San Martín.

Oeste : Distritos de Sartimbamba y Cochorco, Provincia Sánchez Carrión, Departamento de La Libertad.

Norte : Distrito de Condomarca, Provincia de Bolívar, Departamento de La Libertad.

Sur : Distrito de Pias, Provincia de Pataz, Departamento de La Libertad.

## Población

En la cuenca El Tingo existe un centro poblado Anexo de Vijus con una población de 1,369 habitantes con 358 viviendas de las cuales 75 viviendas están es riesgo.

## Vía de acceso

En la provincia de Pataz, las vías urbanas en su mayoría tienen pavimento en asfalto flexible y pavimento rígido (concreto). Cada tipo de material fueron empleados en los diferentes momentos de construcción de las vías. Las vías se encuentran respectivamente señalizadas. A continuación, detallamos el acceso por medio de la carretera asfaltada desde Lima, hasta la provincia de Pataz en el cuadro siguiente (ver tabla N° 1).

Tabla N° 1: Sistema de acceso vial Lima-Pataz.

Tramo	Longitud	Horas Recorridas	Tipo de Vía
Lima- Pataz	840 km	11:30 Horas	Asfaltada y pavimentada

Fuente: Municipalidad Provincial de Pataz.

### 1.5.2 Temporal

La recopilación de datos corresponden a los meses de diciembre a marzo, por ser temporada de lluvias. Usamos 32 datos, obtenidos de los años 1983 al 2014 proporcionados por SENAMHI.

### Datos Históricos de huaycos ocurridos en la Quebrada El Tingo

“Huayco en la quebrada el tingo. Afecto al poblado de Vijus causando pérdidas de vidas humanas y materiales, El poblado está situado en la desembocadura de la quebrada del tingo. Estos eventos fueron ocurridos en los años 1977, 2001, 2004” (Ingemmet, 2007).

### 1.5.3 Conceptual y temático

Para analizar el comportamiento dinámico del flujo debido a la gravedad en combinación hiperconcentrada de agua con material sólido, el modelo numérico resolverá las ecuaciones que plantea el modelo conceptual con métodos aproximados. Esto nos indica que tendrá limitaciones y que mientras más datos se obtenga, la solución se aproximará más a la realidad.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

El cambio climático ha afectado el ciclo hidrológico a nivel mundial. El exceso de precipitación de las lluvias sin ser canalizadas está causando la erosión y transporte de detritos aguas abajo.

Actualmente existen programas que sirven como herramientas para hacer cálculos numéricos en tiempo récord y a su vez hacer una simulación de futuros acontecimientos en el flujo de detritos.

Antes, no existía el Sistema de Información Geográfica (SIG). El método que se usaba en el pasado para determinar las posibles zonas a inundarse, se basaba en mapas y tablas estadísticas desactualizadas y con errores, por lo que no eran muy adecuadas ni acertadas. Otras de las desventajas que se tenía, eran las complicaciones para tener acceso a dicha información, por tanto, se perdía mucho tiempo a pesar que se duplicaban esfuerzos, produciendo errores inevitables. Una actualización no se podía realizar en minutos como actualmente sucede.

La información que saquemos de SIG nos servirá para ingresar parámetros en el flo 2d logrando hacer cálculos y predicciones. Evitando así, futuros accidentes que afectan la economía y la vida humana.

#### 2.1.1 En el ámbito Internacional

Jaime R., Spalletti P., & Brea J., (1999) Realizaron el análisis del flujo de detritos mediante la simulación con el modelo numérico bidimensional de dimensiones finitas Flo 2D en el río Iruya, cuya cuenca se encuentra emplazada en el ámbito de la cordillera Oriental y Sierras Sub andinas en la región Noroeste de Argentina. Según observaron las lluvias intensas en esta región inducían la falla de las laderas y los flujos de barro produciendo daños severos. La modelación permitió identificar las áreas potencialmente afectadas, los efectos significativos que tienen los parámetros que vinculan la tensión de

corte y la viscosidad de la mezcla a la concentración de sedimentos, por lo que se recomendó tomar en consideración las propiedades de los barros y la composición y características del área de depósito (ver figura 2).



Figura N° 2. Cuenca del Río Iruya.

Fuente: Google Earth.

López A., (2008) Realizó el estudio hidráulico del río Coatán en la zona de Tapachula, Chiapas, México. Analizó las zonas más afectadas con el uso del modelo bidimensional flo 2d para mitigar zonas peligrosas por el flujo de detritos. Este estudio fue motivado por que en los años 1998 y 2005 ocurrieron eventos que causaron graves daños destruyendo muchas infraestructuras de acceso y salida

#### 2.1.2 En el ámbito Nacional

Castillo, L. (2006) Realizó el modelado de flujos de detritos usando el flo-2d en la quebrada Paihua y evaluó su impacto en la ciudad de Matucana. La quebrada Paihua, está ubicada en la carretera central del Km. 76+000, en la provincia de Huarochirí-Lima. En esta quebrada constantemente se presentan signos de desplazamiento de rocas con flujos hiperconcentrados que erosionan el suelo a lo largo de su camino en todas las pendientes. (ver figura N°3).



Figura N° 3. Quebrada Paihua- Matucana en Lima.

Fuente: Google Earth.

Antoli J. (2016) Realizó una aplicación numérica para el flujo de escombros en la quebrada El Carmen-corredor vial interoceánico, Perú. Esta quebrada está ubicada en el distrito de San Gabán, provincia de Caraba y departamento de Puno y en ella ocurren grandes precipitaciones de lluvia todos los años. Este tipo de estudio sirve de base para futuros proyectos en la construcción de carreteras y puentes que permitan la continuidad del comercio sin ser obstaculizadas por el flujo de detritos en temporadas de lluvia (ver figura N° 4).

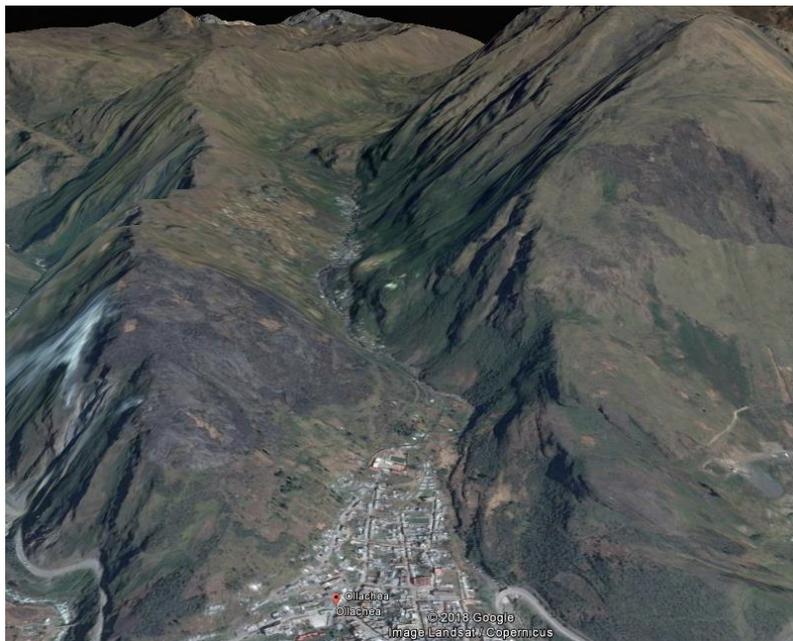


Figura N° 4. Imagen satelital de la Quebrada El Carmen.

Fuente: Google Earth.

Oviedo, M (2009) realizó la modelación de flujo de detritos usando el software Flo 2D de la quebrada Saphy ubicada al noreste de la ciudad del Cuzco, quebrada donde se presentan deslizamientos activos los cuales pueden colapsar debido a las fuertes precipitaciones o movimientos sísmicos provocando el represamiento del río Saphy que al desembalsar originarían flujo de detritos afectando la seguridad de los habitantes de la ciudad del Cuzco y su centro histórico. Con el modelo numérico se generaron mapas de peligros, con los que se identifican los niveles de peligrosidad de las zonas, información de alturas, velocidades del flujo útiles para el dimensionamiento de estructuras de control de flujo. (ver figura N°5).



Figura N° 5. Imagen satelital de la quebrada Shaphy  
Fuente: Google Map.

## 2.2 Definiciones conceptuales

- a) Flujos Hiperconcentrados: “Está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua, predominan las granulares. La mezcla no tiene cohesión” (Suárez, 2001, pág. 167).
- b) Flujo de detritos: “Referido a transporte de agua y tierra y escombros”. (Suárez, 2001, pág. 179).
- c) Cuenca: “Accidente de carácter geográfico que supone una depresión en la superficie de la tierra”. (Pérez, J. y Gardey, A., 2011).
- d) Quebrada: “Paso estrecho entre dos montañas”. (Real Academia Española , 2019)
- e) Cono de deyección: “Masa de materiales no cohesivos dispuestos en forma de abanico que han sido depositados por un curso de agua al pie de una zona con muchas pendientes” (Jackson, 1987).
- f) Escorrentía: “El agua que no se infiltra queda sobre la superficie de la cuenca, e inicia su camino a favor de la pendiente, dando lugar a la escorrentía superficial”. (Martínez, 1999).
- g) Erosión: “Es el desgaste del suelo y rocas, sufren el proceso de desintegración de la roca”. (Pedriel, 2016).
- h) Modelo numérico: “Es la descripción matemática de un fenómeno del mundo real. El objetivo es entender el fenómeno y predecir su comportamiento futuro.”. (Stewart, 2002).
- i) Caracterización: “Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de otros” (Ucha, 2010).
- j) Curva hipsométrica: “Es una demostración de la relación acumulada de la elevación dentro de los intervalos de elevación.” (Escobar & Poma, 2018).

## 2.3 Bases Teóricas

### 2.3.1 Precipitación

En este término se engloba a todas las aguas meteóricas que caen sobre la superficie terrestre ya sea de forma líquida o sólida, como por ejemplo la nieve o granizo, estos diversos tipos de precipitaciones son medidos por medio de su equivalente en agua (Seegerer, C.y Villodas, R., 2006)

### 2.3.2 Infiltración

Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. El tema de la infiltración es muy importante explicarlo porque es un factor que determina la combinación del suelo y el agua para convertirse en un flujo de detritos “La infiltración afectara el resultado del tiempo de concentración de agua”. (Karamouz, Nazif, & Falahi, 2012).

### 2.3.3 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es una demostración de la relación acumulada entre la elevación y el área dentro de los intervalos de elevación. La curva hipsométrica tiene una utilidad práctica para comparar cuencas hidrográficas o de diferentes secciones de una cuenca hidrográfica. Se usa con mayor frecuencia para comparar redes de valles. Debido a que la escorrentía tiene más energía cinética, el suelo se corta más rápido; Por lo tanto, la curva de elevación frente al área cae más rápidamente (Gribbin, 2007). La curva hipsométrica también se puede utilizar para establecer la cantidad promedio de precipitación sobre la cuenca. Esto proporcionará información útil sobre el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca hidrográfica a través de su red hidrográfica.

### 2.3.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración tiene dos definiciones comúnmente aceptadas.

- 1) El tiempo requerido para que una partícula de agua fluya hidráulicamente desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de salida o diseño se define como " $t_c$ "; En esta definición, las características de las cuencas

de los ríos y, a veces, un índice de precipitación, como la intensidad de precipitación de dos años y dos horas, se utilizan en los métodos de estimación (Gribbin, 2007)

- 2) Es el tiempo entre el centro de masa del exceso de lluvia y el punto de inflexión en la recesión del hidrograma de escorrentía directa define el tiempo de concentración. Como alternativa, la diferencia de tiempo entre el extremo del exceso de lluvia y el punto de inflexión a veces se acepta como *t<sub>c</sub>*.

### 2.3.5 Concepto Hidráulico de los flujos de detritos.

#### a) Flujo de detritos

Los flujos de detritos son flujos granulares saturados altamente viscosas que se desplazan en múltiples direcciones; a menudo descrito como algo similar al concreto húmedo (Sosio, Crosta & Frattini, 2006), los flujos de Detritos ocurren con diferentes grados de concentración de sedimentos en la matriz de fluido. La característica que definen los flujos de Detritos a diferencia de otros movimientos de masas es la interacción dinámica de grandes sedimentos y rocas con una matriz de lodosa de grano fino (ver figura N°6).

La adición de una pequeña cantidad de agua permite que el Flujo de Detritos se convierta en extremadamente móvil; Estos flujos pueden recorrer largas distancias y a gran velocidad. Sin embargo, el término de debris flow es usado en la literatura desde distintas perspectivas (Hung & Evans, 2001).

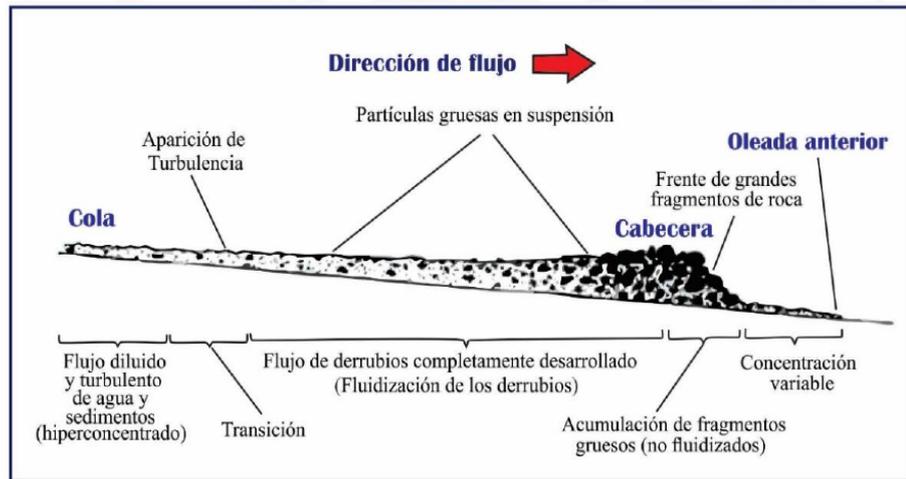


Figura N° 6. Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St. Helens Washington.

Fuente: Modificado de Pierson, 1986.

Un fluido es un líquido que se deforma continuamente por esfuerzos cortantes, es decir, que ofrece pequeña, o nula resistencia a las fuerzas tangenciales, o cortantes, que se le aplican. La capacidad de fluir hace que el fluido sea incapaz de soportar un esfuerzo cortante, por ejemplo, voltear un vaso conteniendo de agua. En términos muy generales, a los fluidos que presentan una resistencia muy pequeña, o nula, a ser deformados se les conoce como fluidos Newtonianos, en tanto, a los fluidos que presentan mayor resistencia se les llama fluidos No Newtonianos (ver figura N°7).

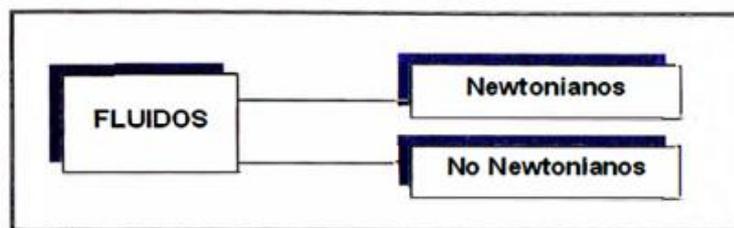


Figura N° 7. Clasificación de los Fluidos.

Fuente: Elaboración propia.

Para un fluido Newtoniano, la relación entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación (gradiente de velocidades) es lineal, como lo indica el caso (A) de la figura N° 8. Este tipo de fluido es el que se obtiene para todos los líquidos puros (por ejemplo "agua limpia"), cuyo comportamiento es Newtoniano con una muy buena aproximación.

Sin embargo, los fluidos no-Newtonianos comprenden en general mezclas complejas como barros, aceites lubricantes muy viscosos, fluidos orgánicos como la sangre, etc. Estos fluidos exhiben un comportamiento diferente, tal como se observa en los casos (B), (C) y (D) de la figura N°8. Dentro de este tipo de fluido (fluido no-Newtoniano) se analizan los flujos de lodo o escombros.

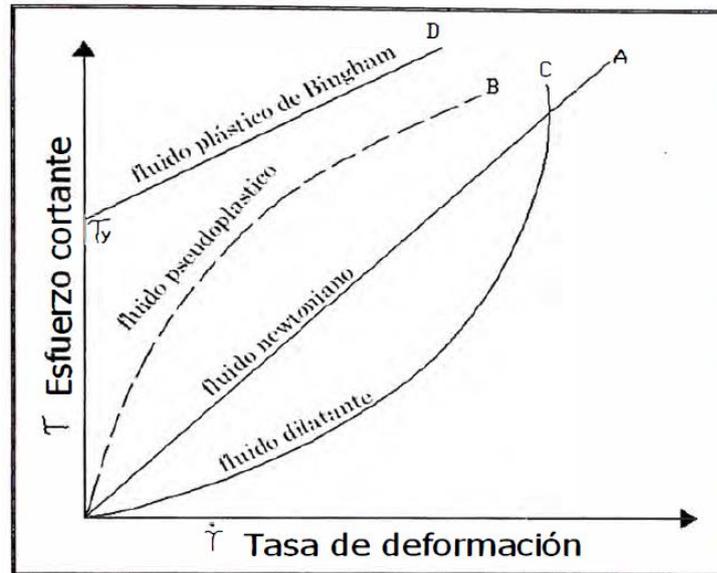


Figura N° 8. Tasa de deformación Vs esfuerzo cortante.  
Fuente: Takahashi T., 2007.

En la figura N° 8 también se observa la relación lineal del esfuerzo cortante (τ) y la deformación al corte o gradiente de velocidad de un fluido newtoniano y la viscosidad (μ) representada por la pendiente de la línea recta.

$$\tau = \mu \dot{\gamma} = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

Donde:

τ : Es el esfuerzo cortante,

$\frac{\partial u}{\partial y}$  : Es la tasa de deformación al corte o gradiente de velocidades.

Dentro de este campo podemos citar los conceptos de flujo laminar y turbulento. Cuando entre dos partículas en movimiento existe gradiente de velocidad, o sea que una se mueve más rápido que la otra, se

desarrollan fuerzas de fricción que actúan tangencialmente a las mismas. Las fuerzas de fricción tratan de introducir rotación entre las partículas en movimiento, pero simultáneamente la viscosidad trata de impedir la rotación. Dependiendo del valor relativo de éstas fuerzas se pueden producir diferentes estados de flujo.

Cuando el gradiente de velocidad es bajo, la fuerza de inercia es mayor que la de fricción, las partículas se desplazan, pero no rotan, o lo hacen pero con muy poca energía, el resultado final es un movimiento en el cual las partículas siguen trayectorias definidas, y todas las partículas que pasan por un punto en el campo del flujo siguen la misma trayectoria. Este tipo de flujo fue identificado por Reynolds y se denomina "laminar", queriendo significar con ello que las partículas se desplazan en forma de capas o láminas.

Al aumentar el gradiente de velocidad se incrementa la fricción entre partículas vecinas al fluido, y éstas adquieren una energía de rotación apreciable, la viscosidad pierde su efecto, y debido a la rotación, las partículas cambian de trayectoria. Al pasar de una trayectoria a otra, las partículas chocan entre sí y cambian de rumbo en forma errática. Este tipo de flujo se denomina "turbulento".

Cuando las fuerzas de inercia del fluido en movimiento son muy bajas, la viscosidad es la fuerza dominante y el flujo es laminar. Cuando predominan las fuerzas de inercia el flujo es turbulento. Para números de Reynolds bajos el flujo es laminar, y para valores altos el flujo es turbulento.

Fluido Pseudoplástico y Dilatante; en el caso de los fluidos pseudoplásticos hay menor resistencia al flujo para esfuerzos mayores, es decir, el fluido escurre más fácilmente cuanto mayor es el esfuerzo (ejemplo: la sangre, barro). En el caso de los fluidos dilatantes hay mayor resistencia al flujo para esfuerzos mayores, los fluidos dilatantes no son tan abundantes como los pseudoplásticos (ejemplo: la arena movediza).

## b) Concepto de Flujos

Según Hampton (1972)

Los flujos de detritos es el resultado de alguna forma de colapso en el talud. Los escombros que caen como un deslizamiento colectan humedad y se mueven a lo largo de la pendiente, éste se licua o se dilata conforme avanza, aumentando la movilidad del fluido.

Según Takahashi (2007)

Los flujos de lodo y escombros son flujos antiguos conformados por una mezcla viscosa y sedimentos de todos los tamaños con acumulaciones de cantos rodados que se vuelcan en el frente de la onda y forman lóbulos, detrás del cual siguen los granos más finos.

Existen diversas definiciones sobre flujos de escombros, pero básicamente se trata de una mezcla de agua con sedimento que transita hacia aguas abajo, sobre una pendiente pronunciada y que aumenta su volumen debido a rocas, arbustos y troncos que encuentra en su camino.

## c) Composición de los flujos de detritos

Muy a menudo los flujos de escombros son relacionados con el concreto fresco. Incluso aunque la apariencia es similar al mortero, la composición de los flujos de escombros varía enormemente debido a que éste es un flujo de múltiples fases de granos desordenados con aire y agua mezclados entre sí. El tamaño de partículas varía desde materiales finos hasta cantos rodados sostenidos (suspendidos) en una matriz viscosa.

d) Clasificación de los flujos.

En los huaycos de tierra se deben diferenciar tres tipos principales de flujo:

- Flujos de lodo
- Flujos hiperconcentrados granulares
- Flujos de detritos.

Para modelar un huayco es preciso determinar el tipo de flujo que se va a presentar con base en las características de la mezcla y del canal. Para resumir los criterios generales para determinar el tipo de flujo se presenta en la tabla N° 2.

Tabla N° 2: Tipos de flujo de acuerdo a las características de la mezcla y del canal.

Características de los sedimentos	Concentración de sedimentos de la mezcla (Kg/m <sup>2</sup> )	Pendiente del canal				
		>100% (45°)	100 a 50%	50 a 20%	20 a 10%	10 a 5%
		Tipo de flujo				
Más del 20% del peso total de sedimento son partículas finas (d < ASTM#200)	<90	Flujo hiperconcentrado		Flujo de lodo		
	>90	Flujo de lodo				
Menos del 20% del peso total de sedimentos son partículas finas (d < ASTM#200)	<300	Flujo hiperconcentrado				
	300 a 600	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)		Flujo hiperconcentrado		
	600 a 900	Flujo turbulento de detritos (Debris flow)				
	>900	Flujo laminar de detritos				

Fuente: Suárez J., 2001.

En la figura N° 9 se muestra el perfil longitudinal de los canales de algunas avalanchas y se puede observar el perfil característico de cada tipo de flujo. Los flujos de detritos ocurren generalmente en canales de gran pendiente y tienen una longitud de recorrido menor que los flujos hiperconcentrados y los flujos de lodo.

### d.1) Flujos de Lodos

#### Tipos de Fluído

Los flujos de lodo generalmente consisten de altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas), aunque también transportan grandes bloques o cantos de roca. De hecho, el fluido se comporta como un “slurry” homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones. De acuerdo a experimentos de (XingKui, & Chien 1989), un fluido se convierte en un “slurry” homogéneo a una concentración de partículas finas de solamente 90 kg/m<sup>3</sup>. A medida que la concentración aumenta la estructura de los sedimentos se flocula rápidamente y la viscosidad aumenta en forma fuerte formándose una especie de cohesión de la mezcla suelo-agua. Al formarse el slurry de partículas finas y agua este se comporta como un flujo no-Newtoniano, del tipo conocido como fluido Bingham. Cuando el contenido de partículas finas es bajo, puede ocurrir un flujo viscoso continuo en el cual no se forma una parte frontal ni ocurren pulsaciones y se asemeja más al modelo de fluido Newtoniano de Manning ( $\eta$ ) (ver figura N° 9).

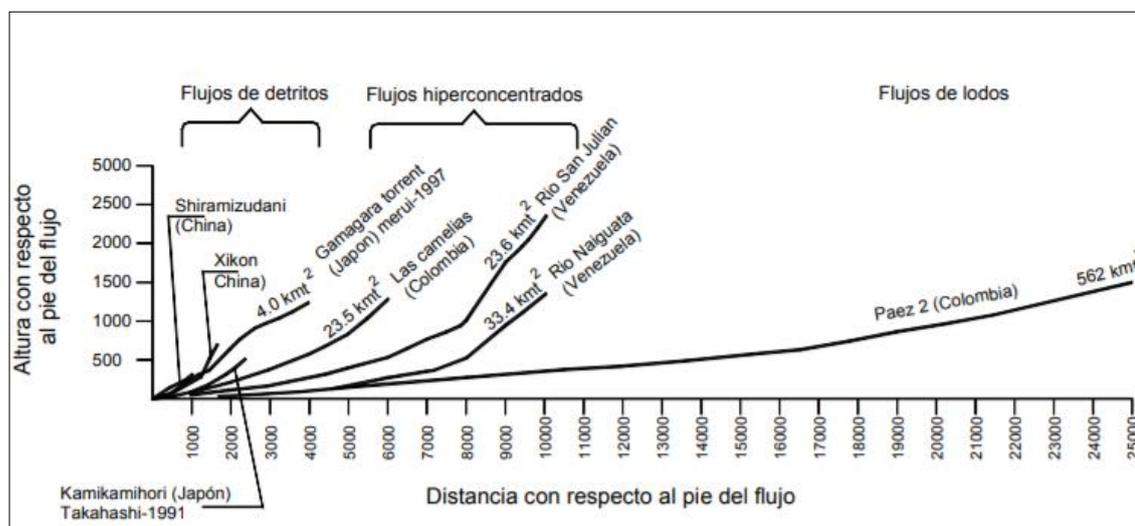


Figura N° 9. Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujo.

Fuente: Suárez J., 2001.

## Mecánica del movimiento

Estos flujos fueron descritos por Johnson. & Rodine (1984) como

Una serie de ondas tanto en planta como en perfil. Son flujos viscosos y se caracterizan por pulsos intermitentes. Un evento puede incluir desde 10 hasta cientos de esos pulsos. A medida que avanza cada onda, esta va adhiriendo nuevos depósitos y se vuelve más delgado y más lento. Posteriormente viene la segunda onda, luego la tercera y así sucesivamente. El periodo de estos flujos intermitentes varía de 10 a 40 segundos y sus longitudes varían de 50 a 300 metros.

El frente del flujo intermitente generalmente es alto y empinado, consiste principalmente de grandes bloques de roca y presenta comúnmente la mayor amplitud del flujo. Este frente es llamado en el oriente “cabeza del dragón”, y se le conoce en la literatura de habla inglesa con el nombre de “Snout” (trompa). Tiene generalmente una forma de lengua convexa con una fuerte pendiente (ver figura N° 10). El flujo viscoso salpica lanzando sedimentos hacia arriba y el movimiento genera un ruido muy intenso que puede incluso hacer temblar la tierra. Debido a su alta velocidad y gran inercia los flujos viscosos se superelevan en forma importante en las curvas e incluso puede ascender pendiente arriba en algunos sitios hasta alturas superiores a 10 metros. Cuando un flujo viscoso encuentra un obstáculo, su energía cinética se transforma en energía potencial y se levanta hasta alturas, de acuerdo a la fórmula:

$$\Delta h = 1.6 \frac{U_c^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

$U_c$  = Velocidad de la parte frontal del flujo

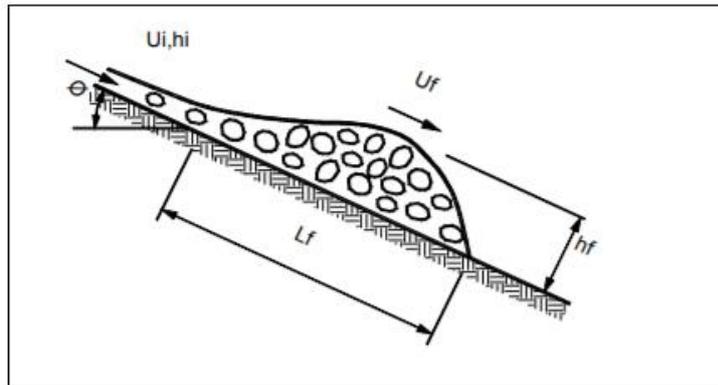


Figura N° 10. Movimiento de la onda frontal de un flujo viscoso.  
Fuente: Suárez J., 2001.

#### d.2) Flujos Hiperconcentrados Granulares

El flujo hiperconcentrado consiste en una mezcla de partículas gruesas y agua. En el flujo hiperconcentrado, predominan las partículas granulares (arenas, gravas, crestas y bloques), por lo tanto, la mezcla no tiene cohesión. Un flujo se considera hiperconcentrado si la concentración en volumen de sólidos en el flujo es mayor que 0.2 (20%) pero no excede 0.6 (60%), este valor corresponde a un peso específico de aproximadamente  $2.0 \text{ ton} / \text{m}^3$ .

En todos los casos, los pesos y viscosidades específicos son mayores en flujos hiperconcentrados que en flujos de agua ordinarios. Una pequeña cantidad de arcilla o limo fino en los flujos hiperconcentrados genera cambios importantes en sus propiedades geológicas y, debido a estos cambios, la tasa de caída de las partículas de sedimento presenta características muy diferentes a las de un flujo de agua ordinario. La intensidad de la turbulencia en los flujos hiperconcentrados suele ser débil y la turbulencia a pequeña escala prácticamente no existe. En corrientes amplias siempre hay un cierto grado de turbulencia.

Cuando las concentraciones de sólidos son bajas, los materiales se concentran en la parte inferior del flujo, pero a medida que aumenta la concentración, las partículas se dispersan por todo el flujo. El

fluido se comporta como newtoniano y se puede aplicar el modelo Manning de la hidráulica tradicional. A medida que aumenta la concentración de sedimento, los flujos hiperconcentrados dejan de comportarse como los newtonianos y pueden convertirse en flujos de detritos. Los flujos hiperconcentrados pueden volverse laminares si las concentraciones de sedimentos son muy altas, especialmente en pequeñas corrientes. Se puede considerar que el flujo permanece newtoniano hasta una concentración de sólidos del 60% del volumen (ver figura N° 11).

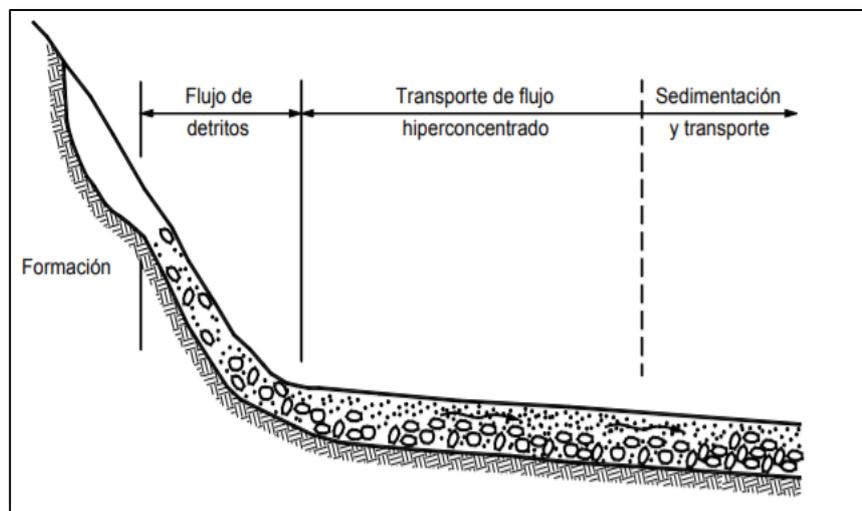


Figura N° 11. Esquema de un flujo hiperconcentrado.  
Fuente: Suárez J., 2001.

### d.3) Flujos de Detritos (Debris Flows)

#### Tipo de Fluido

En los flujos de detritos los sedimentos controlan totalmente el flujo y el componente agua es menos importante. El movimiento de los flujos de detritos se le puede relacionar generalmente con “flujo turbulento de granos”. Este mecanismo no requiere de la presencia de una fase líquida o gaseosa y el movimiento se produce por transferencia de momentum al colisionar las partículas o bloques que se mueven. Su comportamiento se aleja del modelo hidráulico típico. Los flujos son no-viscosos y son generalmente flujos turbulentos de dos fases. La fase líquida es un slurry consistente en agua y partículas finas y la fase propiamente sólida son las partículas gruesas. Las partículas gruesas ruedan y saltan

con velocidades mucho menores que las del slurry y se puede escuchar el ruido de golpeo de las partículas unas con otras, con ondas superficiales y salpicaduras, se observa claramente la turbulencia del flujo (ver figura N°12).

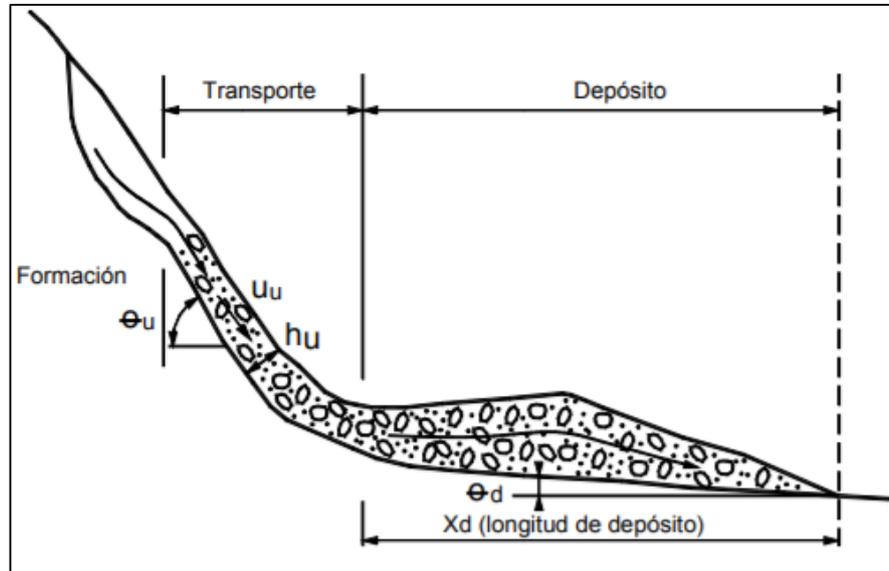


Figura N° 12. Esquema de un flujo de detritos (Debris flow).  
Fuente: Suárez J., 2001.

### Mecánica de movimiento

El flujo de detritos generalmente ocurre en áreas de alta pendiente e involucra altas concentraciones de material sólido, principalmente de partículas gruesas y bloques. Debido a las altas pendientes del flujo de escombros, las partículas o bloques grandes se pueden transportar fácilmente a alta velocidad. Los flujos de detritos son extremadamente destructivos, debido a las fuerzas de impacto de grandes bloques. La velocidad máxima registrada en China para los flujos de escombros es de 13,4 m/seg. Pero se informa que se pueden alcanzar velocidades de hasta 20 m/seg. Algunos trabajos mencionan velocidades (no medidas) de hasta 36 m/seg. Aunque los flujos de escombros contienen partículas más gruesas, concentraciones más altas, pesos específicos más altos y menores cantidades de agua, la mecánica del movimiento en algunos aspectos es similar a la de los flujos hiperconcentrados. A veces, el movimiento es intermitente, como en los flujos de lodo, pero la amplitud de la onda es relativamente pequeña (20 a 50 cm) y, por lo general, el flujo no se interrumpe completamente entre las olas. La velocidad es mayor a medida

que aumenta la pendiente del canal y la velocidad disminuye al aumentar la concentración de sólidos.

e) Modelo de Manning

Existe una tendencia mundial a modelar los flujos de mezclas de agua y suelo como un flujo newtoniano, especialmente debido a la disponibilidad de modelos matemáticos y programas de software. En fluidos newtonianos como los gases y el agua, la velocidad de deformación es proporcional a los esfuerzos cortantes.

$$\tau = \eta_c \left( \frac{dv}{dy} \right) \quad (3)$$

Donde:

$\eta_c$  = Coeficiente de viscosidad

La representación hidráulica del flujo de agua de acuerdo a las características del flujo Newtoniano se ha realizado mediante el modelo de Manning, y para flujos con alto contenido de agua como los flujos de lodos y flujos hiperconcentrados, de características Newtonianas viscosas y turbulentas, el modelo de Manning es el que más se asimila a la realidad del flujo. De acuerdo al modelo de Manning:

$$q_T = \frac{1}{n} h^{5/3} \text{sen}^{1/2} \theta \quad (4)$$

Donde:

$q_T$  = Caudal unitario

$n$  = Número de rugosidad de Manning

$\theta$  = Pendiente del canal

Coeficiente de rugosidad (n) para huaycos

El factor más importante a determinar en el modelado de huaycos newtonianos es el número de rugosidad de Manning ( $n$ ), que representa

la fricción entre el canal y el flujo. Para el modelado, se debe obtener una rugosidad  $n$  teniendo en cuenta no solo la rugosidad del canal, sino también las características del flujo. La aspereza para los huaycos es generalmente mayor que para los flujos de agua. Por ejemplo, (Du, R, & Shucheng, Z., 1980) indican que las avalanchas de tierras glaciales tienen una aspereza mayor que 0.45. Otra característica es que el coeficiente de fricción  $n$  de Manning es proporcional al grosor del flujo. Los siguientes criterios se utilizan para una provincia de China:

$$\eta = 0.035 h^{0.34} \quad (5)$$

Este criterio se explica de la siguiente manera: cuanto mayor es la cantidad de partículas sólidas, mayor es el grosor  $y$ , en consecuencia, mayor es la disipación de energía potencial debido al movimiento de la carga transportada, y el valor de la rugosidad de Manning debe aumentarse para tener en cuenta esta disipación de energía.

#### Perfil de velocidad

En el flujo turbulento hiperconcentrado, la distribución de velocidad sigue la ley logarítmica utilizada en la hidráulica tradicional (figura N°. 13). Cabe señalar que el modelo de Manning no es completamente válido cuando aumentan las concentraciones de sólidos. Para concentraciones muy altas de sólidos (concentraciones cercanas o superiores a 1,000 kg / m<sup>3</sup>), la distribución de velocidad es más uniforme y el flujo es más similar al modelo de Bingham, y si la concentración de sedimento excede un valor crítico, la distribución de velocidades tienden a ser uniformes (Chien, N. y Wan, Z., 1999, pág. 93).

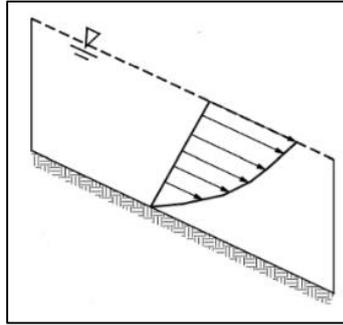


Figura N° 13. Distribución de velocidades de un Fluido Manning.  
Fuente: Suárez J., 2001.

f) Modelo de Bingham

El modelamiento matemático de huaycos de tierra se inició utilizando el modelo viscoso de Coulomb, el cual se asimila al fluido Bingham y se representa por la siguiente ecuación:

$$\tau = C + \sigma_n \tan\varphi + \eta_c (dV/dy) \quad (6)$$

Donde:

$\tau$  = Resistencia al cortante en la base del flujo

C = Cohesión

$\varphi$  = Ángulo de fricción interna

$\eta_c$  = Coeficiente de viscosidad (ver tabla N° 3)

Tabla N° 3: Rugosidades de cauce para el modelamiento de avalanchas de tierra.

Tipo de flujo	Características del cauce	Pendiente	Valores de n (Manning) para diferentes profundidades			
			0.50 m	1.00 m	2.00 m	4.00 m
Flujos no viscosos predominan los materiales de partículas gruesas	Canal angosto y empinado con gradas y contracciones. El material del lecho son piedras de 0.5 a 2.0 metros	0.15–0.22	0.20	0.25	0.33	0.50
	Canal con muchas curva y gradas. El material del lecho son piedras de 0.30 m, arena y grava.	0.02–0.15	0.10	0.125	0.167	0.25
	Canal ancho y recto.	0.02–0.08	0.056	0.071	0.10	0.125
Flujos viscosos predominan los materiales de partículas finas (limos y arcillar)	Canal angosto empinado y meándrico. El material del lecho son piedras grandes, arena y grava.	0.12–0.156	0.056	0.067	0.083	0.10
	Canal comparativamente recto. El material del lecho son piedras, arenas y grava.	0.08–0.12	0.036	0.042	0.05	0.06
	Canal ancho y recto. El material del lecho son piedras de menos de 0.30 metros, arena y grava.	0.04–0.08	0.029	0.036	0.042	0.05

Fuente: (Xu, D. y Qinghua, F., 1979, págs. 51-52)

Aunque este modelo es físicamente una representación correcta del mecanismo de movimiento de los flujos viscosos, su uso en la ingeniería práctica presenta dificultades para evaluar los diferentes parámetros.

#### Perfil de velocidad

El perfil de velocidad se puede asimilar al de un tapón que se mueve sobre una zona de flujo laminar como se indica en la Figura N°. 14. En este caso, no hay un movimiento relativo significativo en la parte superior del flujo, y el flujo se mueve hacia adelante como un solo cuerpo en un fluido Bingham. Los estudios en China muestran que los perfiles de velocidad son más uniformes en los flujos plásticos que en los no plásticos. En ese caso, el flujo hiperconcentrado newtoniano turbulento se ha transformado en un flujo laminar debido a la hiperconcentración exagerada.

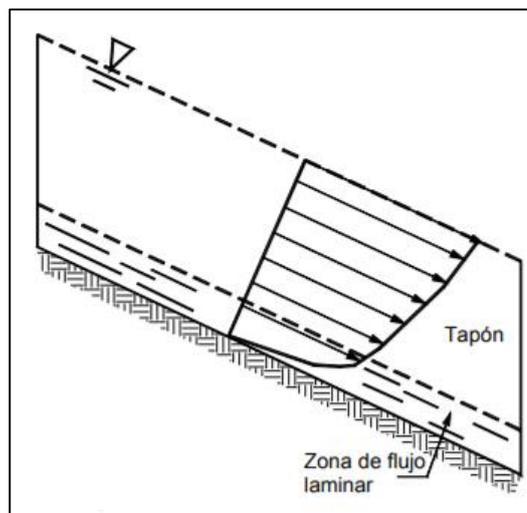


Figura N° 14. Distribución de velocidades de un Fluido Bingham.

Fuente: Suárez J., 2001.

#### g) Modelo Takahashi

Para los flujos de detritos (Debris Flows) no se cumplen las condiciones de fluido Bingham o de fluido Newtoniano y se acude al modelo de fluido dilatante desarrollado por Takahashi (2007), con base en los trabajos de Bagnold.

El modelo del flujo dilatante se puede expresar en forma general por la expresión:

$$\tau = \eta_c \left( \frac{dV}{dy} \right)^2 \quad (7)$$

Donde:

$\eta_c$  = Coeficiente de viscosidad

Takahashi (2007) “demostró que, en el caso de flujos de piedra o flujos no viscosos, en los que predomina el efecto de colisión entre partículas, el modelo de fluido dilatante es apropiado”. Según el modelo de líquido dilatante.

$$q_T = \frac{2}{5} R h^{5/2} (\text{sen } \theta)^{1/2} \quad (8)$$

R es una función de la concentración de sólidos, el diámetro de las partículas y otros factores. Una vez que ocurre un fenómeno que genera una avalancha y se forma un flujo a lo largo de un canal, Takahashi consideró el flujo como compuesto por una fase líquida y una fase sólida y ecuaciones de conservación de momento derivadas para cada fase y resumió los efectos de las dos fases, la colisión tensiones entre partículas sólidas y tensiones en el flujo intersticial, debido a la turbulencia y la viscosidad.

En la figura N° 15, podemos observar las diferencias de caudales obtenidos para profundidades de acuerdo a los modelos de Manning y de fluido dilatante.

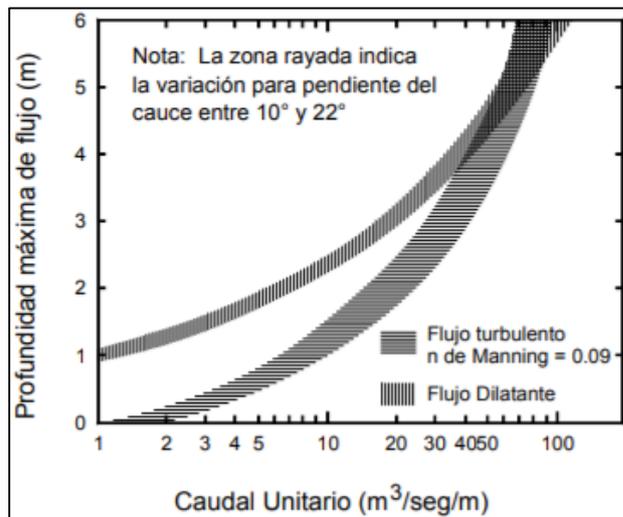


Figura N° 15. Comparación de los caudales obtenidos para profundidades, de acuerdo a los modelos de Manning y de fluido dilatante.

Fuente: Takahashi, T, 1991.

### Perfil de velocidades

La variación de la distribución de velocidad muestra una relación entre la concentración de sedimentos y la constante de Karman. La constante de Karman tiene un valor mínimo de aproximadamente 0.27 para una concentración de sedimento de aproximadamente 300 kg / m<sup>3</sup>. El perfil de distribución de velocidades para un flujo de detritos (ver figura N° 16) no viscoso está dado por la expresión (Takahashi T. , 1991, pág. 165):

$$\frac{u_s - u}{u_s} = \left( \frac{h - z}{h} \right)^{3/2} \quad (9)$$

Donde:

$u$  = velocidad

$u_s$  = velocidad en la superficie del flujo

$h$  = Altura del flujo

$z$  = Altura de cada punto con respecto al fondo del canal

La anterior fórmula fue comprobada por Takahashi por medio de modelos en laboratorio.

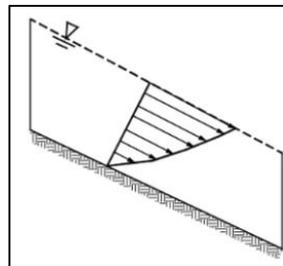


Figura N° 16. Distribución de velocidades de un fluido Takahashi.

Fuente: Suárez J., 2001.

### h) Modelo cuadrático de O'Brien y Julien

“El flujo hiperconcentrado, incluyendo inundaciones y flujos de barro se analizan mediante un modelo reológico cuadrático” (O'Brien, J. y Julien, P., 1993). correspondiente a un fluido no-newtoniano:

$$\tau = \tau_y + \eta \left( \frac{dv}{dy} \right) + C \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (10)$$

Donde:

$dv/dy$ : Gradiente de velocidad,

$\eta$  : Viscosidad dinámica;

$\tau$  : Esfuerzo cortante total;

$\tau_y$  : Esfuerzo de cedencia,

$C$  : Coeficiente del esfuerzo cortante inercial.

El modelo cuadrático contiene términos que precisan el flujo en regímenes inerciales y viscosos. La suma del límite elástico y el esfuerzo viscoso define el esfuerzo cortante para un fluido cohesivo hiperconcentrado que fluye en un régimen viscoso y representa los esfuerzos internos de un fluido Bingham (Collyer & Legg, 1988, p. 28). El último término de la fórmula, representa la suma de esfuerzos cortantes dispersivos y turbulentos que dependen del cuadrado del gradiente de velocidad.

La pendiente de fricción se calcula como sigue (O'Brien et al,1993):

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{k_\eta V}{8\gamma_m h^2} + \frac{n^2 V^2}{h^{4/3}} \quad (11)$$

Donde:

$n$  : Coeficiente de fricción de Manning,

$\eta$  : Viscosidad dinámica y

$\gamma_m$  : Peso específico de la mezcla.

O'Brien y Julien (1993) sostienen que:

Los valores del parámetro de resistencia  $K$  dependen de la forma, la pendiente y las condiciones de vegetación del canal. El límite elástico y la viscosidad dinámica varían con la concentración volumétrica de sedimentos,  $C_v$ . A menudo se utilizan las siguientes relaciones empíricas p.

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad (12)$$

$$\tau = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad (13)$$

Donde:

$\alpha$  y  $\beta$  son coeficientes empíricos definidos por un análisis reológico del material.

### 2.3.6 Modelo dinámico de simulación utilizado.

#### a) Modelo Bidimensional FLO-2D

El modelo Flo-2D propuesto por O'Brien et al. (1998) Para analizar el flujo de escombros, es un modelo bidimensional de diferencias finitas que permite simular el flujo de fluidos no newtonianos (como avalanchas torrenciales) en topografías complejas como áreas urbanizadas, es una herramienta valiosa para delinear riesgos de inundación y simulación de flujos de atenuación de inundación y flujos de escombros; y discretización de la superficie de la red. La simulación de flujos de escombros requiere modelos reológicos (o ecuaciones constitutivas) para mezclas sólido-líquido. La propiedad reológica de un flujo de escombros depende de una variedad de factores, como la concentración de agua, la concentración de sólidos, las propiedades cohesivas del material fino, la distribución del tamaño de partícula, la forma de la partícula y la fricción del grano (Imran, Parker, Locat y Lee, 2001). Se asumen las siguientes condiciones para simplificar la operación del modelo FLO -2D:

1. Se usa la ecuación de aguas poco profundas, la regla de Leibnitz, para intercambiar el orden de integración y diferenciación para simplificar las ecuaciones de continuidad y momento.
2. Flujo constante.
3. Distribución de la presión hidrostática.

4. Ecuación de resistencia al flujo constante. Hay dos restricciones en este modelo;

El modelo no puede modificar profundidades erosionadas.

El modelo no puede simular ondas de choque y saltos hidráulicos.

b) Mapa de amenaza o peligro

En todo el mundo, el mapeo de riesgos de inundación se utiliza para regular el desarrollo para evitar daños por inundación y pérdida de vidas. El riesgo de inundación en un lugar específico es una función de la intensidad y probabilidad de la inundación. La intensidad de la inundación está determinada por la velocidad del flujo. La probabilidad de inundación está inversamente relacionada con la magnitud de la inundación; Es decir, grandes inundaciones ocurren con menos frecuencia (García, López, Noya, Bello y González, 2003).

El riesgo de inundación se define entonces como una función discreta combinada de la intensidad del evento (gravedad del evento) y el período de retorno (frecuencia). Los criterios del mapa de riesgos presentados aquí se propusieron por primera vez para dos ventiladores aluviales en Caracas, Venezuela y posteriormente se aplicaron a otras cuencas urbanizadas. Este enfoque sigue los estándares suizos y austriacos que establecen tres zonas para delinear los niveles de riesgo de inundación, como se muestra en la Tabla N° 4 y 5.

Tabla N° 4: Tabla de grado de amenaza

Intensidad	Alta	---	---	---	---
	Media	---	---	---	---
	Baja	---	---	---	---
Frecuencia		Alta	Media	Baja	Muy baja
Periodo de retorno		10	100	500	>>500
Probabilidad de excedencia		10%	1%	0.20%	<< 0.2%

Fuente: Office Federal De i OEconomie Des Aux (ofee)

Tabla N° 5: Significado de los colores

	Amenaza Alta
	Amenaza media
	Amenaza baja
	Amenaza muy baja

Fuente: Office Federal De i OEconomie Des Aux (ofee)

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1 Hipótesis general

Con la propuesta del modelo numérico y alternativas de solución, se controlará el flujo de detritos.

### 2.4.2 Hipótesis específicas

- a) La información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo nos permita conocer los volúmenes de sedimentos transportados en su flujo de detritos.
  
- b) Las alternativas de solución propuestas sean adaptas para el control del flujo de detritos.

### 2.4.3 Variables

#### a) Definición conceptual de la variable

Aunque existen muchos tipos de variables, las más importantes para la gran mayoría de los métodos de la investigación son las variables independientes y dependientes. En nuestra investigación hemos determinado la variable a ser manipulada para generar resultados cuantificables. Tenemos las variables independientes y las variables dependientes.

#### b) Operacionalización de las variables

##### a) Variables independientes:

Precipitación

Erosión del suelo

##### b) Variable dependiente:

Caudal Líquido

Flujo de detritos

## **CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO**

### 3.1 Tipo y nivel

Nuestra investigación es de nivel descriptiva, porque buscamos describir el problema principal, que es: conocer el comportamiento del flujo de detritos (huayco) y la amenaza frente a la ocurrencia de dicho fenómeno en la Quebrada El Tingo mediante un modelo numérico, problema ocasionado por la erosión del suelo en temporadas de lluvia en la Quebrada El Tingo-Pataz y mitigar las consecuencias de la ocurrencia de este fenómeno mediante alternativas para el control del flujo de detritos.

Es correlacional porque estudiamos la correlación entre las variables dependientes e independientes. Porque si la variable de la precipitación aumenta o disminuye, la variable del caudal hará lo mismo.

### 3.2 Diseño de la Investigación:

No experimental

### 3.3 Población y muestra

La población en estudio fue todas las quebradas del Departamento de La Libertad. Las cuales tienen tres de las cuatro cuencas hidrográficas del Perú, debido a estar atravesado por la Cordillera de los Andes.

La muestra está delimitada por la Quebrada El Tingo en el distrito de Pataz, departamento de La Libertad.

### 3.4 Técnicas de recolección de datos

#### 3.4.1 Tipo de técnicas e instrumentos

Las técnicas aplicadas a la presente investigación fueron: base de datos y observación de campo no experimental.

Teniendo como instrumentos de recolección: Google Earth, INGEMMET, CONIDA, SENAMHI, ANA, internet.

### 3.4.2 Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

La validez es sinónimo de autenticidad, por este motivo, el investigador tiene la tarea de recolectar datos usando instrumentos validados y que a su vez sean confiables. Por lo tanto, “La validez, en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir”. (Hernández et al., 2014, Pg.200).(Ver tabla N° 6 )

Tabla N° 6: Rangos y magnitud de validez

Rango	Confiabilidad (Dimensión)
0.81-1	Muy alta
0.61-0.80	Alta
0.41-0.60	Media
0.21-0.10	Baja
0-0.20	Muy baja

Fuente: Palella & Martins, 2012.

En el presente trabajo se válida los instrumentos con las fichas de recolección de datos verificadas mediante juicio de expertos, normas nacionales, calibración de modelos computacionales. La información es confiable porque fueron tomadas de documentos citados y referenciados correctamente. Con el fin de bridar un grado de confiabilidad y validez a los instrumentos de recolección de datos. (Ver tabla N° 7 )

Tabla N° 7: Recolección de datos

Etapas de la investigación	Técnicas	Instrumentos	Validación
Estudios hidrológicos	Análisis documental y tecnológico (recolección de datos y programas computacionales)	- Registro de caudales máximos medios (m <sup>3</sup> /s)	- Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú) - Formulas estadísticas.
		- Hojas de cálculo Excel - AutoCAD 2019	Métodos teóricos y visualización de marcas dejadas en los cauces de los ríos.
Modelamientos	Análisis tecnológico (programas computacionales)	- ArcGis - Hec-Hms - Hidroesta 2 - Flo 2d - Otros	

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4.3 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se ha utilizado los programas: Excel, Civil 3D, ArcGis, Hec-HMS y FLO 2D.

El uso del Civil 3d nos sirvió para obtener información topográfica, así mismo, nos permitió ver las curvas de nivel en 3 dimensiones para tener una idea de las clases de las características como las pendientes y las elevaciones de la zona El Tingo. Toda esta información ha sido utilizada para comparar con los datos que nos proporcionó el ArcGis.

El uso del ArcGis nos sirvió para obtener las características morfológicas de El Tingo. Con estas herramientas se obtuvieron las características morfométricas de la cuenca hidrográficas que son:

a) Propiedad de la superficie:

Área

Perímetro

Cotas: máximas y mínimas

Pendientes

b) Propiedades de la red hídrica

Longitud del curso principal

Orden de la red hídrica

Longitud total de la red hídrica

Pendiente promedio de la red hídrica

El FLO 2D nos ayudó a encontrar los tirantes máximos en el cono de deyección. También nos sirvió para modelar varios tipos de inundación dependiendo de los datos de entrada. En nuestra modelación el flujo de entrada fue un flujo hiperconcentrado en el cono de deyección de la cuenca. Esta opción también permitió introducir variaciones temporales del caudal e ingresar valores diferentes de concentración de carga de flujos de detritos a lo largo del tiempo transcurrido.

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

### 4.1 Recopilación y levantamiento de información

#### 4.1.1 Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico se han utilizado las curvas de nivel proporcionadas por Geocatmin (sistema de información geológica y contraste minero) en archivos shp, para usarlos en el programa ArcGis y para obtener las elevaciones topográficas, así como los parámetros morfológicos.

Esta información topográfica sirvió para modelar las pendientes del recorrido del flujo de los detritos.

El análisis de los niveles, nos permitió indicar pendientes del terreno y dar una forma tridimensional a la zona de estudio, se consideró el rango de pendientes del terreno de Fidel (ver tabla N° 8)

Tabla N° 8: Rango de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS(°)	CLASIFICACIÓN
< 5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
> 50	Muy fuerte

Fuente: Fidel et al., 2006

#### Altitud

La altitud varía entre 1369 a 4083 msnm.

Conocer el tipo de pendiente del terreno, servirá para determinar si el suelo en estudio será estable o inestable en un evento de precipitación inusual, En la tabla N° 9 se visualizan los parámetros morfológicos de la quebrada El Tingo (Área, Coordenadas geográficas en UTM).

Tabla N° 9: Parámetros morfológicos de la quebrada El Tingo

<p>Vista aérea de Google Earth</p> <p>Longitud perimetral: 33.3 Km</p> <p>Área : 50.7 Km<sup>2</sup></p> <p>Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas UTM:</p> <p>Coordenada norte: 9'145,231.00 m</p> <p>Coordenada este : 206,077.00 m</p> <p>Altitud : 1369 m.s.n.m</p>	<p>Google Earth - Editar Marca de posición</p> <p>Nombre: Vijus</p> <p>Zona: 18 M</p> <p>Coordenada Este: 206077.00 m E</p> <p>Coordenada Norte: 9145231.00 m S</p> <p>Descripción   Estilo, color   Ver   Altitud</p> <p>Latitud: -7.719573°</p> <p>Longitud: -77.658516°</p> <p>Alcance: 7704m</p> <p>Encabezado: 0.000000°</p> <p>Inclinación: 26.000000°</p> <p>Fecha/hora: Ninguno</p>
---	---

Fuente: Google Earth.

En la figura N° 17 se visualiza en imagen satelital la zona de estudio delimitada y se muestran los diferentes elementos como son: drenaje, divisorias, red de cauce, valle y río receptor, con lo que se observa que el terreno es accidentado.

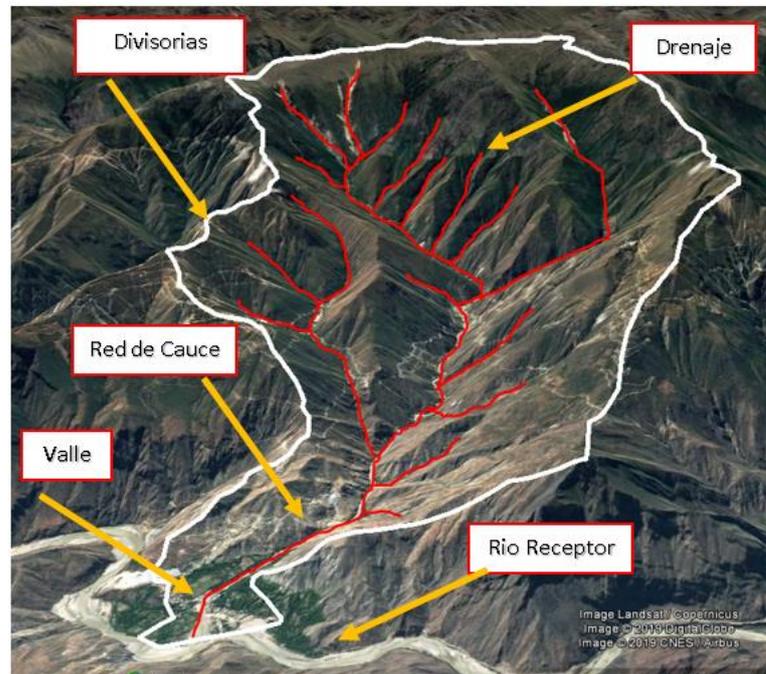


Figura N° 17. Vista Aérea de la Zona de estudio.  
Fuente: Google Earth

En la siguiente figura se presenta la topografía de la zona de estudio con sus curvas de nivel desarrollado con el ArcGis 10.1 (ver figura N° 18)

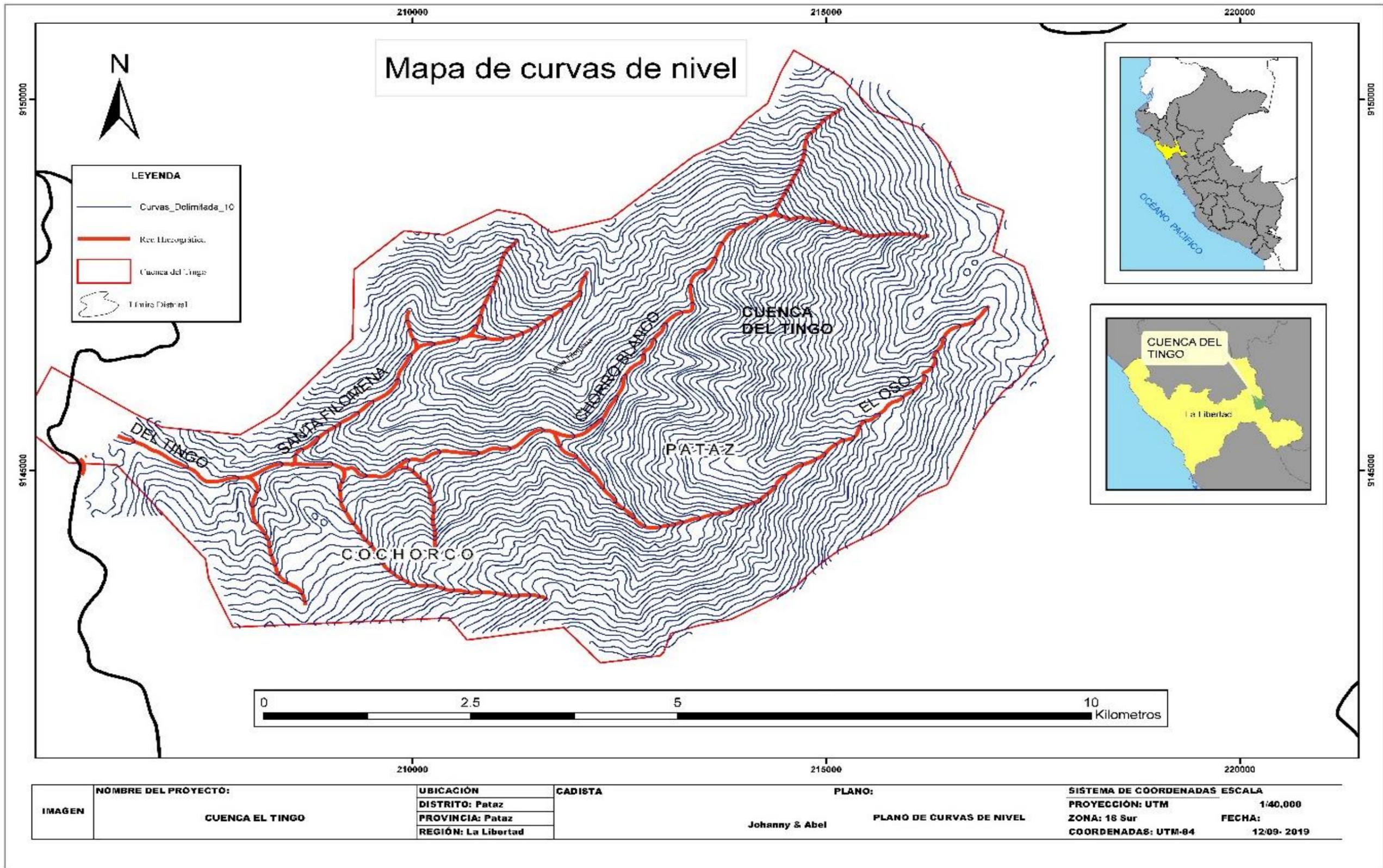


Figura N° 18. Mapa de curvas de nivel.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se visualizan los límites de las zonas de las sub cuencas el Oso, el Chorro Blanco, Santa Filomena y el Tingo. En cada sub cuenca se han trazado 3 secciones para visualizar las pendientes

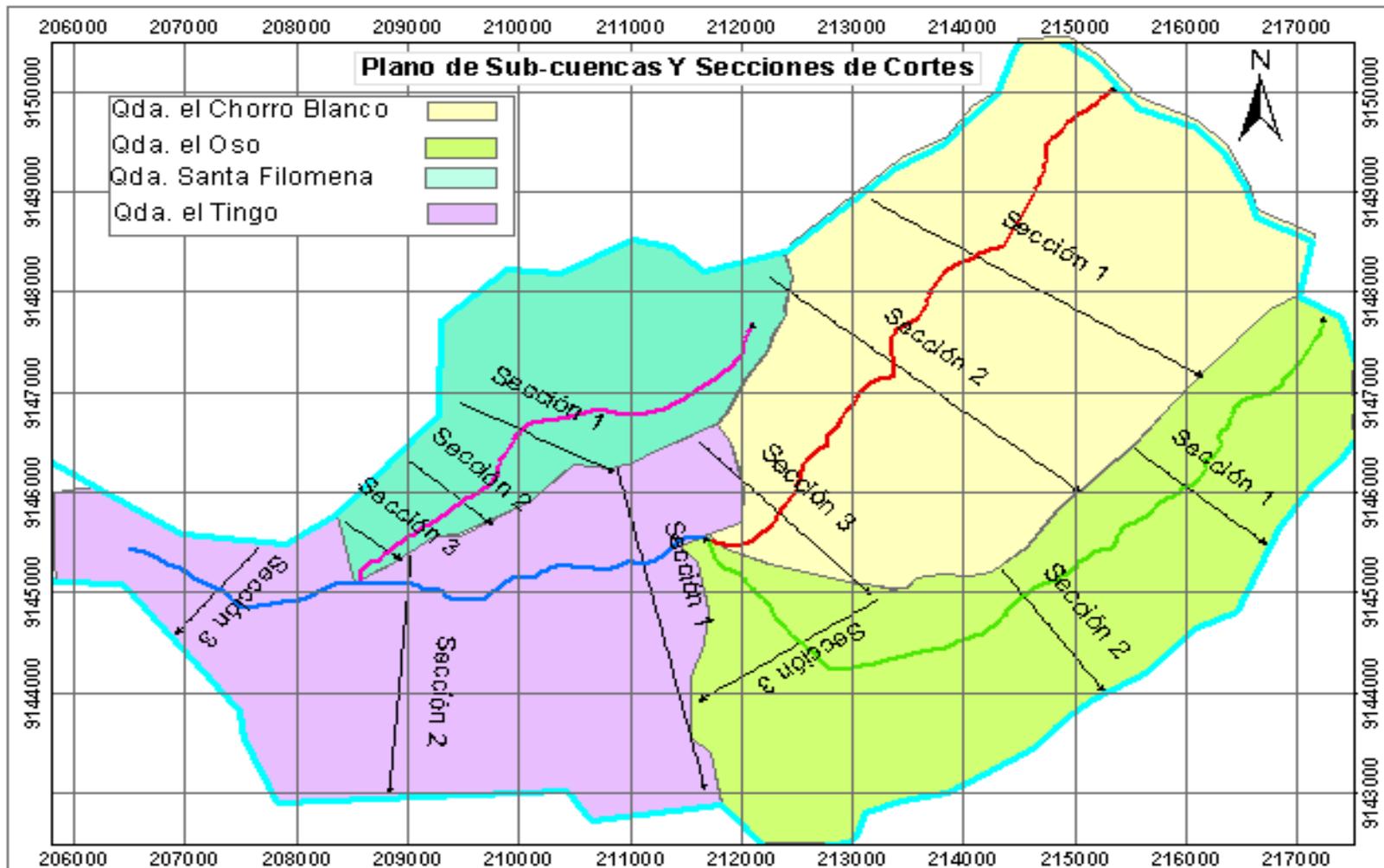


Figura N° 19. Delimitación de la Zona de estudio y cortes transversales en cada quebrada.  
Fuente: Elaboración propia

La Quebrada el Chorro Blanco:

Utilizando el ArcGis 10.1 se calcularon las pendientes longitudinales de la quebrada el Choro Blanco y las pendientes transversales de cada sección, las cuales se analizan en detalle en las figuras siguientes.

En la figura N° 20 se observan las pendientes longitudinales a lo largo del cauce de la quebrada el Chorro Blanco, Estas pendientes varían desde 18.2% a 42.60%. Asimismo, cuenta con una longitud de 6 km de largo y con una cota mínima de 1,800 msnm hasta una cota máxima de 3,800 msnm.

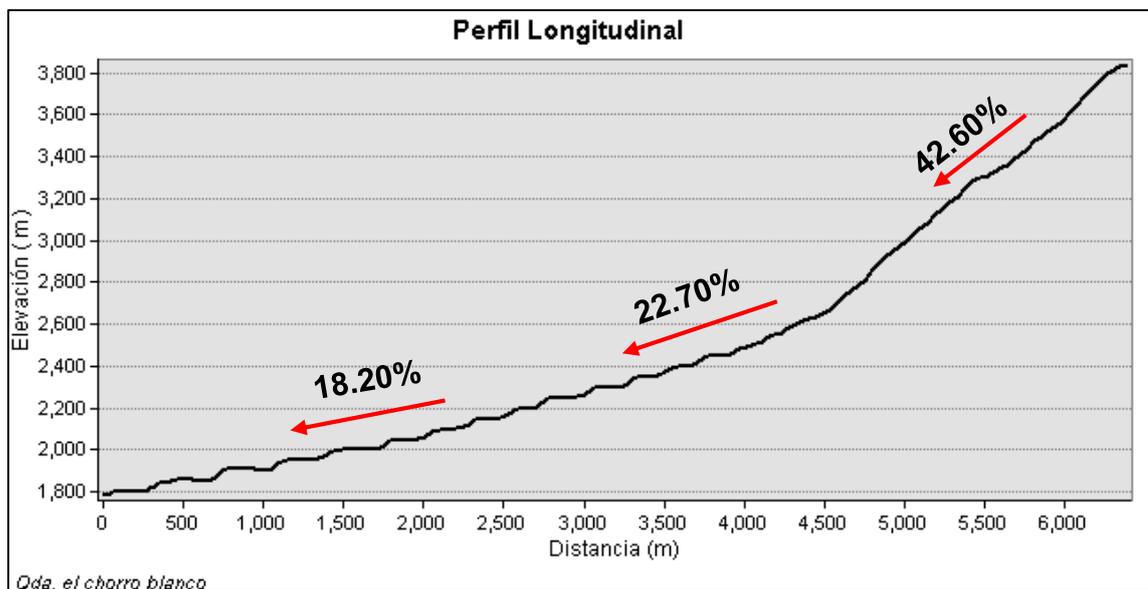


Figura N° 20. Perfil longitudinal de la Quebrada Chorro Blanco.

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 21 se observan las pendientes transversales de la sección 1 del cauce de la quebrada el Chorro Blanco. Su longitud es de 3,4 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 2,500 a 4,000 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 49.80 % por el lado izquierdo de 66.20 % por el lado derecho.

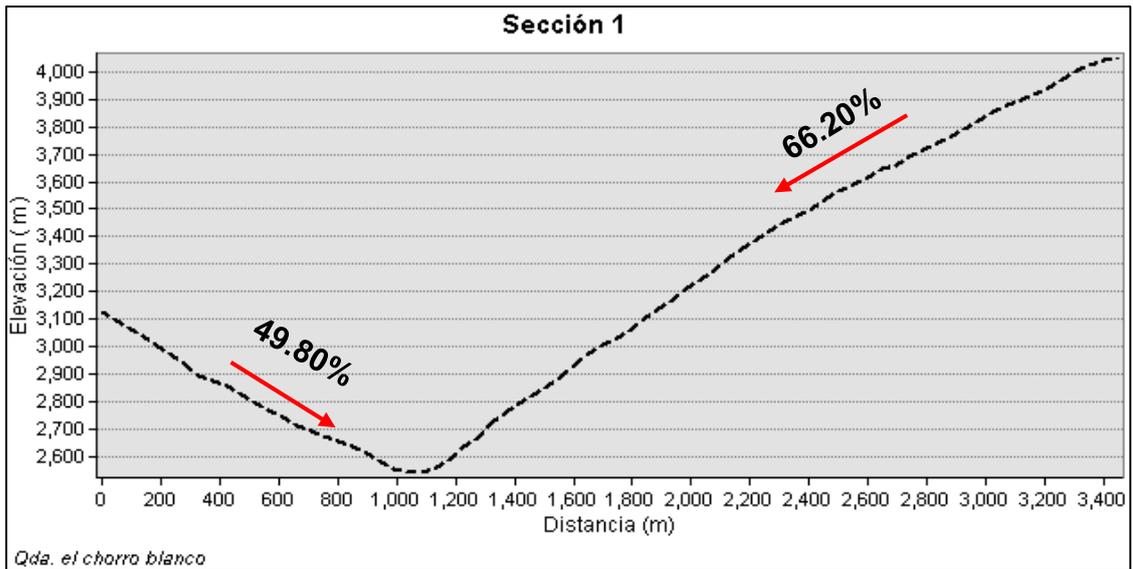


Figura N° 21. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco. 1  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 22 se observan las pendientes transversales de la sección 2 del cauce de la quebrada el Chorro Blanco. Su longitud es de 3,4 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 2,200 a 3,400 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 59.90 % por el lado izquierdo y 53.90 % por el lado derecho.

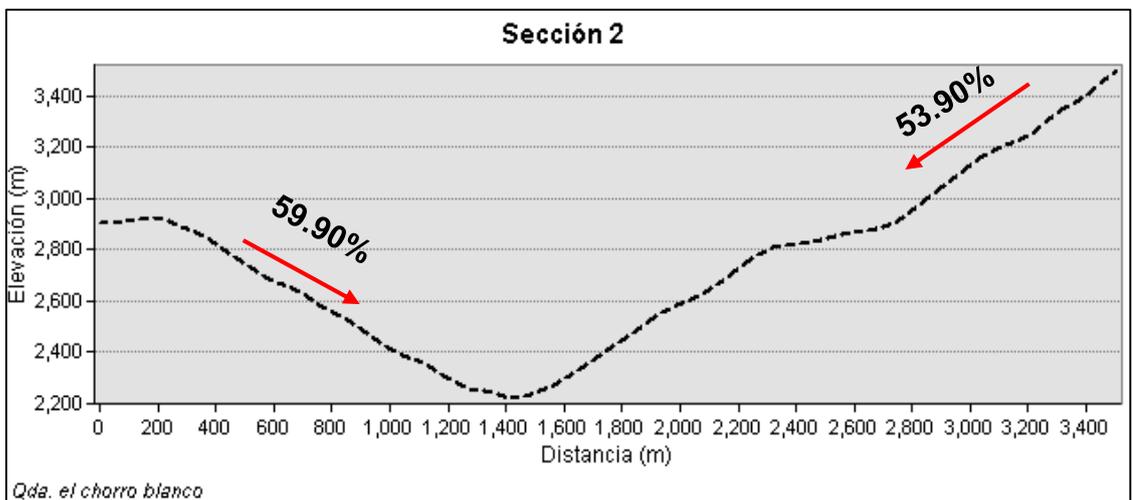


Figura N° 22. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco .2  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 23 se observan las pendientes transversales de la sección 3 del cauce de la quebrada el Chorro Blanco. Su longitud es de 2.2 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,900 a 2,600 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 45.70 % por el lado izquierdo y 57.50 % por el lado derecho.

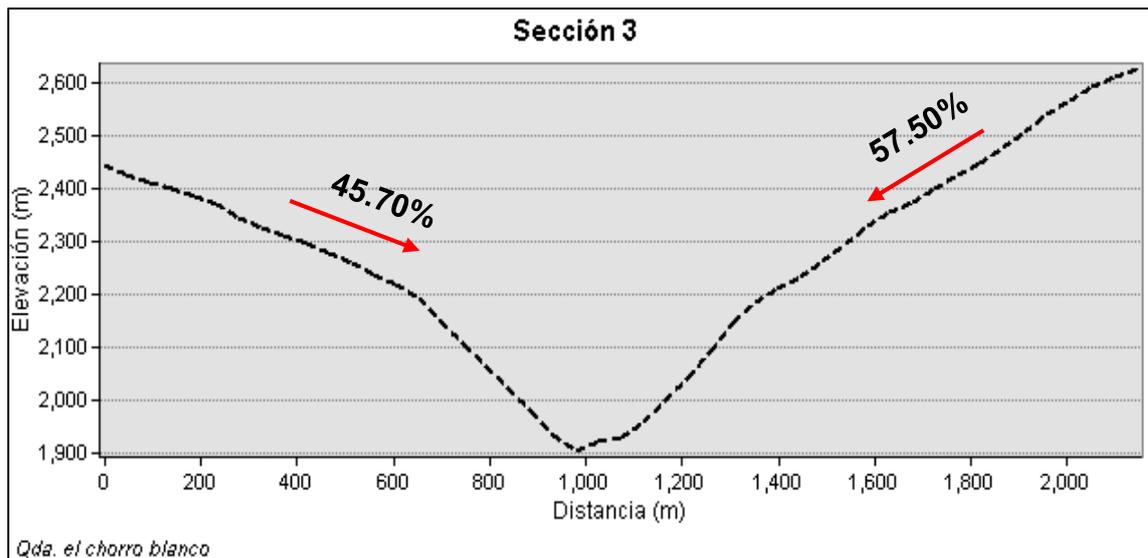


Figura N° 23. Perfil Transversal de la Quebrada Chorro Blanco. 3  
Fuente: Elaboración propia

Concluimos que la quebrada el Chorro Blanco es la que tiene mayor área de entre las 3 quebradas y queda en segundo lugar en tener las pendientes transversales más pronunciadas. También es la segunda en tener la mayor longitud en el recorrido del flujo de detritos.

La Quebrada el Oso:

Utilizando el ArcGis 10.1 se calcularon las pendientes longitudinales de la quebrada el Oso y las pendientes transversales de cada sección, las cuales se analizan en detalle en las figuras siguientes.

En la figura N° 24 se observa la pendiente longitudinal a lo largo de cauce de la quebrada el Oso, Estas pendientes varían desde 25.7% a 27.9%. Asimismo, cuenta con una longitud de 8 km de largo y con una cota mínima de 1,800 msnm hasta una cota máxima de 4,500 msnm.

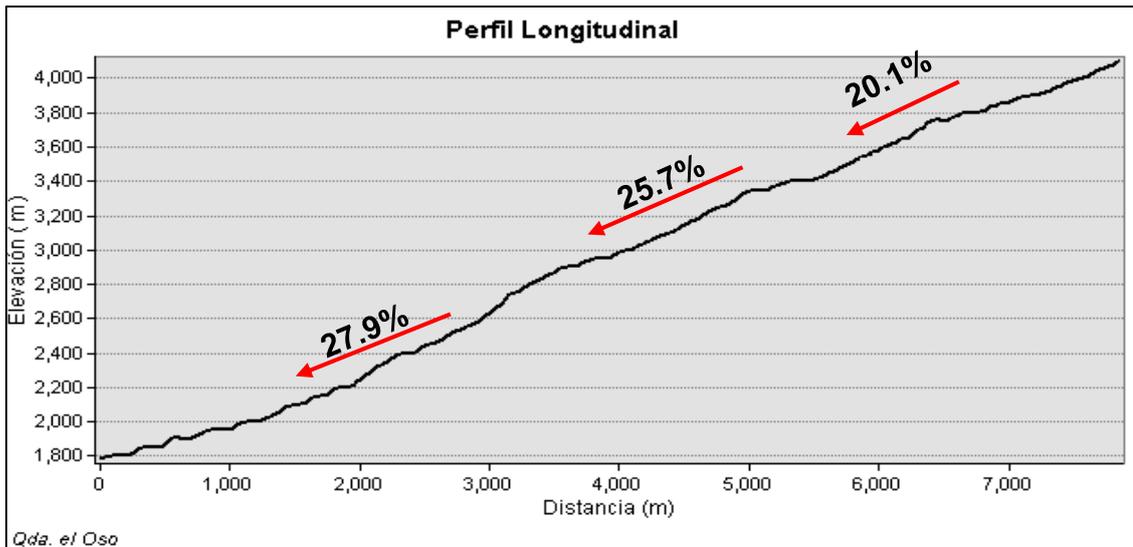


Figura N° 24. Perfil longitudinal de la Quebrada El Oso.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 25 se observan las pendientes transversales de la sección 1 del cauce de la quebrada el Oso. Su longitud es de 1.5 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 3,450 a 4,000 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 34.30 % por el lado izquierdo y 36.60 % por el lado derecho.

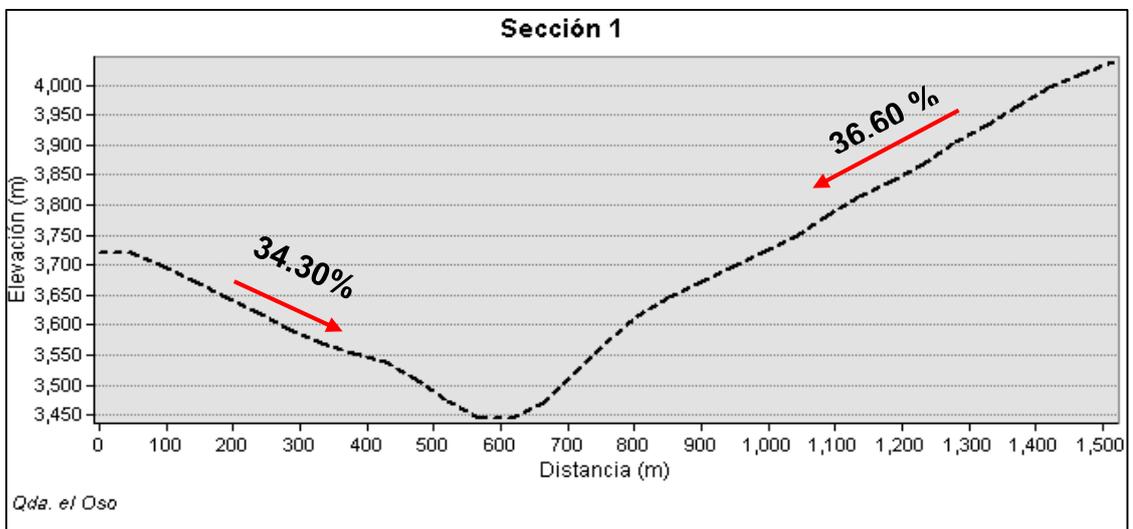


Figura N° 25. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 1  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 26 se observan las pendientes transversales de la sección 2 del cauce de la quebrada el Oso. Su longitud es de 1.5 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 2,900 a 7,700 msnm respectivamente Asimismo tiene una pendiente promedio de 34.30 % por el lado izquierdo y 55.60 % por el lado derecho.

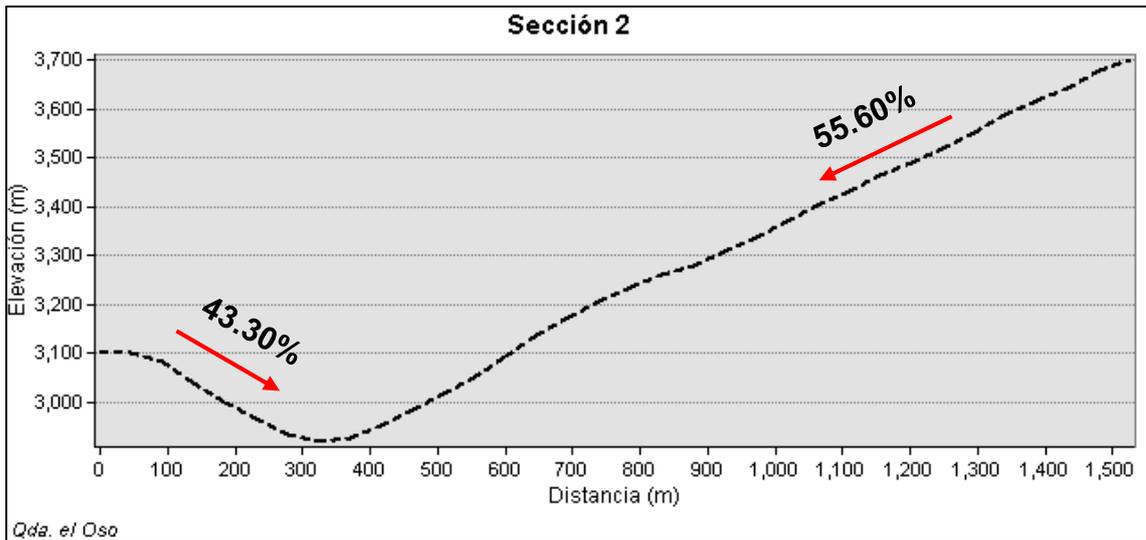


Figura N° 26. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 2  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 27 se observan las pendientes transversales de la sección 3 del cauce de la quebrada el Oso. Su longitud es de 1.9 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 2,050 a 2,650 msnm respectivamente. Asimismo, tiene una pendiente promedio de 58.70 % por el lado izquierdo y 51.70 % por el lado derecho.

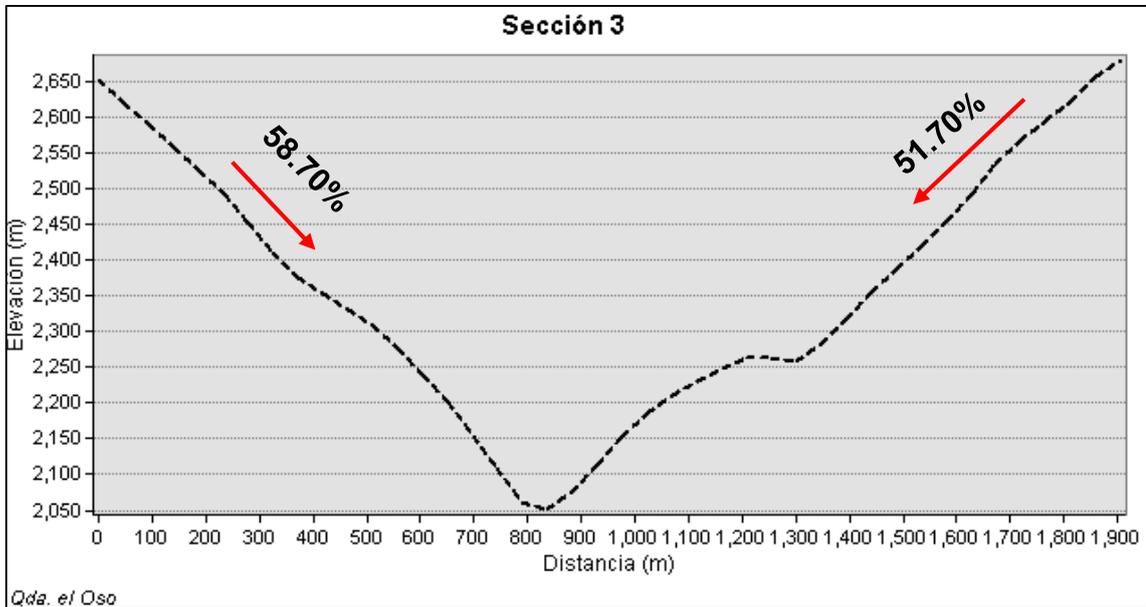


Figura N° 27. Perfil Transversal de la Quebrada El Oso. 3  
Fuente: Elaboración propia

La Quebrada Santa Filomena:

Utilizando el ArcGis 10.1 se ha calculado las pendientes longitudinales de la quebrada Santa Filomena y las pendientes transversales de cada sección, las cuales se analizan en detalle en las figuras siguientes.

En la figura N° 28 se observan las pendientes longitudinales a lo largo de cauce de la quebrada Santa Filomena, Estas pendientes varían desde 20.10% a 27.90%. Cuenta con una longitud de 4.83 km de largo y con una cota mínima de 1,450 msnm hasta una cota máxima de 2,650 msnm.

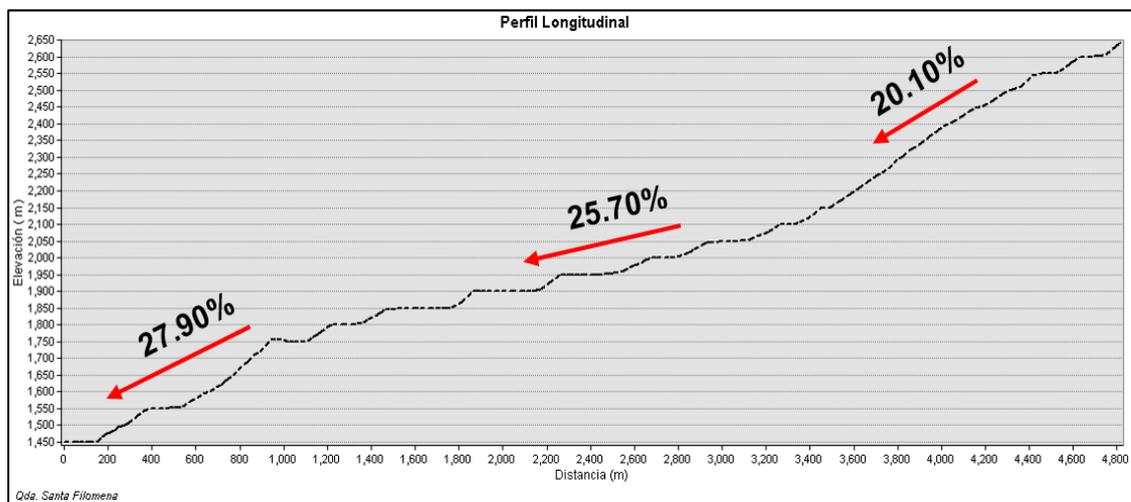


Figura N° 28. Perfil longitudinal de la Quebrada Santa Filomena.

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 29 se observan las pendientes transversales de la sección 1 del cauce de la quebrada Santa Filomena. Su longitud es de 1.5 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,950 a 2,400 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 42.90 % por el lado izquierdo y 53.00 % por el lado derecho.

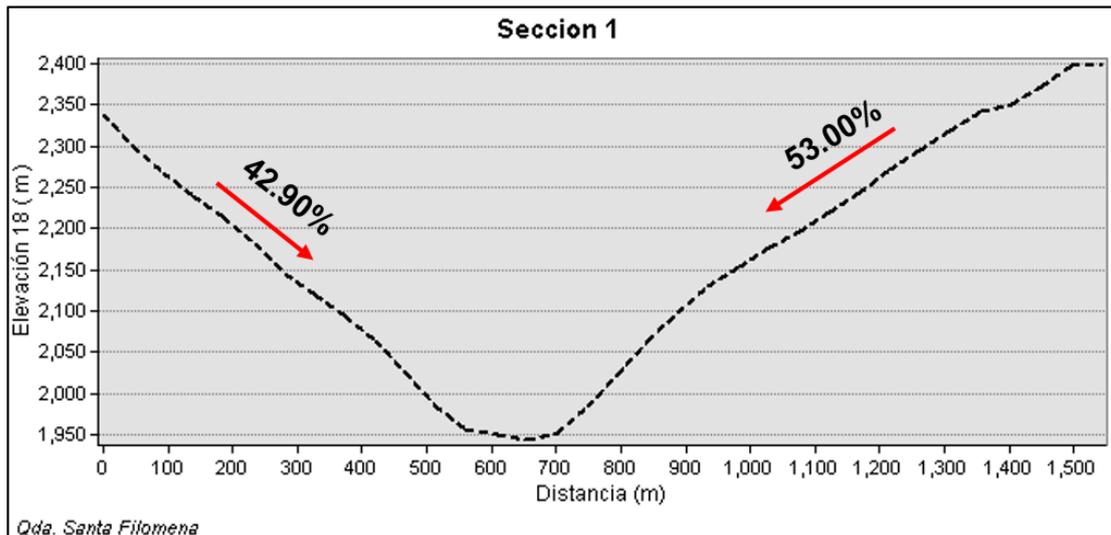


Figura N° 29. Perfil Transversal de la Quebrada Santa Filomena. 1  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 30 se observan las pendientes transversales de la sección 2 del cauce de la quebrada Santa Filomena. Su longitud es de 1.00 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,790 a 2,150 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 48.2 % por el lado izquierdo y 60.10 % por el lado derecho.

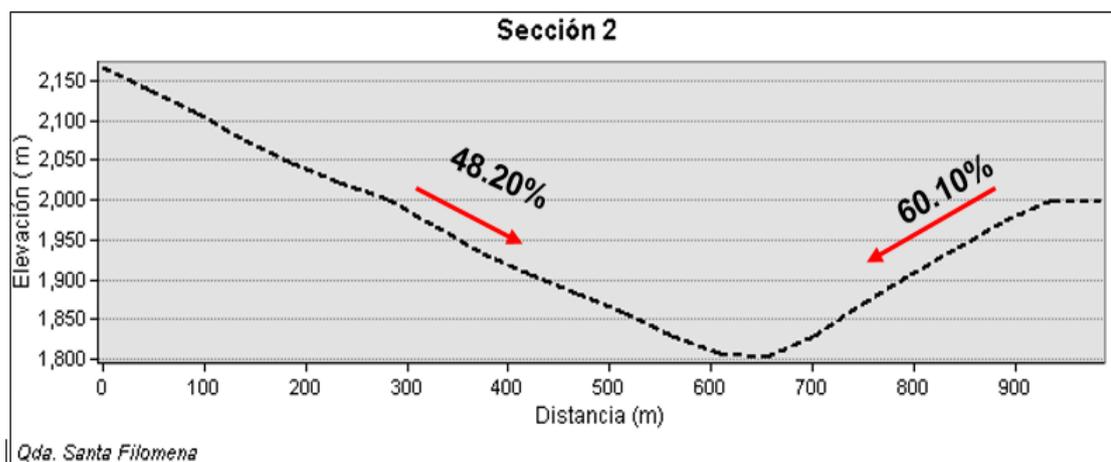


Figura N° 30. Perfil Transversal de la Quebrada Santa Filomena. 2  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 31 se observan las pendientes transversales de la sección 3 del cauce de la quebrada Santa Filomena. Su longitud es de 6.5 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,540 a 1,850 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 65.40 % por el lado izquierdo y 22.10 % por el lado derecho.

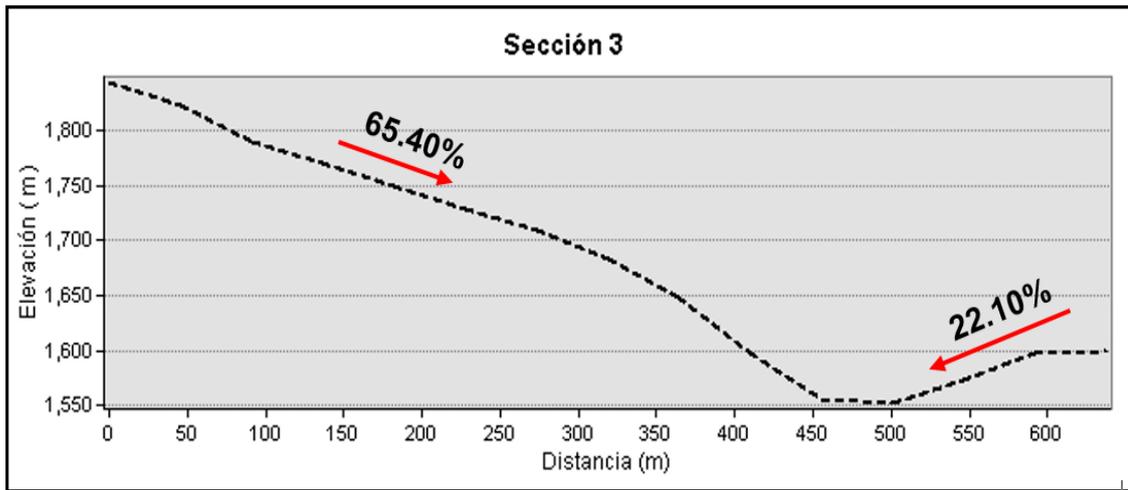


Figura N° 31. Perfil Transversal de la Quebrada Santa Filomena. 3  
 Fuente: Elaboración propia

Concluimos que la quebrada Santa Filomena es la que tiene menor área de entre las 3 quebradas y queda en tercer lugar en tener las pendientes transversales más pronunciadas. También es la tercera en tener la mayor longitud en el recorrido del flujo de detritos.

La Quebrada El Tingo:

Utilizando el ArcGis 10.1 se ha calculado las pendientes longitudinales de la quebrada El Tingo y las pendientes transversales de cada sección, las cuales se analizan en detalle en las figuras siguientes.

En la figura N° 32 se observan las pendientes longitudinales a lo largo de cauce de la quebrada El Tingo, Estas pendientes varían desde 7.10% a 12.70%. Asimismo, cuenta con una longitud de 5.59 km de largo y con una cota mínima de 1,250 msnm hasta una cota máxima de 1,758 msnm.

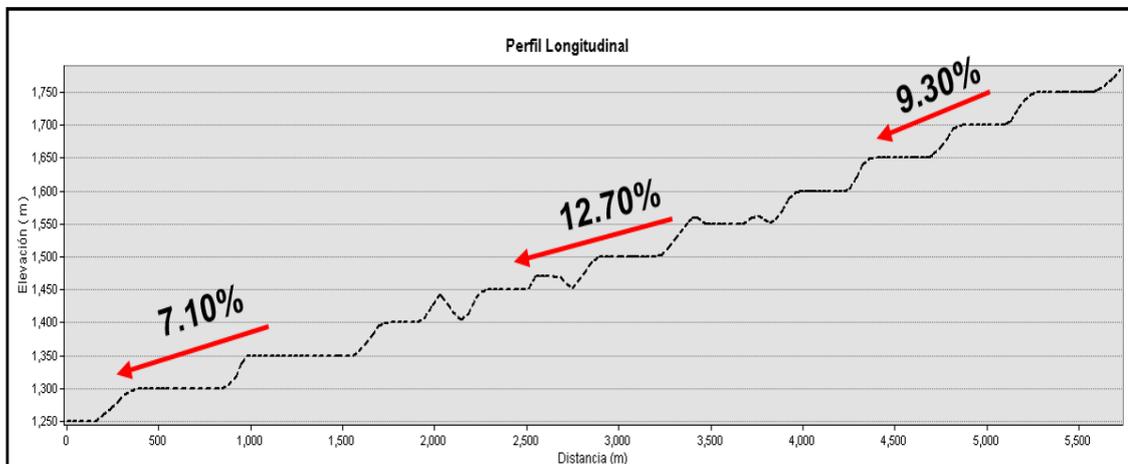


Figura N° 32. Perfil Longitudinal de la Quebrada El Tingo.  
 Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 33 se observan las pendientes transversales de la sección 1 del cauce de la quebrada El Tingo. Su longitud es de 3,5 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,650 a 4,000 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 65.70 % por el lado izquierdo y 60.20 % por el lado derecho.

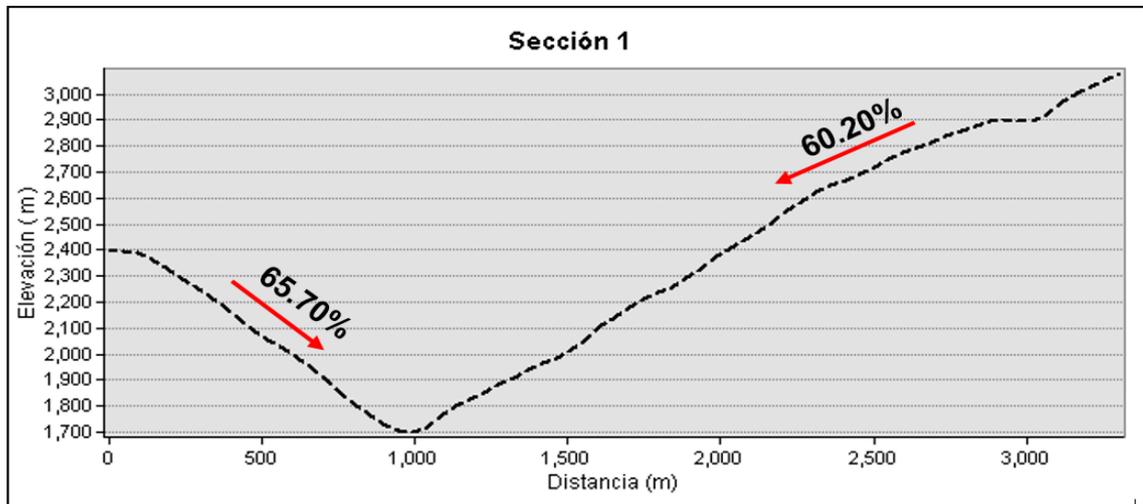


Figura N° 33. Perfil Transversal de la Quebrada El Tingo. 1  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 34 se observan las pendientes transversales de la sección 2 del cauce de la quebrada El Tingo. Su longitud es de 2.2 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,400 a 2,100 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 56.00 % por el lado izquierdo y 38.80 % por el lado derecho.

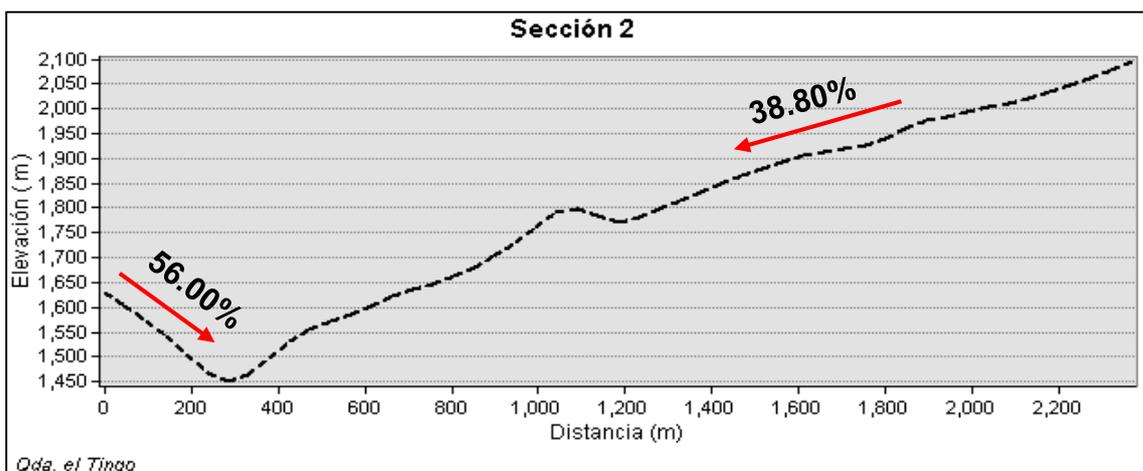


Figura N° 34. Perfil Transversal de la Quebrada El Tingo. 2  
Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 35 se observan las pendientes transversales de la sección 3 del cauce de la quebrada El Tingo. Su longitud es de 1.15 km de largo y con alturas mínimas y máximas de 1,320 a 1,600 msnm respectivamente. Tiene una pendiente promedio de 34.40 % por el lado izquierdo y 34.50 % por el lado derecho.

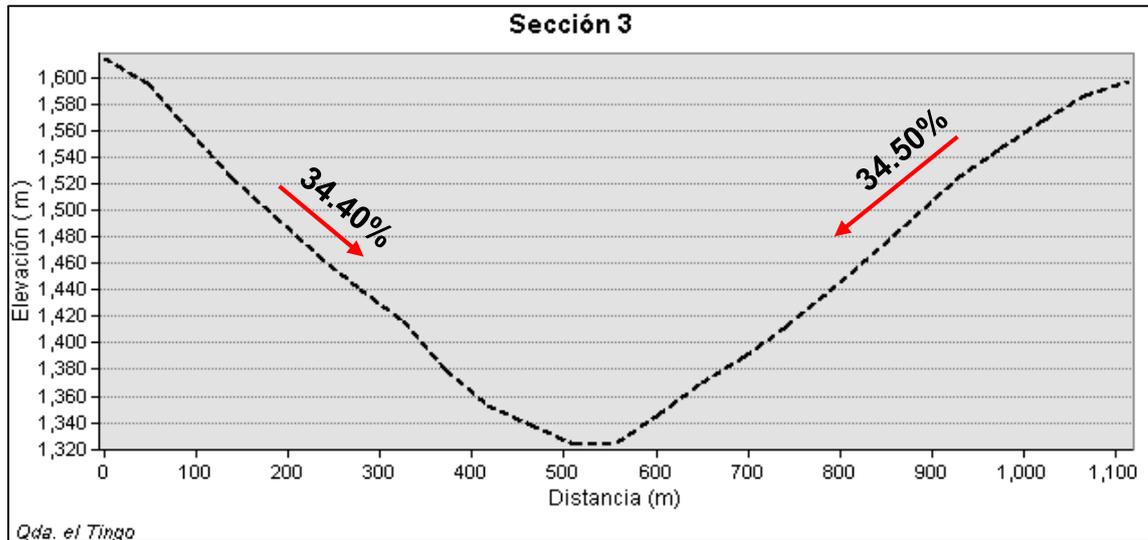


Figura N° 35. Perfil Transversal de la Quebrada El Tingo. 3  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Geología

Para obtener la información de la Geología de la provincia de Papaz se ingresó a la página de Geocatmin (sistema de información geológica y contraste minero), que nos proporcionó información confiable en archivos shp, que fue usada en el programa ArcGis, el programa arcgis nos proporcionó parámetros para ser ingresado en el programa flo 2D.

##### a) Geología Regional.

En la región se presenta una gran variedad de unidades estratigráficas que abarcan desde el paleozoico inferior o del precámbrico hasta el cuaternario.

##### Complejo del Marañón.

Compuesta de esquistos micaceos y cloritosos, grises y verdosos. Localmente se encuentran pequeños intrusivos hipabisales ultra básicos, apreciable en la cordillera nor oriental.

### El Grupo Mitu.

Está representado por areniscas, conglomerados y volcánicos rojizos y morados que afloran en la cordillera Central, que sobreyace discordante sobre el Complejo Marañón y al Grupo Ambo, debido a movimientos tectónicos.

Es común encontrar cambios abruptos en el grosor de sedimentos. En algunos afloramientos de conglomerados contienen fragmentos de caliza con restos de crinoideos que probablemente proviene del grupo Copacabana. Los aspectos volcánicos que distingue de otras del grupo Mitu, asignado al Permiano medio a superior, está conformado principalmente de derrames de andesita de un color morado claro, encontrándose sobre el Grupo Copacabana y por debajo del Grupo Pucará.

### Grupo Pucará.

Se compone de calizas con chert que afloran en el sector oriental de la región, alcanzando un espesor máximo de 300 m. en la cadena de cerros al Oeste de Buldibuyo (Tayabamba) y en el flanco oriental del valle del Marañón dentro del cuadrángulo de Pomabamaba, este grupo tiene una edad registrada entre el triásico y el jurasico.

### Formación Chicama.

Pertenece a la edad Titoniana, consiste en un grosor considerable de lutitas y areniscas finas que afloran ampliamente en el sector occidental de la región y se encuentra subyaciendo a la Formación Chimú.

### Grupo Goyarisquizga.

Está conformado de areniscas conglomeraditas con intercalaciones de lutitas con un espesor de entre 50 a 350 metros, que está por debajo a todas las unidades ya descritas en discordancia angular.

### Formación Chota.

Alcanza su desarrollo en el sector oriental de la región, consiste de centenares de metros de areniscas, lutitas y conglomerados rojos. Este espesor varía por la fuerte erosión que en la actualidad alcanza a 600 m. en los alrededores de la hacienda Santa Clara y el río Marañón (Pomabamba). En el resto de la región se encuentra la Formación Chota con un espesor de 200 a 300 m. En muchas áreas de las capas rojas, el yeso es abundante en la

parte basal de la Formación. Esta Formación tiene una edad entre el límite del Mesozoico-Cenozoico.

Volcánico Calipuy.

Está compuesto por una secuencia de piroclásticos y derrames de grosor considerable que cubre áreas extensas del flanco del Pacífico de la cordillera occidental en el Norte de Perú. La Formación tiene un afloramiento extenso en la zona sur occidental que sobreyace a los sedimentos cretáceos con una fuerte discordancia angular. El Volcánico Calipuy no presenta fósiles, sin embargo, Steinmann (1930), halló una caliza fosilífera dentro de una serie volcánica correspondiente al Calipuy, asignándole una edad de Cretáceo Superior.

En la figura N° 36 se muestra la geológica A-A' de Pataz 16hI en la que se plasma como principio geométrico los materiales que existen sobre la superficie terrestre. Esta información es de carácter propiamente geológico (para ello se han utilizado símbolos lineales y colores).

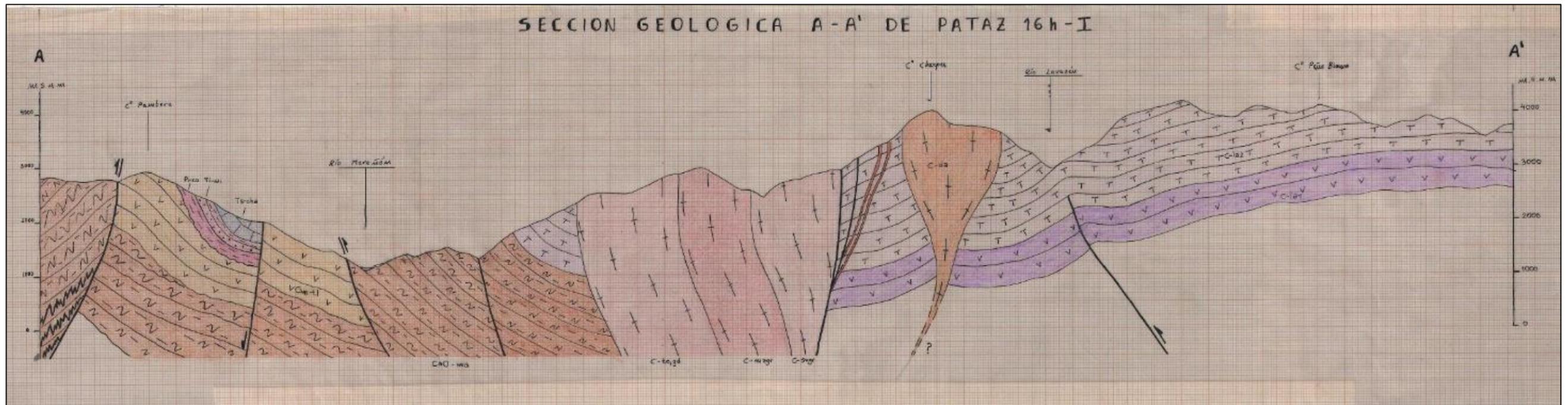
En este mapa geológico hemos colocado la leyenda, que es la secuencia ordenada cronológicamente de los estratos que conforman un territorio (en la base de la leyenda aparecen los estratos más antiguos y en la parte superior se especifican los estratos más recientes). (ver Tabla 10)

En la figura N° 37 se observa el mapa geológico regional de la zona en estudio para conocer la estructura, composición y edad de las rocas. Saber qué tipo de roca o tipo de suelos lo componen servirá para determinar los mapas de zonificación o vulnerabilidad.

Tabla N° 10: Leyenda del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Pataz.

EDAD			UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS PLUTÓNICAS		ROCAS VOLCANICAS		ROCAS SUBVOLCANICAS	
Era	Sistema	Serie							
CENOZOICO	CUATERNARIO		<p>Q-co  Depósitos Coluviales: Depósitos de pendiente, incluido deslizamientos.</p> <p>Q-al :  Depósito Aluviales Acumulaciones de gravas,arena, limos con cantos redondeados a subredondeados de composición polimítica.</p> <p>Q-gl  Depósitos Glaciares: Clastos decimétricos con matriz arenosa limosa.</p>	<p>PN-gd  Granodiorita</p>					
		NEÓGENO	Plioceno						
		PALEÓGENO							
MESOZOICO	CRETÁCICO	Superior	<p>KsP-ch  Formación Chota: Areniscas rojizas fluviales y conglomerados en la base con intercalación de lutitas, limolitas y lodolitas de color rojo viláceo.</p> <p>Ks-pu  Grupo Pullucana: Calizas marinas masivas en estratos gruesos de ambiente marino somero.</p> <p>Ki-chpt  Formación Chúlec-Pariatambo: Calizas madulares y margas beiges-cremas, intercaladas con limoarcitas calcáreas de ambiente matino somero.</p> <p>Ki-go  Grupo Goyllarizga: Areniscas cuarzosas blanquecinas de grano fino a grano grueso en estratos de 20-30 cm con laminaciones ablicuas fluviales eólicas.</p> <p>-----Discordancia Angular-----</p>						
		Inferior	<p>Ji-ar  Formación Aramachay: Calizas en estratos delgados de 20-30 cm intercalados con lutita negra.</p> <p>Ts-cha  Formación Chambará Calizas gris masivas con coloraciones.</p> <p>-----Discordancia Angular-----</p>						
	JURÁSICO	Inferior	<p>Ti-mi  Grupo Mitu Areniscas y limonitas rojas fluviales intercalados con conglomerados polimíticos del abanicos aluviales de color rojo violáceo.</p>						
	TRIÁSICO	Superior							
		Inferior							
	PÉRMICO	Superior							
	Inferior	<p>Pi-co  Grupo Goyllarisquiza: Areniscas verdes intercalados con mimolitas con estratos con 20-30 cm</p>							
PALESOZOICO	CARBONÍFERO	Pelsilvanico	<p>-----Discordancia Angular-----</p>	<p>C-di  Diorita</p> <p>C-mzgr  Monzagrano</p> <p>C-sngr  Sienogranito</p> <p>C-to/gd  Tonalita, granodiorita</p>	<p>C-la2  Formación Lavasén 2 Tobas de cristales, líticos</p> <p>C-la1  Formación Lavasén 1 Lavos andesita-basalto</p>	<p>C-mdi  Microdiorita</p> <p>C-da  Dacita</p>			
		Missisipiano	<p>Ci-am  Grupo Ambo: Areniscas gris oscuras de grano medio a grano fino con estratos de 20-25 cm</p>						
	ORDOVÍCICO	Superior							
		Medio	<p>-----Discordancia Angular-----</p>						
		Inferior	<p>Oi-co  Formación Contaya Pizarras, lutitas negras intercalados con arenisca de grano fino.</p> <p>Ca0-ma  Formación Macno Intercalación de metareniscas, metapelitas.</p>						
CÁMBRICO									

Fuente: Ingemmet ,2018.



SIMBOLOGÍA		
--- Curva de Nivel, Depresión Intermedia	--- Camino, De Herradura	c_urbano_16h_poly
--- Curva de Nivel, Indice	--- Puentes, De Camino	pantano_16h_poly
--- Curva de Nivel, Intermedia	--- Vías, Una vía de ancho	m_agua_16h_poly
--- Curva de Nivel, Suplementaria	▲ s_geod_16h_point	lago_16h_poly
--- Río, Perenne	• cota_16h_point	
--- Quebrada, Perenne		
--- Quebrada, Intermitente		

SIMBOLOS	
	Rumbo y buzamiento de estratos
	Rumbo y buzamiento de estratos invertidos
	Rumbo y buzamiento interpretado 0° - 30°
	Contacto conocido
	Contacto Inferido
	Anticlinal
	Sinclinal
	Falla Normal
	Falla
	Falla inversa
	Falla inferida
	Falla de rumbo
	Sección Estructural
	Dataciones Radiométricas

Figura N° 36. Sección Geológica A-A' de Patatez  
Fuente: Ingemmet, 2018.

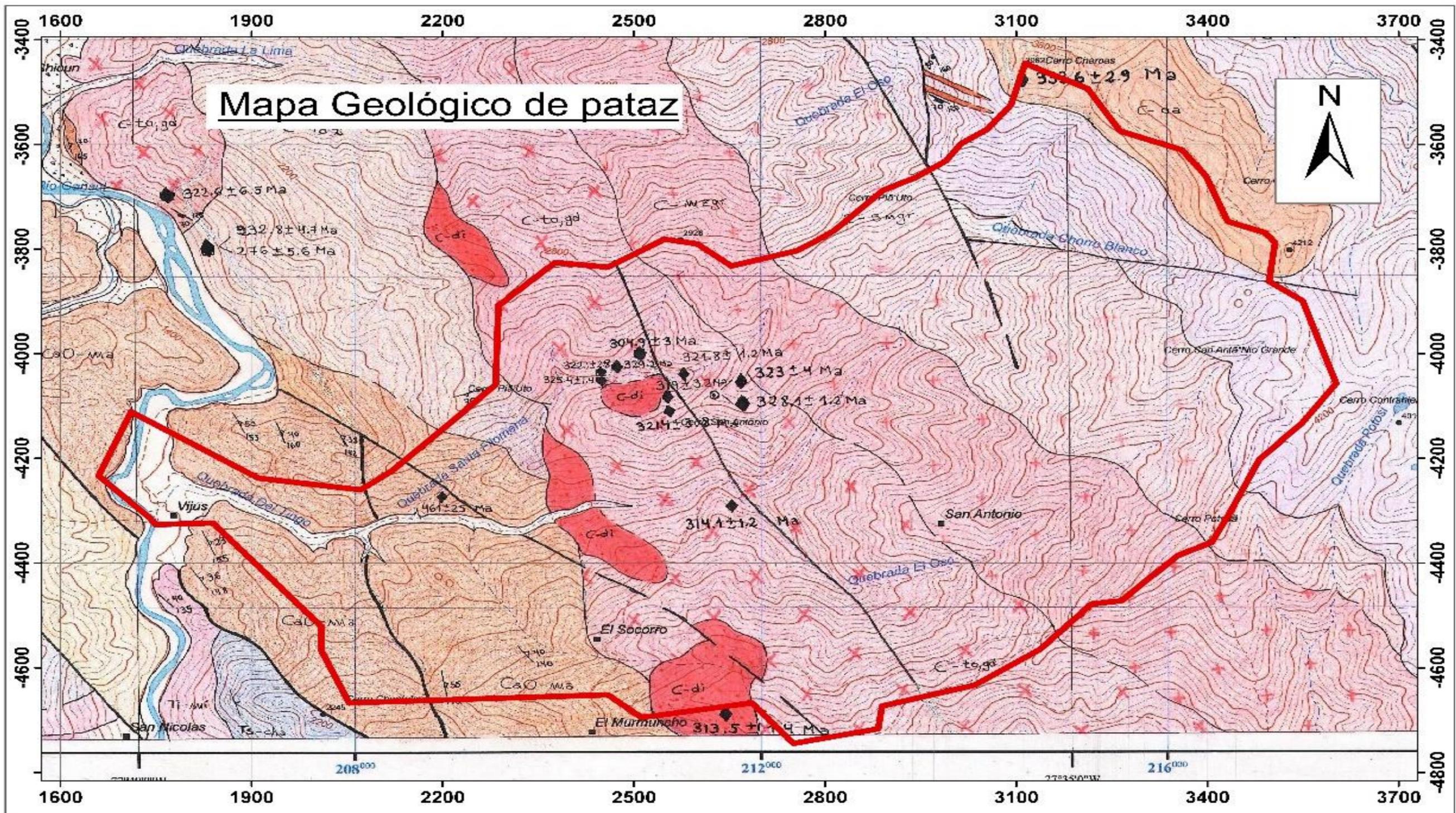


Figura N° 37. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Patate  
 Fuente: Ingemmet ,2018.

a) Geología Local

Para la zona de estudio se presenta la columna litológica del área donde distinguimos las siguientes unidades litoestratigráficas representadas en la tabla N° 11.

Tabla N° 11: Unidades Litoestratigráficas de la cuenca “El Tingo”

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTATIFICADAS	ROCAS VOLCÁNICAS	ROCAS INTRUSIVAS
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	Q-c Depositos coluviales		
	TERCIARIO		Tm-vl Volcanico Lavansen	
M E Z O S O I C O	CRETACEO			Batolito de Pataz Gd Granodiorita Di / to Diorita / Tonalita
	PRECAMBRIANO		Complejo del Marañon	

Fuente: Elaboración propia

El Complejo Marañon

En los alrededores de Vijus a orillas del río Marañon se reconoce la secuencia metamórfica de filitas intercaladas con micas esquistosas en la base en la zona de los campamentos de Paraíso afloran meta volcánicos y pizarras que está por debajo a la secuencia anterior.

### Batolito de Pataz

En el área de estudio este conjunto intrusivo se halla limitado hacia el norte por una falla NW-SE que corresponde a la quebrada Chuquitambo el cerro Tinajera y el cerro Chapcas por la cobertura de los volcánicos Lavasen, que conforman la cumbre del batolito. Al Oeste su límite es el contacto con las filitas y metavolcanicos del complejo del Marañon y hacia el sur se prolonga hasta Buldibuyo.

El intrusivo está poco diaclasado, conteniendo algunos diques pegmatiticos y aplíticos aislados.

En superficie y hasta profundidades de 50 a 60 m las rocas del batolito se disgregan con facilidad, se presume que esto se produce por la fuerte pérdida de agua durante la diferenciación magmática produciéndose alteración con la consecuente pérdida de cohesión entre los cristales permitiendo la circulación de las aguas superficiales.

Se distingue en el batolito rocas de composición granodiorítica, diorítica, tonalítica.

### Franja de Diques:

Esta unidad se distingue en las cercanías de la cumbre del cerro Chapcas, continúa al sur en el cerro Chinchangos y Contrayerbas; se ubica al lado del Batolito e infrayace a los volcánicos. Es un conjunto de diques en la mayoría pegmatiticos, de color rosado debido al contenido de ortosa.

### Volcánicos Lavasen:

Al Este del batolito y suprayaciendolo en la misma cumbre del cerro Chapcas se ven los afloramientos de los piroclásticos y derrames de los volcánicos. Su pendiente es abrupta y presenta coloraciones grises. Esta serie está escondida por debajo en ligera discordancia con la franja de diques.

### Depósitos recientes:

Los depósitos recientes pertenecen al cuaternario y son producto principalmente de los procesos de meteorización. El grado de meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición del macizo rocoso. Los diversos tipos de meteorización son.

Tanto las plagioclasas, las biotitas y las hornblendas se han transformado en sedimentos de composición arcillosa, y los depósitos aluviales y coluviales depositados en las laderas y ríos pertenecientes a esta zona El Marañón.

Las características generales de las unidades, sus relaciones estratigráficas y sus edades se presentan en la Tabla 12.

Tabla N° 12. Edades de la formación Rocosa en la provincia de Pataz

Cuadro de Edades Radiométricas 16H-1										
Edad (Ma)	Error (±Ma)	Método	Material	Tipo de Roca	Unidad	Código	UTM-E	UTM-N	Zona	Referencia
322.10	2.80	Ar-Ar	muscovita	aplita	Batolito de Pataz	YSF-19	210,460	9°146,830	18	Haebmlin (2002)
325.40	1.40	Ar-Ar	biotita	aplita	Batolito de Pataz	YSF-19	210,460	9°146,830	18	Haebmlin (2002)
321.40	3.80	Ar-Ar	horblenda	diorita(di)	Batolito de Pataz	YPP 03	211,150	9°146,830	18	Haebmlin (2002)
461.10	2.50	U-Pb	zircon	Esquisto	Complejo Marañon	AM 076	209,018	9°145,508	18	Chew et al. (2002)
323.00	4.00	Ar-Ar	horblenda	granodiorita(gd)	Batolito de Pataz	YPP 02	211,610	9°146,590	18	Haebmlin (2002)
328.10	1.20	Ar-Ar	biotita	granodiorita(gd)	Batolito de Pataz	YPP 02	211,610	9°146,590	18	Haebmlin (2002)
314.10	1.20	Ar-Ar	muscovita	granodiorita(gd)	Batolito de Pataz	YTN-16	211,690	9°145,250	18	Haebmlin (2002)
321.80	1.20	Ar-Ar	horblenda	granodiorita(gd)	Batolito de Pataz	YPP-01	211,690	9°146,870	18	Haebmlin (2002)
304.90	300	Ar-Ar	muscovita	granodiorita(gd)	Batolito de Pataz	YPP 13	210,810	9°146,990	18	Haebmlin (2002)
329.20	1.40	Ar-Ar	biotita	Monzogranito	Batolito de Pataz	YSF -22	210,560	9°146,850	18	Haebmlin (2002)
319.60	3.20	Ar-Ar	horblenda	Tonalita (to)	Batolito de Pataz	YPP 08	211,160	9°146,690	18	Haebmlin (2002)
313.50	1.40	Ar-Ar	Fuchsite	Brecha	Batolito de Pataz	YTN 20	211,750	9°142,720	18	Haebmlin (2002)
334.30	1.80	U-Pb	zircon	Brecha piroclastica	Batolito de Pataz	SHRIP-2	212,664	9°152,215	18	Witt et al (2011)
251.80	5.50	K-Ar	illita	Brecha_alteración	Batolito de Pataz	2_	218,109	9°161,617	18	Witt et al (2011)
333.80	2.90	U-Pb	zircon	Latita_porfirítica	Compleho Sub Volcanico Esperanza	SHRIMP_1	214,187	9°150,102	18	Witt et al (2011)
322.60	6.50	Ar-Ar	illita	Alteración_alfilica	Batolito de Pataz	3_	206,068	9°149,000	18	Witt et al (2011)
376.00	5.60	Ar-Ar	illita	alteración	Batolito de Pataz	4_	206,429	9°148,349	18	Witt et al (2011)
232.80	4.70	Ar-Ar	illita	alteración	Batolito de Pataz	5_	206,429	9°148,349	18	Witt et al (2011)

Fuente: Ingenmet (2018)

#### 4.1.3 Caracterización hidrológica

##### a) Ubicación y Límites de la Cuenca El Tingo

El área de estudio se encuentra ubicada en la cuadrícula cuyas coordenadas de sus vértices opuestos son: 206 000 m E - 9 151 000 m N, 218 000 m E - 9 142 000 m N; donde fluye estacionalmente agua superficial debido a las precipitaciones caídas en la parte alta de las sub-cuencas.

La cuenca tiene forma alargada irregular, laderas empinadas, en la parte media y baja las laderas tiene abundante vegetación, en la parte alta vegetación estacional y temporal.

A continuación, en la tabla N° 13 se presenta un resumen de los parámetros geomorfológicos de la cuenca El Tingo:

**Tabla N° 13: Datos Morfológicos de la cuenca**

Parámetro	Cuenca El Tingo	Unidad
Área	51.48	Km <sup>2</sup>
Perímetro	33.30	Km
Longitud de cauce	13.54	Km
Cota máxima	4250	m.s.n.m
Cota mínima	1150	m.s.n.m
Altitud media	2625	
Coefficiente de capacidad	1.30	
Factor de forma	0.28	m/m
Pendiente media del cauce	0.22	
Orden de corriente	3.00	

Fuente: Elaboración propia.

Esta cuenca está compuesta por la unión de la quebrada El Oso y la quebrada Chorro Blanco, y en su recorrido recibe aporte de la quebrada Filomena.

En la tabla N° 14, se presentan los parámetros geomorfológicos de la quebrada El Oso como la longitud de cauce, pendiente, área y tiempo de concentración.

**Tabla N° 14: Parámetros de la Quebrada El Oso**

Quebrada El Oso		
Parámetro	Unidad	Valor
Longitud de Cauce	Km	8.94
Pendiente	S(%)	26.6
Área	Km <sup>2</sup>	13.8
Tiempo de Concentración	min	36.73

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 15, se presentan los parámetros geomorfológicos de la quebrada El Chorro Blanco, una de las quebradas que más flujo aporta a la quebrada El Tingo.

Tabla N° 15: Parámetros de la Quebrada Chorro Blanco

Quebrada Chorro Blanco		
Parámetro	Unidad	Valor
Longitud de Cauce	Km	7.12
Pendiente	S(%)	26.5
Área	Km2	17.7
Tiempo de Concentración	min	30.87

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla N° 16, se presenta los parámetros geomorfológicos de la quebrada Santa Filomena, siendo esta la que menos aporta en comparación a los dos anteriores.

Tabla N° 16: Parámetros de la Quebrada Santa Filomena

Quebrada Santa Filomena		
Parámetro	Unidad	Valor
Longitud de Cauce	Km	5.87
Pendiente	S(%)	25.90
Área	Km2	6.58
Tiempo de Concentración	min	26.84

Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en la Tabla N° 17, se presenta los parámetros geomorfológicos de la quebrada El Tingo, donde se juntarán los aportes de las quebradas El Oso, Chorro Blanco y Santa Filomena.

Tabla N° 17: Parámetros de la Quebrada El Tingo

Quebrada El Tingo		
Parámetro	Unidad	Valor
Longitud de Cauce	Km	6.42
Pendiente	S(%)	11.90
Área	Km2	13.40
Tiempo de Concentración	min	38.79

Fuente: Elaboración Propia.

#### b) Precipitaciones Máximas

El estudio de avenidas tiene por finalidad determinar las descargas máximas probables para un período de retorno de 50 y 100 años que servirá para el diseño de estructuras de contención de flujos de detritos (según el ANA) y para un período de retorno de 500 años que es usado para el cálculo de socavación necesario en el proyecto de construcción de puentes (de acuerdo con el Manual de Hidrología del MTC), para ello se utilizó

información hidrológica y meteorológica tomada de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Las precipitaciones máximas en 24 de horas pertenecen a los últimos 32 años registrados por la estación de Huamachuco (ver tabla N° 18), por ser la más confiable y cercana a la zona de estudio.

Tabla N° 18: Ubicación de Estación Huamachuco.

Estación	Localización	Altitud (m.s.n.m)	Periodo de Registro
Huamachuco	Latitud: 07°09'S	3 030	1 983 a 2014
	Longitud: 78°03' W		
	9 208 543 N 163 026 E		

Fuente: SENAMHI, 2019.

En tabla N° 19, se observa el registro histórico de las precipitaciones máximas en 24 horas captadas por la estación de Huamachuco, desde el año 1983 al 2014, proporcionadas por el Senamhi.

Tabla N° 19: Precipitación de la Estación Huamachuco

AÑO	AÑO	P24(mm)	AÑO	AÑO	P24(mm)
1	1983	38.2	17	1999	49.4
2	1984	36.5	18	2000	32.1
3	1985	30.6	19	2001	34.0
4	1986	27.0	20	2002	31.2
5	1987	37.5	21	2003	24.8
6	1988	24.2	22	2004	43.3
7	1989	36.2	23	2005	43.1
8	1990	33.5	24	2006	51.1
9	1991	21.6	25	2007	47.0
10	1992	25.4	26	2008	28.0
11	1993	30.3	27	2009	31.5
12	1994	52.1	28	2010	47.3
13	1995	39.2	29	2011	30.5
14	1996	34.7	30	2012	40.6
15	1997	35.1	31	2013	51.3
16	1998	35.7	32	2014	53.8

Fuente: Senamhi, 2019.

### c) Validación de Datos

Al examinar los datos de un evento de lluvia es usual encontrar puntos que se alejen de modo más o menos sensibles de la línea media de frecuencia. Por ello se usó el método de Water Resources Council (1981) que recomienda la realización de ajustes de estos datos dudosos, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{-Para el umbral de datos dudosos altos: } y_H = \bar{y} + Kn * S_y \quad (14)$$

$$RH = 10^{y_H} \quad (15)$$

Para el umbral de datos dudosos bajos:

$$y_L = \bar{y} - Kn * S_y \quad (16)$$

$$RL = 10^{y_H} \quad (17)$$

$y_H$  = Banda superior de los logaritmos de los valores de precipitaciones.

$y_L$  = Banda inferior de los logaritmos de los valores de precipitaciones.

$\bar{y}$  = Media aritmética de los logaritmos de los valores de precipitaciones.

$S$  = Desviación estándar de los logaritmos de los valores de precipitaciones.

$Kn$  = Coeficiente que depende del tamaño de la muestra.

Para los valores de  $Kn$  de uso la siguiente tabla:

Para detectar los datos dudosos en el nivel de significancia de 10% en información normalmente distribuida se usó un  $Kn$  igual a 2.591, correspondiente a una muestra de 32 datos. Valor que se obtuvo de la tabla N° 20.

Tabla N° 20: Valores de  $Kn$  para la prueba de datos dudosos.

Valores de $Kn$ para la prueba de datos dudosos							
Tamaño De Muestra n	$Kn$	Tamaño De Muestra n	$Kn$	Tamaño De Muestra n	$Kn$	Tamaño De Muestra n	$Kn$
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Ven Te Chow, 1994.

Para analizar los datos se usaron los logaritmos de las precipitaciones máximas en 24 horas, que se observan en la tabla N° 21.

Tabla N° 21: Logaritmo de la precipitación  $\log(P_{24})$

N°	AÑO	$P_{24}(\text{mm})$	$\log(P_{24})$	N°	AÑO	$P_{24}(\text{mm})$	$\log(P_{24})$
1	1983	38.2	1.5821	17	1999	49.4	1.6937
2	1984	36.5	1.5623	18	2000	32.1	1.5065
3	1985	30.6	1.4857	19	2001	34.0	1.5315
4	1986	27.0	1.4314	20	2002	31.2	1.4942
5	1987	37.5	1.5740	21	2003	24.8	1.3945
6	1988	24.2	1.3838	22	2004	43.3	1.6365
7	1989	36.2	1.5587	23	2005	43.1	1.6345
8	1990	33.5	1.5250	24	2006	51.1	1.7084
9	1991	21.6	1.3345	25	2007	47.0	1.6721
10	1992	25.4	1.4048	26	2008	28.0	1.4472
11	1993	30.3	1.4814	27	2009	31.5	1.4983
12	1994	52.1	1.7168	28	2010	47.3	1.6749
13	1995	39.2	1.5933	29	2011	30.5	1.4843
14	1996	34.7	1.5403	30	2012	40.6	1.6085
15	1997	35.1	1.5453	31	2013	51.3	1.7101
16	1998	35.7	1.5527	32	2014	53.8	1.7308

Fuente: Elaboración Propia

El incluir o eliminar datos puede afectar de modo significativo la dimensión de los parámetros estadísticos estimados para la información, en especial en las muestras chicas. El criterio usado por los procedimientos para tratar datos dudosos implica razonamientos matemáticos e hidrológicos.

El Método de Water Resources Council (1981) indica que si la asimetría de la muestra es  $+0.4$  o  $-0.4$  se deben aplicar las pruebas de datos dudosos, antes de excluir cualquier dato.

En la tabla N° 22, se presenta los parámetros estadísticos de la muestra, donde se puede observar que la muestra tiene un coeficiente de asimetría menor de  $+0.4$  y mayor de  $-0.4$ , que nos indica que la muestra cuenta con datos confiables.

Tabla N° 22: Número de datos

Número de datos n	32	32
Suma $\Sigma$	1176.80	49.70
Máximo	53.80	1.73
Mínimo	21.60	1.33
Promedio $\bar{x}$	36.78	1.55
Desviación estándar s	8.95	0.11
Coficiente asimetría $C_s$	0.38	-0.05

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 23, se presenta los resultados de las ecuaciones del Método de Water Resources Council (1981), donde se observan los valores de las bandas superior e inferior de los logaritmos de los valores de precipitaciones, y los valores del umbral alto y bajo.

Tabla N° 23: Valores de Kn

n =	32
Kn =	2.591
yH =	1.8283
RH =	67.3416
yL =	1.2778
RL =	18.9603

Fuente: Elaboración propia

Con los valores que obtuvimos en las bandas superior e inferior y de los umbrales alto y bajo, pudimos corroborar la confiabilidad los datos, puesto que los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas son menores al valor del umbral de datos dudosos altos y mayores al valor del umbral de datos dudosos bajos.

d) Análisis de Frecuencia

La prueba de ajuste gráfico sirve para determinar de manera visual si el ajuste es adecuado o no, para ello se dibujan los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas en la serie contra la distribución teórica de probabilidades. En este caso se usaron las distribuciones Logaritmo Normal de 2 parámetros y la distribución de Pearson III.

En la Tabla N° 24, se presenta los parámetros estadísticos usados para hallar las distribuciones teóricas de probabilidades.

Tabla N° 24: Análisis estadístico

	P24	Log ( P24 )
Número de datos: n	32	
Promedio: x	36.78	1.55
Desviación estándar: s	8.95	0.11
Coficiente asimetría: Cs	0.38	-0.05

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 25, se presentan los valores que serán usados en el ajuste gráfico, estos valores son los datos observados, los valores del factor de frecuencia  $K_T$  y los valores esperados hallados.

Tabla N° 25: Valor observado

N	T	$P_{(X<T)}$	Valor observado		Log Normal 2 Parámetros		Person III	
			P 24	$\text{Log}(P_{24})$	$K_T$	Esperado	$K_T$	Esperado
1	33.00	3.30	53.80	1.73	1.87	56.54	2.02	54.92
2	16.50	6.60	52.10	1.72	1.54	52.20	1.63	51.36
3	11.00	9.09	51.30	1.71	1.33	49.53	1.37	49.10
4	8.25	12.10	51.10	1.70	1.16	47.56	1.18	47.38
5	6.60	15.20	49.40	1.69	1.03	45.97	1.03	45.97
6	5.50	18.20	47.30	1.67	0.90	44.62	0.89	44.75
7	4.71	21.20	47.00	1.67	0.79	43.45	0.77	43.67
8	4.13	24.20	43.30	1.63	0.69	42.39	0.66	42.69
9	3.67	27.30	43.10	1.63	0.60	41.43	0.56	41.79
10	3.30	30.30	40.60	1.60	0.52	40.54	0.46	40.94
11	3.00	33.30	39.20	1.59	0.43	39.70	0.37	40.14
12	2.75	36.40	38.20	1.58	0.34	38.91	0.29	39.38
13	2.54	39.40	37.50	1.27	0.26	38.16	0.21	38.64
14	2.36	42.40	36.50	1.56	0.19	37.44	0.12	37.93
15	2.20	45.50	36.20	1.55	0.11	36.74	0.05	37.24
16	2.06	48.50	35.70	1.25	0.03	36.07	-0.02	36.55
17	1.94	51.50	35.10	1.54	-0.03	35.40	-0.10	35.88
18	1.83	54.50	34.70	1.54	-0.11	34.75	-0.17	35.21
19	1.74	57.60	34.00	1.53	-0.19	34.10	-0.25	34.54
20	1.65	60.60	33.50	1.52	-0.29	33.46	-0.32	33.87
21	1.57	63.60	32.10	1.50	-0.35	32.81	-0.40	33.19
22	1.50	66.70	31.50	1.49	-0.43	32.16	-0.47	32.49
23	1.43	69.70	31.20	1.49	-0.51	31.50	-0.55	31.78
24	1.38	72.70	30.60	1.48	-0.60	30.82	-0.64	31.05
25	1.32	75.80	30.50	1.48	-0.69	30.12	-0.72	30.28
26	1.27	78.80	30.30	1.48	-0.79	29.39	-0.82	29.47
27	1.22	81.80	28.00	1.44	-0.91	28.61	-0.91	28.60
28	1.18	84.80	27.00	1.43	-1.03	27.78	-1.01	27.65
29	1.14	87.90	25.40	1.40	-1.16	26.85	-1.13	26.58
30	1.10	90.90	24.80	1.39	-1.33	25.78	-1.27	25.33
31	1.06	93.90	24.20	1.38	-1.55	24.46	-1.45	23.76
32	1.03	97.00	21.60	1.33	-1.87	22.58	-1.71	21.45

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 38, se grafica el ajuste de la serie de datos a la distribución de logaritmo normal 2.

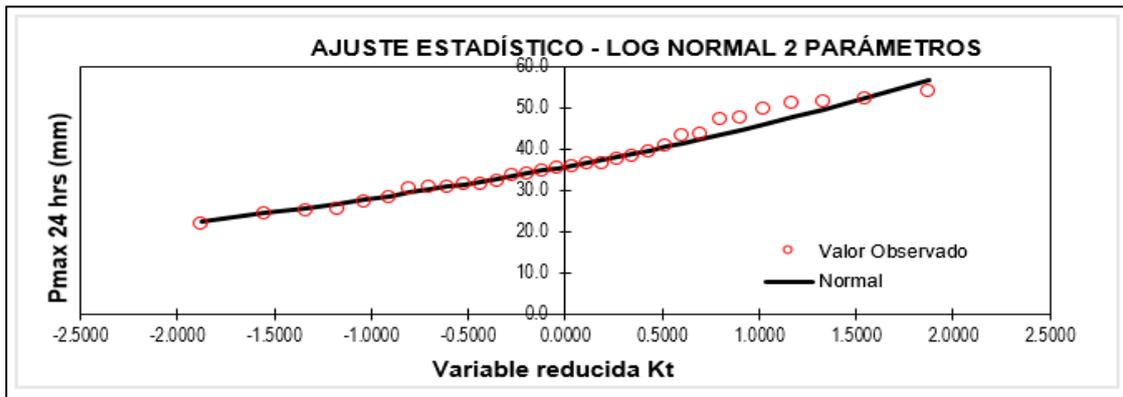


Figura N° 38. Ajuste Estadístico Log Normal 2 Parámetros  
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 39, se observa como la serie de datos se ajusta a la distribución Pearson.

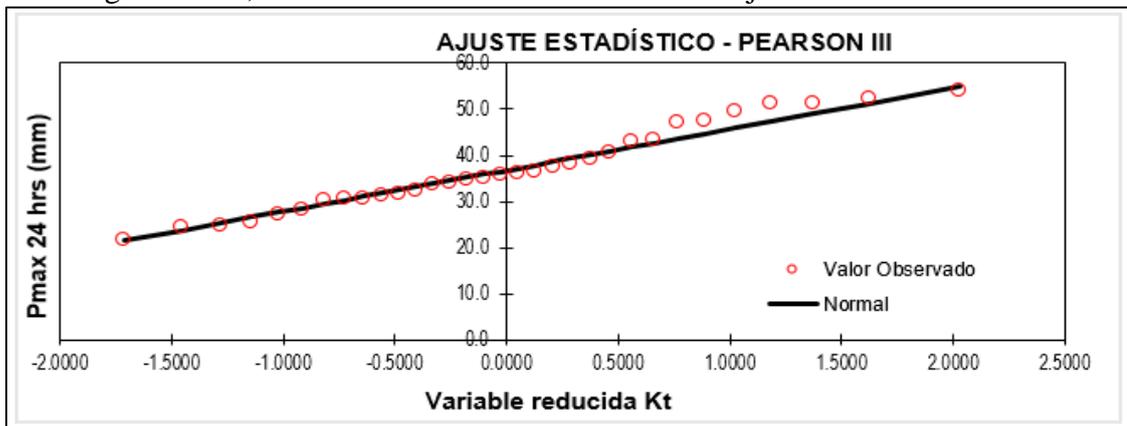


Figura N° 39. Ajuste Estadístico Pearson 3  
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran de manera visual, que los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas, se ajustan a ambas distribuciones, sin embargo, también se verifica que entre las dos distribuciones la que mejor ajuste tiene es de la distribución de Logaritmo Normal de 2 parámetros. (Ver figura N° 38 y figura N° 39)

## 2) Prueba estadística de Bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov

En el test Kolmogorov-Smirnov se considera la desviación  $D_n = \max [f_{(x_m)} - f_{(x_m)}]$ , siendo esta la máxima diferencia entre de la función de distribución de probabilidades acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica elegida.

La prueba necesita que el valor de  $D_N$  tabulado sea mayor que el  $D_N$  calculado para un nivel de significancia requerido que en este caso es de 0.05.

Para la prueba se utilizó la herramienta computacional HidroEsta, software para cálculos hidrológicos.

En la siguiente tabla N° 26, se presenta el resultado de la prueba, donde se observa que la mejor distribución de probabilidad que se ajusta es la distribución Logaritmo Normal de 2 parámetros por tener una desviación (D) máxima de 0.08092, la cual es menor que la desviación máxima de la distribución Pearson III que es de 0.08772.

Tabla N° 26: Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov

Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov- Smirnov						
m	Xm	Fo(Xm)	F(Xm) Log Normal 2 Parámetros	$\int F_o(Xm)-$ F(Xm)! Log Normal 2 Parámetros	F(Xm) Person III	$\int F(Xm)-$ F(Xm)!
1	53.80	0.969697	0.9528	0.01690	0.9625	0.00720
2	52.10	0.969394	0.9384	0.00099	0.9484	0.00901
3	51.30	0.909091	0.9304	0.02131	0.9403	0.03121
4	51.10	0.878788	0.9282	0.04941	0.9381	0.05931
5	49.40	0.848485	0.9073	0.05882	0.9165	0.0602
6	47.30	0.818182	0.8742	0.05602	0.8815	0.06332
7	47.00	0.787879	0.8688	0.08092	0.8756	0.08772
8	43.30	0.757576	0.7839	0.02632	0.7836	0.02602
9	43.10	0.727273	0.7783	0.05103	0.7775	0.05023
10	40.60	0.696970	0.6992	0.00223	0.6919	0.00507
11	39.20	0.666667	0.6475	0.01917	0.6366	0.03007
12	38.20	0.636364	0.6076	0.02876	0.5943	0.04206
13	37.50	0.606061	0.5782	0.02786	0.5635	0.04256
14	36.50	0.575758	0.5346	0.04116	0.5183	0.05746
15	36.20	0.545455	0.5212	0.02425	0.5045	0.04095
16	35.70	0.515152	0.4985	0.01665	0.4814	0.03375
17	35.10	0.484848	0.4709	0.01395	0.4534	0.03145
18	34.70	0.454545	0.4523	0.00225	0.4347	0.01985
19	34.00	0.424242	0.4195	0.00474	0.4020	0.02224
20	33.50	0.393939	0.3960	0.00206	0.3788	0.01514
21	32.10	0.363636	0.3306	0.03304	0.3153	0.04834
22	31.50	0.333333	0.3031	0.03023	0.2890	0.04433
23	31.20	0.303030	0.2896	0.01343	0.2762	0.02683
24	30.60	0.272727	0.2630	0.00973	0.2511	0.02163
25	30.50	0.242424	0.2587	0.01628	0.2471	0.00468
26	30.30	0.212121	0.2501	0.03798	0.2390	0.02688
27	28.00	0.181818	0.1594	0.02242	0.1553	0.02652
28	27.00	0.151515	0.1260	0.02552	0.1249	0.02662
29	25.40	0.121212	0.0814	0.03981	0.0844	0.03681
30	24.80	0.090909	0.0677	0.02321	0.0718	0.01911
31	24.20	0.060606	0.0555	0.00511	0.0605	0.00011
32	21.60	0.030303	0.0198	0.01050	0.0259	0.00440
X	36.78					
S	8.95					
Cs	0.377					
n	32		Dmáx	0.08092		0.088772
a	0.05		Dcri > Dmax	OK		OK
Dcrítico	0.23487		Mejor ajuste	1		2

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se procedió a calcular los resultados de precipitaciones máxima en 24 horas para cada periodo de retorno conseguidos con la mejor distribución de ajuste la de Logaritmo Normal de 2 parámetros, los cuales se presentan en la tabla N° 27.

Tabla N° 27: Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

Precipitaciones de máximas anuales en 24 horas							
Promedio:		$x = 36.7750 \quad y = 1.5531$					
Desviación Estándar		$s = 8.9484 \quad sy=0.1062$					
Cs/6		$k = 0.0629 \quad k = -0.0083$					
Tr	P (X<xt)	Distrib. LOG Normal	Distrib. Pearson III	Pmax	(Pmax) (1.13)* mm		
(años)		Kt	$10^{xt}$	Kt	xt	mm	
2	0.500	0.0000	35.70	-0.0627	36.20	35.7	40.4
3	0.667	0.4307	39.70	0.3764	40.10	39.7	44.9
5	0.800	0.8416	43.90	0.8175	44.10	43.9	49.6
10	0.900	1.2816	48.90	1.3145	48.50	48.9	55.2
20	0.950	1.6449	53.40	1.7446	52.40	53.4	60.4
25	0.960	1.7507	54.80	1.8733	53.50	54.8	62.0
50	0.980	2.0537	59.00	2.2506	56.90	59.0	66.7
100	0.990	2.3263	63.10	2.6010	60.00	63.1	71.3
200	0.995	2.5758	67.10	2.9311	83.00	67.1	75.8
300	0.997	2.7131	69.40	3.1165	64.70	69.4	78.4
500	0.998	2.8782	72.20	3.3433	66.70	72.2	81.6
1000	0.999	3.0902	76.10	3.6404	69.40	76.1	86.0

Fuente: Elaboración Propia

\*Las precipitaciones se multiplicaron por 1.13 debido a la corrección por intervalo fijo de observación (Hershfield 1961, Hargreaves 1988)

Los resultados precipitaciones máximas para cada periodo de retorno obtenidos, muestran una línea de tendencia que tiene como ecuación  $Y = 7.1723 \ln(x) + 37.726$  con un nivel de asociación entre las variables de  $R^2 = 0.9946$ , tal como se aprecia en la Figura N° 40

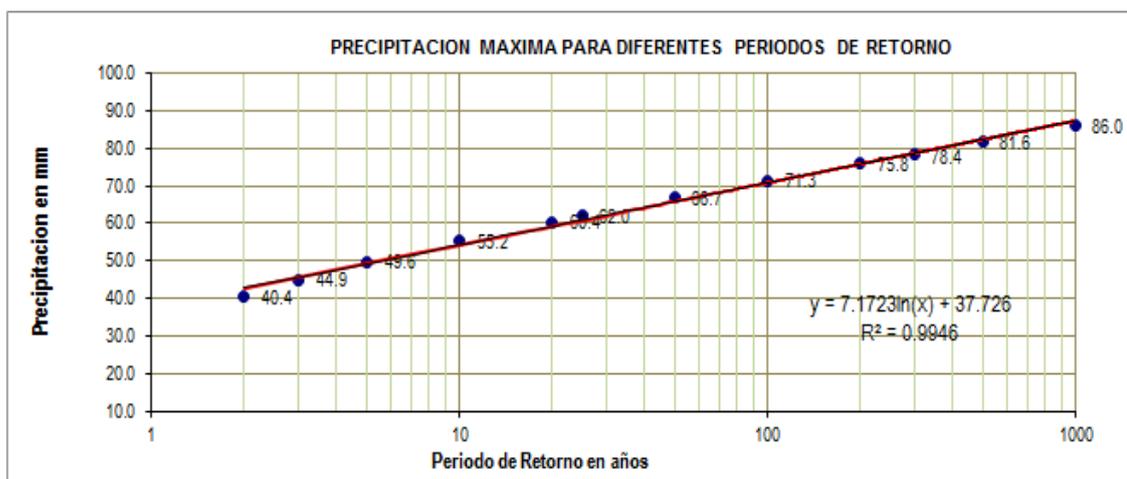


Figura N° 40. Gráfico de Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.4 Precipitaciones e Intensidades de Diseño

Para hallar las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes horas de retorno y para diferentes duraciones hemos usado los modelos de Bell Y Yance Tueros.

$$P_t^T = (0.21 \ln(t) + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.5)P10_{10}^{60} \quad (18)$$

Aplicando dicha fórmula se obtienen las precipitaciones de diseño para una duración de 24 horas halladas, datos que se usaron para hallar las intensidades de diseño para duración de 24 horas y que se presentan en la tabla 28.

Tabla N° 28: Precipitaciones de diseño para duración de 24 horas

Precipitaciones de Diseño para duración de 24 horas							
T (años)	Pmax 24 horas	Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60
500	81.63	8.7	13.00	18.90	81.10	21.50	28.30
200	75.81	7.8	11.60	16.20	16.20	19.30	25.30
100	71.33	7.1	10.60	14.80	14.80	17.60	23.10
50	66.73	6.4	9.50	13.30	13.30	15.80	20.80
25	61.96	5.7	8.50	11.90	11.90	14.10	18.50
10	55.24	4.8	7.10	10.10	10.00	11.80	15.50
5	49.61	4.1	6.10	8.50	8.50	10.10	13.30
3	44.86	3.6	5.30	7.40	7.40	8.90	11.60
2	40.38	3.2	4.70	6.60	6.60	7.90	10.30

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar las intensidades de diseño hemos usado la fórmula:  $I=P/T$

Teniendo como fuente las Pmax 24 horas se obtienen las Intensidades de diseño para duración de 24 horas (calculadas en la tabla N° 29). Asimismo, estos datos sirvieron para hallar las variables adimensionales k, m y n que a su vez posteriormente se utilizaron para obtener las intensidades máximas para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años (ver tabla N°30).

Para las intensidades:

$$I = 0.4602P_{24}^{0.876} \quad (19)$$

Tabla N° 29: Intensidades de diseño para duración de 24 horas

T (años)	Intensidades de Diseño para duración de 24 horas						
	Pmax 24 horas	Duración en minutos					
		5	10	15	20	30	60
500	81.63	104.10	77.90	63.50	81.10	43.10	28.30
200	75.81	93.10	69.70	56.80	16.20	38.60	25.30
100	71.33	84.80	63.50	51.70	14.80	35.10	23.10
50	66.73	76.50	57.30	46.70	13.30	31.70	20.80
25	61.96	68.20	51.10	41.60	11.90	28.20	18.50
10	55.24	57.20	42.80	34.90	10.00	23.70	15.50
5	49.61	48.90	36.60	29.90	8.50	20.30	13.30
3	44.86	42.80	32.00	26.10	7.40	17.70	11.60
2	40.38	38.00	28.40	23.20	6.60	15.70	10.30

Fuente: Elaboración Propia.

Con base en los cálculos previos realizados, y con el uso de la ecuación:

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (20)$$

donde se tomaron los logaritmos:

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m \text{Log}(T) - n \text{Log}(t)$$

o bien

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Donde:

$$Y = \text{Log}(I)$$

$$X_1 = \text{Log}(T)$$

$$X_2 = \text{Log}(t)$$

$$a_0 = \text{Log}(K)$$

$$a_1 = m$$

$$a_2 = n$$

Obteniendo mediante regresión múltiple los valores de K, m, n :

$$k = 88.42$$

$$m = 0.182031057$$

$$n = 0.527092373$$

Valores que remplazados en la ecuación anterior nos dio como resultado las Intensidades máximas halladas para diferentes periodos de retorno, datos que usamos para graficar las curvas de intensidad, duración y frecuencia (ver tabla N° 30).

Tabla N° 30: Intensidades Máximas

Duración (t) (minutos)	Periodo de retorno (T) en años		
	50	100	500
5	77.16	87.54	117.33
10	53.55	60.75	81.42
20	37.16	42.16	56.50
30	30.01	34.04	45.63
40	25.79	29.25	39.21
50	22.92	26.01	34.86
60	20.82	23.62	31.67
70	19.20	21.78	29.20
80	17.89	20.30	27.21
90	16.82	19.08	25.57
100	15.91	18.05	24.19
110	15.13	17.16	23.01
120	14.45	16.39	21.97

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la Figura N° 41, se observa el gráfico de las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), que fueron evaluadas mediante el método de Bloques Alternados con la finalidad de obtener los Hietogramas.

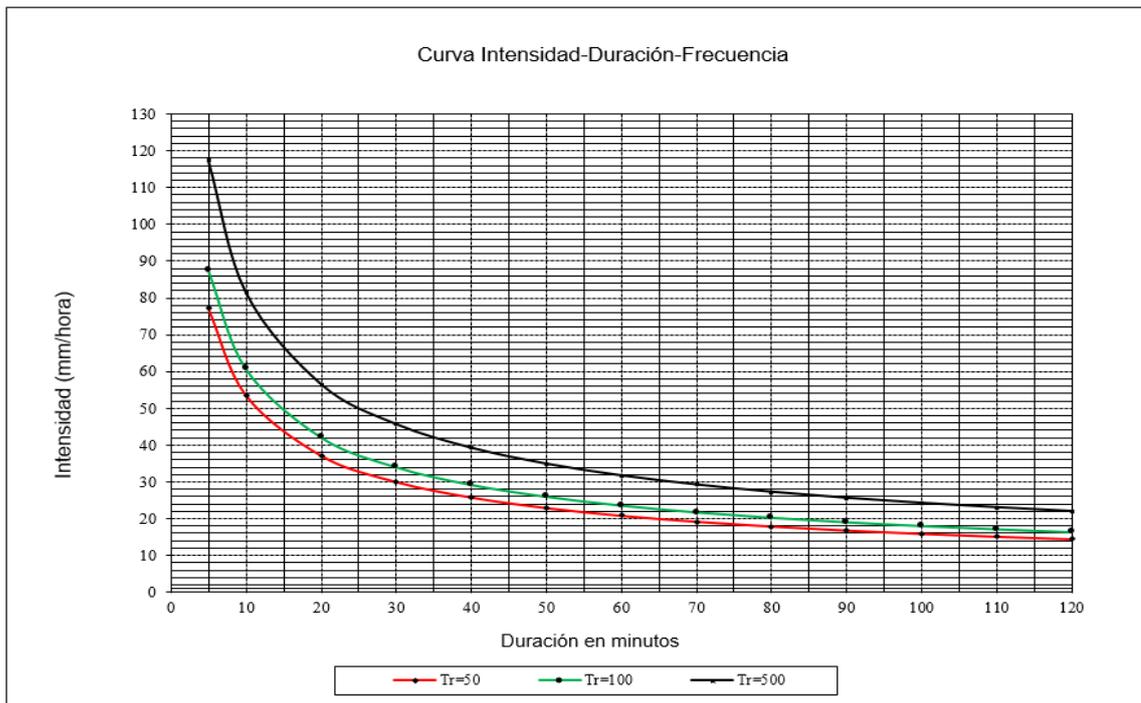


Figura N° 41. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO V: PROPUESTA DEL MODELO CONCEPTUAL Y NUMÉRICO

### 5.1 Cálculo de Caudales Máximos ( $Tr = 50, 100, 500$ años)

Los valores de los caudales máximos líquidos han sido periodos de retorno 50, 100 y 500 años hallados a continuación nos sirvieron para hallar teóricamente el valor de los caudales máximos de barro, caudales máximos de huayco y volúmenes de detritos haciendo uso de las formulas propuestas por Takahashi, (1991). También formaron parte de los inputs usados en el modelo numérico bidimensional de diferencias finitas Flo 2D.

#### 5.1.1 Cálculo de Caudales Máximos Líquido

Los caudales máximos líquidos han sido estimados mediante el modelo conceptual (de base física-empírica) HEC-HMS desarrollado por el Centro de Ingeniería del Ejército de Estados Unidos, el cual, es un modelo con representación espacial semidistribuida mediante la división de la cuenca en subcuencas. Con el uso de Hec-Hms se simuló los procesos de conversión de la precipitación en escorrentía en cuencas dendriticas. El ingreso de datos al inicio del proceso del modelado y el manejo de la información generada después del modelado se realizó mediante la interfaz gráfica de usuario.

En la figura N° 42, se muestra el diagrama de flujo que se usó para obtener los caudales máximos con el modelo Hec-Hms de las subcuencas que aportan a la cuenca El Tingo.

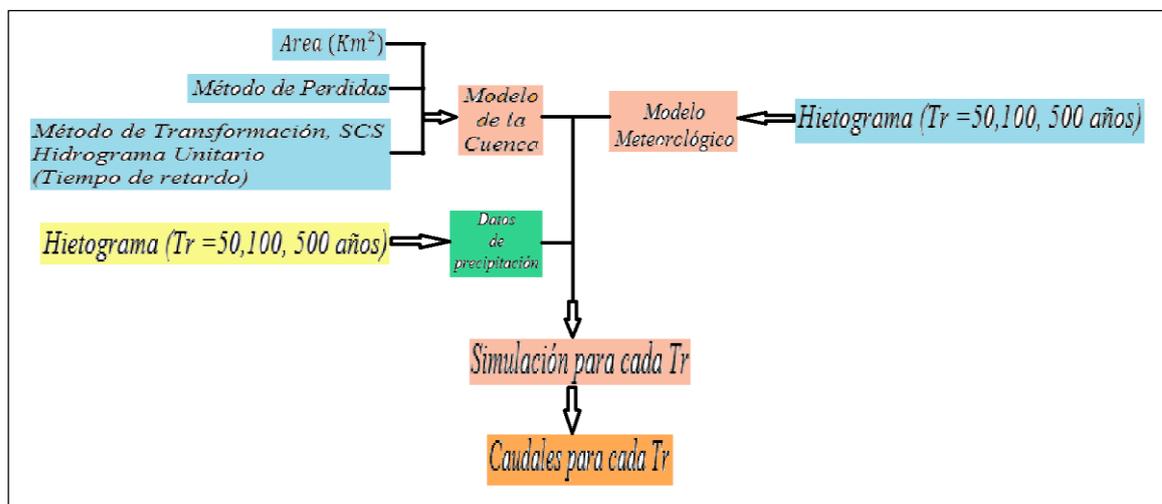


Figura N° 42. Hietograma  
Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 43, se puede observar el Modelo de la cuenca El tingo en Hec-Hms, conformada por tres subcuencas El oso, El Chorro Blanco y Filomena.

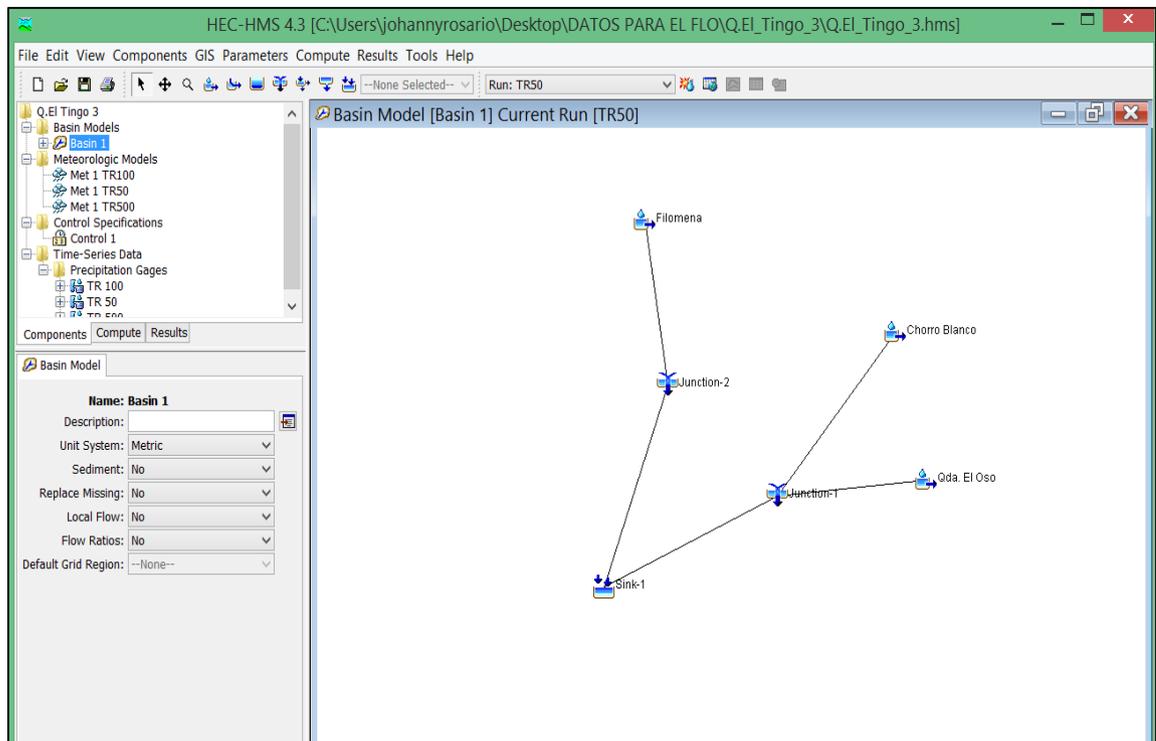


Figura N° 43. Modelo de la Cuenca El Tingo.  
Fuente: Elaboración Propia.

El método usado en el software para la obtención de los hidrogramas, tablas de caudales y volumen, es el método SCS curva número.

Los datos de inicio del proceso de modelado para la obtención de los caudales máximos para los tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años, fueron los siguientes:

- Área

Las áreas estimadas de las 3 subcuencas son las siguientes:

Subcuenca El Oso =  $13.8 \text{ Km}^2$

Subcuenca Chorro Blanco =  $17.2 \text{ Km}^2$

Subcuenca Santa Filomena =  $5.87 \text{ Km}^2$

- Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo

Tiempo de Concentración

La estimación de los tiempos de concentración es significativa para el empleo del método de los hidrogramas unitarios, ya que es el tiempo que demora el agua en fluir desde el punto más distante de la cuenca hasta el punto de salida. Para la estimación utilizamos el método de Ramser y Kirpich:

$$T_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (21)$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de Concentración

L = Longitud hidráulica de la cuenca en (m)

S = Pendiente (m/m)

Tiempo de Concentración para las 3 subcuencas:

Subcuenca El Oso

L = 8940 m

S = 0.266 m/m

Tc = 36.73 min

Subcuenca El Chorro Blanco

L = 7120 m

S = 0.265 m/m

Tc = 30.87 min

Subcuenca Santa Filomena

L = 5870 m

S = 0.259 m/m

Tc = 26.84 min

### Tiempo de Retardo ( $T_{Lag}$ )

Es el tiempo transcurrido desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación neta hasta la punta del hidrograma. Este valor fue estimado para cada una de las 3 subcuencas que aportan a la quebrada El Tingo y es en función del tiempo de concentración.

$$T_{Lag} = 0.6 T_c. \quad (22)$$

Para el cálculo se usaron los valores de  $T_c$  estimados anteriormente y los resultados fueron los siguientes:

$T_{Lag}$  de la subcuenca El Oso = 22.038 min

$T_{Lag}$  de la subcuenca El Chorro Blanco = 18.522 min

$T_{Lag}$  de la subcuenca Filomena = 16.104 min

### - Hietogramas de Diseño

El hietograma es un gráfico que respresenta la distribución temporal de la intensidad de la lluvia.

Para obtener los hietogramas se utilizó el método de bloque alterno, donde se obtuvieron hietogramas para cada tiempo de retorno a partir de la curva IDF (hallada anteriormente), resultado que fue usado como dato de precipitación en el Hec-Hms.

Los pasos que seguimos para las obtención de los hidrogramas fueron:

- Determinar la duración de la tormenta de 240 minutos.
- Determinar los intervalos de 30 minutos.
- Determinar los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.
- Obtener de la curva IDF que muestra los valores de intensidad de precipitación para cada intervalo.
- Calcular el volumen de precipitación para cada intervalo, multiplicando la intensidad por la duración del intervalo.
- Restar los valores sucesivos de volumen antes calculados.
- Finalmente se reordenaron los resultados de modo que el mayor valor se encuentre en medio de la serie, y los otros se fueran alternando en forma descendente a los lados del máximo.

En la tabla N° 31, se presenta el resultado de la distribución en el tiempo de las precipitaciones, para  $Tr = 50, 100$  y  $500$  años, obtenido con el método de Bloque Alterno.

Tabla N° 31: Condición hidrológica y el Tipo de cobertura

Duración (min)	D ( hrs)	Alterno Bloque		
		50 años	100 años	500 años
30	0.5	2.65	3	4.03
60	1	3.22	3.65	4.89
90	1.5	4.41	5	6.69
120	2	15	17.02	22.82
150	2.5	5.82	6.6	8.85
180	3	3.67	4.17	5.59
210	3.5	2.89	3.28	4.4
240	4	2.45	2.79	3.73

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 44, se observan los Hietogramas para tiempo de retorno 50, 100 y 500 años, son la representación gráfica de barras de los resultados presentados en la tabla de condición hidrológica y el tipo de cobertura.

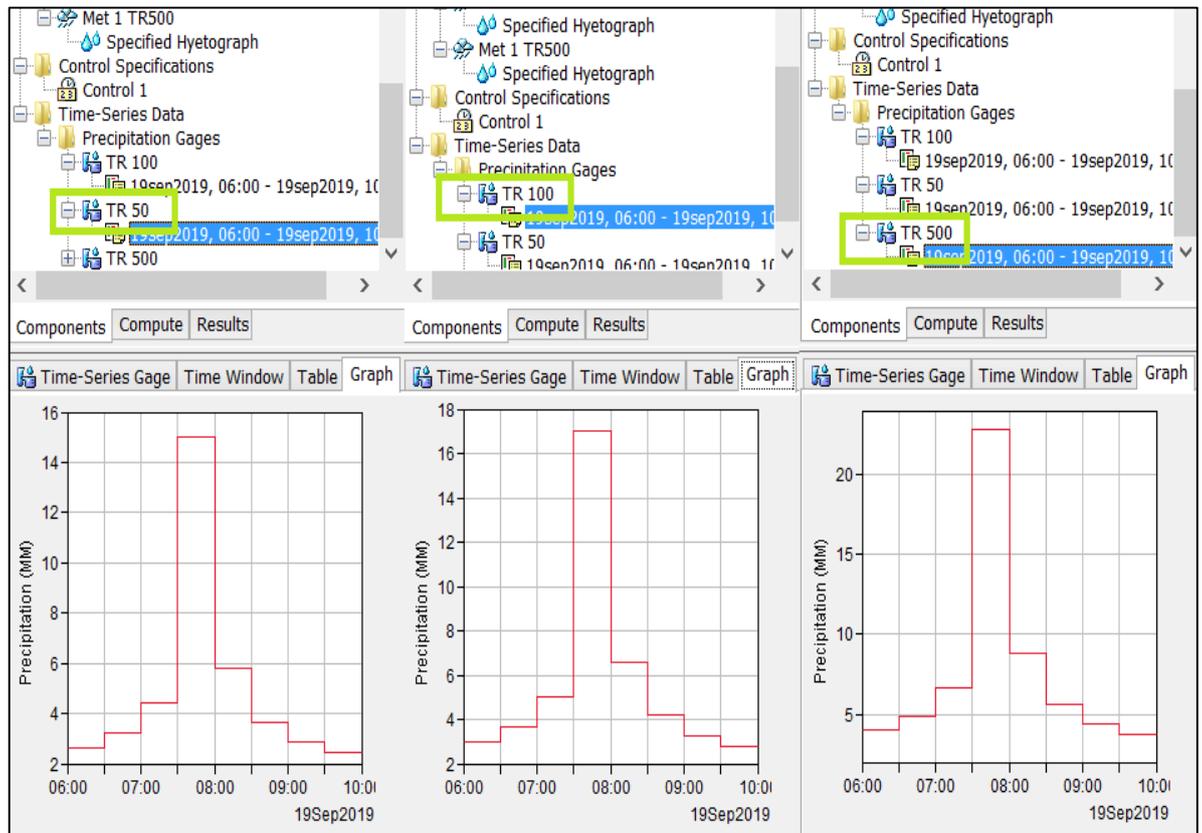


Figura N° 44. Hietogramas de Precipitación para  $Tr (50,100,500)$  años.  
Fuente: Elaboración Propia.

- Coeficiente de Infiltración

Para determinar la capacidad de infiltración de la cuenca se usó el método de Curva Número  $C_N$ , del Soil Conservation Service, NRCS (Servicio de Conservación Recursos Naturales de los Estados Unidos, ex SCS). Este método establece la capacidad de almacenamiento de lluvia que tiene determinada cuenca basándose en el tipo hidrológico del suelo y el tipo de cobertura.

En la tabla N° 32, se observan los diferentes valores de número de curva de escorrentía de acuerdo al grupo de suelo, tipo de cobertura y condición hidrológica, usados por el SCS.

Los tipos de suelo están agrupados en:

A = Suelo con bajo potencial de escurrimiento.

B = Suelo con moderadamente bajo potencial de escurrimiento.

C = Suelo con moderadamente alto potencial de escurrimiento.

D = Suelo con alto potencial de escurrimiento.

Las condiciones Hidrológicas del área de drenaje indicador de la cubierta vegetal donde la variación depende de su densidad, están agrupadas en:

Buena = mayor de 75%

Regular = entre 50% y 75%

Mala = menor de 50 %

Tabla N° 32: Número de Curva de escorrentía ( $C_N$ )

Descripción y tipo de cobertura	Condición hidrológica	Número de curva para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo	mala	68	79	86	89
	regular	49	69	79	84
	buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segado para heno	-----	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento.	mala	48	67	77	83
	regular	35	56	70	77
	buena	30	48	65	86
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)	mala	57	73	82	82
	regular	43	65	76	79
	buena	32	58	72	83
Bosques	mala	45	66	77	83
	regular	38	60	73	79
Predios de granja, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	buena	30	65	70	77
	-----	59	74	82	86

Fuente: Soil Conservation Service

El número de curva indicador del coeficiente de escorrentía de la zona en estudio obtenido es de 76.

- Porcentaje de Impermeabilidad

El porcentaje de impermeabilidad usado para obtener los caudales máximos fue de 100%, con la intención de considerar toda el agua caída como precipitación neta y que toda esta pase a la escorrentía superficial, con lo que se obtuvo caudales que representen la situación hidrológica extrema donde se desarrolla el fenómeno de Huayco o Flujo de detritos.

- Intervalo de tiempo para los hidrogramas : 30 min

Después de ingresar todos los datos de inicio en el Software Hec-Hms para el modelado de la cuenca en estudio conformada por tres subcuencas y ejecutar el modelo obtuvimos los siguientes resultados:

- Los hidrogramas de avenida para las tres subcuencas para un periodo de retorno de 50 años, donde se pueden apreciar los caudales máximos de cada una de ellas (ver figura N° 45).

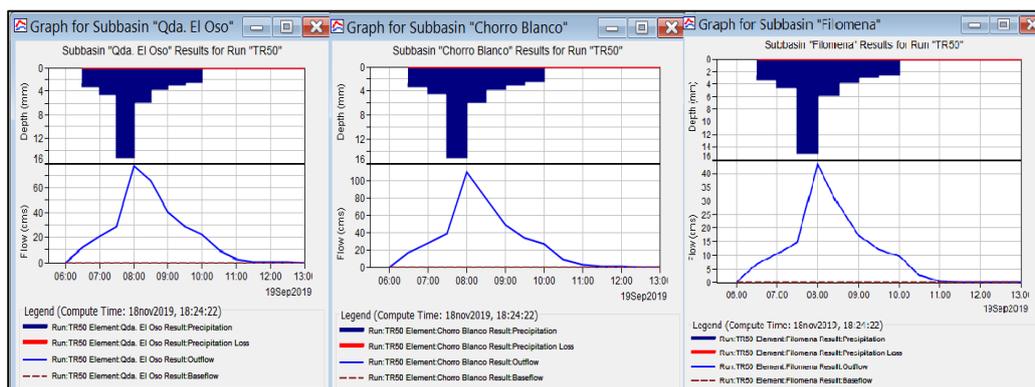


Figura N° 45. Hidrogramas de Avenida de las 3 subcuencas para Tr = 50 años.

Fuente: Elaboración Propia.

- La tabla de resultados con los caudales máximos y respectivos volúmenes de cada una de las subcuencas para un periodo de retorno de 50 años (ver tabla N° 33).

Tabla N° 33: Caudales y Volúmenes (Tr = 50 años)

Global Summary Results for Run "TR50"				
Project: Q.El Tingo 3		Simulation Run: TR50		
Start of Run: 19sep2019, 06:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 19sep2019, 13:00		Meteorologic Model: Met 1 TR50		
Compute Time: 09nov2019, 09:23:25		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	Initial Selection	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Chorro Blanco	17,70	110,6	19sep2019, 08:00	709,9
Qda. El Oso	13,80	78,3	19sep2019, 08:00	553,5
Junction-1	31,50	188,9	19sep2019, 08:00	1263,5
Filomena	6,58	43,6	19sep2019, 08:00	263,9
Junction-2	6,58	43,6	19sep2019, 08:00	263,9
Sink-1	38,08	232,5	19sep2019, 07:30	1495,4

Fuente: Elaboración Propia.

- Los hidrogramas de avenida para las tres subcuencas para un periodo de retorno de 100 años, donde se aprecian los caudales máximos de cada una de ellas (ver figura N° 46).

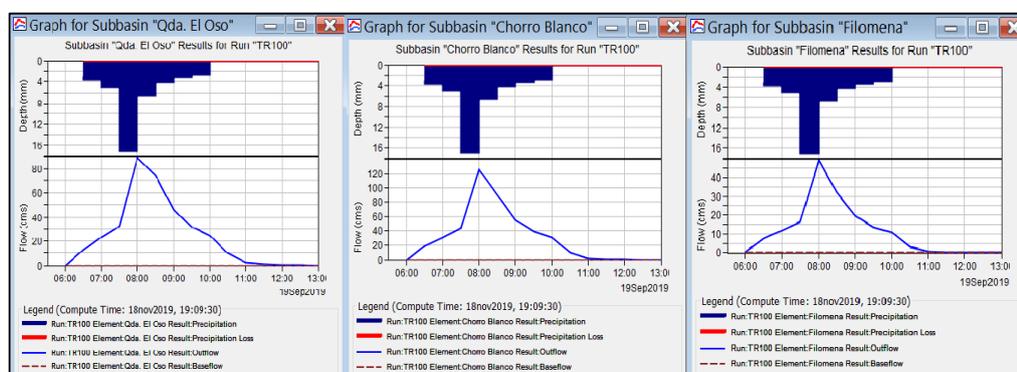


Figura N° 46. Hidrogramas de Avenida de las 3 subcuencas para Tr = 100 años.

Fuente: Elaboración Propia.

- La tabla de resultados con los caudales máximos y respectivos volúmenes de cada una de las subcuencas para un periodo de retorno de 100 años ( ver tabla N° 34).

Tabla N° 34: Caudales y Volúmenes (Tr = 100 años)

Global Summary Results for Run "TR100"				
Project: Q.El Tingo 3		Simulation Run: TR100		
Start of Run: 19sep2019, 06:00		Basin Model: Basin 1		
End of Run: 19sep2019, 13:00		Meteorologic Model: Met 1 TR100		
Compute Time: 09nov2019, 09:32:22		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	Initial Selection	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Chorro Blanco	17,70	125,5	19sep2019, 08:00	805,5
Qda. El Oso	13,80	88,8	19sep2019, 08:00	628,0
Junction-1	31,50	214,3	19sep2019, 08:00	1433,6
Filomena	6,58	49,4	19sep2019, 08:00	299,5
Junction-2	6,58	49,4	19sep2019, 08:00	299,5
Sink-1	38,08	263,7	19sep2019, 07:30	1696,8

Fuente: Elaboración propia

- Los hidrogramas de avenida para las tres subcuencas para un periodo de retorno de 500 años, donde se pueden apreciar los caudales máximos de cada una de ellas (ver figura N° 47).

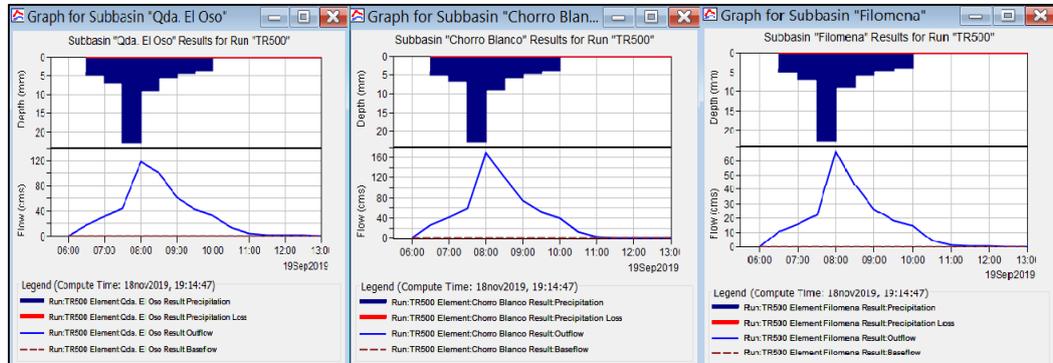


Figura N° 47. Hidrogramas de Avenida de las 3 subcuencas para Tr = 500 años.  
Fuente: Elaboración Propia.

- La tabla de resultados con los caudales máximos y respectivos volúmenes de cada una de las subcuencas para un periodo de retorno de 500 años (ver tabla N° 35).

Tabla N° 35: Caudales y Volúmenes (Tr = 500 años)

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Chorro Blanco	17,70	168,2	19sep2019, 08:00	1079,7
Qda. El Oso	13,80	119,0	19sep2019, 08:00	841,8
Junction-1	31,50	287,3	19sep2019, 08:00	1921,5
Filomena	6,58	66,3	19sep2019, 08:00	401,4
Junction-2	6,58	66,3	19sep2019, 08:00	401,4
Sink-1	38,08	353,5	19sep2019, 07:30	2274,3

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.2 Cálculo de Caudales Máximos del Flujo de Barro y del Flujo de Detritos

Las características de los flujos hiperconcentrados y huaycos, están asociadas a la respuesta hidrológica de las lluvias de alta intensidad y corta duración. Por esta razón se usó el procedimiento de construir un hidrograma de evento de huayco a partir del hidrograma líquido.

El volumen promedio de sólidos producidos por erosión y que llegan a la boca de salida de las quebradas en condiciones hidrológicas extremas serán varias veces mayores a los valores estimados en condiciones hidrológicas normales.

Para los estimados de la concentración volumétrica de sólidos (piedras, gravas, arenas y finos), se aplicó las fórmulas propuestas por Takahashi (1991), suponiendo un flujo estable en movimiento:

$$C_v = \frac{\gamma_b S}{(\gamma_s - \gamma_b) (tg\phi - S)} \quad (23)$$

Donde:

$\gamma_b$  Peso específico del barro (1.2 ton/m<sup>3</sup>)

$\gamma_s$  Peso específico del material sólido (2.6 ton/m<sup>3</sup>)

$S$  Pendiente media del cauce de la quebrada

$\phi$  Ángulo de fricción interna del material sólido (30° ÷ 35°)

El caudal máximo del flujo de barro respecto al caudal de agua y material en suspensión, es:

$$Q_b = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s - \gamma_b} Q_l \quad (24)$$

Donde:

$\gamma$  Peso específico del agua (1.0 ton/m<sup>3</sup>)

$Q_l$  Caudal máximo líquido o agua (m<sup>3</sup>/s)

$Q_b$  Caudal máximo de barro (m<sup>3</sup>/s)

En la Tabla N°36, se presentan los estimados de los caudales máximos de los flujos de barro de las quebradas El Oso, El Chorro Blanco y Santa Filomena para tiempo de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

Tabla N° 36: Caudales máximos de Flujo de Barro

	Q Líquido $m^3/s$	Q Barro $m^3/s$
Quebrada El Oso		
Tr = 50 años	78.3	89.49
Tr = 100 años	88.80	101.49
Tr = 500 años	119.00	136.00
Quebrada Chorro Blanco		
Tr = 50 años	110.60	126.40
Tr = 100 años	125.50	143.43
Tr = 500 años	168.20	192.23
Quebrada Santa Filomena		
Tr = 50 años	43.60	49.83
Tr = 100 años	49.40	56.46
Tr = 500 años	66.30	75.77

Fuente: Elaboración Propia

El caudal máximo del flujo de detritos (huayco) en condición saturada, resulta:

$$Q_h = \frac{c^*}{c^* - c_v} Q_l \quad (25)$$

Donde:

C\* Concentración máxima de material sólido en reposo (0.65)

Cv Concentración volumétrica de sólidos (0.35)

Para la concentración de material sólido en reposo y concentración volumétrica de sólidos se utilizaron valores congruentes con las condiciones geomorfológicas de las cuencas de las quebradas.

En la Tabla N° 37, se presentan los estimados de los caudales máximos de los flujos de detritos (Huayco), volúmenes de los flujos de detritos y volumen de detritos obtenidos para las quebradas El Oso, El Chorro Blanco y Santa Filomena para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

Tabla N° 37: Caudales Máximos de Flujo de Detritos (Fórmula Takahashi)

	Q Líq. $m^3/s$	Q Huayco $m^3/s$	Vol. de Huayco $m^3$	Vol. de Detritos $m^3$
Quebrada El Oso				
Tr=				
50 años	78.30	169.65	373874	201317
Tr= 100				
años	88.80	192.40	424011	228313
Tr= 500				
años	119.00	257.83	568213	305960
Quebrada Chorro Blanco				
Tr= 50 años	110.60	239.63	443848	238995
Tr= 100				
años	125.50	271.92	503644	271192
Tr= 500				
años	168.20	364.43	675003	363463
Quebrada Santa Filomena				
Tr= 50 años	43.60	94.47	152129	81915
Tr= 100				
años	49.40	107.03	172366	92812
Tr= 500				
años	66.30	143.65	231333	124564

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Parámetros reológicos

Es el estudio del cambio de los esfuerzos que sufre el fluido en las deformaciones. (Bateran et al., 2007). la ecuación usamos para la geología fue de O'Brien año 2004. En la tabla 38 visualizamos los datos que usamos para ingresar al flo 2d., datos obtenidos de la tabla 39.

Tabla N° 38: Valores escogidos de la tabla del Cv

Viscosidad Dinámica Vs concentración Volumétrica		Esfuerzo cortante de cedencia Vs concentración volumétrica	
$Y=0.0345e^{20.10X}$		$Y=0.00283e^{23.00X}$	
$\alpha_1 = .0345$	$\beta_1 = 20.10$	$\alpha_2 = 0.00283$	$\beta_2 = 23.00$
Gravedad Específica 2.60		Resistencia al flujo laminar(k) 2285	

Fuente: Wu et al., 2013.

Para poder medir el parámetro reológico son necesarios la viscosidad dinámica ( $\eta$ ) y los esfuerzos de cedencia ( $\tau$ ).

La viscosidad dinámica ( $\eta$ ) y el esfuerzo de cedencia ( $\tau$ ) sufren un incremento significativo con la concentración de sedimentos ( $C_v$ ). Estos valores se ingresaron en el flo 2D.(ver tabla 39 y tabla 40).

Tabla N° 39: Esfuerzo de cedencia y Viscosidad en función del Cv

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Correlaciones de mediciones en Campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.70	0.036	22.10
Aspen Pit 2	2.72	10.40	0.0538	14.50
Aspen Natural Soil	0.152	18.70	0.0013	28.40
Aspen Mine Fill	0.047	21.10	0.128	12.00
Aspen Watershed	0.0383	19.60	0.000495	27.10
Aspen Mine Soure Área	0.291	14.30	0.000201	33,10
QWGlenwood 1	0.0345	20.10	0.00283	23.00
Glenwood 2	0.0765	16.90	0.0648	19.90
Glenwood 3	0.000707	29.80	0.00632	19.90
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.10
Correlaciones disponibles de la literatura:				
Lida (1938)	-	-	0.0000373	36.60
Dai etal(1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7,82	0.0405	8.29
Qian etal. (1980)	0.00136	21.20	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	15.48	-	-
	0.0047	19.1-32.7	-	-
Fei(1981)	0.166	25.60	-	-
	0.00470	22.20	-	-

Fuente: O'Brien y Julien , 1988.

Tabla N° 40: Valores de Rugosidad

Oveland Flow Manning's n Roughness Values	
Surface	$\eta$ - value
Dense turf	0.17-0.80
Bermuda and dense grass, dense vegetation	0.17-.48
Shrubs and forest litter, pasture	0.30-0.40
Average grass cover	0.20-0.40
Poor grass cover on rough surface	0.20-0.30
Short prairie grass	0.10-0.20
Spare vegetation	0.05-0.13
Sparse rangeland with debris	0.09-0.34
0% cover	0.05-0.25
20% cover	0.008-0.012
	0.06-0.22
	0.06-0.16
Plowed or tilled fields	0.30-0.50
	0.04-0.10
	0.07-0.17
	0.17-0.47
Open ground with debris	0.10-0.20
Shallow glow on asphalt or concrete ( 0.25" to 1.0")	0.10-0.15
Follow fields	0.08-0.12
Open ground, no debris	0.04-0.10
Asphalt or concrete	0.02-0.05

Fuente: Manual Flo 2D

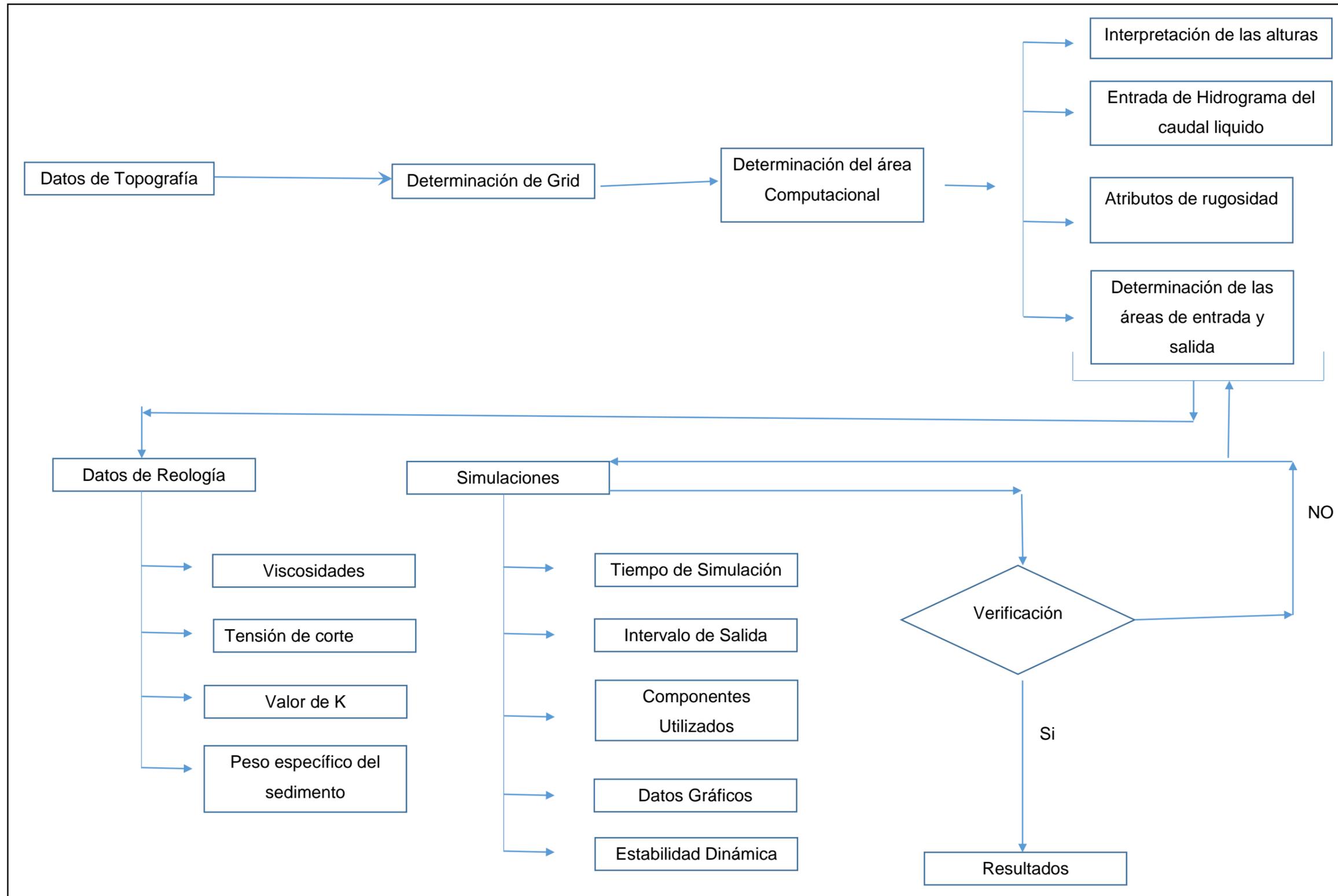


Figura N° 48. Organigramma del flo 2D  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Modelamiento de flujo de detritos en la Cuenca El Tingo

En el modelamiento del flujo de detritos de la Quebrada El Tingo mediante un modelo numérico se usó el Modelo Bidimensional de diferencias finitas Flo 2d desarrollado por O'Brien et al (1993). El cual fue diseñado para la simulación de eventos extraordinarios de poca frecuencia, Este modelo tiene la capacidad de estimar la distribución del flujo en superficies de inundación, así como el flujo con altas velocidades, y el tirante máximo y fuerza de impacto por el flujo de detritos (ver figura N° 48).

#### 5.3.1 Modelamiento de flujo de detritos con FLO 2D

Para el modelamiento en Flo 2D se requieren como datos de entrada la topografía, el hidrógrama líquido-sólido, las propiedades del sedimento y los parámetros reológicos.

Como primer paso, procesamos la topografía existente que está basada en las curvas de nivel en formato shp que fueron proporcionadas por el INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico) del Perú, logrando así generar el Modelo de Elevación del terreno DEM (Digital Elevation Model). Dicha topografía fue ingresada al preprocesador GDS (System Developer Grid) para poder así definir las grillas utilizadas para la simulación. Seguidamente se delimitó el área de nuestra zona en estudio a simular que es igual a 51.07 km<sup>2</sup>. El área comprende toda la zona de captación de la precipitación.

En la siguiente figura se visualiza la delimitación de la cuenca para determinar las grillas dentro de la zona de estudio, (ver figura N° 49 y figura 50)

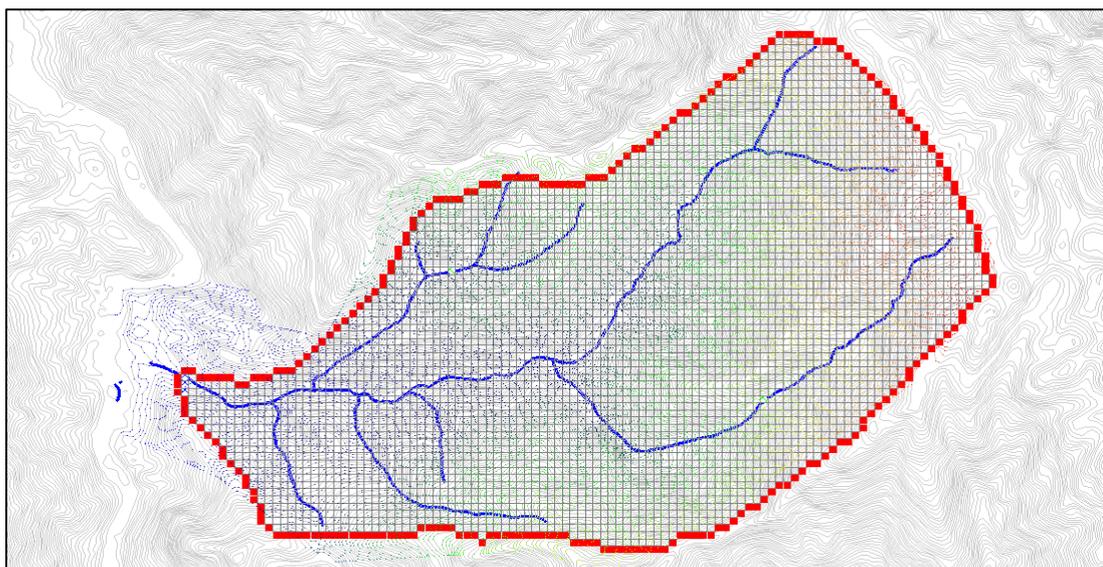


Figura N° 49. Limitación del área de la cuenca El Tingo.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 50 se asignaron los coeficientes de Manning, siendo  $\eta = 0.02$  en el cauce de la quebrada y  $\eta \leq 0.02$  en el resto del área.

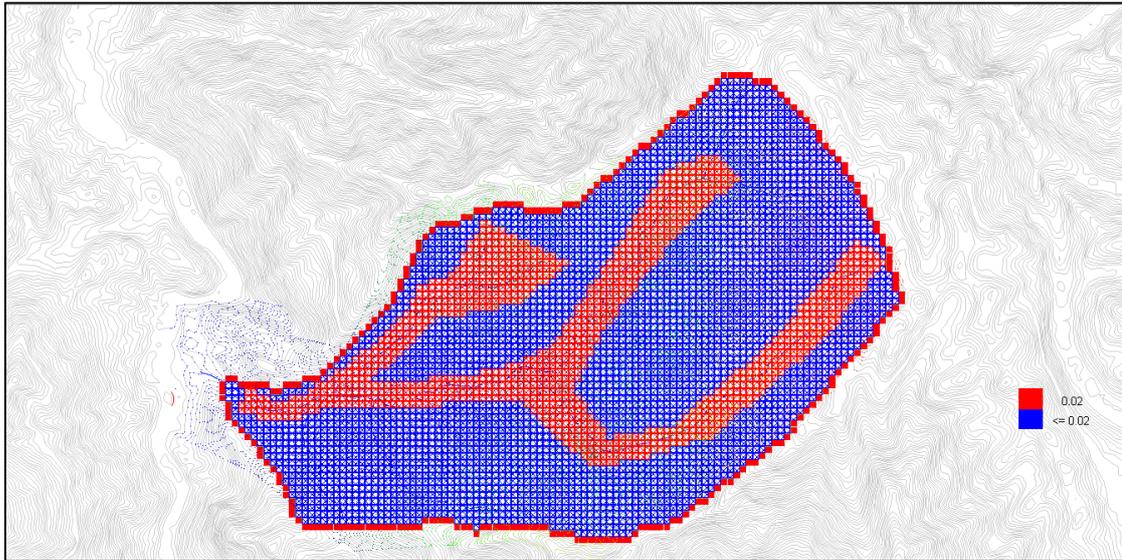


Figura N° 50. Rugosidades del terreno en el modelo computacional.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 51 se obtuvo el modelo de observación digital (DTM), en el cual se observa que a lo largo de la cuenca los niveles varían desde 1,280.00 m hasta 4,140.00 m, coloreados según su altura la cual está indicada en la barra vertical a la derecha

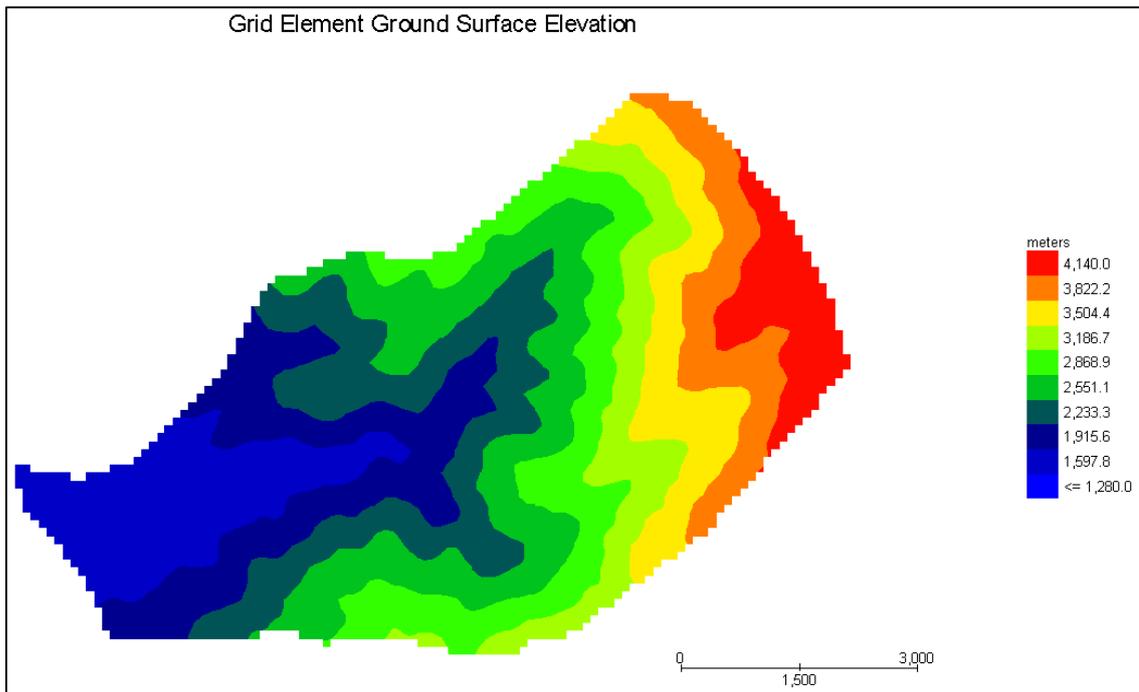


Figura N° 51. Elevación del dominio computacional o modelo de elevación Digital (DTM).  
Fuente: Elaboración Propia.

Luego ingresamos el Hidrograma líquido obtenidos del HMS, seguido se ingresó el Cv que fue caracterizado visualmente por satélite los sedimentos contenidos.

Seguido introducimos los valores reológicos del tipo de material (detritos) con el que queremos realizar la modelación. Este tipo de valores se obtienen de la tabla N° 41, que en nuestro caso se utilizaron para el diseño de los valores estimados debido a que no se cuenta con ensayos de laboratorio del suelo presente en la cuenca El Tingo, pero si con estudios realizados en tesis que usan valores semejantes para todas las quebradas del Perú.

Los valores ingresados al flo 2D son los siguientes:

Viscosidad Dinámica ( $\eta$ )

$$\alpha = 0.00283$$

$$\beta = 23$$

Esfuerzo de Cedencia ( $\tau_y$ )

$$\alpha = 0.00345$$

$$\beta = 20.1$$

En la siguiente tabla 41 se muestra la Resistencia al flujo Laminar  $K= 2285$ , este valor lo hemos tomado por haber sido usado en muchos estudios en las cuencas de Perú. Como por ejemplo en el “modelo de flujos de lodo usando el flo 2d en la quebrada Paihua en la ciudad de Matucana, Lima”, (Castillo, 2007)

**Tabla N° 41: Parámetros de resistencias de flujo laminar**

Parámetros de resistencias de flujo laminar	
Superficie	Rango de K
Concreto/asfalto	24-108
Arena escasa	30-120
Superficie gradual	90-400
Arcilla escasa – suelo de marga erosionada	100-500
Poca Vegetación	1000-4000
Hierba corta de pradera	3000-10000
Césped de hierba añil	7000-50000

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 42 se muestra la concentración volumétrica de sedimento ( $C_v$ ) según el tipo de flujo de acuerdo a la clasificación de O'Brien.

Tabla N° 42: Concentración de sedimento ( $C_v$ )

Descripción del Tipo de Flujo	Concentración de sedimento		Características del Flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamientos	0.65 – 0.80	0.83 – 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloque Derrumbe de bloque con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	
Flujos de lodo (Mudflow)	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie. Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	
Avenida de lodo (Mud Flood)	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente. Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie. Separación del agua en la superficie; las loas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo. Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
	0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	
	0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	
	0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	
Inundación de agua	< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

Fuente: O'BRIEN, 2000.

a) Simulación del modelo Flo 2D de la Quebrada El Tingo ( $Tr = 50, 100, 500$  años)

Para la obtención de los niveles del agua máxima se recomienda simulaciones con un periodo de:

$Tr = 50, 100$  y  $500$  años, usados para el diseño de barreras dinámicas y muro de gaviones, que reducirán el volumen del material de arrastre de las quebradas intervenidas, las cuales reducirán el volumen y retardarán su llegada a las zonas vulnerables permitiendo a la población disponer de más tiempo para su evacuación hacia los lugares previstos (ANA).

$Tr = 500$  años usado para el cálculo de la socavación necesaria en el proyecto de construcción de puentes (Manual de Hidrología del MTC).

a.1) Simulación para un periodo de retorno (Tr) de 50 años

Para esta simulación se usaron los Caudales Pico para un tiempo de retorno de 50 años Caudal Pico Santa Filomena = 43.60 m<sup>3</sup>/s, Caudal Pico Chorro Blanco = 110.60 m<sup>3</sup>/s, Caudal Pico El Oso = 78.30 m<sup>3</sup>/s y un coeficiente de concentración volumétrica Cv = 0.35.

A continuación, se observan la máxima profundidad del flujo representado por colores como se muestra en la barra de etiqueta en metros (Ver Figura N° 52)

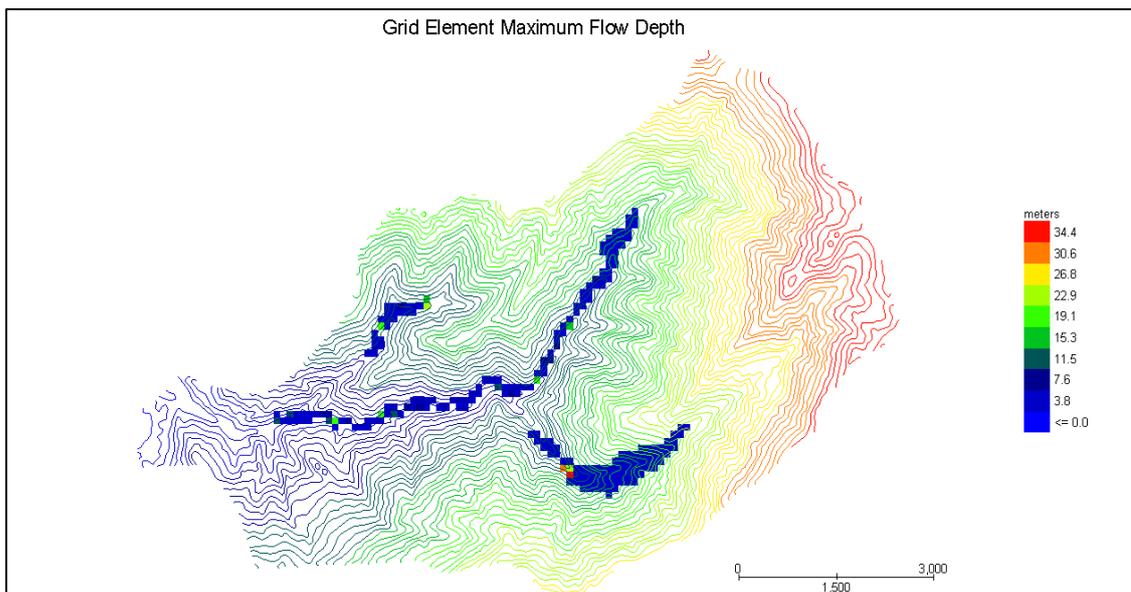


Figura N° 52. Mapa de profundidad de Flujo máxima, según sus elementos de grilla. Tr= 50 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 50 años, en la figura N° 53 visualizamos las máximas velocidades indicadas por colores en la barra derecha en unidades de m/s siendo las de color rojo las máximas y de color azul las velocidades mínimas.

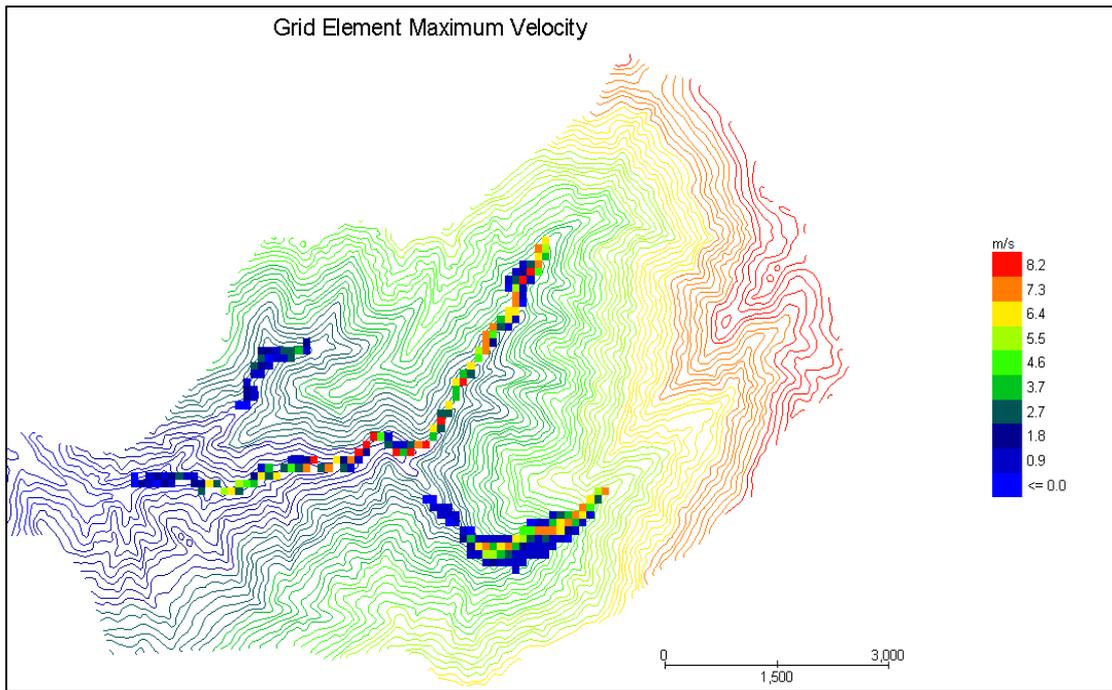


Figura N° 53. Mapa de Velocidades máximas del flujo. Tr = 50 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 50 años, En la figura N° 54 visualizamos la máxima fuerza de impacto, mostrando valores máximos de 191,634.40 k/m<sup>2</sup> así como la mínima de 21,292.70 k/m<sup>2</sup> indicadas por colores en la barra derecha, en unidades de N/m<sup>2</sup> siendo las de color rojo las máximas y de color azul las mínimas.

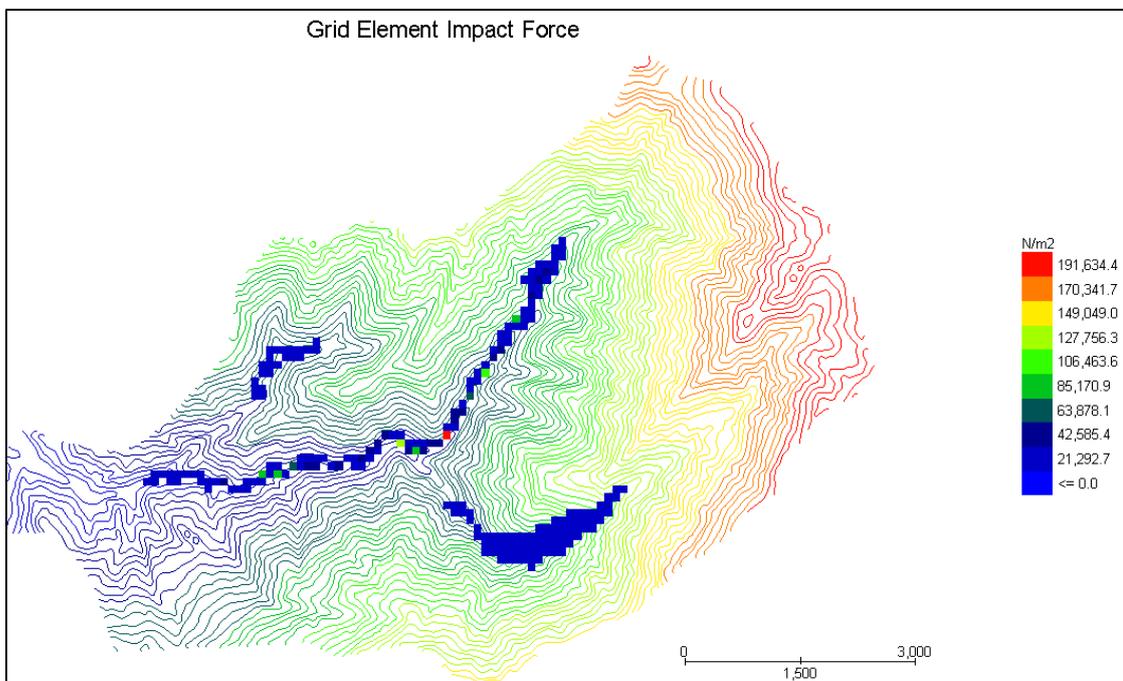


Figura N° 54. Mapa de fuerza de Impacto máximas. Tr = 50 años  
Fuente: Elaboración propia

Para un tiempo de retorno de 50 años, En la figura N° 55 visualizamos el mapa de amenaza, indicando el grado de peligro por colores en la barra vertical a la derecha. Siendo las de color rojo las máximas de nivel 3, color naranja nivel 2, color amarillo nivel 1 y color blanco de nivel 0.

El nivel 3 es donde las personas tienen que abandonar el lugar ya que la estructura no va a soportar el daño.

En nivel 2 las personas estando dentro de sus casas no sufrirán accidentes siempre y cuando estas bien construidas, lo mejor es abandonar la vivienda.

En nivel 1 indica que el peligro es casi nulo por el cual solo es necesario tomar precauciones al transitar por las calles.

En nivel 0 no existe riesgo

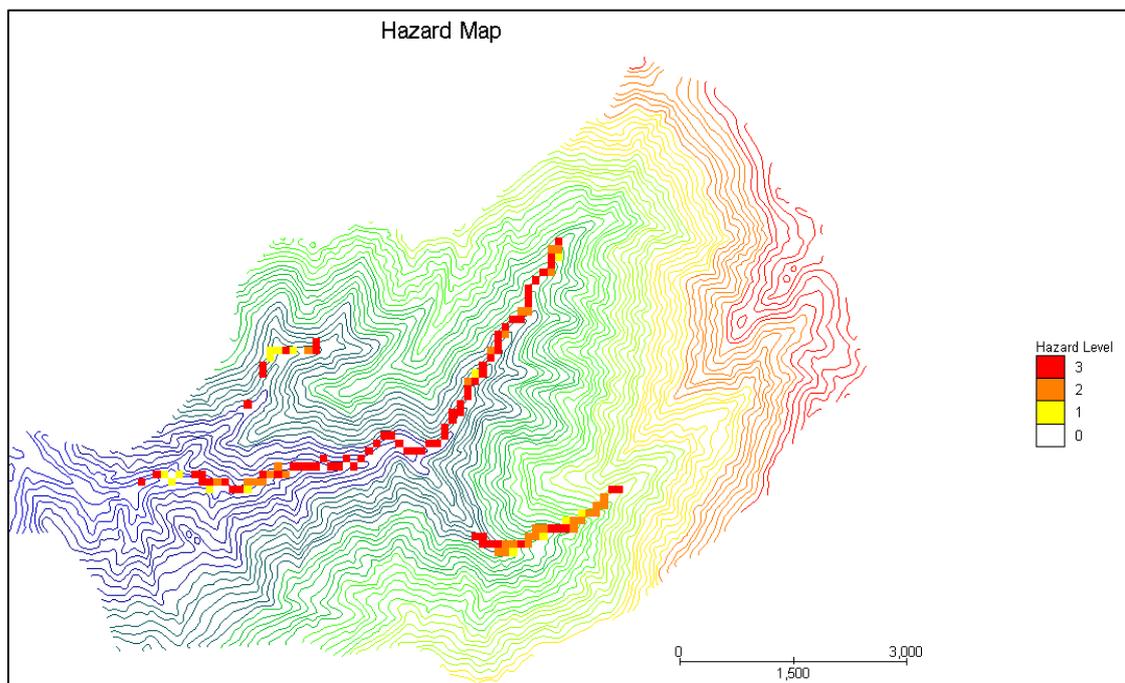


Figura N° 55. Mapa de Amenazas. Tr = 50 años.

Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 50 años, En la figura N° 56 visualizamos la elevación del tirante del flujo a lo largo de la salida del cono de deyección, siendo la parte más baja de la zona en estudio.

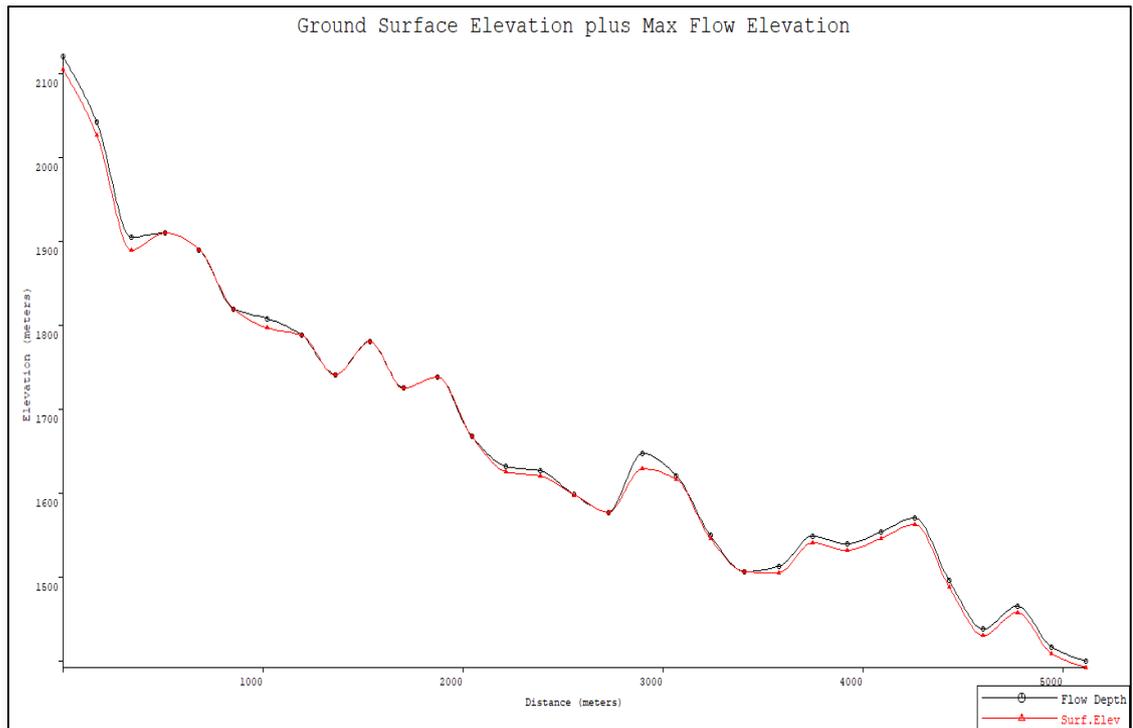


Figura N° 56. Elevación del tirante de flujo sobre el terreno para.  $T_r = 50$  años.  
Fuente: Elaboración propia.

a.2) Simulación para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 100 años

Para esta simulación se usaron los Caudales Pico para un tiempo de retorno de 100 años de las Subcuencas

Caudal Pico Santa Filomena =  $49.40 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

Caudal Pico Chorro Blanco =  $125.50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

Caudal Pico Oso =  $88.80 \text{ m}^3/\text{s}$

y un coeficiente de concentración volumétrica  $C_v = 0.35$ .

A continuación, se observan la máxima profundidad del flujo representado por colores como se muestra en la barra de etiqueta en metros (Ver Figuras N° 57)

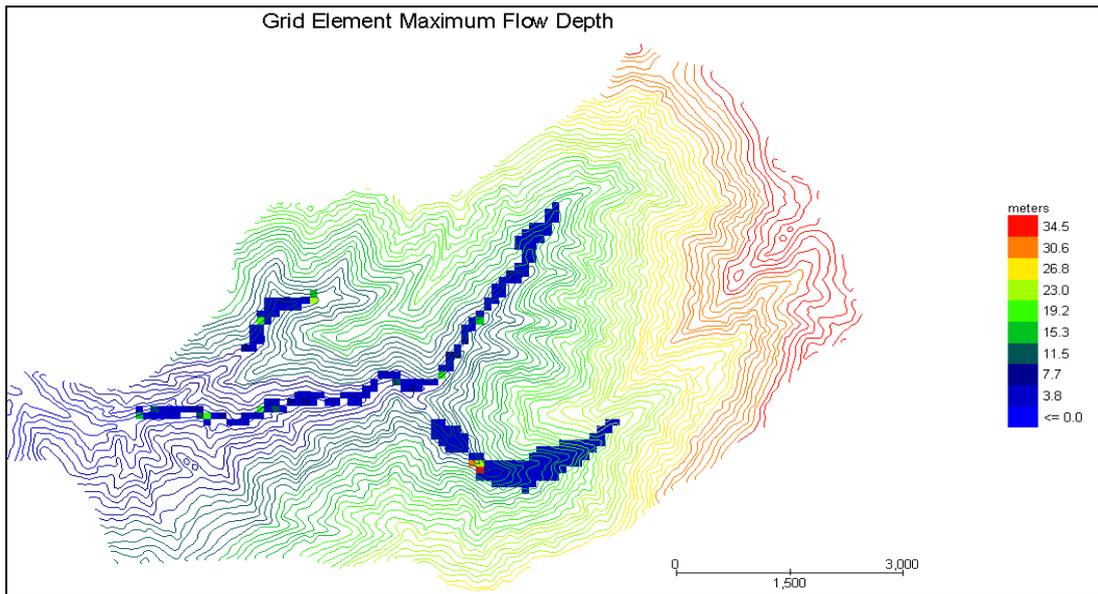


Figura N° 57. Mapa de profundidad de Flujo, según sus elementos de grilla. Tr=100 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 100 años, En la figura N° 58 visualizamos las máximas velocidades indicadas por colores en la barra derecha en unidades de m/s siendo las de color rojo las máximas y de color azul las velocidades mínimas.

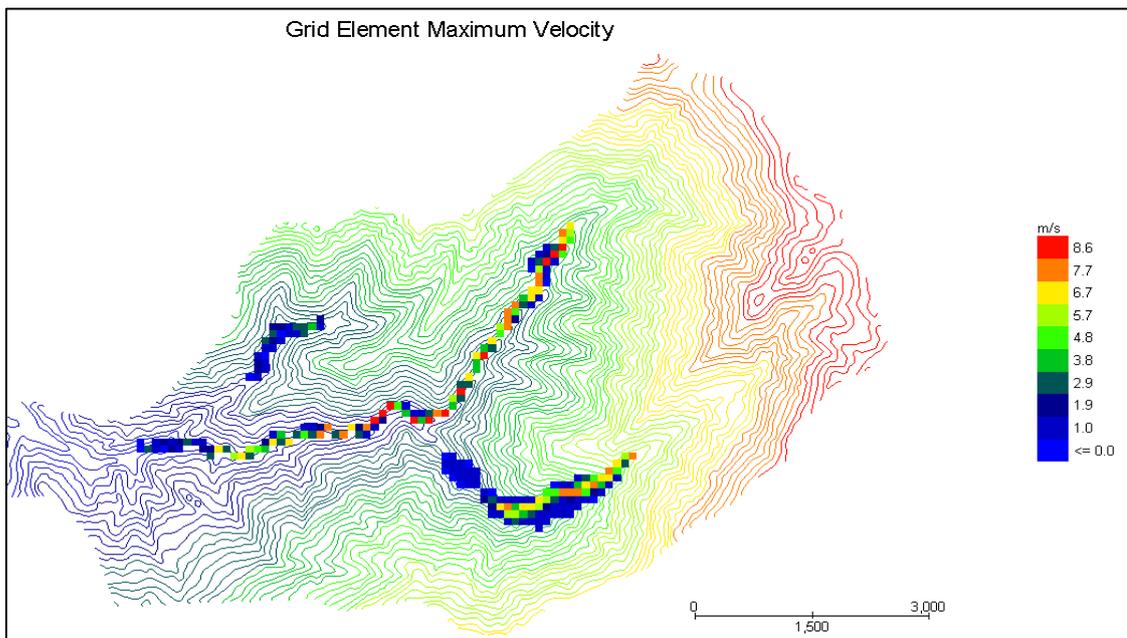


Figura N° 58. Mapa de Velocidades máximas del flujo. Tr = 100 años  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 100 años, En la figura N° 59 visualizamos la máxima fuerza de impacto, mostrando valores máximos de 219,273.70 k/m<sup>2</sup> así como la mínima de 24,363.70 k/m<sup>2</sup> indicadas por colores en la barra derecha, en unidades de N/m<sup>2</sup> siendo las de color rojo las máximas y de color azul las mínimas.

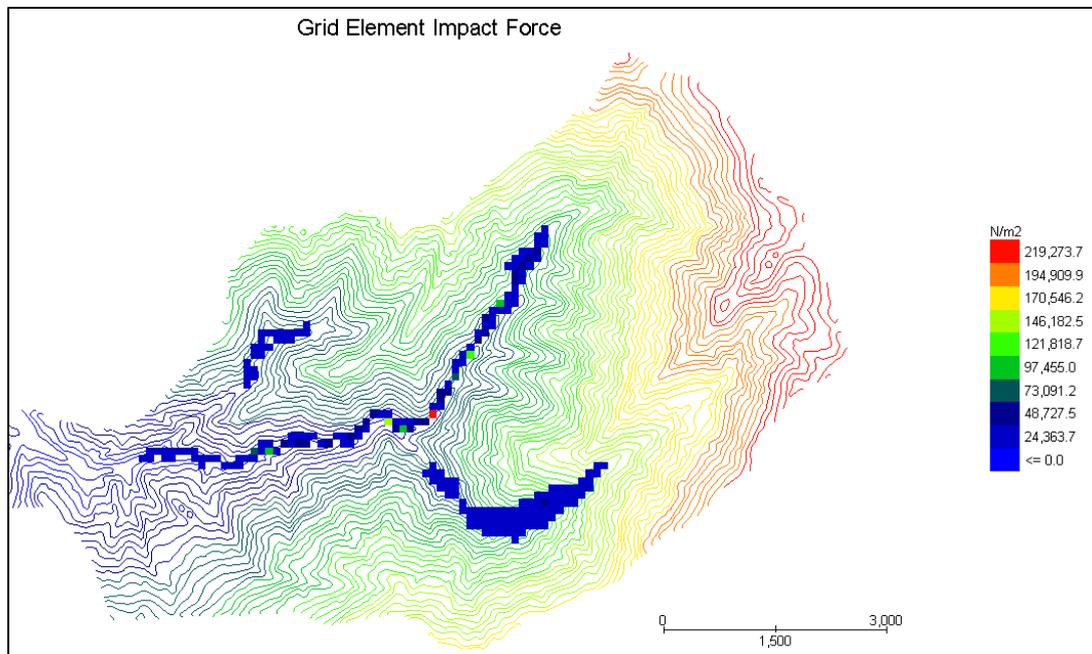


Figura N° 59. Mapa de fuerza de Impacto máximas. Tr = 100 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 100 años, en la figura N° 60 visualizamos el mapa de amenaza, indicando el grado de peligro por colores en la barra derecha de forma vertical. Siendo las de color rojo las máximas de nivel 3, color naranja nivel 2, color amarillo nivel 1 y color blanco de nivel 0.

El nivel 3 es donde las personas tienen que abandonar el lugar ya que la estructura no va a soportar el daño.

En nivel 2 las personas que estando dentro de sus casas no sufrirán accidentes siempre y cuando este bien construido. Mejor es abandonar la vivienda.

En nivel 1 indica que el peligro es casi nulo por el cual solo es necesario tomar precauciones al transitar por las calles.

En nivel 0 no existe riesgo.

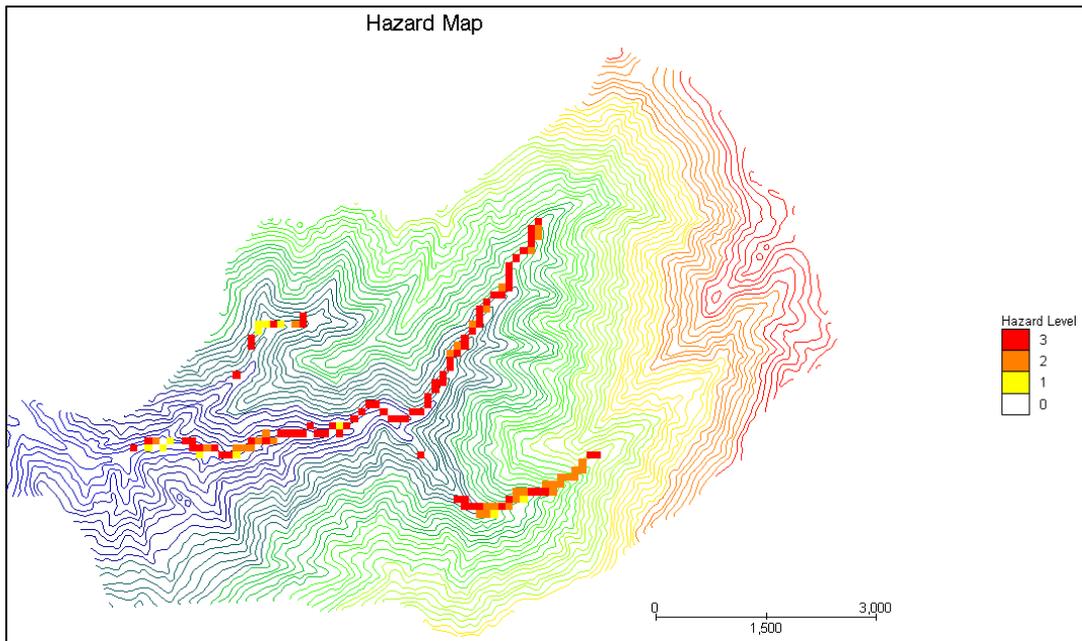


Figura N° 60. Mapa de Amenazas. Tr = 100 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 100 años, en la figura N° 61 visualizamos la elevación del tirante del flujo a lo largo de la salida del cono de deyección, siendo la parte más baja de la zona en estudio.

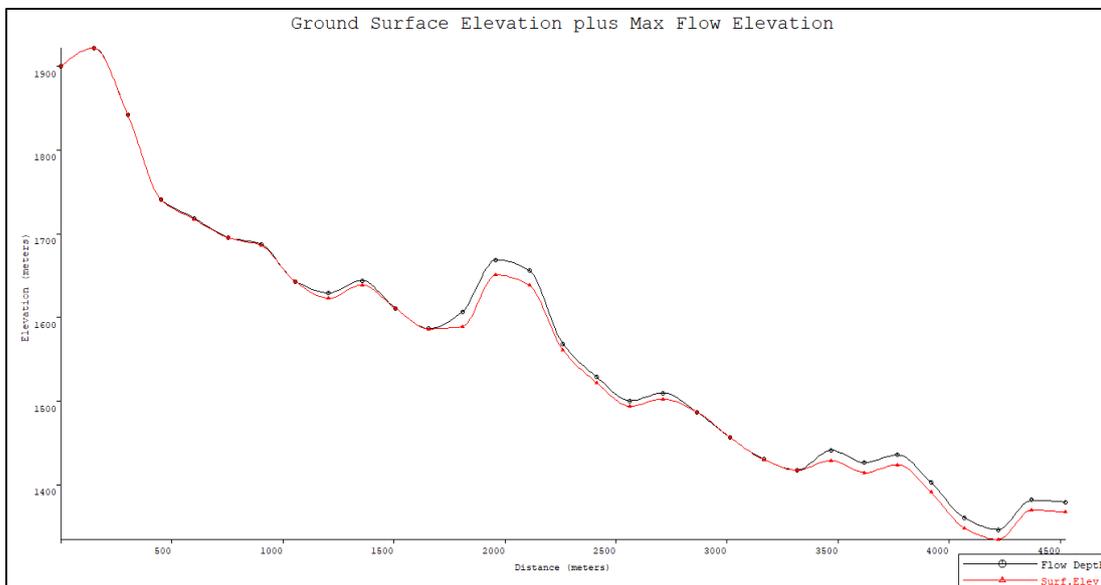


Figura N° 61. Elevación del tirante de flujo sobre el terreno para. Tr =100 años.  
Fuente: Elaboración propia.

### a.3) Simulación para un periodo de retorno ( Tr) de 500 años

Para esta simulación se usaron los Caudales Pico para un tiempo de retorno de 500 años de las Subcuencas:

Caudal Pico Santa Filomena = 66.30 m<sup>3</sup>/s,

Caudal Pico Chorro Blanco = 168.20 m<sup>3</sup>/s,

Caudal Pico Oso = 119.00 m<sup>3</sup>/s

y un coeficiente de concentración volumétrica  $C_v = 0.35$ .

A continuación, se observan la máxima profundidad del flujo representado por colores como se muestra en la barra de etiqueta en metros (Ver Figuras N° 62).

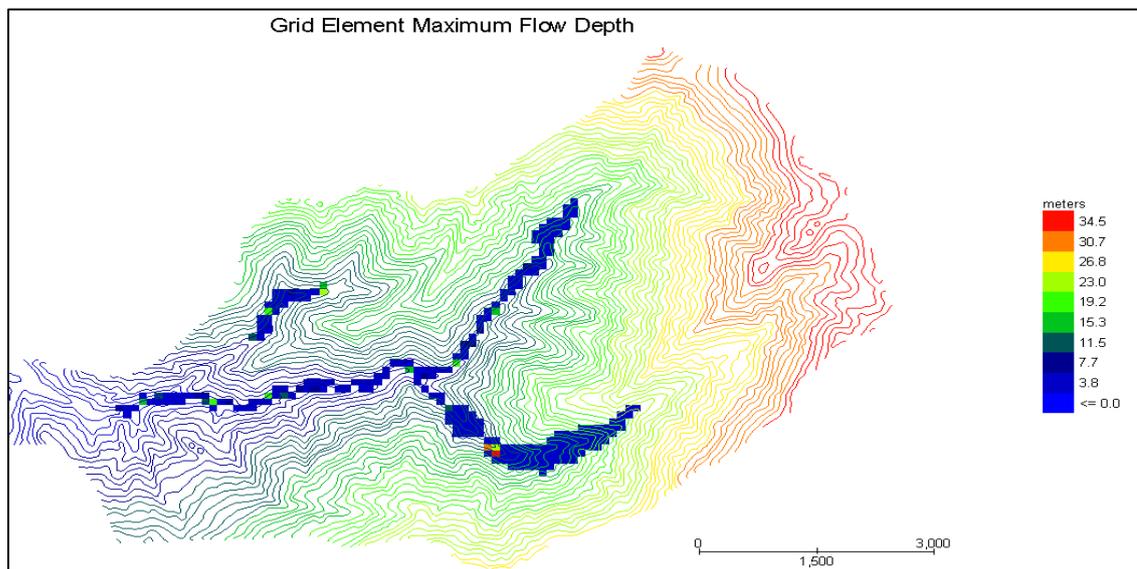


Figura N° 62. Mapa de profundidad máxima del Flujo para.Tr=500 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 500 años, En la figura N° 63 visualizamos las máximas velocidades indicadas por colores en la barra derecha en unidades de m/s siendo las de color rojo las máximas y de color azul las velocidades mínimas.

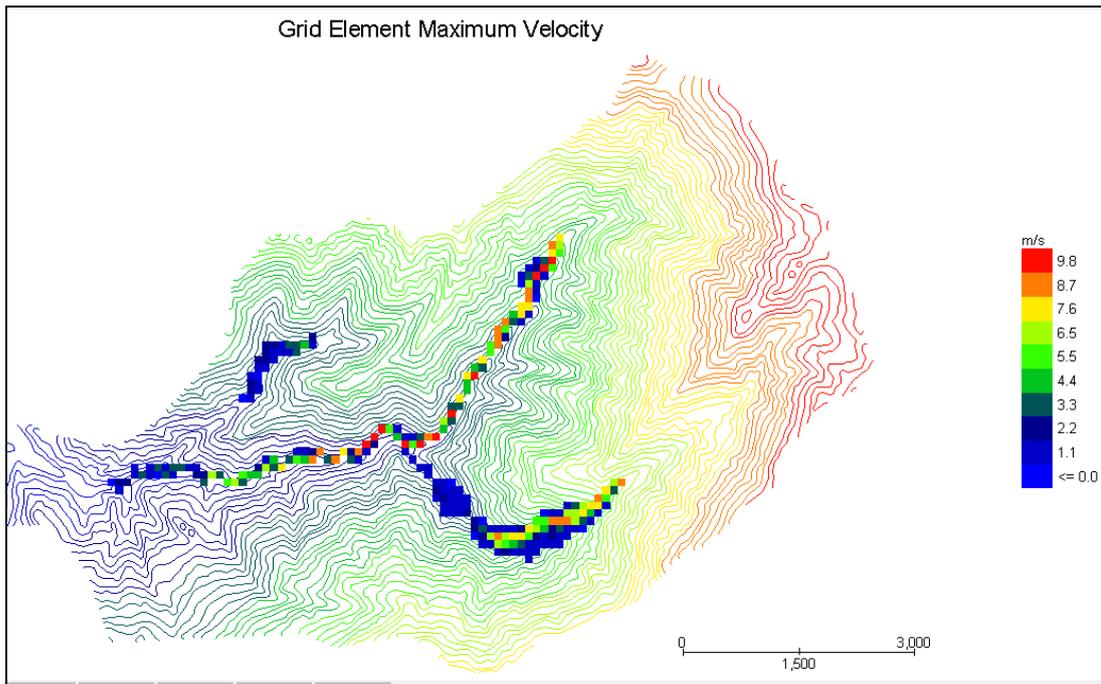


Figura N° 63. Mapa de Velocidades máximas del flujo. Tr = 500 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 500 años, en la figura N° 64 visualizamos la máxima fuerza de impacto, mostrando valores máximos de 290,303.90 k/m<sup>2</sup> así como la mínima de 32,256.00 k/m<sup>2</sup> indicadas por colores en la barra derecha, en unidades de N/m<sup>2</sup> siendo las de color rojo las máximas y de color azul las mínimas.

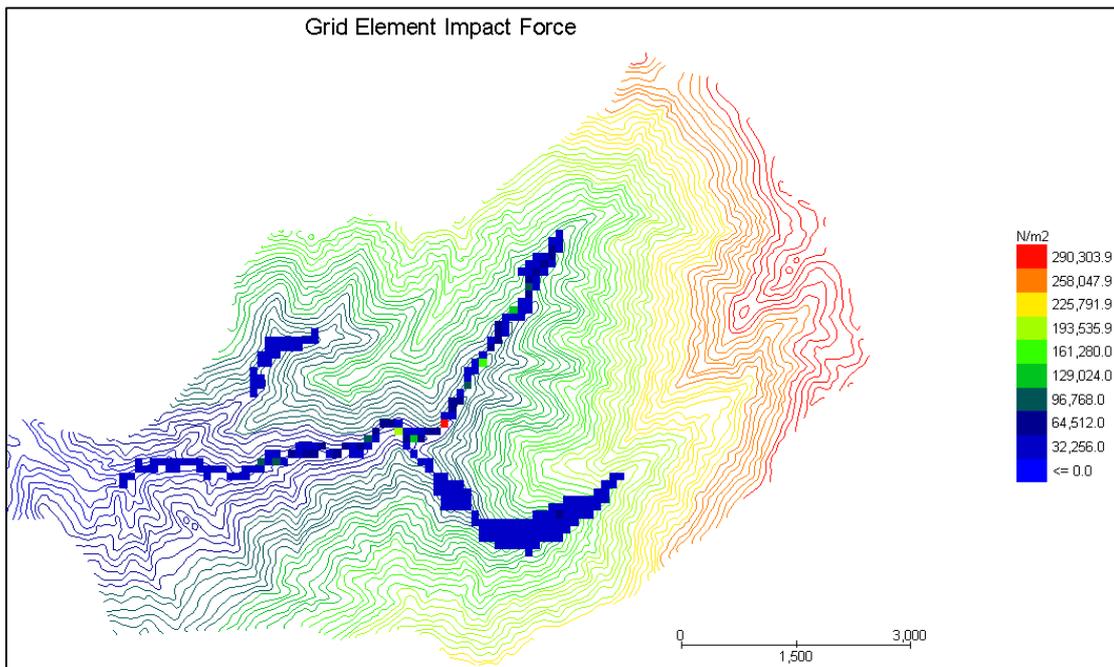


Figura N° 64. Mapa de fuerza de Impacto máximas. Tr = 500 años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 500 años, En la figura N° 65 visualizamos el mapa de amenazas, indicando el grado de peligro por colores en la barra derecha de forma vertical. Siendo las de color rojo las máximas de nivel 3, color naranja nivel 2, color amarillo nivel 1 y color blanco de nivel 0.

El nivel 3 es donde las personas tienen que abandonar el lugar ya que la estructura no va a soportar el daño.

En el nivel 2 las personas que estando dentro de sus casas no sufrirán accidentes siempre y cuando estas estén bien construidas. Mejor es abandonar la vivienda.

El nivel 1 indica que el peligro es casi nulo por el cual solo es necesario tomar precauciones al transitar por las calles.

El nivel 0 no existe riesgo.

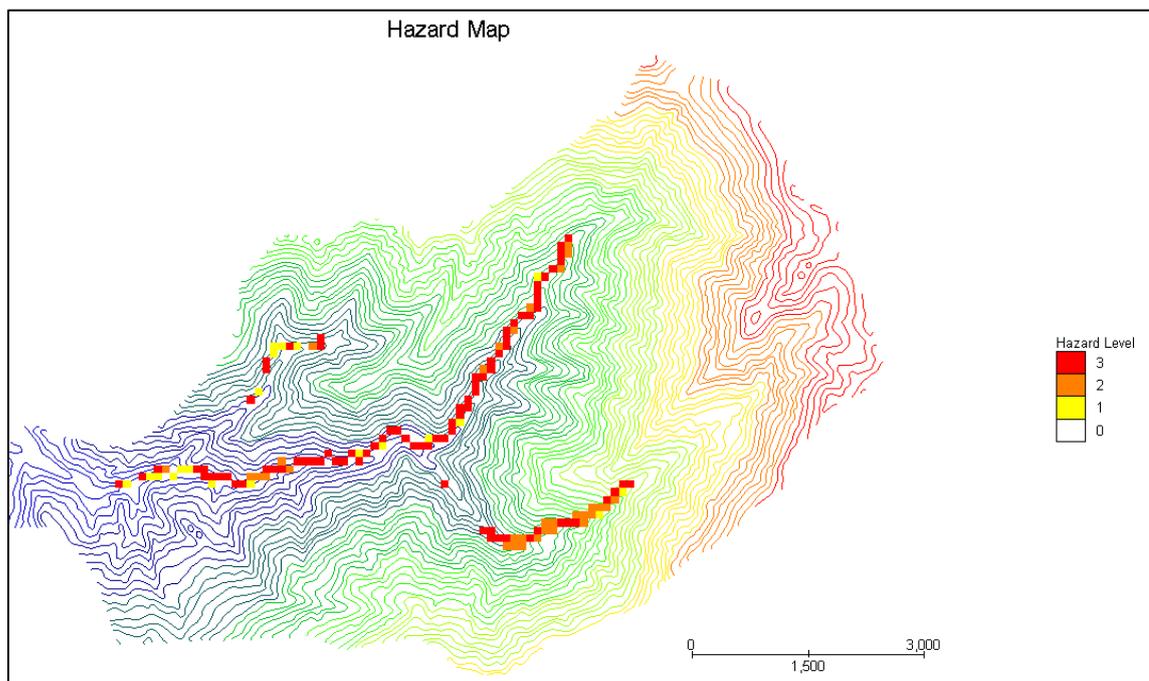


Figura N° 65. Mapa de Amenazas.  $T_r = 500$  años.  
Fuente: Elaboración propia.

Para un tiempo de retorno de 500 años, En la figura N° 66 visualizamos la elevación del tirante del flujo a lo largo de la salida del cono de deyección, siendo la parte más baja de la zona en estudio.

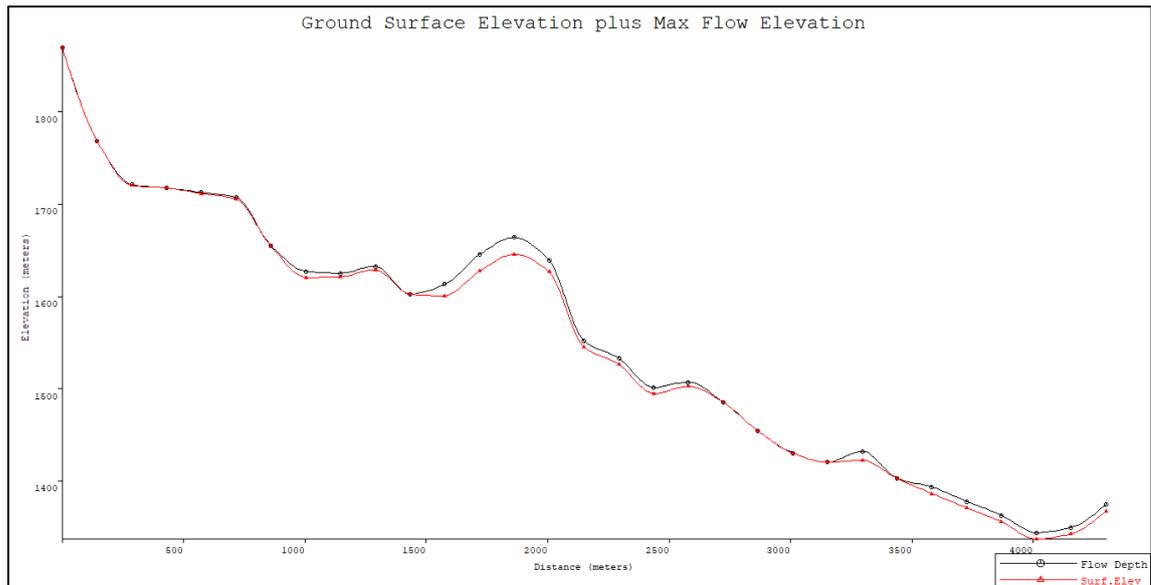


Figura N° 66. Elevación del tirante de flujo sobre el terreno para  $T_r = 500$  años.  
Fuente: Elaboración propia.

#### Conclusiones:

De este análisis se concluye que el flujo de detrito en el cono de deyección tiene una profundidad que varía desde 3.8m a 7.7m y las velocidades del flujo de detritos en el cono de deyección varían desde 2.7 m/s a 3.3 m/s

Los volúmenes de flujo estimados por el Flo 2D fueron  $688\,653\,m^3$ ,  $781\,080\,m^3$  y  $1\,047\,018\,m^3$  para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años; y los volúmenes de detritos fueron  $241\,029\,m^3$ ,  $273\,379\,m^3$  y  $360\,454\,m^3$  para los respectivos tiempos de retorno.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 Discusión de resultados del modelo Flo 2D en la Quebrada El Tingo.

Después de ingresar el archivo DEN con la información topográfica de la zona en estudio, los parámetros reológicos, hidrograma líquido y concentración de volumen sólidos; datos necesarios para la modelación de eventos hidrometeorológicos extremos de flujos en el Software FLO-2D, y finalmente haber realizado la simulación para Tr (50,100, 500 años) se observaron que:

Las velocidades máximas de flujos en la zona de deyección de la Quebrada El Tingo son de 2.7, 2.9 y 3.3 m/s para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente, velocidades que son capaces de generar daños cuantiosos.

Los valores de las fuerzas de impacto máximas de flujos en la zona de deyección de la Quebrada El Tingo son de 21, 292.70 N/m<sup>2</sup>, 24,363.70 N/m<sup>2</sup> y 32,256.0 N/m<sup>2</sup>, para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

El cono de deyección de la Quebrada El Tingo resulta ser una zona de riesgo máximo, donde se alcanzan alturas de aproximadamente 3.8m, 7.7 m y 4.5 m para los periodos de retorno de 50 100 y 500 años respectivamente; alturas que exceden la capacidad del cauce por lo que es preciso proponer una solución como la construcción de estructuras que retengan el mayor volumen posible del material de arrastre, que disminuyan las velocidades y fuerzas de impacto máximas, reduciendo así la vulnerabilidad de los bienes, servicios y vidas humanas.

En la figura N° 67, se aprecia el cauce en el cono de deyección de la Quebrada El Tingo con una profundidad igual a 3.5 m y un ancho de 30 m.



Figura N° 67. Cauce del Río Tingo  
Fuente: Chacon y Portilla, 2017.

La presencia de laderas con fuerte pendiente y con material suelto en su cobertura, favorecen el flujo multifase, el cual discurre rápidamente por efecto de las fuerzas de inercia. Este flujo produce un movimiento del tipo torrentoso, que constituye el primer riesgo natural en la Quebrada El Tingo y su vecindad, tal como lo indica el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), a través de su mapa de riesgos.

## 6.2 Alternativas de solución

Los flujos de detritos afectan a la población tanto en el proceso de degeneración como en el de propagación. Por ello es importante tomar medidas para reducir la vulnerabilidad de las zonas habitadas, remover el agente causal y mejorar las obras de defensa que rodean la Zona habitada.

Las obras de defensa ante los flujos de detritos son de 2 tipos: obras longitudinales y obras transversales. Las primeras buscan orientar el cauce y proteger la erosión de las riberas; en tanto las segundas están más orientadas a disminuir la fuerza del flujo, mediante la retención de materiales (sólidos o líquidos).

Las obras transversales son usualmente recomendadas en el caso de flujos torrenciales.: Ejemplos de obras transversales son: Diques de Gaviones, Barreras Flexibles, Presa de Contención cerrada, Presa de contención abierta y Presa permeable.

### 6.2.1 Diques de Gaviones

Existen diversas soluciones que tienen como finalidad reducir los efectos devastadores en el flujo de detritos, de esta manera podemos elegir la más adecuada considerando las características de cada alternativa, las condiciones de la zona y el uso que se da en ella.

Después de haber desarrollado el modelo conceptual y numérico, con el uso de datos de fuentes confiables como el SENAMHI para datos hidrológicos (precipitaciones), datos de la geología proporcionados por INGEMMET, datos reológicos, datos de la topografía obtenidos del CONIDA y MINAM, estos datos que fueron validados. Para los casos de las precipitaciones se utilizó el método del Water Resources Council, donde los datos fueron sometidos a métodos estadísticos de probabilidades mediante hojas de cálculo y software como HIDROESTA, lo que nos permitió calcular hidrogramas y caudales líquidos mediante hojas de cálculo. Los cuales fueron confrontados con los cálculos hechos con el software HEC-HMS, los que mediante ecuaciones del modelo de Takahashi nos sirvió para hallar los caudales y volúmenes de sólidos, estos resultados, juntos a los demás datos recopilados fueron los inputs usados para la simulación y calibración en el modelo numérico bidimensional FLO 2D. Software que con el método de cálculo de diferencias finitas nos sirvió para conocer el comportamiento del flujo de detritos en la cuenca El Tingo y sus parámetros como profundidades de flujo máximas, velocidades máximas, fuerzas de impacto, mapas de riesgo, y elevaciones de la superficie del suelo. Estos parámetros nos indicaron el riesgo eminente de inundación en el poblado de Vijus ubicado en la desembocadura de la Quebrada El Tingo, lo que nos llevó a analizar y evaluar la alternativa de los diques de gaviones, para la mitigación de las consecuencias ocasionadas por el fenómeno (ver figura N° 68).

A continuación, se hará una descripción de sus características y funcionamiento, también se propone el uso de estas en ubicaciones estratégicas con la finalidad de retener volúmenes de detritos y reducir velocidades y fuerzas de impacto considerables lo que representa grande energía del flujo y su potencial de arrasamiento siendo indicadores de gran erosión y transporte.



Figura N° 68. Dique de gaviones.  
Fuente: González F. Ana, 2019.

#### Características de los Diques de Gaviones:

- El dique de gaviones es una estructura que represa el ancho del río con una altura de 10 metros
- Es un dique de gravedad siendo el peso de la estructura la principal fuerza estabilizante.
- El perfil de menor volumen es el triangular con paramento vertical agua arriba, es común que en el perfil de agua abajo se use una disposición escalonada generalmente con escalones de un metro de ancho, pero en el caso de flujo de detritos que arrastra alto contenido de material grueso es recomendable que los escalones sean menores a 0,5 metros de ancho para reducir los impactos del flujo sobre ellos evitando daños en la estructura.
- Son estructuras permeables, permanentes y flexibles, resistentes a los esfuerzos de compresión, tensión y torsión, tienen como base en su estructura prismas rectangulares de alambre galvanizado llamados gaviones, estos se rellenan de piedra con el objetivo de formar el cuerpo del dique, es una solución relativamente económica si el material para la construcción se encuentra en la zona.
- La permeabilidad de la estructura permite la circulación relativa del agua, disipando la energía, lo que disminuye los empujes hidrostáticos.
- Los gaviones tienen como cualidad absorber la energía cinética de impacto debido al roce de las rocas y transformarlas en energía de deformación plástica.

- Esta estructura se puede situar en terreno no estable por tener la capacidad de deformación, adaptándose al terreno con su deformación y manteniendo la capacidad de trabajo. Tiene posibilidades de adaptación a cualquier dimensión y forma de torrentes.
- Para su buen funcionamiento el dique no debe sufrir tensiones de tracción en ningún punto y el empuje vertical hacia arriba del agua infiltrada bajo los cimientos no cause problemas en su estabilidad.
- Retiene volúmenes de materiales sólidos.
- Los diques mayores de e 3 metros de alto deben contar con cimentación sobre roca o piso firme y la cimentación en el suelo debe de tener como mínimo una profundidad de hasta un metro., para evitar las infiltraciones.
- Es importante la limpieza continua del material retenido para su funcionamiento efectivo.
- La ubicación del dique en el cauce no debe estar en una alineación curva y el terreno donde se encajen los estribos no sea material de relleno para garantizar su estabilidad.
- Para el caso de excesiva energía interna del flujo aguas abajo se aconseja diseñar disipadores de energía para que el flujo liberado por el dique no cause erosiones.

En la figura N° 69 podemos observar de izquierda a derecha la protección mediante tres figuras que representan la estructura que permitirá controlar el flujo de detritos. El primero muestra un dique normal, en el cual tendrá un piso terminado para recibir la caída del agua y evitar la socavación de la base del dique con una pendiente uniforme no horizontal para permitir la continuidad del flujo evitando así remolinos. En la figura central podemos visualizar que el dique está acompañado de un piso seguido de un contradique, para romper la velocidad y altura del flujo. En la figura derecha visualizamos que aparte de tener un dique normal, también tiene un piso horizontal seguido de un piso diagonal, permitiendo que el flujo siga un recorrido casi escalonado para que pierda velocidad.

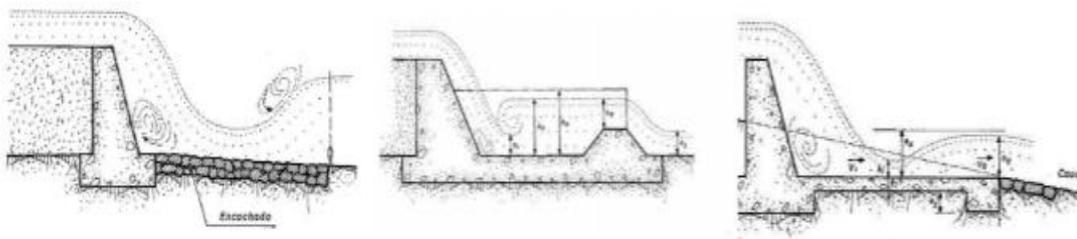


Figura N° 69. Sistemas de disipación de la energía al pie de un dique transversal.  
Fuente: López, 1998.

Por las características de los Diques de Gaviones antes mencionadas hemos elegido esta alternativa para el control del flujo de detritos en la cuenca El Tingo, colocando 9 hipotéticos diques en las zonas de erosión y transporte de la cuenca, con la finalidad de retener grandes volúmenes de detritos y disminuir la velocidad y fuerza de impacto, para lograr mitigar los efectos del fenómeno.

A continuación, se realizaron los cálculos del volumen retenido por los diques propuestos, siendo el dimensionamiento y cálculo estructural específico de los diques causales de futuras investigaciones.

### 6.2.2 Cálculo del volumen retenido por los 9 diques de gaviones

La alternativa de solución propuesta mediante diques de gaviones requiere de un análisis detallado de la erosión y transporte en la quebrada de modo que se seleccionen las ubicaciones estratégicas donde el trabajo del dique sea óptimo, en la figura N° 70 se puede visualizar esquemáticamente que el área de influencia en una quebrada se da generalmente en la zona de erosión y transporte.

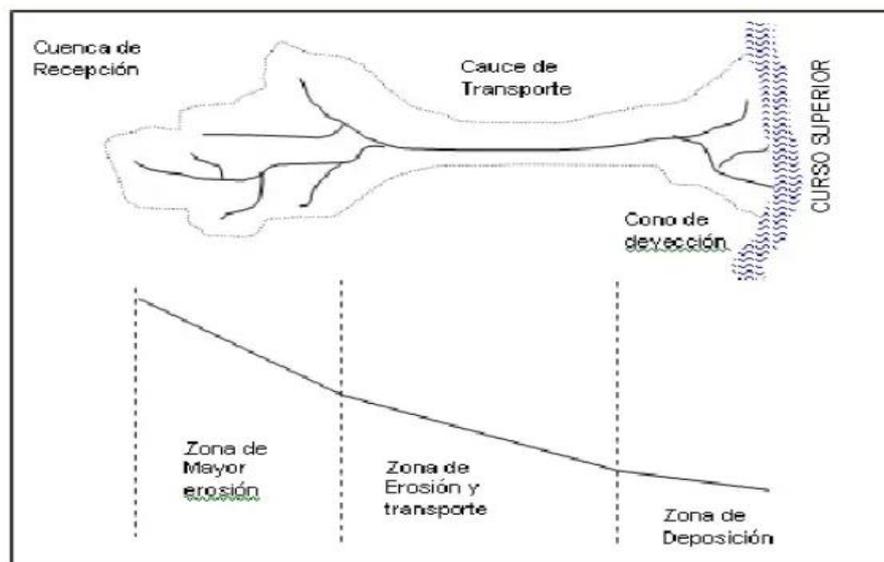


Figura N° 70. Esquema típico de una Quebrada.  
Fuente: Arancibia S. Ada, 1988.

La ubicación de los diques fue elegida donde los valores de velocidad máxima de flujo y fuerza de impacto máxima eran considerables lo que representa la mayor energía del flujo y de su potencial de arrasamiento, indicadores de gran erosión y transporte. Los valores fueron tomados del resultado del Flo 2D.

Por ello, los diques de gaviones serán colocados estratégicamente en ciertos puntos correspondientes al cauce de cada subcuenca de la siguiente forma (ver tabla N° 43)

Tabla N° 43: Cantidad de Diques de Gaviones por Subcuenca

QUEBRADA	N ° DE DIQUES
Quebrada El Oso	4
Quebrada El Chorro Blanco	3
Quebrada El Tingo	1
Quebrada Santa Filomena	1
TOTAL	9

Fuente: Elaboración propia.

- 4 Diques de Gavión en el cauce de la Quebrada El Oso

La Quebrada El Oso ubicado en la zona de mayor erosión da un gran aporte de detritos a la cuenca El tingo, aporte que fue calculado en la investigación con resultados de 201,317  $m^3$ , 228,313  $m^3$ , 305,960  $m^3$  de volúmenes de detritos para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

El primer dique, D1, será ubicado en la progresiva 4+600 Km aguas debajo de la parte más alta de la Quebrada El Oso. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 7.70 m, velocidad de 4.4 m/s, fuerza de impacto 64,512  $N/m^2$ , nivel de amenaza 2.

El segundo dique, D2, será ubicado en la progresiva 5+4423 Km aguas debajo de la parte más alta de la Quebrada El Oso. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 7.70 m, velocidad de 8.7 m/s, fuerza de impacto 64,512  $N/m^2$ , nivel de amenaza 3.

El tercer dique, D3, será ubicado en la progresiva 6+200 Km de la parte más alta de la Quebrada El Oso. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 26.80 m, velocidad de 6.50 m/s, fuerza de impacto 64,512  $N/m^2$ , nivel de amenaza 3.

El cuarto dique, D4, será ubicado en la progresiva 7+040 Km de la parte más alta de la Quebrada El Oso. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 7.70 m, velocidad de 2.20 m/s, fuerza de impacto 64,512  $N/m^2$ , nivel de amenaza 3.

- 3 Diques de Gavión en el cauce de la Quebrada El Chorro Blanco

La Quebrada El Chorro Blanco ubicado en la zona de mayor erosión da un gran aporte de detritos a la quebrada El Tingo, aporte que fue calculado en la investigación con resultados de  $238,995 m^3$ ,  $271,192 m^3$  y  $363,463 m^3$  de volúmenes de detritos para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

El primer dique, D5, será ubicado a 3+420 Km de la cabecera de la Quebrada El Chorro Blanco. La ubicación tiene profundidad de flujo máxima 7.70 m, velocidad de flujo 4.40 m/s, fuerza de impacto  $48,728 N/m^2$ , nivel de amenaza 3.

El segundo dique, D6, será ubicado a 4+410 Km de la cabecera de la Quebrada El Chorro Blanco. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 7.70 m, velocidad de 7.60 m/s, fuerza de impacto  $48,727 N/m^2$ , nivel de amenaza 2.

El tercer dique, D7, será ubicado a 5+610 Km de la cabecera de la Quebrada El Chorro. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 7.70 m, velocidad de 6.50 m/s, fuerza de impacto  $48,727 N/m^2$ , nivel de amenaza 3.

- 1 Dique de Gavión en el cauce de la Quebrada El Tingo

El dique, D8, será ubicado a 1+040 Km aguas abajo del encuentro de los cauces tributarios de las Quebradas El Chorro Blanco y El Oso. La ubicación tiene profundidad de flujo máxima 7.70 m, velocidad de flujo 2.20 m/s, fuerza de impacto  $32,5256 N/m^2$ , nivel de amenaza 1.

- 1 Dique de Gavión en el cauce de la Quebrada Santa Filomena

La Quebrada Santa Filomena da un gran aporte de detritos a la quebrada El Tingo, aporte que fue calculado en la investigación con resultados de  $81,915 m^3$ ,  $92,812 m^3$ ,  $124,564 m^3$  de volúmenes de detritos para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

El dique, D9, será ubicado a 2+905 Km aguas abajo de la cabecera de la Quebrada Santa Filomena. Ubicación elegida por tener como características profundidad de flujo 3.80 m, velocidad de 1.10 m/s, fuerza de impacto 32,256  $N/m^2$ , nivel de amenaza 1.

En la figura N° 71, se muestra la ubicación de los 9 diques de gavión a lo largo del cauce.

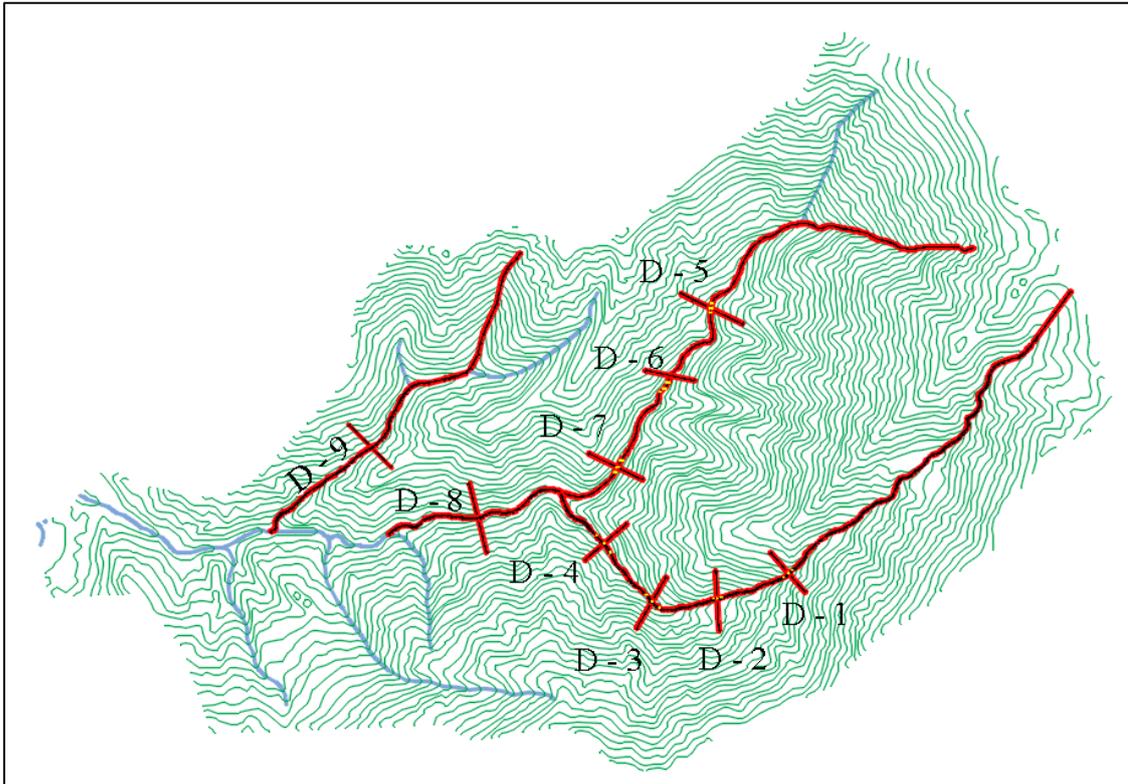


Figura N° 71. Ubicación propuesta de nueve Diques de Gaviones a lo largo del cauce.  
Fuente: Elaboración propia.

#### a) Volumen retenido por lo diques de gavión en la quebrada El Oso

A continuación, se mostrarán las secciones donde se ubicarán cada uno de los 4 diques, para ello se realizó un cálculo simplificado del volumen que retendría cada uno y finalmente se obtuvo el cálculo del volumen total de retención, valor que fue comparado con el volumen total de detritos que aporta la quebrada El Oso.

#### Sección 1

En la figura N° 72 se muestra la sección transversal del cauce para la ubicación propuesta del dique de gavión N° 1. Tomamos en consideración el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se calculó la capacidad de retención de detritos del dique. La cual fue de 62,490  $m^3$

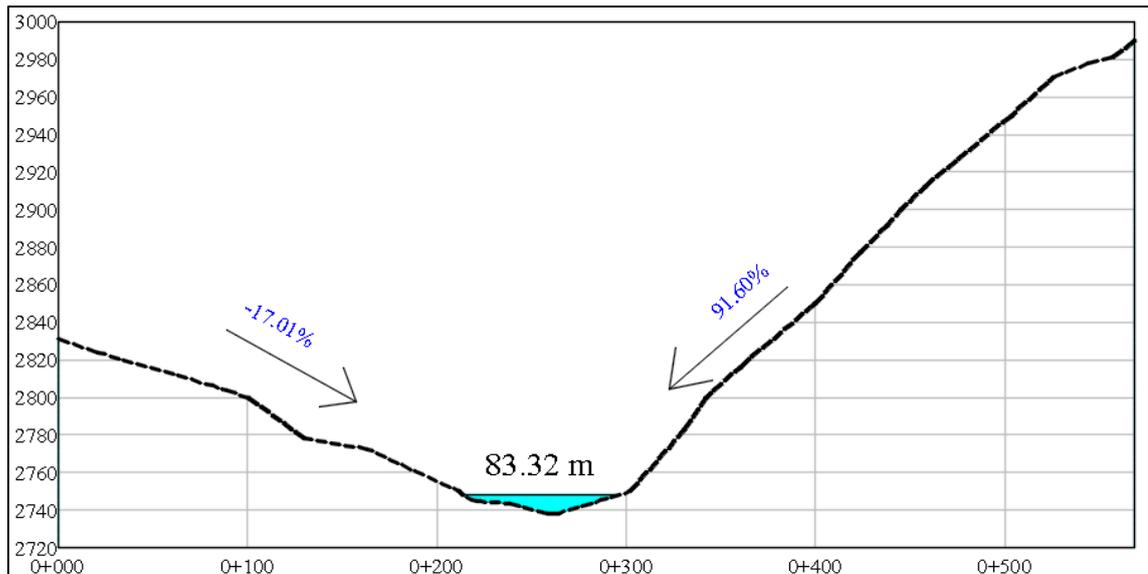


Figura N° 72. Sección transversal del cauce para el Dique 1

Fuente: Elaboración propia

B = Ancho del Canal = 83.32 m

H = Altura del Dique = 10.00 m

L = Longitud de relleno = 150 m

$V_{r_{D1}}$  = Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 1

$$V_{r_{D1}} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L = \frac{1}{2} \times 83.32 \times 10 \times 150 = 62,490 \text{ m}^3$$

## Sección 2

En la figura N° 73 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 2. Tomando en consideración el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se realizó el cálculo de la capacidad de retención de detritos del dique, que arrojó el valor de  $82,852 \text{ m}^3$ .

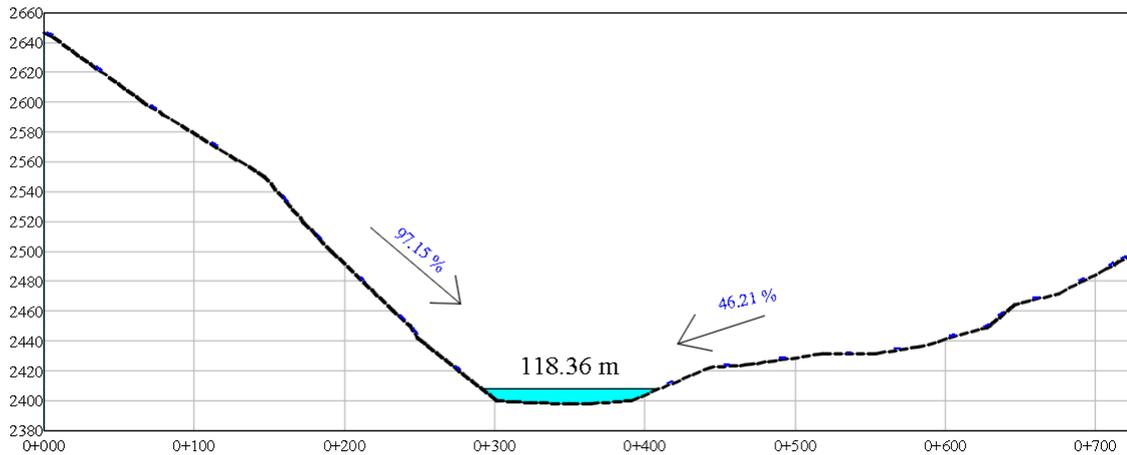


Figura N° 73. Sección del cauce para el Dique 2  
 Fuente: Elaboración propia

B = Ancho del Canal = 118.36 m

H = Altura del Dique = 10.00 m

Longitud de relleno = 140.00m

$V_{r_{D2}}$  = Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 2

$$V_{r_{D2}} = \frac{1}{2} \times 118.36 \times 10 \times 140.00 = 82,852 \text{ m}^3$$

### Sección 3

En la figura N° 74 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 3. Considerando el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se calculó la capacidad de retención de detritos del mismo, la que resultó ser de  $72,225 \text{ m}^3$ .

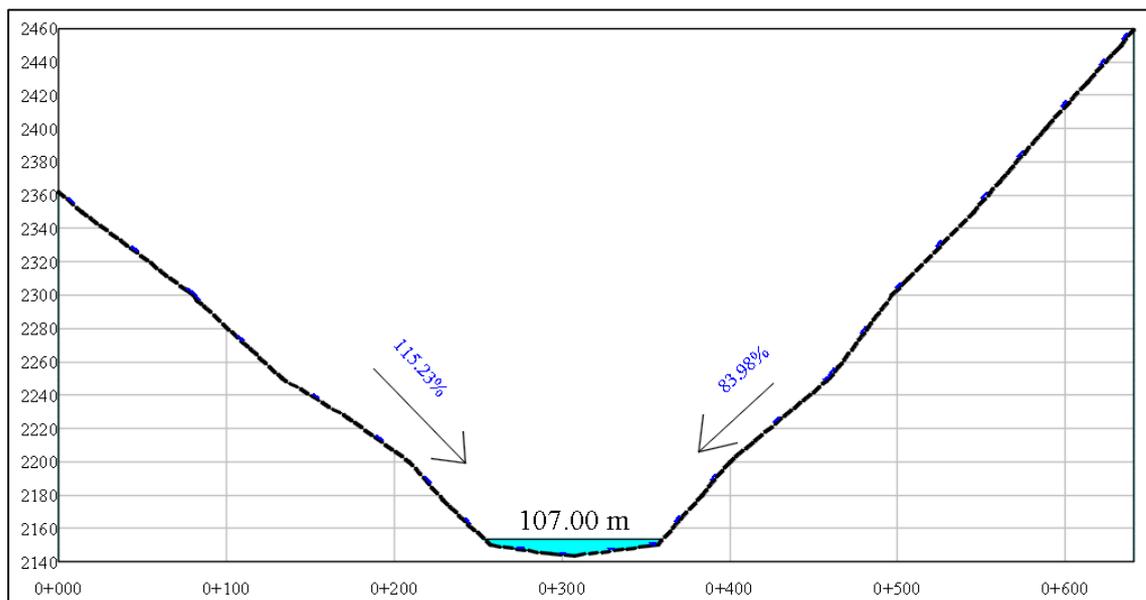


Figura N° 74. Sección del cauce para el Dique 3  
 Fuente: Elaboración propia

B = Ancho del Canal = 107 m

H = Altura del Dique = 10 m

Longitud de relleno = 135 m

$Vr_{D3}$  = Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 3

$$Vr_{D3} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L = \frac{1}{2} \times 107 \times 10 \times 135 = 72,225 \text{ m}^3$$

#### Sección 4

En la figura N° 75 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 4. Tomando en consideración el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se determinó la capacidad de retención de detritos del dique, la cual fue de  $108,927 \text{ m}^3$ .

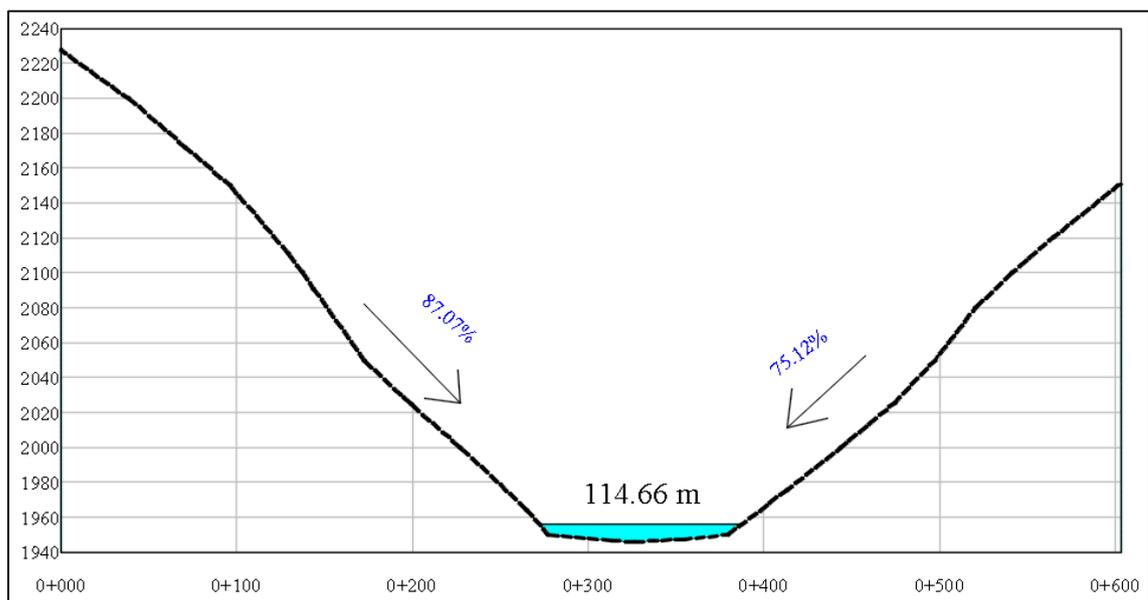


Figura N° 75. Sección del cauce para el Dique 4

Fuente: Elaboración propia

B = Ancho del Canal = 114.66 m

H = Altura del Dique = 10.00 m

Longitud de relleno = 190.00 m

$Vr_{D4}$  = Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 4 =  $\frac{1}{2} \times B \times H \times L$

$$Vr_{D4} = \frac{1}{2} \times 114.66 \times 10.00 \times 190.00 = 108,927 \text{ m}^3$$

a.1) Volumen Total retenido por los diques de gavión en la quebrada El Oso

El cálculo del total de volumen retenido por los 4 diques de gavión es la suma de cada uno de los volúmenes de retención de cada dique.

$$V_{\text{TOTAL}} = Vr_{D1} + Vr_{D2} + Vr_{D3} + Vr_{D4}$$

$$V_{\text{TOTAL retenido}} = 326,494 \text{ m}^3$$

El volumen total retenido por los 4 diques ( $326,494 \text{ m}^3$ ) es mayor al volumen de detritos  $305,960 \text{ m}^3$  ( $T_c=500$  años) que aporta la quebrada El Oso.

Por lo tanto, los diques de gaviones resultan una alternativa de control de flujos de detritos efectiva para reducir las consecuencias del fenómeno.

#### b) Volumen retenido por los diques de gavión en la Quebrada el Chorro Blanco

A continuación, se muestran las secciones donde se propone ubicar cada uno de los 3 diques, también se calculó la capacidad de retención de cada uno y finalmente se obtuvo el volumen total de retención.

##### Sección 5

En la figura N° 76 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 5. Para ello se ha considerado el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, obteniéndose que la capacidad de retención de detritos del dique es de  $95,183 \text{ m}^3$ .

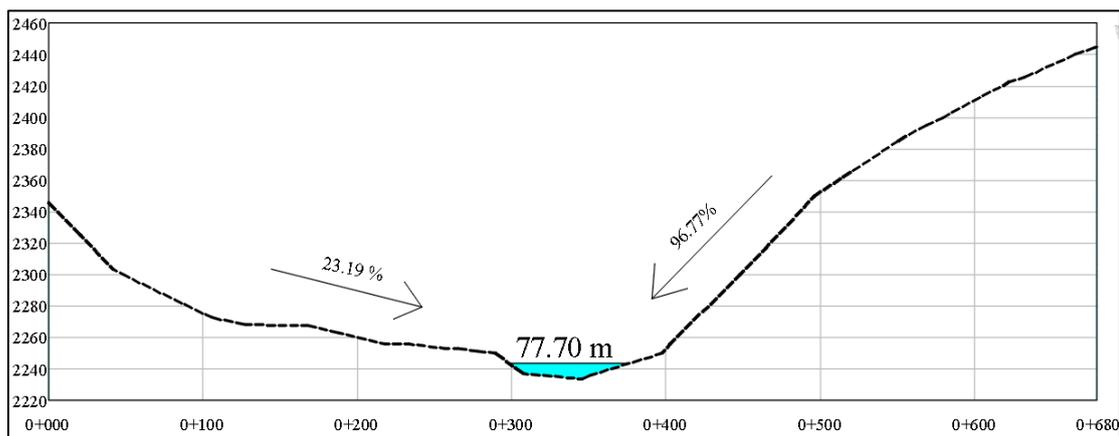


Figura N° 76. Sección del cauce para el Dique 5  
Fuente: Elaboración propia

$$B = \text{Ancho del Canal} = 77.70 \text{ m}$$

$$H = \text{Altura del Dique} = 10.00 \text{ m}$$

Longitud de relleno = 245 m

$V_{r_{D5}} = \text{Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 5} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L$

$$V_{r_{D5}} = \frac{1}{2} \times 77.10 \times 10 \times 245 = 95,183 \text{ m}^3$$

### Sección 6

En la figura N° 77 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 6. Teniendo como datos el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se calculó la capacidad de retención de detritos del dique, la cual fue de  $139,020 \text{ m}^3$ .

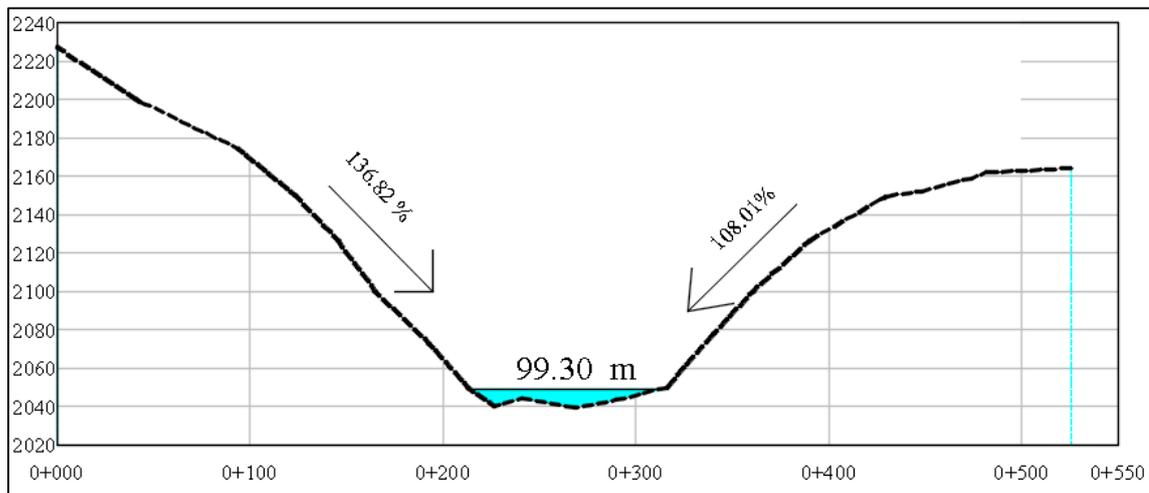


Figura N° 77. Sección del cauce para el Dique 6

Fuente: Elaboración propia

B = Ancho del Canal = 99.30 m

H = Altura del Dique = 10.00 m

Longitud de relleno = 280 m

$V_{r_{D6}} = \text{Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 6} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L$

$$V_{r_{D6}} = \frac{1}{2} \times 99.30 \times 10 \times 280 = 139,020 \text{ m}^3$$

## Sección 7

En la figura N° 78 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 7. Para ello se consideró el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, con lo cual se obtuvo una capacidad de retención de detritos del dique de  $130,950 m^3$ .

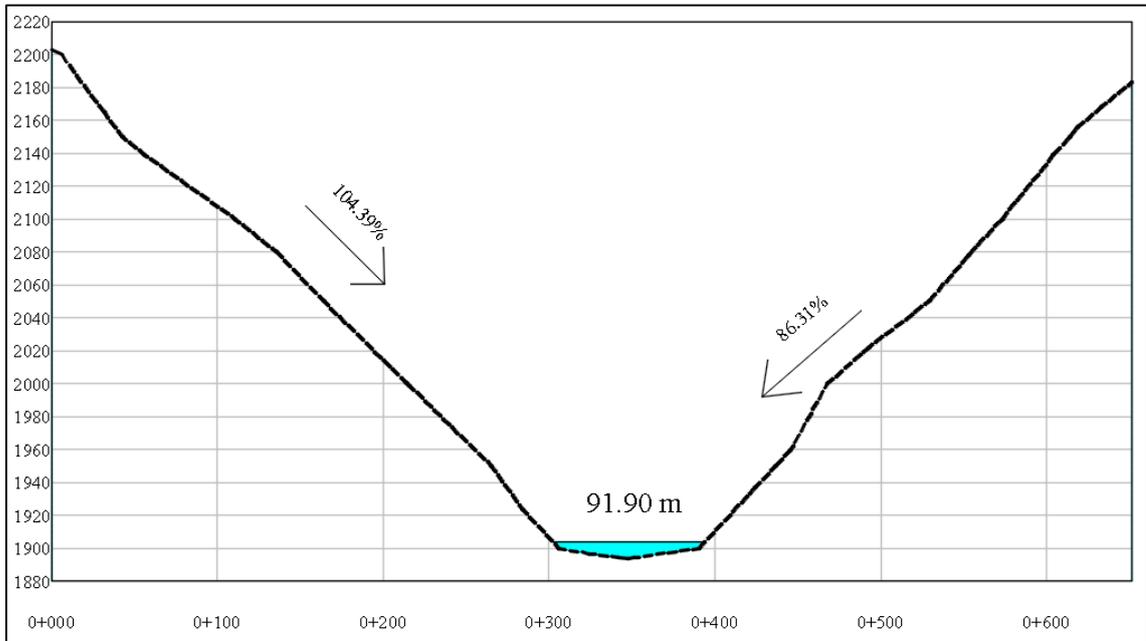


Figura N° 78. Sección del cauce para el Dique 7  
Fuente: Elaboración propia

$B = \text{Ancho del Canal} = 91.90 \text{ m}$

$H = \text{Altura del Dique} = 10.00 \text{ m}$

Longitud de relleno = 285 m

$V_{r_{D7}} = \text{Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 7}$

$$V_{r_{D7}} = \frac{1}{2} \times 91.90 \times 10 \times 285 = 130,958 m^3$$

b.1) Volumen Total retenido por los diques de gavión en la quebrada el Chorro Blanco

El cálculo total de volumen retenido por los 3 diques de gavión es la suma de cada uno de los volúmenes.

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{r_{D5}} + V_{r_{D6}} + V_{r_{D7}}$$

$$V_{\text{total retenido}} = 365,160 m^3$$

El volumen total retenido por los 3 diques ( $365,160 m^3$ ) es mayor al volumen de detritos  $363,473 m^3$  ( $T_c=500$  años) que aporta la quebrada El Chorro Blanco.

Por lo tanto, los diques de gaviones resultan una alternativa de control de flujos de detritos efectiva para mitigar las consecuencias del fenómeno.

c) Volumen retenido por el dique de gavión en la Quebrada Santa Filomena

A continuación, se mostrará la sección donde se ubicaría el dique, para luego determinar la capacidad de retención del mismo, y se comparó con el volumen total de detritos que aporta la Quebrada el Santa Filomena.

Sección 9

En la figura N° 79 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 9. Teniendo en cuenta el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se realizó el cálculo de la capacidad de retención de detritos del dique, el cual fue de  $127,600 m^3$ .

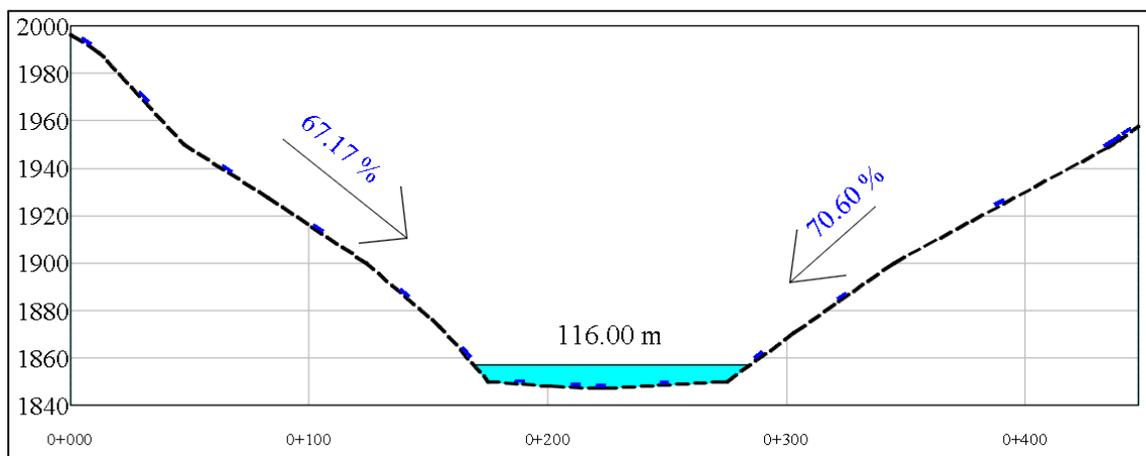


Figura N° 79. Sección del cauce para el Dique 9

Fuente: Elaboración propia

$$B = \text{Ancho del Canal} = 116.00 \text{ m}$$

$$H = \text{Altura del Dique} = 10.00 \text{ m}$$

$$L \text{ Longitud de relleno} = 220 \text{ m}$$

$$V_{r_{D9}} = \text{Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 9} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L$$

$$V_{r_{D9}} = \frac{1}{2} \times 116 \times 10 \times 220 = 127,600 m^3$$

c.1) Volumen Total retenido por el dique de gavión en la quebrada Santa Filomena

El total de volumen retenido por el dique de gavión en la quebrada Santa Filomena es de  $127,600 \text{ m}^3$ , el cual es mayor al volumen de detritos  $124,564 \text{ m}^3$  ( $T_c=500$  años) que aporta la quebrada Santa Filomena.

Por lo tanto, el dique de gavión resulta una alternativa de control de flujos de detritos efectiva para mitigar las consecuencias del fenómeno.

d) Volumen retenido por el dique de gavión en la quebrada Del Tingo

En la figura N° 80 se muestra la sección del cauce para la ubicación del dique de gavión N° 8. Teniendo en cuenta el ancho del canal, la longitud del relleno y un dique de 10 m de altura, se calculó la capacidad de retención de detritos del dique, la cual es de  $70,463 \text{ m}^3$ .

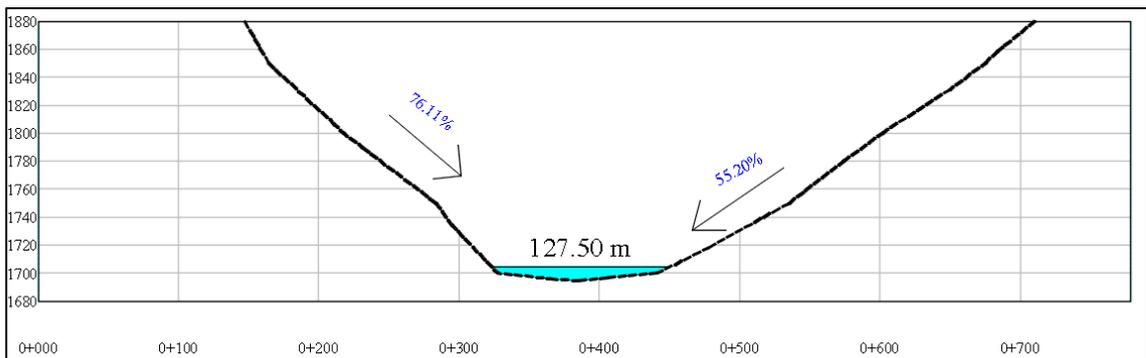


Figura N° 80. Sección del cauce para el Dique 8  
Fuente: Elaboración propia

$B = \text{Ancho del Canal} = 127.50 \text{ m}$

$H = \text{Altura del Dique} = 10.00 \text{ m}$

$\text{Longitud de relleno} = 110.53 \text{ m}$

$V_{r_{D8}} = \text{Capacidad de retención de materiales rocoso del dique 8} = \frac{1}{2} \times B \times H \times L$

$$V_{r_{D8}} = \frac{1}{2} \times 127.50 \times 10.00 \times 110.53 = 70,463 \text{ m}^3$$

#### d.1) Volumen retenido por los 9 diques de gavión

El cálculo del total de volumen retenido calculado por los 9 diques de gavión es la suma de cada uno de los volúmenes.

$$V_{TOTAL} = 62,490 + 82,852 + 72,225 + 108,927 + 95,183 + 139,020 + 130,958 + 127,600 + 70,463$$

$$V_{TOTAL} = 889,717 \text{ m}^3.$$

El volumen total retenido es mayor a la suma de los volúmenes máximos ( $T_c = 500$  años) aportados por la quebrada El Chorro Blanco, el Oso y Santa Filomena ( $793,987 \text{ m}^3$ ).

Por lo tanto, los diques de gaviones resultan una alternativa de control de flujos de detritos efectiva para mitigar las consecuencias del fenómeno.

#### 6.2.3 Otras alternativas para el control de flujo de detritos a considerar

##### a) Barreras flexibles

Las barreras flexibles están constituidas por un tramado modular de redes de acero (ver figura N° 81), que va anclado al fondo y a los taludes en la sección transversal del cauce. Es una solución muy usada por no requerir obras complementarias, por ser permeables, no necesitan cimentación, al ser flexibles resisten a los asentamientos diferenciales con lo que se controla el fenómeno de socavación y erosión (ver figura N° 82)

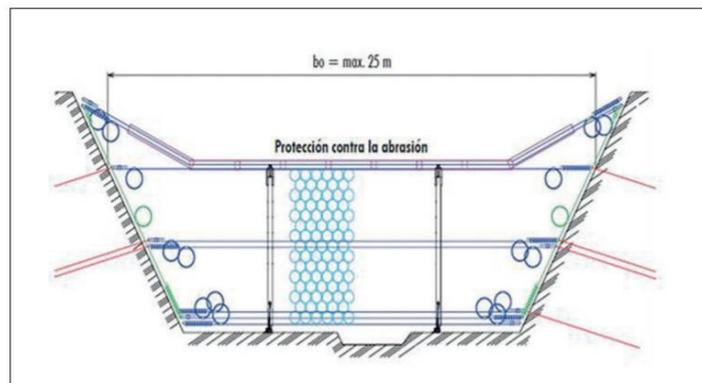


Figura N° 81. Sección típica de una barrera flexible.  
Fuente: Página web Geobrugg



Figura N° 82. Barrera Flexible contra flujo de detritos  
Fuente: Página web Trumer

Este tipo de estructura es capaz de absorber fuerzas de impacto de flujos y no generar presiones de agua a largo plazo. Con respecto a otras estructuras requiere de menos tiempo de construcción ya que son instaladas con poca cantidad de mano de obra y materiales, permitiendo un ahorro de costos del 30 al 50 % con respecto a obras de concreto, cada barrera puede retener volúmenes hasta de  $1,000 m^3$  con resistencia elevada a cargas estáticas y dinámicas.

Es una alternativa de solución muy usada en los últimos años sin embargo para el caso de la quebrada El tingo donde se deben retener detritos en la zona de erosión no es posible usarla por tener cauces de más 50 m de ancho.

#### b) Presa de contención cerrada

Son estructuras de contención, construidas generalmente en la parte alta de las montañas, deben tener la altura necesaria para que signifique un verdadero obstáculo para el avance del flujo. Su función es acumular los sedimentos evitando de esta manera la acumulación de flujos de detritos en la zona aguas abajo, también son usadas como presas complementarias de presas abiertas. Estas estructuras no permiten el paso de sedimentos con granulometría fina ni media por lo que se recomienda hacer estudios previos sobre la erosión y flujo de detritos aguas arriba y también estudios sobre la re-deposición de los sedimentos aguas abajo.

Esta clase de presas suelen colmarse velozmente durante los eventos de flujos normales, por lo que requieren mantenimiento frecuente de modo que frente a la ocurrencia de flujo de detritos de mayor potencia no se encuentren colmatadas de sedimentos y puedan cumplir con su función reguladora de potencia. Por lo tanto, podemos decir que es una solución poco sostenible con el tiempo para quebradas similares a la quebrada en estudio por el alto costo de mantenimiento (ver figura N° 83).



Figura N° 83. Captación de Hayagawa, Japón  
Fuente: International SABO Network

#### c) Presa de contención abierta

Estas presas comprenden una estructura de concreto que conecta ambos márgenes del cauce que en las partes extremas tienen la altura del cauce y se complementa con barreras parciales, también de concreto, que son de la misma altura del cauce y que están ubicadas dentro del mismo, lo que permite el paso del agua entre las barreras (ver figura N° 84)



Figura N° 84. SABO dam Abierta Boyong River, Indonesia.  
Fuente: International SABO Network

Este tipo de estructuras permiten el flujo normal de agua y sedimentos, pero cuando se presentan flujos de detritos la parte frontal de la presa retendrá los detritos. Después del evento y en eventos de crecientes menores los sedimentos son llevados aguas abajo, de modo que no afecta a las comunidades e infraestructuras. Es recomendable hacer un mantenimiento de la presa pasado el evento.

#### d) Presa permeable

Son similares a las presas abiertas, la diferencia es que en este caso las barreras que van dentro del cauce son barreras metálicas abiertas. Dicha estructura metálica está compuesta por tubos de acero entre 0.5 y 1.0 m de diámetro. Estas presas tienen una altura alrededor de 10 m. Para retener los detritos la abertura de las celdas suele ser 1.5 veces o menor al del diámetro de grano que se encuentra en la parte de enfrente del flujo de detritos.

Este tipo de presa es la que tiene menor impacto en la dinámica fluvial y en los ecosistemas, ya que en condiciones normales de flujo retiene menos sedimentos (ver figura N° 85).



Figura N° 85. Presas permeables. Uesugi-tani river, Japón.  
Fuente: SABO Division, 2006.

Como se observa, la presa permeable y la presa abierta funcionan en forma similar la diferencia es que en condiciones normales, la primera retiene menos sedimentos. Otra diferencia es como señala Misuyama la dificultad está en la limpieza después de los eventos de flujos de detritos, pues contrario a lo que parecería la presa permeable es más difícil de limpiar por lo complicado de su configuración. (Misuyama, 2010).

Existen otros métodos para controlar el flujo de detritos como el tratamiento de escorrentía superficial, la formación de bancadas de laderas, pero estos son difíciles de ejecutar para casos como la quebrada en estudio por tener una geografía con fuertes pendientes.

## CONCLUSIONES

- 1) El modelo numérico propuesto parte de la aplicación conjunta de varias herramientas como son el Civil 3D, ArcGis, Hec-HMS con las cuales se ha analizado cada una de las variables topográficas, geológicas, geomorfológicas e hidrológicas en la Quebrada El Tingo que influyen en el flujo de detritos, y cuyos resultados han sido el input considerado en el FLO-2D aplicado en la metodología para la evaluación del riesgo de desastres por flujos huaycos, con lo que es posible conocer el comportamiento de este fenómeno y las áreas más vulnerables para determinados periodos de retorno.
- 2) El modelo demuestra que el cono de deyección de la Quebrada El Tingo, donde se ubica el centro poblado de Vijus, resulta ser una zona de riesgo máximo, ya que los flujos de detritos pueden alcanzar alturas de aproximadamente 3.8 m 7.7 m y 4.5 m para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente
- 3) Aplicando el modelo numérico se puede predecir que las velocidades máximas de flujos de detritos en la zona de deyección de la Quebrada El Tingo son de 2.7, 2.9, 3.3 m/s para los períodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente, por lo que se deben tomar medidas para mitigar los daños que se pudieran ocasionar.
- 4) Como parte del modelo propuesto se utiliza el método de distribución Log Normal dos parámetros con el cual se obtienen caudales máximos de 232.5 m<sup>3</sup>/s, 263.7 m<sup>3</sup>/s y 353.5 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años utilizando 32 años históricos de precipitaciones, además de tener un ajuste de bondad aceptable mediante el método de Kolmogorov – Smirnov con un nivel de significancia de 5%.
- 5) La información hidrológica y meteorológica considera 32 años históricos de precipitaciones, tomados de la estación de Huamachuco, la cual es una estación confiable y cercana a la zona de estudio, lo que corrobora la exactitud de los resultados obtenidos.

- 6) Los estimados de los caudales máximos de flujos de barro y para flujos de huayco (para distintos periodos de retorno), obtenidos por la fórmula Takahashi en las secciones de salida de las quebradas, son razonables y congruentes con las condiciones geomorfológicas de las cuencas de las quebradas.
- 7) Para analizar las posibles alternativas de control del flujo de detritos se ha considerado la intensidad de lluvia, dado que constituye el principal componente desestabilizador de los esfuerzos de cedencia, sobre todo en las zonas de desprendimiento y de transporte en la quebrada El Tingo.
- 8) Las estructuras de Diques de Gavión constituyen la mejor alternativa de control del flujo de detritos para el caso de la Quebrada El Tingo por ser estructuras permeables, permanentes y flexibles, que soportan grandes cargas pero sin perder su resistencia, la permeabilidad de su estructura permite la circulación relativa del agua, disipando la energía, lo que disminuye los empujes hidrostáticos; a su vez resulta ser más económica que otras alternativas, ya que usan material de la zona para su construcción.
- 9) Por las características de los Diques de Gaviones antes mencionadas hemos elegido esta alternativa para el control del flujo de detritos en la cuenca El Tingo, colocando 9 hipotéticos diques en las zonas de erosión y transporte de la cuenca, con la finalidad de retener grandes volúmenes de detritos y disminuir la velocidad y fuerza de impacto, para lograr mitigar los efectos del fenómeno. Se colocaron 4 diques de gavión de 10 m de altura en la quebrada El Oso, 3 diques de gavión de 10 m de altura en la quebrada Chorro Blanco, 1 dique de gavión de 10 m de altura en la quebrada Filomena, 1 dique de gavión de 10 m de altura en la quebrada El Tingo, la retención total de volumen de detritos de los 9 diques es igual a 889,717  $m^3$  cantidad que supera el volumen de detritos de 366,456  $m^3$  para un tiempo de retorno de 500 años estimado mediante la modelación numérica FLO 2D y el volumen teórico estimado mediante las fórmulas propuestas por Takahashi de 793,987  $m^3$  para un periodo de retorno de 500 años, lo que nos indica que la alternativa de diques de gavión es adecuada para la quebrada El Tingo y que esta cumple con su finalidad.

## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda una cartografía de la zona de estudio a escala 1:5000 con el fin de conseguir resultados con un grado de confiabilidad mucho mayor. Esta escala en la cartografía nos permitirá una mayor precisión de las características geográficas y topográficas de la Quebrada El Tingo, especialmente en la zona del cono deyectivo.
- 2) Calibración del modelo de flujo de detritos con datos de campo de estaciones de aforo y levantamientos topográficos más precisos como tirantes, socavaciones, deposición de estratos y granulometría presente que nos permita afinar el modelo y obtener mayor confiabilidad.
- 3) Los parámetros hallados en este estudio no son necesariamente aplicables a otras cuencas vecinas, por lo que estos deben ser determinados para cada cuenca y para cada depósito encontrado dentro de la cuenca de estudio; inclusive los depósitos de detritos pueden variar dentro de la misma cuenca.
- 4) Tomar en consideración la información recopilada para la calibración de futuros modelos que se puedan crear y que logren manejar mayor número de variables.
- 5) Efectuar el levantamiento topográfico de detalle de la zona donde se construirán los diques de gavión.
- 6) Realizar un mapa geológico de detalle en la zona de los diques de gavión.
- 7) Instalar estaciones pluviométricas mínimo tres en las cabeceras de la quebrada Chorro Blanco para tener los datos que ayudarán a mejor la previsión de los caudales.
- 8) Para un mejor diseño estructural se recomienda tener la información de los parámetros geotécnicos del área donde se construirán los diques (parámetros de resistencia).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2015). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de transportes y comunicaciones*. Recuperado de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/resolucion\\_directoral\\_no\\_08-2015-ana-dephm\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/resolucion_directoral_no_08-2015-ana-dephm_0.pdf)
- Antoli, J. (2016). *Aplicación Numérica para el Flujo de escombros en la Quebrada el Carmen-corredor vial interoceánico, Perú*.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Mapa de ubicación de poblaciones vulnerables por inundación de la quebrada Del Tingo, distrito Pataz - La Libertad*. CEPRENED, Quebrada Del Tingo, Pataz, La Libertad. Recuperado de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/5572>
- Castillo, L. (2006). *Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodos en una quebrada en el Perú*.
- Cenepred. (2019). *Centro Nacional de Estimación, Prevención de Desastres "Promoviendo Cultura de Prevención"*.
- Chien, N. y Wan, Z. (1999). *Mechanics of Sediment Transport*". ASCE Reston Virginia.
- Collyer, A. & Clegg, D. (1988). Rheological Measurement. *Elsevier Applied Science*, 648, 29.
- Du, R, & Shucheng, Z. (1980). Characteristics of glacial debris flows in South – eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Proc. Of Debris Flow, Chengdu Institute of Geography, Academia Sinica*, 27-33.
- Escobar, P., & Poma, V. (2018). *Analisis de Amenaza por el transporte de detritos Aplicado a la Quebrada de Tantara del Distrito De Tantara, Provincia de Castrovirreyna de la Región de Huancavelica*. Huancavelica, Peru: Universidad Nacional de Huancavelica.

- Fidel et al. (2006). Estudios de riesgos geológicos del Perú. Franja N° 4. *INGEMMET, Boletín, Serie, C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*, 29, 383.
- García, R., López, J., Noya, M., Bello, M., & González, N. (2003). Hazard mapping for debris flow events in the alluvial fans of northern Venezuela. *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, 30, 589-598.
- Geobrugg. (2009). *Barrera de protección contra corrientes de detritos UX: La solución efectiva para torrentes anchos*. Recuperado de <https://www.geobrugg.com/es/Barrera-de-proteccion-contra-corrientes-de-detritos-UX-29960,7859.html>
- Geocatmin. (2015). *Descarga de Mapas Geológicos*. Recuperado de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=a4cc15ff738144e0b99474feeb59cad>
- Gribbin, J. (2007). *Hydraulics and Hydrology. United States of America: Delmar*.
- Hampton, M. (1972). The role of subaqueous sediment flow in the generation of turbidity currents. *J. Sediment. Petrol*, 42, 775-793.
- Highland, E. y Brown, Ch. (1997). *Debris-flow hazards in the United States. US Geological Survey Fact Sheet*. UU.EE.
- Hungr, O., & Evans, S. (2001). *A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. Environmental & Engineering Geoscience*.
- Imran, J., Parker, G., Locat, J., & Lee, H. (2001). 1D numerical model of muddy subaqueous and subaerial debris flows. *Journal of hydraulic engineering*, 959-968.
- Ingemmet. (2007). *Informe Técnico: Estudio de Amenazas Geológicas en las cuencas Tingo y Hualanga. Dirección de Geología Ambiental, Ingemmet*.

- Jackson, L. (1987). *Debris flow hazard in the Canadian Rocky Mountains*. Ottawa. Canadian.
- Jaime, R. Spalletti, P. y Brea, J. (1999). *Simulación de flujo de barro: caso de estudio del Río Iruya*.
- Johnson, A. y Rodine, A. (1984). *Debris flow in slope instability*. Prior DB.
- Karamouz, M., Nazif, S., & Falahi, M. (2012). *Hydrology and Hydroclimatology*.
- Larcher, M. y Armanini, A. (2000). Design Criteria of Slit Check Dams and Downstream Channels for Debris Flows. International Workshop on the Debris Flow Disaster.
- López, A. (2008). *Estudio Hidráulico del Río Coatán en la zona de Tapachula*. Chiapas, México.
- Martínez, V. (1999). Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas. 61.
- Montajo, J. (2006). *Estudio de probabilidad de falla e implementación de alternativas de solución al deslizamiento de taludes andinos*. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.
- MTC. (2019). *Manual de hidrología, Hidráulica y drenaje*. Recuperado de [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- O'Brien, J. y Julien, P. (1993). Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of hydraulic engineering*, 244-261.
- Osanai, N., Mizuno, H., y Misuyama, T. (2010). Design Standard of Control Structures Against Debris Flows in Japan. *Journal of Disaster Research*, 5.
- Oviedo, M. (2009). *Geología, geodinámica y simulación de flujos 2D en la Quebrada de Saphy*. Cusco, Perú.

- Pedriel, C. (2016). *Erosión de suelo*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/CarlaXimenaPedrielNa/erosin-de-suelo>
- Pérez, J. y Gardey, A. (2011). *Definición de cuenca*. Recuperado de Definicion.de : <https://definicion.de/cuenca/>
- Pierson, T. (1986). Flow behavior of channelized debris flows. En A. e. Abrahams, *Hillslope Processes* (págs. 269-296). Washington: Mount St. Helens.
- Portilla, V. & Chacon , I. (2017). *Diseño y simulación del comportamiento hidraulico de muros de contención y gaviones en el cauce del rio tingo en el anexo vijus - pataz*. Trujillo - Perú.
- Quisca, S. y Ring, D. (2014). *Avances en la predicción de huaicos mediante modelos numéricos*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/224314550/Prevencion-de-Huaicos-Mediante-Modelos-Numericos>
- Ramírez, M. (2003). *Hidrología Aplicada*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.
- Real Academia Española . (2019). *Quebrada*. Recuperado de <https://dle.rae.es/quebrada?m=>
- Rut , P., Spalletti, D. y Brea, J. (1999). *Simulación de flujo de barro: Caso De Estudio Del Río Iruya*.
- SABO Division, Public Works Bureau, Okayama Prefecture. (2006). Remodeling of SABO Dam by Installing Slits. *Journal of Japan SABO Association*, 169, 17-19.
- Salgado, G. y Bonola, Y. (2012). *Modelación numérica para el análisis de deslizamientos y flujos de lodo y escombros en cuencas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Cuernavaca, Morelos, México, , Jiutepec, Morelos, México.

- Segerer, C. y Villodas, R. (2006). *Hidrología I*. Universidad Nacional de Cuyo ,  
Facultad de Ingeniería Civil. Recuperado de <http://www.conosur-rirh.net/ADVF/documentos/hidro1.pdf>
- Senamhi. (2016). *Seminario: Investigación en Recursos Hídricos en el marco del Día Mundial del Agua*. Recuperado de  
<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=prensa&n=347>
- Sosio, R., Crosta, G. & Frattini, P. (2006). Field observations, rheological testing and numerical modelling of a debris- flow event. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Suárez, J. (2001). *Control y Erosión en zonas Tropicales Bucaramanga*. Colombia: Instituto de Inverstigaciones sobre Erosión y Deslizamientos- Ingeniería de Suelos.
- Takahashi, T. (1991). *Debris flow. International Association for Hydraulic Research*. Rotterdam: Balkema A.
- Takahashi, T. (2007). *Debris Flow: Mechanics Prediction and Countermeasures*. London, United Kingdom: Taylor & Fracis Group.
- Ucha, F. (2010). *Caracterización* . Recuperado de Definición ABC :  
<https://www.definicionabc.com/general/caracterizacion.php>
- Usace. (2000). *HEC-Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual*. Davis, California: Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: Editorial Villón; Molina.
- Wan, X. & Ning, Ch. (1989). Turbulence Characteristics of Sedimentladen flow. *J. of Hydraulic Engineering. ASCE*, 17, 781-800.
- XingKui, W., & Chien, N. (1989). *Turbulence Characteristics of Sedimentladen flow. J. of Hydraulic Engineering. ASCE*.

Xu, D. y Qinghua, F. (1979). Table of roughness of debris flow channel. *Abstract of papers of first National symposium on Debris flow*, 51-52.

## **ANEXOS**

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Nombre de Tesis: Propuesta de un Modelo Numérico y alternativas de solución para el flujo de detritos Quebrada El Tingo-Pataz-Perú

Integrantes: Ordoñez Castro De Gabrielli, Johanny Rosario

Ruiz Zelada, Abel Buenaventura

FORMULACION DEL PROBLEMA	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA	METODOLOGIA
<b>GENERAL</b>	¿Mediante una propuesta de modelo numérico es posible conocer el comportamiento del flujo de detritos en la Quebrada El Tingo a fin de analizar las alternativas para el control del flujo y mitigar las consecuencias de la ocurrencia de este fenómeno?	Proponer un modelo numérico para el flujo de detritos en la quebrada El Tingo que permita conocer el comportamiento y las consecuencias de la ocurrencia del fenómeno para luego proponer alternativas de control del flujo de detritos a fin de mitigar sus consecuencias	El modelo numérico propuesto para el flujo de detritos en la Quebrada El Tingo permitirá conocer el comportamiento de este fenómeno para luego poder proponer alternativas de control del flujo de detritos a fin de mitigar sus consecuencias.	Variable independiente: Geología de la zona Precipitación de la zona	Peso específico Pendiente Factor de Erosionabilidad del suelo Precipitación máxima anual Intensidad	<u>Tipo de Investigación:</u> <b>Descriptiva</b> , porque se busca describir mediante un modelo numérico el comportamiento del flujo de los detritos de la Quebrada El Tingo-Pataz y las posibles alternativas para el control del flujo.  <b>Correlacional</b> , estudia las relaciones entre las variables dependientes e independientes.	<u>Población:</u> La población es todas las quebradas del Departamento de La Libertad.
<b>ESPECÍFICO</b>	¿De qué manera es posible conocer información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo?	Recopilar y validar información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo.	La información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica de la Quebrada El Tingo permitirá conocer los volúmenes de sedimentos transportados en su flujo de detritos.	Variable dependiente: Flujo de Detritos	Volumen de Detritos Caudal Sólido Caudal Líquido Caudal Huayco Velocidad Tirantes alcanzados Fuerza de impacto Precipitación Intensidad Tiempo de Retorno Tiempo de Concentración Nivel de Amenaza	<u>Método de la Investigación:</u> <b>Deductiva</b> , a través de observaciones efectuadas se plantea un problema  <u>Diseño de la Investigación:</u> No experimental	<u>Muestra:</u> Es la Quebrada El Tingo en el distrito de Pataz, departamento de La Libertad.

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Nombre de Tesis: Propuesta de un Modelo Numérico y alternativas de solución para el flujo de detritos Quebrada El Tingo-Pataz-Perú

Integrantes: Ordoñez Castro De Gabrielli, Johanny Rosario

Ruiz Zelada, Abel Buenaventura

Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA			
<b>Variable independiente: Geología de la zona</b>	D1. Tipos de Suelo	Peso específico	m/s			
	D2. Tasa de Erosión	Pendiente	%			
<b>Precipitación de la zona</b>	D3. Precipitación Máxima	Factor de Erosionabilidad del suelo	J.m <sup>-2</sup> cm.h <sup>-1</sup>			
		Precipitación máxima anual	Mm			
<b>Variable dependiente: Flujo de Detritos</b>	D1. Tipos de Caudal	Intensidad	mm/h			
		Volumen de Detritos	m <sup>3</sup>			
		Caudal Sólido	m <sup>3</sup> /s			
		Caudal Líquido	m <sup>3</sup> /s			
		Caudal Huayco	m <sup>3</sup> /s			
		Velocidad	m/s			
		Tiranes alcanzados	m			
		Fuerza de impacto	N/m <sup>2</sup>			
		Precipitación	mm			
		Intensidad	mm/h			
D2. Velocidades máximas del Flujo	D3. Alturas máximas del flujo	Tiempo de retorno	años			
		Tiempo de Concentración	s			
		Nivel de Amenaza	0 Bajo	1 Intermedio	2 Alto	3 Muy Alto
D4. Fuerzas de Impacto máximas del flujo	D5. Mapa de Amenazas					

