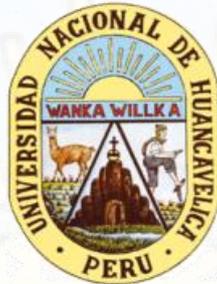


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)



**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - HUANCAMELICA**

TESIS

**“ANÁLISIS DE AMENAZA POR EL TRANSPORTE DE DETRITOS
APLICADO A LA QUEBRADA DE TANTARÁ DEL DISTRITO DE
TANTARÁ, PROVINCIA DE CASTROVIRREYNA DE LA REGIÓN DE
HUANCAMELICA”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA SANEAMIENTO Y MEDIO AMBIENTE

DISCIPLINA:

INGENIERÍA CIVIL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

Bach. ESCOBAR SOTO, PERCY

Bach. POMA YARANGA, VIKER

HUANCAMELICA - PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 29 días del mes de octubre del año 2018, a horas 5:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: M.Sc. Jorge Luis HUERE PEÑA (PRESIDENTE), Dr. Elmer Rene CHÁVEZ ARAUJO (SECRETARIO), M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (VOCAL), designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 301-2015-FCI-UNH de fecha 09 de julio del 2015 y ratificados con Resolución de Decano N° 144-2018-FCI-UNH de fecha 22 de octubre del 2018, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "ANÁLISIS DE AMENAZA POR EL TRANSPORTE DE DETRITOS APLICADO A LA QUEBRADA DE TANTARÁ DEL DISTRITO DE TANTARÁ, PROVINCIA DE CASTROVIRREYNA DE LA REGIÓN DE HUANCAVELICA", presentado por los Bachilleres Percy ESCOBAR SOTO y Viker POMA YARANGA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; en presencia del Ing. Carlos GASPAS PACO, Asesor y el Ing. Joel Belisario ORÉ IWANAGA del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 19:19; se invitó al público presente y los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Percy ESCOBAR SOTO

APROBADO POR ...mayoría.....

DESAPROBADO

Viker POMA YARANGA

APROBADO POR ...mayoría.....

DESAPROBADO

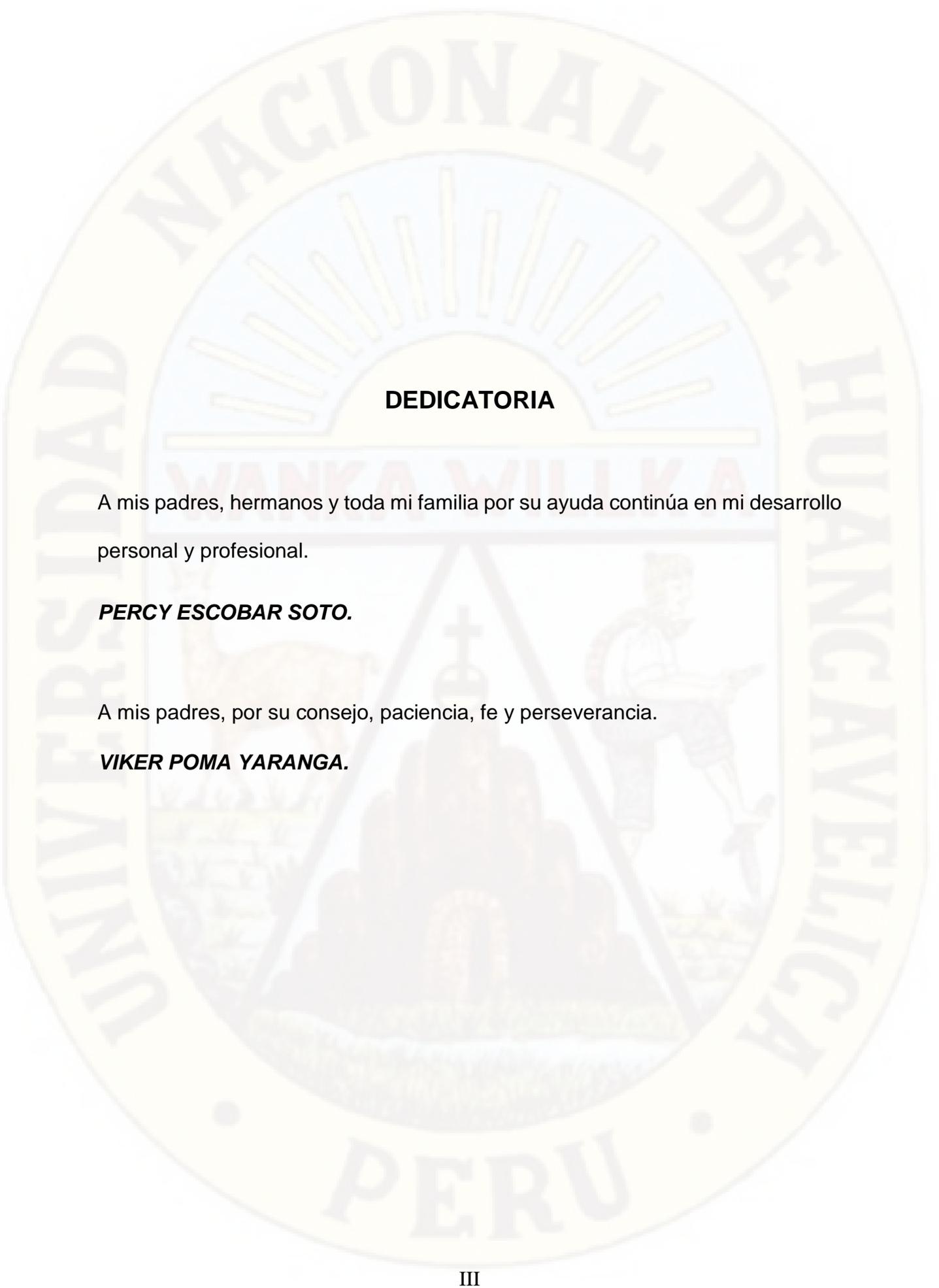
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

[Signature]
Presidente

[Signature]
Secretario

[Signature]
Vocal

[Signature]
Vº Bº Decano



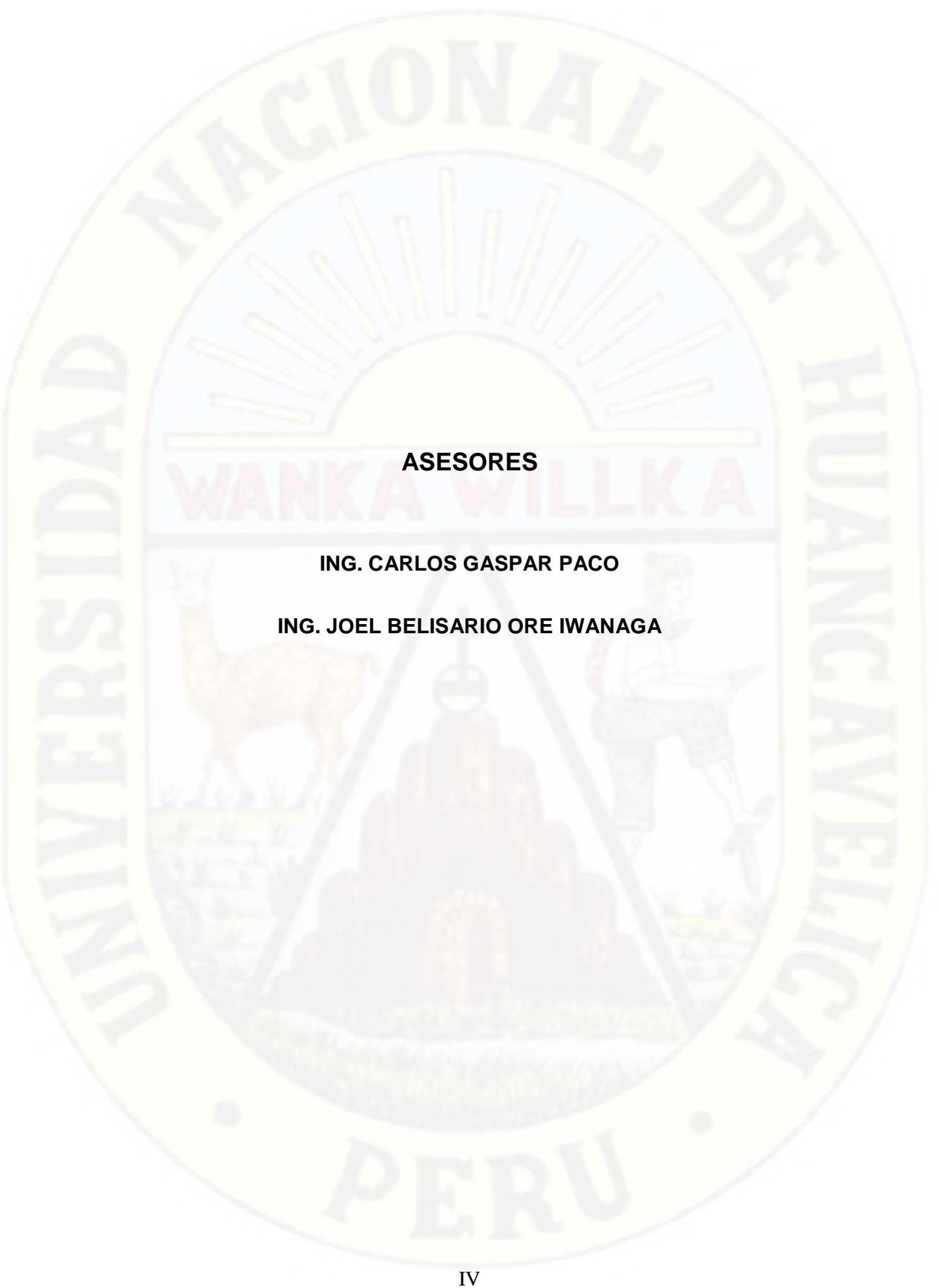
DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y toda mi familia por su ayuda continúa en mi desarrollo personal y profesional.

PERCY ESCOBAR SOTO.

A mis padres, por su consejo, paciencia, fe y perseverancia.

VIKER POMA YARANGA.



ASESORES

ING. CARLOS GASPAR PACO

ING. JOEL BELISARIO ORE IWANAGA

AGRADECIMIENTOS

Son muchas brillantes e inteligentes personas quienes han contribuido a esta tesis, y nos gustaría tomar un momento para agradecer a algunos de ellos. Primero y, ante todo, queremos dar las gracias a nuestro tutor Ing. Joel Belisario Ore Iwanaga, por sus cualidades profesionales y su carácter excelente. También agradecemos: por habernos brindado la oportunidad de compartir sus conocimientos de investigación; por tener una visión del potencial humano de la tesis de pre grado que va más allá de la formación básica recibida; por impulsar las líneas de investigación desarrolladas como de los programas de cálculo de defensas ribereñas, sobre los cuales también se apoya esta tesis; por habernos demostrado a lo largo de estos años paciencia, comprensión y ayuda incondicional.

RESUMEN

La quebrada de Tantar es una de las zonas de captación de importantes flujos de detritos en la región de Huancavelica. Su topografía compleja y el tipo de componentes de la geografía desencadenan importantes fenómenos de peligros a nivel de la tierra, en los que se han reconocido movimientos masivos, como desprendimientos de tierra, desprendimientos de rocas, flujo de escombros y erosión de la pendiente. Estos eventos afectan las carreteras, las tierras agrícolas, las viviendas generando una pérdida económica en la región. Se realizó el análisis de amenazas como consecuencia del flujo de detritos utilizando el modelo de diferencias finitas bidimensionales FLO-2D. El modelo implementado fue capaz de simular el tránsito de flujos y permitió la identificación de áreas potencialmente afectadas y el grado de amenaza de dichos fenómenos, permitiendo clasificar en zona 1, zona 2 y zona 3 de acuerdo a la peligrosidad del flujo de detritos en la quebrada de Tantar. El volumen calibrado del modelo FLO-2D fue de 161,350.0 m^3 representando un 64.54% de la reconstrucción del volumen total de flujo de detritos de 250,000.0 m^3 ; única información disponible del evento ocurrido en el año 2013. Los resultados indican que los parámetros de sensibilidad que vinculan la viscosidad dinámica y el límite elástico de la mezcla con la concentración de sedimentos tienen efectos significativos, por lo que es de importancia tener en cuenta las propiedades y características de los detritos para el modelamiento numérico. Para estudios futuros es importante considerar la instrumentación de la quebrada para tener registros de eventos que permitan realizar estudios de flujo de detritos con mayor exactitud.

Palabras clave: flujo de detritos, modelo FLO-2D, modelo digital de elevaciones, mapa de peligro.

ABSTRACT

Tantar ravine is one of the catchment areas of important debris flows in the Huancavelica region. Its complex topography and the type of geography components trigger important hazard phenomena at the earth level, in which massive movements have been recognized, such as landslides, rockfalls, debris flow and erosion of the slope. These events affect the roads, the agricultural lands, the houses generating an economic loss in the region. Hazard analysis was carried out because of detritus flow using the two-dimensional finite difference model FLO-2D. The model implemented was able to simulate debris flow and allowed the identification of potentially affected areas and the degree of hazard of these phenomena, allowing classification in zone 1, zone 2 and zone 3 according to the danger of debris flow in the Tantar ravine. The calibrated volume of the FLO-2D model was 161,350.0 m³, representing 64.54% of the reconstruction of the total debris flow volume of 250,000.0 m³; the only information available about the event occurred in 2013. The results indicate that the sensitivity parameters that link the dynamic viscosity and the elastic limit of the mixture with the concentration of sediments have significant effects, so it is important to take into account the properties and characteristics of detritus for numerical modeling. For future studies, it is important to consider the instrumentation of the Tantar ravine to have records of events that allow detritus flow studies with greater accuracy.

Keywords: debris flow, FLO-2D model, digital elevation model, hazard map

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
ASESORES	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
.ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos	3
1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES	5
2.1.1 Internacional	5
2.1.2 Nacional	7

2.1.3	Regional	8
2.2	BASES TEÓRICAS	9
2.2.1	Precipitación	9
2.2.2	Infiltración.....	9
2.2.3	Curva hipsométrica.....	10
2.2.5	Tiempo de concentración.....	11
2.2.6	Vehículos aéreos no tripulados.....	12
2.2.8	Flujo de detritos	13
2.2.8.2	Concepto hidráulico de los flujos de detritos	15
2.2.8.3	Parámetros de resistencia al flujo laminar K.....	18
2.2.8.4	Reología	20
2.2.8.5	Modelo Reológico Cuadrático	21
2.2.8.6	Modelado de escorrentía de flujo de Detritos	21
2.2.9	Modelo dinámico de simulación utilizado.	25
2.2.9.1	Modelo Bidimensional FLO-2D.....	25
2.2.10	Mapa de amenaza o peligro	27
2.3	HIPÓTESIS	32
2.3.1	Hipótesis general.....	32
2.3.2	Hipótesis específicas	33
2.4	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	33
2.5	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.	35

2.5.1	Variable independiente	36
2.5.2	Variable dependiente	36
2.6.	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES	36
2.7	ALCANCES Y LIMITACIONES	36
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		39
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	39
3.1.1	Tipo de Investigación	39
3.1.2	Nivel de Investigación	40
3.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.3	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.4.1	Población.....	42
3.4.2	Muestra.....	42
3.4.3	Ámbito de estudio.....	42
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.5.1	Búsqueda y recopilación de información.....	43
3.5.1.1	Información disponible de eventos históricos.	45
3.5.2	Trabajo de campo.....	45
3.5.3	Trabajo en gabinete.	48
3.6	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	49
3.6.1	Delimitación de la quebrada de Tantará.....	49

3.6.2 Geomorfología de la quebrada de Tantará.....	50
3.6.2.1 Parámetros morfométricos de la quebrada.....	51
3.6.2.2 Curva Hipsométrica.....	52
3.6.2.3 Tiempo de concentración (Tc).....	53
3.6.2.4 Número de curva hidroloógico – CN.....	53
3.6.3 Caracterización Hidrológica.....	55
3.6.3.1 Caudal Líquido.....	55
3.6.3.2 Hidrograma de sólidos.....	60
3.6.4 Caracterización sedimentológica.....	61
3.6.4.1 Curva granulométrica del material aluvional.....	61
3.6.4.2 Coeficiente de rugosidad de Manning.....	62
3.6.4.3 Concentración volumétrica (Cv).....	63
3.6.5 Modelamiento de debris flow en la quebrada de Tantará.....	63
3.6.5.1 Modelamiento de debris flow con FLO-2D.....	64
3.6.5.1.1 Información Topográfica.....	64
3.6.5.1.2 Implementación del modelo dinámico.....	64
3.6.5.2 Calibración del modelo computacional FLO-2D (DF).....	65
3.6.5.2.1 Caudal líquido – sólido.....	66
3.6.5.2.2 Fotografías de campo.....	66
3.6.5.3 Diagrama de flujo para la simulación de flujo de detritos.....	66
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	69

4.1	PRESENTACIÓN DE DATOS	70
4.1.1	Trabajo de campo.....	70
4.1.2	Resultados de FLO-2D.....	73
4.1.3	Resultados de laboratorio.....	72
4.2	ANÁLISIS DE DATOS	79
4.2.1	Sensibilidad a la concentración de sedimentos.....	79
4.2.2	Sensibilidad al N de Manning (Coeficiente de fricción).....	81
4.2.3	Sensibilidad al Coeficiente de Viscosidad y Esfuerzo de Cedencia.....	82
	CONCLUSIONES	84
	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva hipsométrica de cuencas.....	11
Figura 2. Diagrama de flujo de trabajo de procesamiento de datos.	13
Figura 3. Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St.Helens, Washington. 14	
Figura 4. Viscosidad dinámica de muestras de flujo de lodo versus concentración de sedimentos.	18
Figura 5. Esfuerzo de cadencia de muestras de flujos de lodo versus concentración de sedimentos.	19
Figura 6. Resumen de los enfoques de predicción de Zonas de deposición.....	22
Figura 7. Discretización de superficie de flujo.....	27
Figura 8. Niveles de peligro de inundación basados en la frecuencia e intensidad de inundación.	28
Figura 9. Intensidades de inundación y flujo de lodo basadas en profundidades y velocidades de flujo.	30
Figura 10. Localización del Distrito de Tantará, Castrovirreyna en la región de Huancavelica.	43
Figura 11. Gráfica de flujo de la metodología empleada en el estudio. Elaboración propia.	44
Figura 12. Datos tomados de la observación en campo sobre los parámetros del flujo de detritos.	47
Figura 13. Mediciones de características del flujo de detritos.	48
Figura 14. Testimonios sobre el flujo de detritos ocurrido en enero del año 2013	49
Figura 15. Área investigada en el trabajo de campo de julio-diciembre 2014.....	50

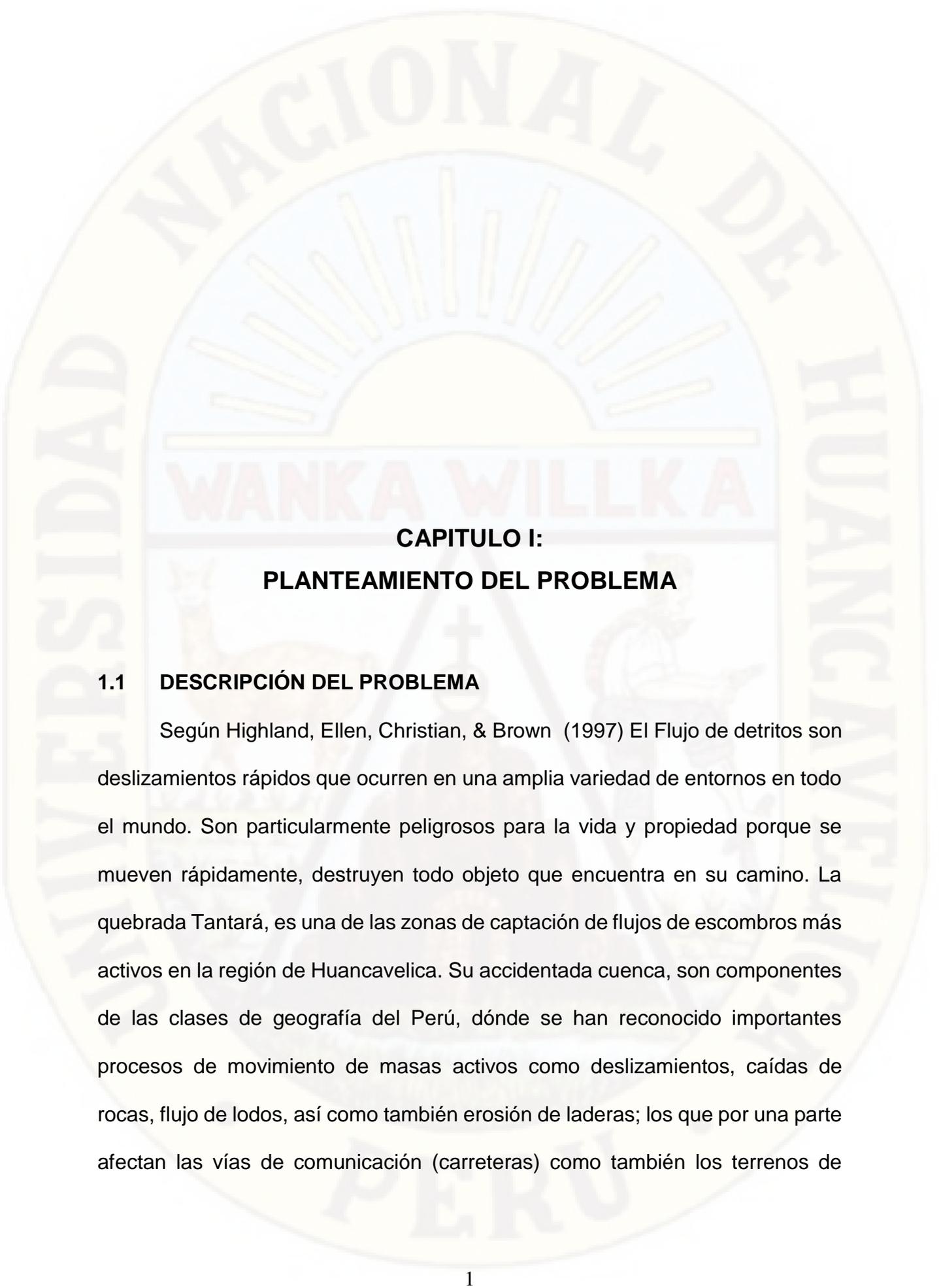
Figura 16. Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes de la quebrada	52
Figura 17. Curva I-D-F mediante el estudio hidrológico del Perú IILA SENAMHI UNI para la quebrada Tantará para los diferentes periodos de retorno.	56
Figura 18. Diagrama de flujo para la obtención de las caudales máximas.....	57
Figura 19. Hietograma de lluvia para un periodo de retorno $T_r = 100$ años mediante la metodología IILA SENAMHI UNI y el método de bloques alternos	59
Figura 20. Hidrograma líquido de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno en la quebrada de Tantará.	59
Figura 21. Hidrograma líquido-sólido de la quebrada Tantará para un periodo de retorno $T_r=50$ años.....	61
Figura 22. Cantos rodados depositados en el cono de deyección.....	71
Figura 23. Modelo de Elevación Digital (DTM).....	72
Figura 24. Velocidad máxima de la grilla de flujo de detritos	74
Figura 25. Profundidad máxima de la grilla de flujo de detritos.....	74
Figura 26. Fuerza de impacto de grilla de flujo de detritos.....	75
Figura 27. Mapa de Amenaza por el flujo de Detritos en la quebrada de Tantará. Para el periodo de retorno de 50 años.....	77
Figura 28. Mapa de Amenaza por el flujo de Detritos en la quebrada de Tantará. Para el periodo de retorno de 100 años.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones de sedimentos umbrales para diversos tipos de movimientos de masa.....	16
Tabla 2. Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration.	17
Tabla 3. Parámetros de resistencia al flujo laminar.....	19
Tabla 4. Definición de nivel de amenaza según García, Rodríguez y O'Brien.....	29
Tabla 5. Intensidad de la inundación.....	30
Tabla 6. Definición de la intensidad del flujo de lodo o de detritos.....	31
Tabla 7. Definición operativa de variables.....	36
Tabla 8. Tiempo de concentración Tc para la quebrada de Tantarà.....	51
Tabla 9. Tiempo de concentración Tc para la quebrada de Tantarà.....	53
Tabla 10. Tabla de resumen de grupo de suelos hidrológicos.....	54
Tabla 11. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s,.....	54
Tabla 12. Tabla de valores del hietograma de precipitación para los diferentes periodos de retorno en la quebrada de Tantarà.	58
Tabla 13. Valores del hidrograma liquido - sólido para el periodo de retorno Tr = 50 años.....	60
Tabla 14. Análisis granulométrico del material aluvional en la quebrada de Tantara. ..	62
Tabla 15. Valores de coeficiente de Manning.....	62
Tabla 16. Valores máximos de caudales líquidos y la concentración volumétrica (Cv) en la quebrada de Tantarà.	63
Tabla 17: Resumen estadístico de las propiedades físicas del suelo.....	72
Tabla 18. Resultado del análisis de sensibilidad a la concentración de sedimentos	80
Tabla 19. Resultado del análisis de sensibilidad al coeficiente de fricción.....	82

INTRODUCCIÓN

En las regiones de topografía compleja a menudo las precipitaciones inducen movimientos de masas como flujos de detritos, razón por la cual nuestro país continuamente está sometida a riesgos naturales. En enero del 2013, el pueblo de Tantará, fue arrasado por flujo de lodo y detritos poniendo en riesgo la vida humana, afectando a viviendas, terrenos de cultivo y las infraestructuras civiles (Indeci, 2013). En este trabajo se realizó la interpretación de las ecuaciones que gobiernan el flujo de detritos, a partir de cual se realizó la simulación dinámica bidimensional con el modelo FLO-2D, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (GIS) como herramienta para la generación de Modelos Digitales de Terreno, obtenidos a partir del vuelo UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) de alta resolución. De la simulación se obtuvo el grado de amenaza frente a la ocurrencia del flujo de detritos en la quebrada de Tantará en los diferentes escenarios de ocurrencia, finalmente obteniendo los mapas de amenaza según el grado de peligrosidad determinado por Federal Emergency Management Agency (FEMA). Los mapas de peligrosidad precisos que proporcionan una representación visual de la dimensión anticipada e intensidad del riesgo de inundación proporcionar información esencial para los objetivos del trabajo. En la modelación numérica el principal objetivo es entender el comportamiento la dinámica del fenómeno desde la iniciación hasta la deposición.

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a large, circular emblem in the background. It features a sun with rays rising over a horizon line, with the text 'WANKA WILLKA' below it. The outer ring of the emblem contains the words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA' and 'PERU' at the bottom.

CAPITULO I:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según Highland, Ellen, Christian, & Brown (1997) El Flujo de detritos son deslizamientos rápidos que ocurren en una amplia variedad de entornos en todo el mundo. Son particularmente peligrosos para la vida y propiedad porque se mueven rápidamente, destruyen todo objeto que encuentra en su camino. La quebrada Tantará, es una de las zonas de captación de flujos de escombros más activos en la región de Huancavelica. Su accidentada cuenca, son componentes de las clases de geografía del Perú, dónde se han reconocido importantes procesos de movimiento de masas activos como deslizamientos, caídas de rocas, flujo de lodos, así como también erosión de laderas; los que por una parte afectan las vías de comunicación (carreteras) como también los terrenos de

cultivo y por otra aportan gran cantidad de material detrítico a la quebrada, lo que condiciona la ocurrencia del tipo de flujos detríticos (debris flow).

La quebrada Tantará, por sus características geológicas y geográficas está expuesta a diversos fenómenos climatológicos, principalmente precipitaciones pluviales, las cuales se incrementan en los meses de diciembre a marzo, este incremento de las precipitaciones son factores que desencadenan los flujos de detritos, es así en enero del 2013, la zona de Tantará fue afectado grandemente por el fenómeno de deslizamiento de masas generando daños significantes en la población, afectando a las viviendas, inundando los terrenos de cultivo y destruyendo las infraestructuras viales.

La interpretación del comportamiento dinámico del flujo de detritos y la simulación numérica bidimensional permite identificar las zonas de alto riesgo frente a fenómenos de movimientos de masa rápidos. De esta manera se obtiene la zonificación de acuerdo al grado de riesgos de inundación en la zona de la quebrada de Tantará para contrarrestar los daños que pudieran causar en un futuro suceso.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el grado de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada de Tantará a partir de simulación dinámica bidimensional y considerando los parámetros de análisis de FEMA?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuál es la incidencia de la concentración volumétrica en el volumen de salida de flujo de detritos?
2. ¿Cómo es la variación de la velocidad de flujo de detritos al incremento de la concentración volumétrica?
3. ¿Cómo es el comportamiento de la profundidad del flujo al aumento del valor del n de Manning?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar el grado de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada de Tantará a partir de simulación dinámica bidimensional y considerando los parámetros de análisis de FEMA.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Analizar la incidencia de la concentración volumétrica en el volumen de salida de flujo de detritos.
2. Estudiar la variación de la velocidad de flujo de detritos al incremento de la concentración volumétrica.
3. Examinar el comportamiento de la profundidad del flujo al aumento del valor del n de Manning.

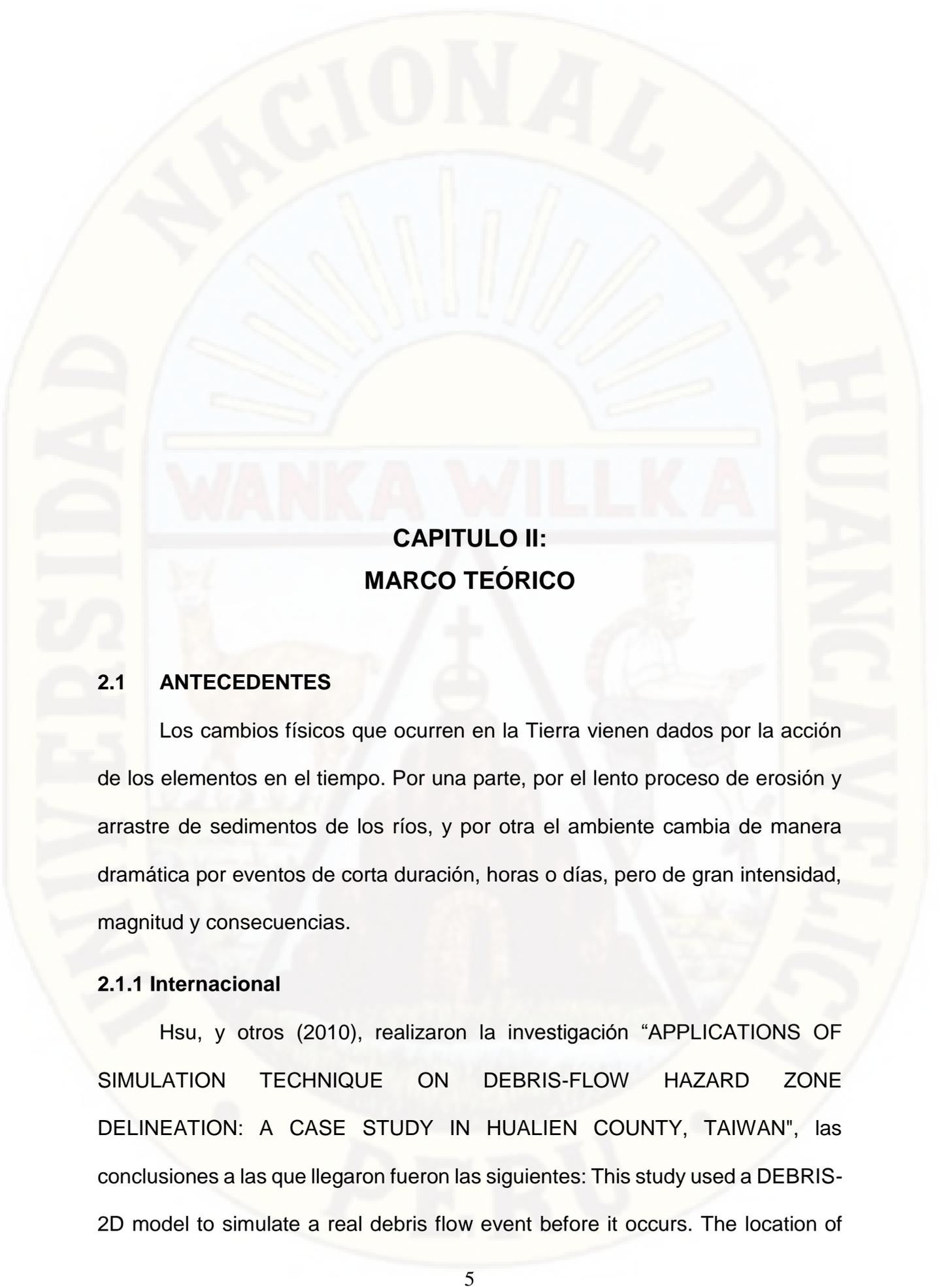
1.4 JUSTIFICACIÓN

Las razones que motivaron la realización de este trabajo se fundamentan sobre el flujo de lodos y escombros ocurrido el día 09 de enero del 2013 a consecuencia de las precipitaciones extraordinarias en la quebrada de Tantará, según Peru 21 (2013) se tuvo 30 viviendas afectadas, causando el colapso de

03 viviendas, 07 inhabitable, arrasando 05 hectáreas de terrenos agrícolas y destruyendo las infraestructuras de riego Chuymac- Pacchacc, afectando la carretera que conecta Huancavelica-Chincha, de esta manera impidiendo el tránsito normal de los vehículos y generando pérdidas económicas por el fenómeno que sucedió en el distrito de Tantará, Castrovirreyna.

En temporadas de precipitaciones pluviales, en la quebrada de Tantará, las viviendas y las infraestructuras son más vulnerables al colapso a causa de los huaycos (Debris Flow) flujo característico que causa daño a lo largo de todo su recorrido. Principalmente, en la zona baja de la quebrada, el flujo de detritos demuestra su poderío destructivo enterrando estructuras y cultivos en su camino; desviando canales de irrigación, cubriendo carreteras, y campos con una gran manta de lodo y piedras de diversos tamaños.

Los estudios y los resultados que se obtuvieron en este trabajo de tesis, sirve para mejorar los estudios del diseño de obras de protección y mitigar los efectos asociados a la ocurrencia de flujos detríticos o aluviones (debris flow), en cuencas similares en la región, facilitando la toma de decisiones con respecto a prevención y ordenamiento territorial de la ciudad, zonificando las mismas según el grado de peligrosidad que tengan, ya sea de Peligro Alto, Medio o Bajo de acuerdo a la parametrización FEMA.

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a large, circular emblem in the background. It features a sun with rays rising over a horizon line, with the text 'WANKA WILLKA' below it. The outer ring of the emblem contains the words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA'.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Los cambios físicos que ocurren en la Tierra vienen dados por la acción de los elementos en el tiempo. Por una parte, por el lento proceso de erosión y arrastre de sedimentos de los ríos, y por otra el ambiente cambia de manera dramática por eventos de corta duración, horas o días, pero de gran intensidad, magnitud y consecuencias.

2.1.1 Internacional

Hsu, y otros (2010), realizaron la investigación "APPLICATIONS OF SIMULATION TECHNIQUE ON DEBRIS-FLOW HAZARD ZONE DELINEATION: A CASE STUDY IN HUALIEN COUNTY, TAIWAN", las conclusiones a las que llegaron fueron las siguientes: This study used a DEBRIS-2D model to simulate a real debris flow event before it occurs. The location of

loose deposits was discovered through a field investigation. The total volume was obtained through hydrological methods and was verified with field estimation. The simulated result obtained in 2006 had a deposition area that was nearly consistent to the real event in 2009. The maximal depth and its location does not have a practically meaningful error between the numerical result and real event. The relative insensitivity from volume estimation is one reason for this successful prediction. Because of the limited watershed terrain, the hazard zones of debris flows were not expanded.

This study revealed that a 20 % variation in estimating the volume results in a 2.76 % variation on the final deposition front. This case study of the Daniao tribe debris flow provides support for the usability of numerical simulations in real engineering detailed designs.

Eder, y otros (2016), realizaron la investigación "SIMULACIÓN DE FLUJO DE BARROS: CASO DE ESTUDIO DEL RÍO IRUYA"; presentan la implementación del modelo bidimensional de diferencias finitas FLO-2D (O'Brien & Julien, 1988) para analizar flujos hiperconcentrados de sedimentos. Este modelo numérico permite simular flujo de fluidos no newtonianos en topografías complejas y fue aplicado 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. En esta región las lluvias intensas frecuentemente actúan como disparadoras de procesos de masa induciendo la falla de las laderas y los flujos de barros y causando efectos severos. El modelo implementado es capaz de simular el tránsito de este tipo de flujos y permite identificar las áreas potencialmente afectadas y la severidad de estos

fenómenos. El análisis de sensibilidad a los parámetros del modelo reológico indicó que los parámetros que vinculan la tensión de corte y la viscosidad de la mezcla a la concentración de sedimentos tienen efectos significativos en los resultados de la simulación y que su ajuste debería tomar en cuenta las propiedades de los barros y lodos y la composición y características del área de depósito. El modelo propuesto constituye una herramienta eficiente para simular numéricamente los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos en ríos alimentados por grandes cantidades de sedimentos y puede ser empleado para analizar la respuesta morfológica y los parámetros hidráulicos de un río ante diferentes escenarios que contemplen la variabilidad de la alimentación líquida y sólida.

2.1.2 Nacional

Valderrama, Castillo, Cardenas , Carlotto, & Fidel (2006), realizaron la investigación "MAPA DE PELIGROS Y SIMULACIÓN DEL FLUJO FLO-2D EN LA QUEBRADA RUNTUMAYO (CUSCO): ALUD Y FLUJO DE DETRITOS DEL 12 DE OCTUBRE DEL 2005"

Como consecuencia del alud, producto de un desprendimiento de hielo y rocas del nevado Verónica (5,893 msnm), ocurrido el día 12 de octubre del 2005, se realizaron los estudios geológicos y geodinámicas (Cardenas, Carlotto, Valderrama, & Castillo, 2005). Además, se construyeron los mapas de peligros basados en evaluaciones de campo y la aplicación del modelo numérico bidimensional FLO-2D de simulación digital. La micro cuenca Runtumayo está ubicada en el distrito de Ollantaytambo, provincia de Urubamba, departamento de Cusco.

Castillo Navarro & Fídel Smoll (2006), realizaron la investigación "MODELADO DE FLUJOS DE LODO USANDO FLO-2D EN LA QUEBRADA PAIHUA: IMPACTO EN LA CIUDAD DE MATUCANA, LIMA"

La quebrada Paihua (QP), está ubicada en el Km. 76+000 de la Carretera Central, en la provincia de Huarochirí, departamento de Lima. Es una quebrada afluente, por la margen derecha, del río Rímac frente a la ciudad de Matucana (2375 msnm). En la QP se han reconocido importantes procesos de movimientos en masa activos como deslizamientos, caídas de rocas, flujos de lodo, así como también erosión de laderas; los que por una parte afectan los terrenos de cultivo y por otra aportan gran cantidad de material detrítico a la quebrada, lo que condiciona la ocurrencia de flujos de lodo (huaycos).

2.1.3 Regional

Kojan & Hutchinson (1978), realizaron la investigación "THE MAYUNMARCA LANDSLIDE OF 25 APRIL 1974"

On 25 April 1974 a huge landslide, one of the largest ever recorded, occurred in the valley of the Rio Mantaro in the province of Huancavelica (Peru). The village of Mayunmarca was entirely destroyed and the Rio Mantaro was dammed for six weeks. The breaching of the dam on 8 June 1974 was followed by severe flooding in the Mantaro Valley. Initial estimated by the Defense Civil have indicated a slide volume of about $1.6 \times 10^9 m^3$.

This was may be an overestimate. But it is probable that the volume of the slide was of the order of $10^9 m^3$. A more precise estimate can be made when detailed topographic maps covering the entirely 81/4 kilometers. It varies in width from

about 500 meters to more than 800 meters and has a maximum thickness of the order of 200 meters.

Middle section – debris flow: Debris flow morphology and structure rapidly become dominant downstream of the toe of rockslide. For convenience, the zone downstream of the rockslide and upstream of the terminal zone is arbitrarily referred to as the middle section. One of the outstanding features of the 1974 slide at quebrada Ccochacay is the exceptionally fine development of morphologic and structural features and their similarity in detail to those of the valley glaciers. Although many authors have previously noted the general similarity of the two processes, we are not aware of descriptions of debris flows in which analogous features are so remarkably developed.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Precipitación

En forma sólida o líquida, el agua que cae de las nubes al suelo se conoce como precipitación. Aunque esto se deriva del vapor de agua condensado, no es cierto que la condensación conduzca automáticamente a la precipitación.

Se puede desarrollar una clasificación amplia de precipitación a partir de la naturaleza del proceso de condensación a partir del cual se deriva la precipitación. La clasificación identificada incluye precipitación orográfica, convectiva y ciclónica (Karamouz, Nazif, & Falahi, 2013).

2.2.2 Infiltración

El término infiltración se refiere al proceso por el cual el agua de lluvia pasa a través de la superficie del suelo y llena los poros del suelo en la superficie

y la subsuperficie. Este proceso es una parte importante de las pérdidas de lluvia. La capacidad de infiltración o tasa de infiltración se define como la tasa máxima a la que el agua puede infiltrarse. La tasa real de infiltración será igual a la tasa de lluvia si la tasa de lluvia es menor que la capacidad de infiltración. De lo contrario, la tasa real de infiltración será equivalente a la capacidad de infiltración, y el agua de lluvia que no infiltra fluirá sobre la superficie del suelo después de llenar las depresiones superficiales (Karamouz, Nazif, & Falahi, 2013).

2.2.3 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 utilidad práctica en la comparación de cuencas hidrográficas o de diferentes secciones de una cuenca hidrográfica. Se utiliza 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 usar para establecer la cantidad promedio de precipitación sobre la cuenca. Esto proporcionará información útil sobre el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca hidrográfica y sobre su red hidrográfica Ver

Figura 1.

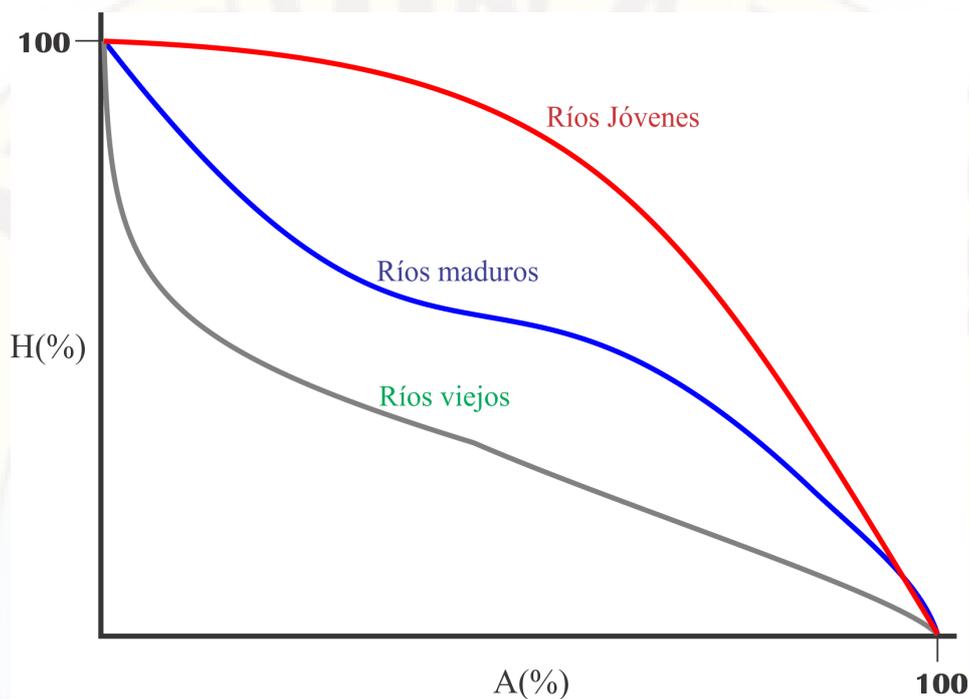


Figura 1. Curva hipsométrica de cuencas.
Fuente: Adaptado de Vent Te chow 1988

2.2.5 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración tiene dos definiciones comúnmente aceptadas. En primer lugar, 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 de diseño define t_c ; En esta definición, las características de las cuencas hidrográficas 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).

En la segunda definición, t se basa en un hietograma de lluvia y el hidrograma de esorrentía resultante. El exceso de lluvia y la esorrentía directa se calculan a partir del hietograma y del hidrograma actuales. El tiempo entre el centro de masa del exceso de lluvia y el punto de inflexión en la recesión del

hidrograma directo de esorrentía define el tiempo de concentración. Como alternativa, la diferencia de tiempo entre el extremo del exceso de lluvia y el punto de inflexión se acepta a veces como t_c .

2.2.6 Vehículos aéreos no tripulados

Las mejoras tecnológicas harán que los UAVs sean más rápidos, más fuertes y más seguros. Innovaciones recientes como las pilas de combustible de hidrógeno prometen mantenerlas volando durante horas. Pero las innovaciones reales no provendrán de la propia aeronave, sino de sus equipos, el análisis de los datos recopilados y los algoritmos que hacen que los UAV reaccionen al entorno externo (Heutger & Kückelhaus, 2014).

El objetivo es proporcionar una visión general de la amplia gama de posibles aplicaciones de la tecnología en aeronaves autónomas: respuesta a desastres, aplicación de la ley, búsqueda y rescate, protección del medio ambiente, aplicaciones geológicas, comunicación, entretenimiento, Energía / Infraestructura, Agricultura, Planificación del sector de construcción etc., se presenta el diagrama de flujos para el procesamiento de ortofotos a partir de la obtención de vehículos aéreos no tripulados (Bestaoui Sebbane, 2018), Ver

Figura 2.

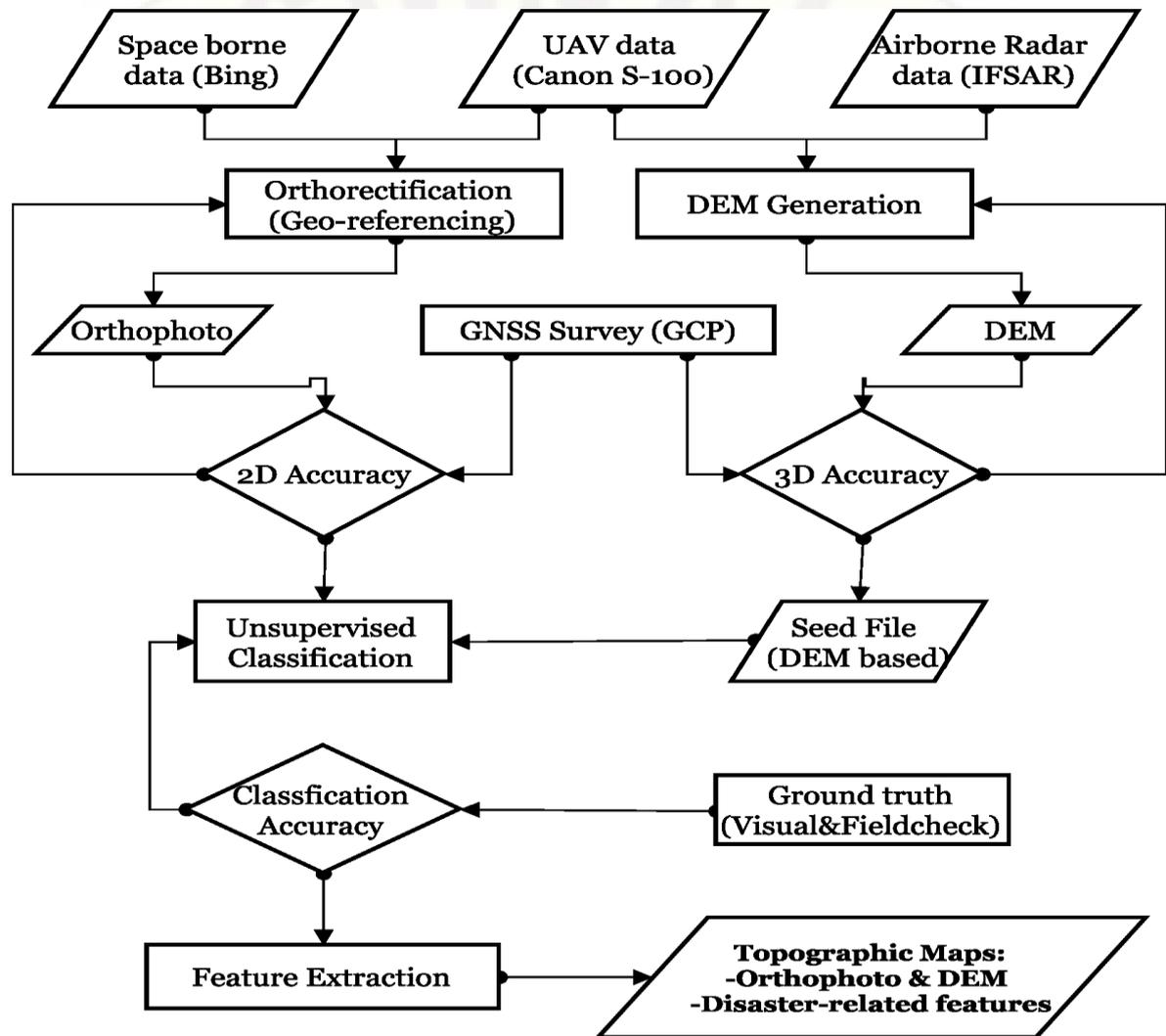


Figura 2. Diagrama de flujo de trabajo de procesamiento de datos.
Source: adapted from UAV data processing for rapid mapping activities.

2.2.8 Flujo de detritos

Debris Flow esta basados en sedimentos que generalmente contienen un alto porcentaje de materiales gruesos, generalmente por encima de 2mm de diámetro (Varnes, 1978) (Iverson R. M., 2005), en el contexto de flujo de detritos, el término flujo indica un cuerpo grano-fluido el cual se deforma continuamente. (Coussot & Meunier , 1996), el término combinado flujo de detritos no tiene una

definición formal, pero hay un acuerdo general de que un flujo de detritos es fundamentalmente de naturaleza transitoria. En esencia, el flujo 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 establece 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.

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).

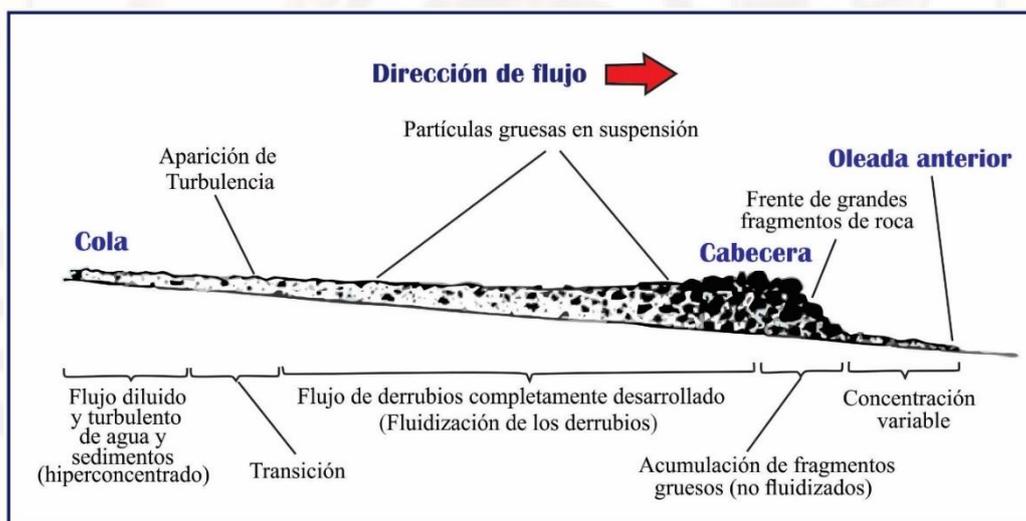


Figura 3. Flow behaviour of channelized debris flows, Mount St.Helens, Washington.

Fuente: modificado de Pierson (1986).

2.2.8.2 Concepto hidráulico de los flujos de detritos

Flujos de Detritos y Desechos: El agua proveniente de la lluvia o de la fusión de nieve que no se infiltra en el suelo o que emerge de los sistemas subterráneos contribuye a que la escorrentía superficial se desplace hacia abajo la pendiente más pronunciada. Una de las principales variables de flujo es la descarga de flujo $Q(m^3s^{-1})$, expresada como:

$$Q = vA \quad (1)$$

Donde $v(ms^{-1})$ es la velocidad de flujo, y $A(m^2)$ es la sección transversal del flujo. V se calcula más frecuentemente utilizando la fórmula empírica según MANNING. El escurrimiento superficial puede ocurrir en dos modos diferentes:

- ✓ El flujo superficial (flujo de lámina) sólo se produce durante o después de eventos de lluvia de intensidad muy alta bajo condiciones específicas. Toda la pendiente está cubierta por una capa de agua que se mueve hacia abajo;
- ✓ El flujo del canal es más común que el flujo por tierra. Incluso durante las lluvias intensas, el agua generalmente se concentra rápidamente en pequeños canaletas y forma corrientes efímeras.

El flujo de agua ejerce una tensión (los conceptos mecánicos se discuten más adelante) que pueden conducir al desprendimiento del suelo (erosión). Si una gran cantidad de agua se mueve hacia abajo por un canal empinado con suelo fácilmente erosionable, la concentración de sedimento del flujo puede llegar a ser lo suficientemente alta como para convertir el flujo de agua en un Flujo de Detritos (O'Brien & Julien, Laboratory analysis of mudflow properties, 1988) Ver Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de sedimentos umbrales para diversos tipos de movimientos de masa.

Concentración de sedimentos			
Tipo de flujo	En volumen	En peso	Características del flujo
Deslizamiento	0.65-0.80	0.83-0.91	No fluye, falla por deslizamiento de bloques
	0.55-0.65	0.76-0.83	Falla por deslizamiento de bloques con deformación interna durante el deslizamiento; respecto lento antes de la falla
	0.48-0.55	0.72-0.76	Flujo evidente; flujo de lodos lento con respecto sostenido; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo, no se esparce en superficie llana
	0.45-0.48	0.69-0.72	Flujo que se esparce en superficie llana; flujo cohesivo; algo de mezcla
Crecida de lodo	0.40-0.45	0.65-0.69	El flujo se mezcla fácilmente; en la deformación muestra características de un fluido; se extiende en superficie horizontal pero la superficie del fluido mantiene cierta inclinación; asentamiento de partículas grandes (canto rodado): con aparición de ondas que se disipan rápidamente
	0.35-0.40	0.59-0.65	Marcado asentamiento de gravas, desparrame casi total en superficie horizontal; aparecen dos fases fluidas en la superficie líquida; las ondas viajan en superficie
	0.30-0.35	0.54-0.59	Separación del agua en superficie; las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la grava y la arena ha asentado y se mueve como carga de fondo.
	0.20-0.30	0.41	Acción distinta de la onda; superficie fluida; todas las partículas descansan sobre el lecho en condiciones estáticas del fluido

Fuente: Adaptado de O'Brien y Julien (1997).

La concentración de sedimentos C^v se puede definir de varias maneras.

El siguiente enfoque se utilizará para los fines de la presente tesis.

Tabla 2. Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration.

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha_e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha_e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Field data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
lida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
Qian et al. (1980)	0.050	15.48	-	-
	0.0588	9.1-32.7	-	-
Chien and Ma (1958)	0.166	25.6	-	-
Fei (1981)	0.00470	22.2	-	-

Fuente: Adapted from O'Brien (1986).

$$C_v = \frac{\text{Volu. de Sedimento} + \text{Vol. de Agua}}{\text{Vol. de Agua}} \quad (2)$$

Se muestra que la viscosidad y el límite de elasticidad son funciones de la concentración volumétrica de sedimentos C_v de sedimentos, arcillas y en algunos casos de arenas finas y no incluyen material clástico más grande transportado junto con el flujo (Li, Zhang, Oiso, & Novak, 2003), Ver Tabla 2, Figura 4 y Figura 5.

2.2.8.3 Parámetros de resistencia al flujo laminar K

Relación de tensión de corte integrada de profundidad escrita como términos de pendiente no dimensional:

$$S_f = S_y + S_v + S_{td} = \quad (3)$$

Donde:

$$S_v = \frac{Kn}{8\gamma_m} + \frac{V}{h^3} \quad (4)$$

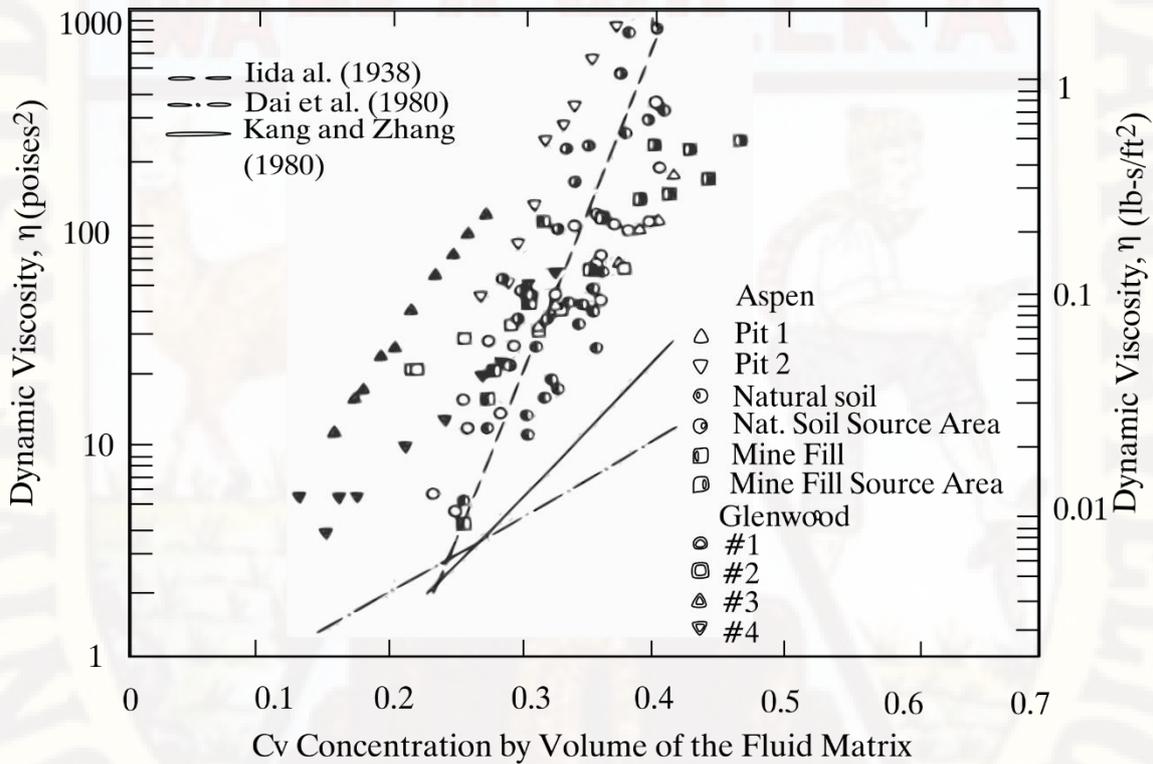


Figura 4. Viscosidad dinámica de muestras de flujo de lodo versus concentración de sedimentos.

Source: Adapted from Simulating Mudflows-FLO2D.

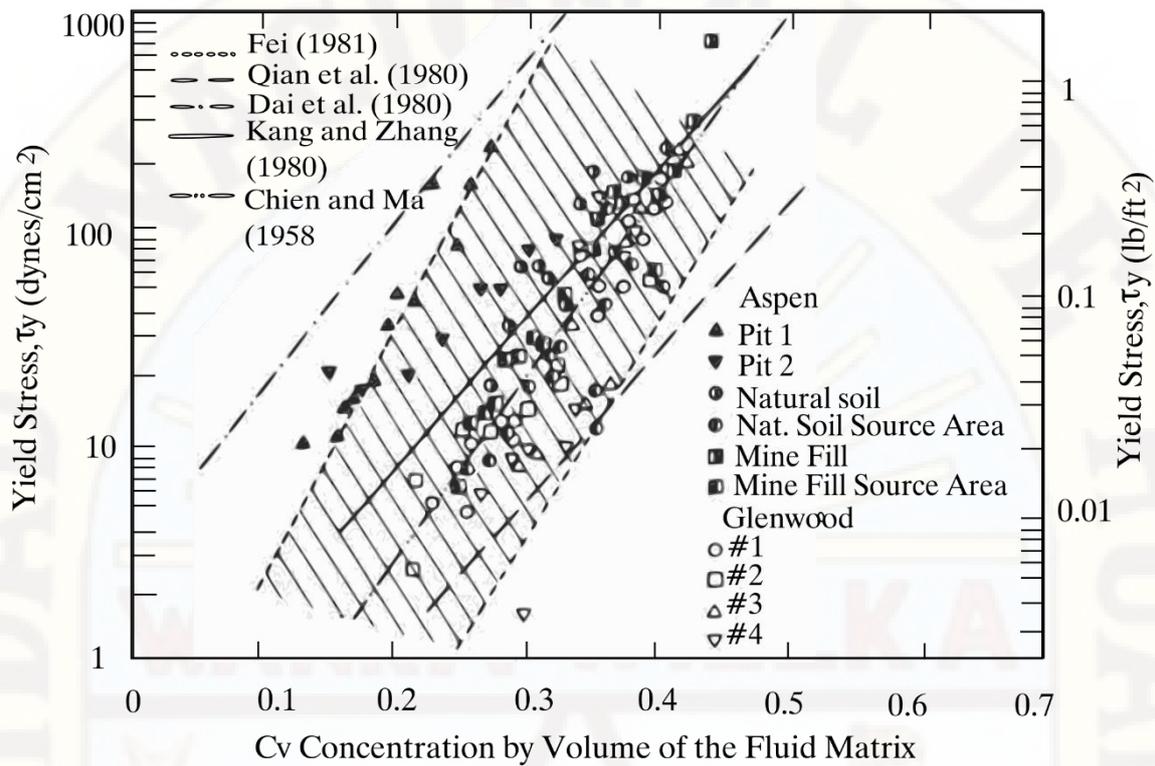


Figura 5. Esfuerzo de cadencia de muestras de flujos de lodo versus concentración de sedimentos.

Source: Adapted from Simulating Mudflows-FLO2D.

Para una gran viscosidad en flujos laminares / transitorios, la turbulencia se suprime y K es importante Ver Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de resistencia al flujo laminar.

Resistance Parameters for Laminar Flow	
Surface	Range of K
Concrete/asphalt	24 -108
Bare sand	30 - 120
Graded Surface	90 - 400
Bare clay - loam soil, eroded	100 - 500
Sparse vegetation	1,000 - 4,000
Short prairie grass	3,000 - 10,000
Bluegrass sod	7,000 - 50,000

Fuente: Manual FLO-2D, (Woolhiser 1975).

2.2.8.4 Reología

La mayoría de los parámetros reológicos no son fáciles de medir desde el campo, haciendo que sea difícil parametrizar los modelos de simulación de flujo de detritos. Por esta razón, la aplicación de modelos dinámicos se utiliza con mayor frecuencia para el análisis de eventos pasados. Esto se debe a la incertidumbre de los parámetros característicos. Las descripciones simplificadas que tratan de reproducir un flujo de desechos mediante el uso de parámetros, con especial importancia de los parámetros de fricción, explican aspectos que no están descritos explícitamente (Quan Luna, 2012).

El esfuerzo de cedencia en un flujo de fluido laminar es debido a una deformación viscosa, mientras que en un flujo de fluido turbulento es controlado por la rugosidad en los límites de flujo. Generalmente se acepta que un flujo de desechos es laminar, como resultado de la alta concentración de partículas y la cantidad de sedimentos dentro de la masa. Sólo cuando las partículas no interactúan sustancialmente, es mecánicamente correcto utilizar una reología viscosa. (Kailey, 2013), esta afirmación se aplica más a una inundación, que a un flujo de detritos. En su lugar, los flujos de detritos de grano fino se modelan a menudo utilizando una reología de Bingham, que asume que el material de flujo de detritos se comporta como un fluido de plástico viscoso. Cuando los flujos de escombros alcanzan una velocidad más alta y contienen partículas grandes, se supone que las fuerzas inerciales dominan sobre las fuerzas viscosas. El impulso de la colisión del grano se transfiere a la siguiente colisión intergranular, en lugar de al fluido poroso, creando tensión de grano dispersivo (Iverson R. M., 2005).

2.2.8.5 Modelo Reológico Cuadrático

La resistencia "Quadratica", Resistencia que incorpora una contribución turbulenta al rendimiento y el término viscoso ya definido en la ecuación de Bingham (O'Brien, Julien, & Fullerton, Two-dimensional water flood and mudflow simulation, 1993).

El término de resistencia al flujo " S_f ":

$$S_f = \frac{\tau_c}{\rho gh} + \frac{K\eta}{8\rho g(h)^2}u + \frac{n^2(u)^2}{(h)^{4/3}} \quad (5)$$

- S_f es la resistencia de la base de la unidad;
- τ_c es el esfuerzo cortante resistente;
- u es la velocidad promediada en profundidad;
- h es la profundidad del flujo;
- η es la viscosidad del fluido,
- K es un parámetro de resistencia que es igual a 24 para flujo laminar en canales lisos, anchos y rectangulares, pero aumenta con rugosidad y secciones transversales irregulares;
- n es el valor del coeficiente de Manning que tiene en cuenta los componentes turbulentos y dispersivos del flujo.

2.2.8.6 Modelado de escorrentía de flujo de Detritos

La predicción de las pérdidas de flujo de Detritos es importante para evaluar las áreas que serán afectadas por el peligro, determinar los parámetros de intensidad del flujo de escombros y producir mapas de riesgos y riesgos (Rickenmann, 2005). Los investigadores han desarrollado un número considerable de métodos en las últimas décadas para Predecir el agotamiento de los flujos de escombros. (Brunsdén, 1999), el modelado espacial es una

herramienta que se ha utilizado para replicar eventos de flujo de desechos anteriores para comprender su comportamiento y predecir eventos futuros. Explica que no hay un solo modelo que pueda replicar perfectamente la complejidad de los deslizamientos de tierra, sin embargo, menciona "se ha logrado un progreso considerable en el aislamiento de muchas de las variables involucradas" en el modelado de los deslizamientos de tierra.

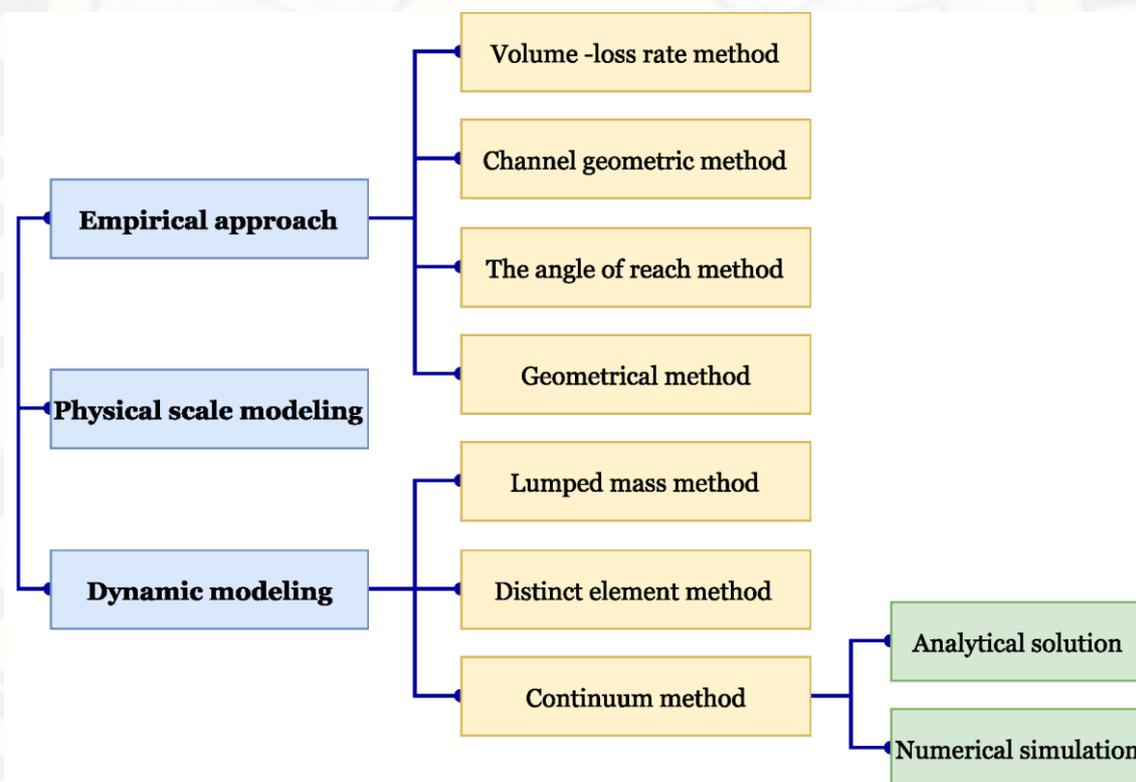


Figura 6. Resumen de los enfoques de predicción de Zonas de deposición.

Fuente: adaptado de Chen & Lee (2004).

I. Métodos empíricos

Los métodos empíricos para evaluar el impacto de los derrumbes se basan generalmente en amplias cantidades de observaciones de campo y en el análisis de las relaciones entre la distancia de salida y diferentes mecanismos

de deslizamiento, sus parámetros morfométricos, el volumen de la masa de deslizamiento y las características del terreno. Los enfoques empíricos se basan en supuestos simplificados y, aunque conducen a resultados generalizados, son relativamente fáciles de aplicar en áreas más amplias (Fannin & Wise, 2001).

II. Métodos numéricos

Los modos numéricos para modelar el comportamiento de parámetros de salida de los detritos de deslizamiento incluyen principalmente modelos mecánicos fluidos y métodos de elementos distintos. El enfoque más común y utilizado para estos métodos se basa en la mecánica de la continuidad. Los modelos de mecánica de fluidos en continuo utilizan las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía que describen el movimiento dinámico de los escombros, y un modelo reológico para describir el comportamiento material de los detritos (Chen & Lee, 2000).

Resolviendo un conjunto de ecuaciones gobernantes con un modelo reológico seleccionado que describe las propiedades de flujo de los detritos, se puede predecir la velocidad, la aceleración y la distancia de salida de los detritos, La mayoría de los modelos de continuidad se simplifican integrando las tensiones internas en las direcciones vertical o normal de la cama para obtener una forma de las ecuaciones de Saint-Venant o de Navier-Stokes (suposición de las aguas poco profundas) (Iverson R. M., 2005).

Bajo la hipótesis del agua poco profunda, se pueden derivar diferentes tipos de soluciones (1D y 2D) para flujos gravitatorios rápidos a partir de la ecuación de momentum para flujo de fluido inestable, evaluando el equilibrio

dinámico para una sola columna (o unidad discretizada) aislada de la masa fluida

Eq. (8) y (9):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \left(S_x + k \frac{\partial h}{\partial x} + S_f q_x \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + u \frac{\partial v}{\partial y} = -g \left(S_x + k \frac{\partial h}{\partial y} + S_f q_y \right) \quad (8)$$

Donde h es el espesor del flujo; (u, v) son las componentes x e y de las velocidades medias de profundidad (m/s) Eq. (8) la ecuación del balance de masa. La ecuación de momentum (9 y 10) son expresados en términos de aceleración (m/s^2), donde g es la aceleración debida a la gravedad. El primer término en el lado izquierdo de la ecuación representa la aceleración local, expresando la tasa de cambio de ∂t en una posición fija. El segundo y tercer términos en el lado izquierdo de la ecuación representan la aceleración convectiva, i, e . La tasa de cambio de tiempo debido al cambio de posición en el campo espacial. El primer término entre los paréntesis representa la aceleración debida a la gravedad, and $S_x = \tan gx$ y $S_y = \tan gy$ son el gradiente de pendiente de fondo en las direcciones x e y , respectivamente. (Beguería, Asch, Malet, & Gröndahl, 2009), la derivada espacial en el segundo término es la aceleración de la presión, i, e . La tasa de cambio de tiempo debido a las diferencias de presión dentro del flujo. S_x es el gradiente de resistencia de flujo,

que explica la disipación de momento dentro del flujo debido al esfuerzo de fricción con el lecho. Los términos q_x y q_y son coeficientes Eq. (11) y (12):

$$q_x = \frac{-u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

$$q_y = \frac{-v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (10)$$

Donde el signo menos antes de u y v asegura que S_f se opone a la dirección de la velocidad.

2.2.9 Modelo dinámico de simulación utilizado.

En esta investigación se realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa para el modelamiento de evento ocurrido, utilizando el modelo de salida FLO-2D (O'Brien & Julien, Laboratory analysis of mudflow properties, 1988), las razones para seleccionar este modelo específico se basaron en la cantidad y calidad de la información disponible y el tipo de precisión que se necesitó. En el caso del modelo FLO-2D, no se realizó ninguna evaluación de sensibilidad en esta investigación debido a que la resistencia a la deformación y los parámetros de viscosidad son usualmente seleccionados del conjunto de materiales presentado por O'Brien y Julien, donde empíricamente Los coeficientes definidos por los experimentos de laboratorio se incluyen en las relaciones empíricas en función de la concentración de sedimentos.

2.2.9.1 Modelo Bidimensional FLO-2D

El modelo Flo-2D planteado por O'Brien et al. (1998) para analizar el flujo de detritos, es un modelo bidimensional de diferencias finitas que permite simular flujo de fluidos no-newtonianos (como aludes torrenciales en conos de

deyección) en topografías complejas tales como áreas urbanizadas, es una valiosa herramienta para delinear los riesgos de inundaciones y la simulación de flujos de atenuación de ola de inundaciones y flujos detríticos (Debris-flow), discretización de superficie en cuadrículas Ver *Figura 7*.

La simulación de flujos de escombros requiere modelos reológicos (o ecuaciones constitutivas) para mezclas sólido-líquido. La propiedad reológica de un flujo de detritos depende de una variedad de factores, tales como la concentración de agua, concentración de sólidos, propiedades cohesivas del material fino, la distribución de tamaño de partícula, forma de la partícula y la fricción grano (Imran, Parker, Locat, & Lee, 2001).

Las siguientes condiciones se supone con el fin de simplificar la operación del modelo de FLO -2D:

1. Utilizando la ecuación de aguas poco profundas, la regla de Leibnitz, para intercambiar el orden de integración y diferenciación de simplificar la continuidad y las ecuaciones de 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 las profundidades erosionadas.
- ✓ El modelo no puede simular ondas de choque y saltos hidráulicos.

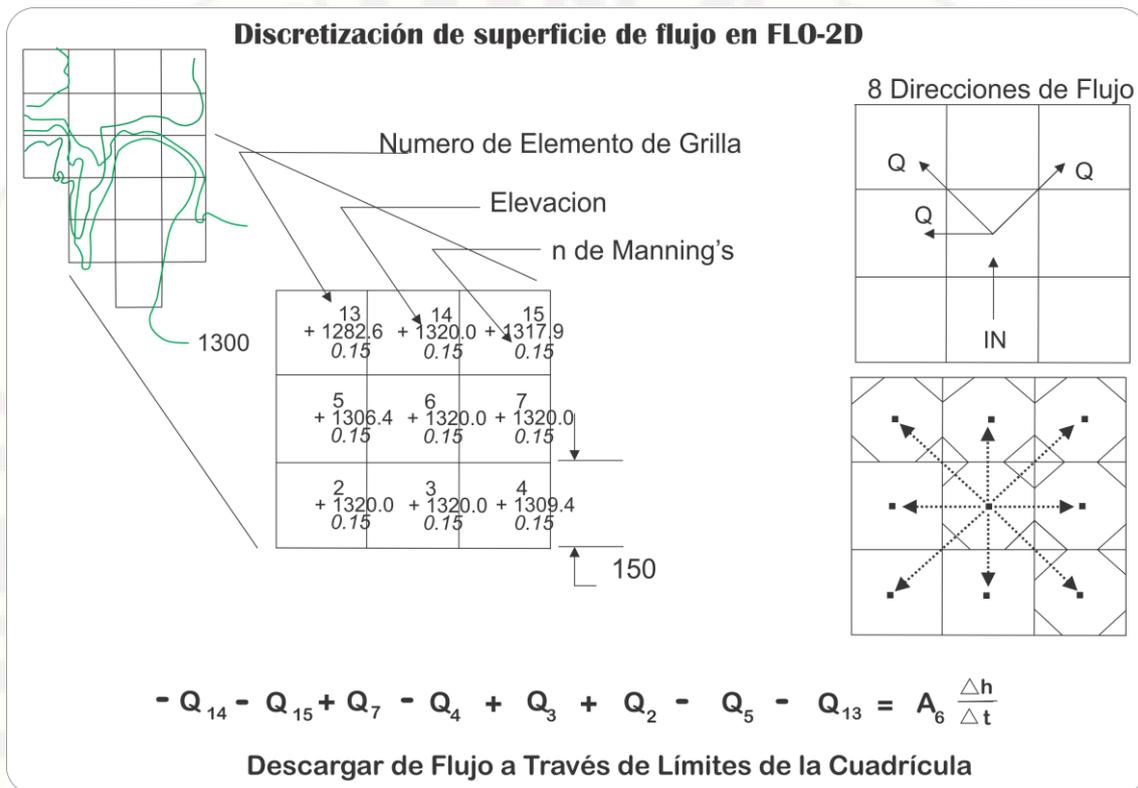


Figura 7. Discretización de superficie de flujo.
Fuente: Manual FLO-2D, (Woolhiser 1975).

2.2.10 Mapa de amenaza o peligro

Alrededor del mundo, la cartografía de riesgo de inundación aluvial se utiliza para regular el desarrollo para evitar daños por inundaciones y pérdida de vidas. El riesgo de inundación en una ubicación específica es una función de la intensidad de inundación y la probabilidad. La intensidad de la inundación se determina por la velocidad del flujo. La probabilidad de inundación está inversamente relacionada con la magnitud de la inundación; Es decir, grandes inundaciones ocurren con menor frecuencia (Garcia, López, Noya, Bello, & 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 abanicos aluviales en Caracas, Venezuela y posteriormente se aplicó a otras cuencas urbanizadas. Este enfoque sigue las normas Suizas y Austriacas que establecen tres zonas para delinear los niveles de riesgo de inundación, como se muestra en la *Figura 8*.

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%
	Amenaza alta				
	Amenaza media				
	Amenaza baja				
	Amenaza muy baja				

Figura 8. Niveles de peligro de inundación basados en la frecuencia e intensidad de inundación.

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

El nivel de amenaza en un lugar determinado está en función tanto de la intensidad como de la probabilidad de la inundación. La intensidad de la inundación está definida por la profundidad y el producto de profundidad por la velocidad del flujo. La probabilidad es inversamente proporcional a la magnitud de la inundación. Por eso, los grandes eventos ocurren con menor frecuencia, pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad y a la velocidad del flujo, mientras que los eventos pequeños son más frecuentes, pero menos dañinos. El nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que

combina la intensidad (magnitud del evento) y el periodo de retorno (frecuencia), como se muestra en la Figura 8, Un mapa de amenaza se basa en tres colores para definir el nivel de amenaza: nivel alto (rojo), nivel medio (naranja) y nivel bajo (Amarillo) en la Figura 8. Estos colores de mapa se traducen en áreas de peligro potencial específicas como se muestra en la Tabla 4. Los colores de los mapas se traducen en áreas con características específicas de amenaza potencial, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Definición de nivel de amenaza según García, Rodríguez y O'Brien.

Nivel de amenaza	Color en el mapa	Descripción
Alto	Rojo	Las personas están en peligro, tanto dentro como fuera de las casas. Las edificaciones pueden ser destruidas.
Medio	Naranja	Las personas están en peligro fuera de las casas. Las edificaciones pueden sufrir daños y posiblemente destrucción, dependiendo de los materiales con los que han sido construidas.
Bajo	Amarillo	El peligro para las personas es bajo o inexistente. Las edificaciones pueden sufrir un ligero daño, pero los sedimentos pueden afectar el interior.

Fuente: Office Federal De i Economie Des Aux (OFEE), 1997.

La intensidad está definida en términos de la profundidad máxima del agua y el producto de la máxima velocidad por la máxima profundidad. Para el caso de las inundaciones las intensidades se definen en la Tabla 5 (Garcia, López, Noya, Bello, & González, 2003).

Tabla 5. Intensidad de la inundación.

Intensidad de la inundación	Profundidad máxima H (m)	Producto de la profundidad máxima h y la velocidad máxima V (m2/s)
Alto	$H > 1.5$	$V * H > 1.5$
Medio	$0.5 < H < 1.5$	$0.5 < V * H < 1.5$
Bajo	$0.1 < H < 0.5$	$0.1 < V * H < 0.5$

Fuente: Office Federal De i Economie Des Aux (OFEE), 1997.

Las intensidades se definen en términos de la profundidad máxima de agua generada durante el evento y el producto de la velocidad máxima del agua multiplicada por la profundidad máxima. Lateltin, Haemmig, Raetzo, & Bonnard, (2005) usaron la hoja de cálculo mostrada en la Figura 9. Los umbrales de intensidad que diferencian los niveles alto, mediano y bajo se comparan con los impactos de inundación observados en el terreno durante la inundación de diciembre de 1999 en Venezuela (García-Martínez & López, 2005).

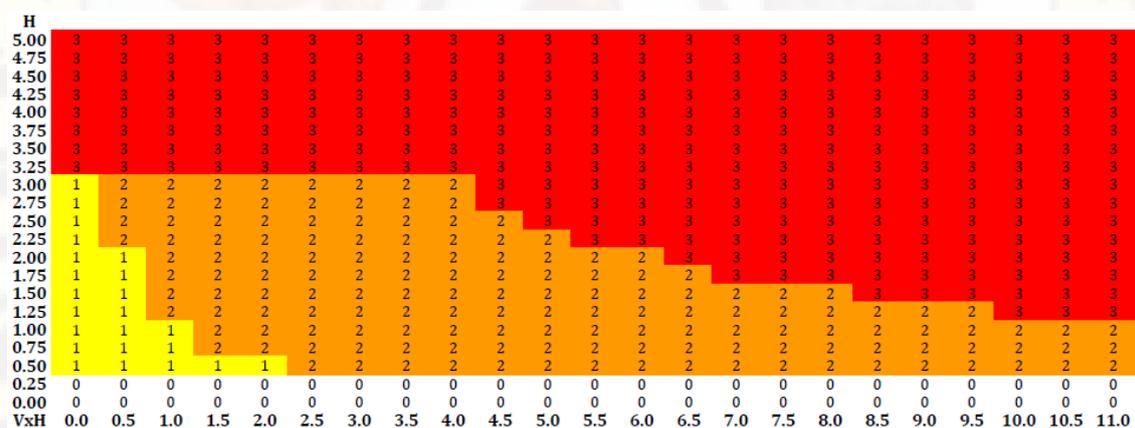


Figura 9. Intensidades de inundación y flujo de lodo basadas en profundidades y velocidades de flujo.

Source: Office Federal De i Economie Des Aux (OFEE), 1997.

El conjunto de umbrales de intensidad calibrados presentados en Tabla 5 y Tabla 6, se obtuvo comparando los niveles de riesgo predichos usando este

método con las áreas afectadas reales en más de 30 zonas aluviales afectados por los catastróficos eventos de inundación y flujo de lodo de diciembre de 1999 en el norte de Venezuela.

En el programa post-procesador FLO2D MAPPER ++, se hace la distinción entre las inundaciones de agua y los flujos de lodo. Las intensidades de inundación se definen en términos de la profundidad máxima del agua y el producto de la velocidad máxima multiplicada por la profundidad máxima. Para un proyecto específico, puede ser necesario cambiar los umbrales del nivel de peligro, Como se muestra en Tabla 6.

En MAPPER podemos introducir valores de profundidad de flujo y velocidades que definen los umbrales de intensidad. Para el caso de las inundaciones de agua, las intensidades de inundación podrían definirse por los valores de la Tabla 6. Flujo de detritos son más destructivos que las inundaciones de agua, por lo que los criterios de intensidad de flujo de lodo son más complejos, Ver Tabla 6.

Tabla 6. Definición de la intensidad del flujo de lodo o de detritos.

Flood intensity	Maximum depth h(m)	Product of max Depth h times max velocity v(m2/s)
High	$H > 1.0\text{m}$	$V * H > 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Medium	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	$0.2\text{m}^2/\text{s} < V * H < 1.0\text{m}^2/\text{s}$
Low	$0.2\text{m} < H < 1.0\text{m}$	$V * H < 0.2\text{m}^2/\text{s}$

Fuente: García y López, 2005.

Los criterios de peligro abarcan la probabilidad de ocurrencia de un evento de agua o de flujo de lodo durante tres días de inundación seleccionado. Esto requiere una simulación FLO-2D de los tres eventos de frecuencia de inundación.

El modelo predice las profundidades y velocidades máximas para cada período de retorno inundación determina el riesgo sobre la base de los criterios anteriores. Un gráfico interpolado de color sombreado de los elementos de la cuadrícula representa el riesgo de inundación bajo, medio y alto.

Este método representa una verdadera medida del riesgo de inundación y se utiliza efectivamente en otros países. Las ventajas de este método son claramente evidentes. No se necesitan alturas de inundación de base, contornos de inundación o elevación de un edificio de primer piso de un mapa de tasas de seguro contra inundaciones de FEMA para interpretar el peligro de inundación. Desde una perspectiva del mapa FEMA DFIRM, esto significa que la elevación de inundaciones por sí sola no es necesariamente una indicación de riesgo de inundación. El método del mapa prescrito proporciona una oportunidad inmediata para que el público en general entienda si un edificio o vecindario dado está dentro de un área de alto riesgo de inundación. El administrador de llanuras de inundación puede planificar, regular y establecer una zona de manera decisiva en base a este mapa de riesgo de inundación y puede comunicar fácilmente el proceso de planificación y el peligro para la comunidad (Rozelle, Bausch, McNabb, & Robles-Kyle, 2011).

2.3 HIPÓTESIS

2.3.1 Hipótesis general

El grado de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada se Tantarás es de intensidad Alta.

2.3.2 Hipótesis específicas

1. La incidencia de la concentración volumétrica en el volumen de salida de flujo de detritos es directamente proporcional.
2. La variación de la velocidad de flujo de detritos al incremento de la concentración volumétrica es considerable.
3. El comportamiento de la profundidad del flujo al aumento del valor del n de Manning es significativo.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

En este punto se describirán brevemente los términos utilizados a lo largo de la investigación para coadyubar en la comprensión de la tesis.

Sistemas Dinámicos: Un sistema se considera estático cuando sus variables de estado no cambian a lo largo del tiempo, es decir, cuando el tiempo no juega ningún papel en sus propiedades. Por el contrario, en un sistema dinámico los valores que toman todas o algunas de sus variables de acción evolucionan a lo largo del tiempo (Gonzales, Arreche, Garcia, & Ortega, 2006).

Simulación: Una simulación por computadora, un modelo de simulación por computador o un modelo informatizado es un programa informático cuyo fin es crear una simulación de un modelo abstracto de un determinado sistema. Las simulaciones por computadora se han convertido en una parte relevante y útil de los modelos matemáticos de muchos sistemas naturales de ciencias como la física, la astrofísica, la química y la biología, etc. Las simulaciones por computadora abarcan desde programas informáticos cuya ejecución dura unos minutos hasta conjuntos de ordenadores conectados en red cuya ejecución dura horas, e incluso hay simulaciones que se extienden varios días (Davies & McSaveney, 2002).

Amenaza: Evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud o alcance, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado (Vallance & Scott, 1997).

Cauce: Lecho de toda corriente fluvial, sea permanente u ocasional (Jackson, 1987).

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 mucha pendiente (Jackson, 1987).

Hidrograma: Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular (Karamouz, Nazif, & Falahi, 2013).

Detritos: Materiales resultantes de la descomposición de rocas sólidas en partículas, tales como arena, fango, cuyo origen son rocas más antiguas (Hutter, Svendsen, & Rickenmann, 1995).

Erosión: La erosión es el proceso de arranque de materiales por los procesos geológicos. Es el mecanismo geológico de denudación de los continentes. Se ve favorecida por la meteorización, alteración y disgregación previa de las rocas (García, López, Noya, Bello, & González, 2003).

Suspensión: Cuando las fuerzas de sustentación son suficientemente grandes como para mantenerse superiores a las de fijación, el detrito viaja suspendido en el seno del fluido de forma continua (Jackson, 1987).

Movimiento de Masas: Conjunto de procesos por los cuales los materiales terrestres, con frecuencia previamente afectados por la meteorización, se movilizan en masa por la acción de la gravedad terrestre. Los movimientos pueden ser rápidos como los desprendimientos, caídas, hundimientos y deslizamientos; o lentos como la soliflucción y la reptación (Jackson, 1987).

Modelos Digitales de Terreno: Un modelo digital de terreno (MDT) puede definirse como una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x,y,z respecto a un sistema de georreferenciación conocido (Cannon, Kirkham, & Praise, 2001).

Periodo de Retorno: Es el inverso de la probabilidad de que ocurra un evento determinado en el lapso de un año. Lapso promedio de tiempo entre eventos naturales de magnitud o intensidad comparables. Es cercanamente igual a la inversa de la probabilidad anual de excedencia (Steijn, 1996).

Riesgo: Es la posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino que tiene una probabilidad determinada de ocurrir dentro de un período de tiempo dado (Fuchs, Heiss, & Hübl, 2007).

Tiempo de Concentración: Es el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del caudal de equilibrio. Es el tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca (Gribbin, 2007).

2.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.

La presente investigación considera dentro de las variables los siguientes:

2.5.1 Variable independiente

Flujo de detritos.

2.5.2 Variable dependiente

Grado de Amenaza por el Flujo de detritos.

2.6. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

Tabla 7. Definición operativa de variables.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADOR	INSTRUMENTO
Independiente:			
Flujo de Detritos	Es una masa en movimiento rápido de masa licuada, no consolidada y saturada que fluye por una pendiente, bajo la influencia de la gravedad, llevando consigo árboles y rocas.	Concentración volumétrica: (%)	Observación Directa/ Rehometer
Dependiente:			
Grado de Amenaza por el Flujo de detritos	Probabilidad de ocurrencia del flujo de detritos potencialmente dañino, moderado o bajo, dentro de un periodo dado y en un área determinada.	Alta. Media, Baja	Gradación de color (rojo, naranja, blanco)

Fuente: Elaboración propia.

2.7 ALCANCES Y LIMITACIONES

La obtención de resultados confiables sobre el estudio del comportamiento del flujo de detritos y la obtención de mapas de amenaza mediante el modelamiento numérico depende fundamentalmente de las características físicas del flujo los cuales muchas de ellos son obtenidas sobre el estudio experimental in situ. Cuando un mapa de riesgo es producido mediante un modelo computacional, generalmente se toman explícitamente las cuatro hipótesis siguientes:

La magnitud del evento simulado se relaciona con el periodo de retorno del evento de lluvia desencadenante considerando la hidrología de la cuenca.

- Las características físicas del flujo son debidamente representadas en el escenario de simulación (i.e. reología).
- El modelo digital de terreno (DTM) contiene con precisión todos los detalles relevantes de la topografía.
- El modelo numérico simula correctamente la dinámica del flujo de detritos en todas las situaciones críticas.

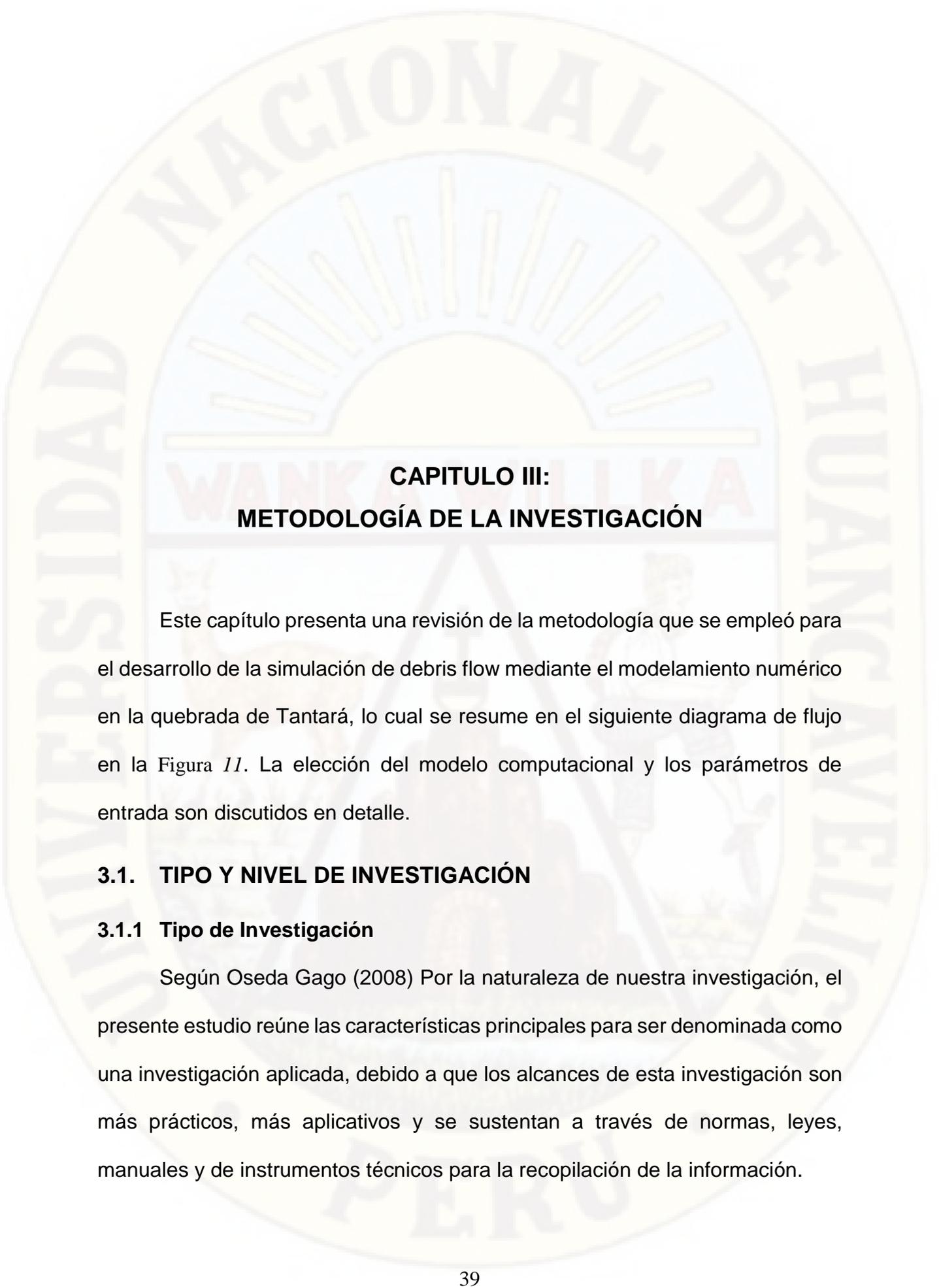
Por lo antes mencionado el alcance de este trabajo se limita en la obtención de mapas de amenaza tomando en consideración estudios relacionados en diferentes partes del mundo, y las características físicas obtenidos del estudio de campo, y parámetros empíricos.

Este trabajo tiene algunas limitaciones inherentes debidas principalmente a la falta de datos de registro de sucesos históricos en la zona de estudio, debido a que se recurrió a parámetros empíricos y algunos estudios generales en el tema. Se aconseja realizar trabajos de investigación futuros para obtener los siguientes tipos de datos:

- Existen datos muy limitados sobre las mediciones hidrológicas y meteorológicas, el monitoreo in situ y las características reológicas de debris flow (Es decir, características sedimentológicas). Esto impide la evaluación precisa de los diferentes factores que son causantes del flujo de detritos. Razón por la cual se asumen algunos parámetros utilizando algunas relaciones empíricas.
- La mejor manera de estimar el volumen de deposición de flujo de detritos es mediante el análisis del cambio de elevación utilizando DEMs antes y después al fenómeno. Sin embargo, debido a la escasez de DEMs antes del fenómeno del día 13 de enero del 2013, el volumen del flujo de

detritos utilizado en esta investigación fue estimado por las relaciones empíricas y el empleo de GIS y las imágenes UVA.

- Además, este estudio ha enfrentado a una limitante de disponibilidad de estudios anteriores en la zona de Tantará por lo que se ha apoyado en una intensa revisión de antecedentes teóricos, y métodos indirectos de análisis de información como fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.) y antecedentes recolectados durante el trabajo en campo.



CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta una revisión de la metodología que se empleó para el desarrollo de la simulación de debris flow mediante el modelamiento numérico en la quebrada de Tantará, lo cual se resume en el siguiente diagrama de flujo en la Figura 11. La elección del modelo computacional y los parámetros de entrada son discutidos en detalle.

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipo de Investigación

Según Oseda Gago (2008) Por la naturaleza de nuestra investigación, el presente estudio reúne las características principales para ser denominada como una investigación aplicada, debido a que los alcances de esta investigación son más prácticos, más aplicativos y se sustentan a través de normas, leyes, manuales y de instrumentos técnicos para la recopilación de la información.

Este planteamiento da como resultado el sustento empírico y cuantitativo que nos permitió llegar a las conclusiones finales.

3.1.2 Nivel de Investigación

Según Alfaro Rodríguez (2012) el proyecto de investigación ejecutado se encuentra en el nivel Explicativo, En este nivel el investigador conoce y da a conocer las causas o factores que han dado origen o han condicionado la existencia y naturaleza del hecho o fenómeno en estudio”, además según Carrasco Díaz (2006), menciona: “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos, o del establecimiento de relaciones entre conceptos, están dirigidos a responder las causas de los eventos físicos o sociales, su interés se centra en por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones porque dos o más variables están relacionadas.”, porque permitió describir y explicar el comportamiento del flujo de detritos mediante la simulación dinámica.

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se desarrolló considerando el Método Científico como método general. El método científico según Alfaro Rodríguez (2012) manifiesta, “El Método Científico consiste en formular cuestiones o problemas sobre la realidad y de los hombres, en base a la observación de la realidad y la teoría ya existentes, con el fin de anticipar soluciones a problemas y contrastarlas con la misma realidad mediante la observación de los hechos que ofrezca, la clasificación de ellos y su análisis, a través del Método Científico” (p.11).

Según Carrasco Díaz (2006), los procedimientos a seguir son:

- “Identificación del problema de investigación. - Identificar un problema que tenga impacto social o científico.
- Formulación del problema de investigación. - De tal manera que su solución sea viable y posible.
- Formulación de la hipótesis de investigación. - Someter a prueba la hipótesis de investigación, de acuerdo al diseño y planteamiento del problema.
- Procesar los datos con el propósito de proporcionar nuevos conocimientos a la ciencia.
- También se usó otros métodos como el Experimental y el método analítico sintético.”

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño constituye el plan conformado por medidas estratégicas que indican como se deben hacer las observaciones, los experimentos y las mediciones.

El trabajo de investigación tiene el siguiente diseño:

Investigación no experimental: Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. La presente investigación estudia el fenómeno de flujo de detritos en la quebrada de Tantará.

Diseño longitudinal de tendencia: Son aquellos que analizan cambios a través del tiempo (en categorías, conceptos, variables o sus relaciones), dentro de alguna población en general.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 Población.

El universo del trabajo realizado fue la quebrada de Tantar.

3.4.2 Muestra.

La muestra fue de tipo no probabilística; por un estudio de tipo transversal con una extensión de 4.52 km².

3.4.3 mbito de estudio.

La zona de estudio de este trabajo corresponde a la quebrada de Tantar, distrito de Tantar el cual se encuentra ubicado en la zona vertiente del pacífico de coordenadas UTM WGS84 432676.630,8548810.376. Tantar es uno de los trece distritos de Castrovirreyna que est localizada en el sector oeste de la capital de Huancavelica en la región de los andes del Perú (ver Figura 10). El distrito de Tantar tiene un área de 11115.55 km², de los cuales la mayor parte forma una topografía compleja que son condiciones primarias para el frecuente suceso de flujo de detritos. Haciendo de la quebrada de Tantar una de las zonas más activas de deslizamiento de grandes masas de la región de Huancavelica. Las actividades principales de la zona son la agricultura y la ganadería.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

La metodología de estudio para desarrollar la presente tesis se basó en tres importantes fases: como primer paso la búsqueda y la recopilación de información bibliográfica, luego el trabajo en campo, finalmente el procesamiento de datos en gabinete.

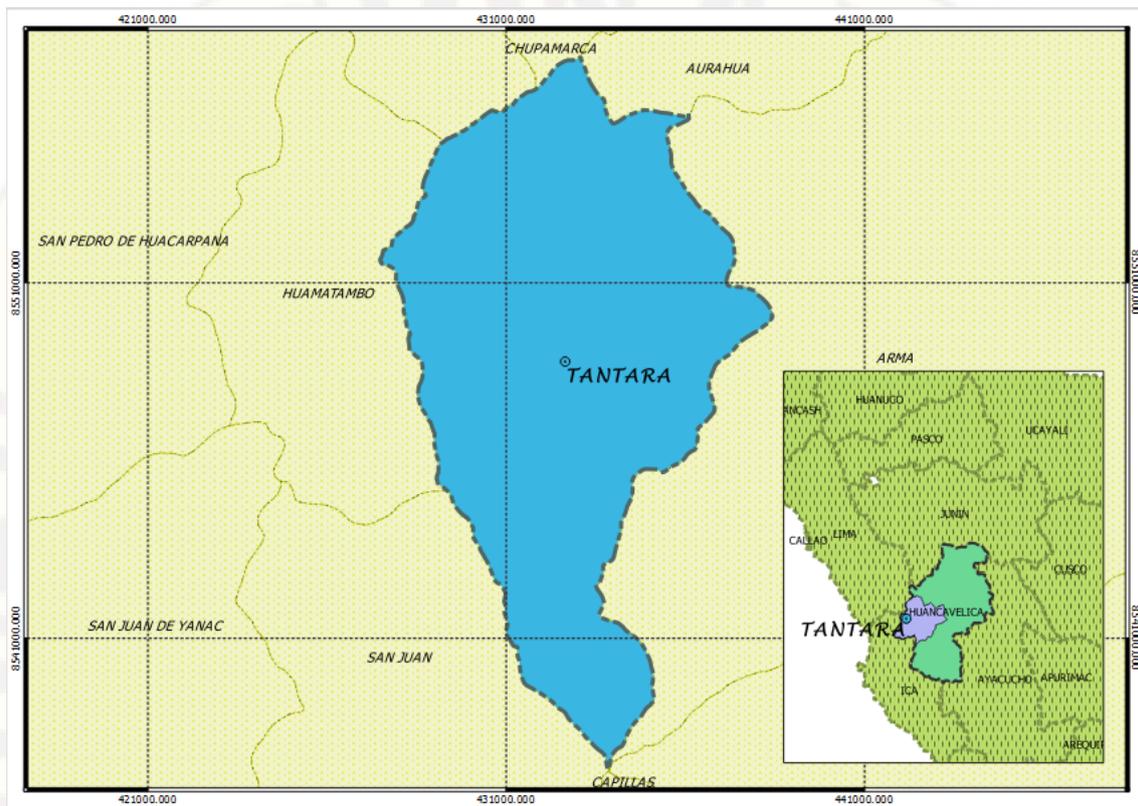


Figura 10. Localización del Distrito de Tantará, Castrovirreyña en la región de Huancavelica.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1 Búsqueda y recopilación de información.

Para la recopilación de información disponible se realizaron búsqueda de anteriores investigaciones en el tema de debris flow en la zona de estudio en este caso en la quebrada de Tantará, sin embargo, no se encontraron investigaciones anteriores sobre el tema esta zona, por lo que tomó referencia otras investigaciones en las diferentes cuencas a nivel nacional para tener conocimiento más profundo sobre el problema de flujo de detritos en el país y la región alto andina.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en 2012 ha elaborado un informe relevante al trabajo desarrollado por el Comité

Suramericano de Movimientos en Masa dirigidos por Chang y Alva (1988) y Montero (1999) en Mayunmarca - Huancavelica. En la que hace énfasis sobre los factores desencadenantes del flujo de detritos en zonas alto-andinas de topografía compleja.

Debido a los escasos estudios respecto al flujo de detritos en el área de interés se realizaron estudios de campo que nos permitió conocer las características topográficas, geológicas, geotécnicas, hidráulicas e hidrológicas en la quebrada de Tantarà en la parte del cono de deyección mediante la medición y observación insitu de los restos de escombros y la magnitud del flujo de detritos ocurrido en enero del año 2013.

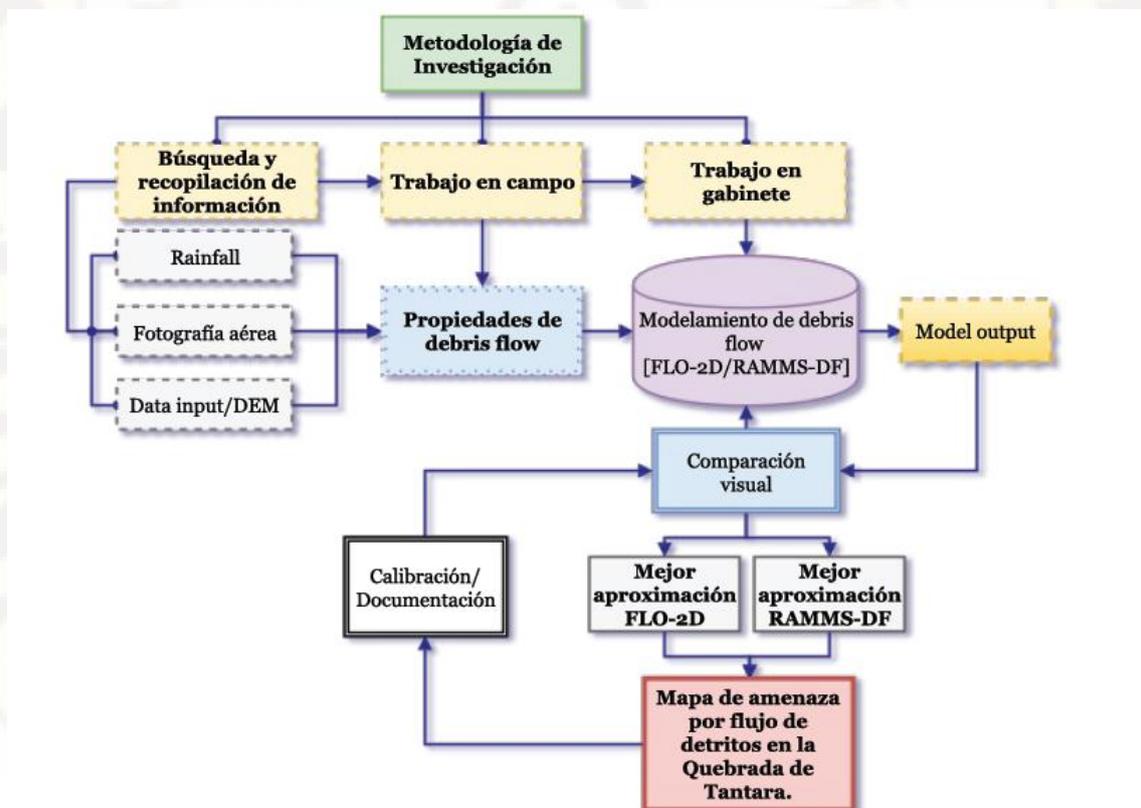


Figura 11. Gráfica de flujo de la metodología empleada en el estudio.

Elaboración propia.

Fuente: adaptado de Manual FLO 2D.

3.5.1.1 Información disponible de eventos históricos.

Para llevar a cabo el estudio de la investigación era necesario la recopilación de antecedentes sobre deslizamientos e inundaciones de flujos de detritos en la quebrada de Tantará, las cuales fueron documentadas y suministradas por las entidades de centro de operaciones de emergencia regional (COER) del gobierno regional de Huancavelica, el municipio de Tantará, y la entrevista de los pobladores en la zona. La información proporcionada fue estudiada con el propósito de identificar las zonas afectadas por el flujo de detritos considerando los niveles alcanzados del flujo, las infraestructuras afectadas, las viviendas y las áreas de cultivo. Esta información también fue utilizada para generar la cartografía necesaria para representar los eventos de flujo de detritos en la zona urbana de la quebrada de Tantará.

Los antecedentes revisados y estudiados fueron los siguientes:

- Informe de emergencia del día 10 de enero en el distrito de Tantará proporcionada por COER.
- Informe de INDECI-Huancavelica sobre los daños generados por el post-sísmico debris flow del día 15 de agosto del 2007.

3.5.2 Trabajo de campo.

Para contar con datos sobre flujo de detritos en la quebrada de Tantará, las mediciones se han llevado a cabo en los diferentes sitios en la zona de estudio durante el periodo julio-diciembre del 2014 en un área aproximada de 4.52 km² formado principalmente por dos subcuencas alimentadoras del material detrítico (ver Figura 15). Una inspección visual en la zona de estudio nos ha permitido identificar las huellas dejadas en árboles, abanicos aluviales por el

flujo de detritos ocurrido en enero del 2013. Adicionalmente importante para la calibración del modelo es la estimación del volumen de escombros depositados por el flujo de detritos en enero del 2013. La estimación del volumen de deposición se realizó en base a la amplia gama de estudios realizados en cuencas o zonas de estudio de similares características. Además, se han tomado muestras de campo, tanto en el cono de deyección como en el cauce principal para la caracterización geotécnica de los restos sólidos como: la granulometría, contenido de humedad y gravedad específica con el objetivo de definir un patrón característico para poder correlacionar con muestras tipo de los estudios similares. Las muestras TIPO son muestras ya estudiadas y caracterizadas, por lo tanto, se conoce los parámetros reológicos, como viscosidad y esfuerzo de cedencia. A continuación, se enumera los trabajos adicionales que se realizó durante las visitas al campo:

- Vuelos UAV sobre la zona de aluvional de la quebrada para obtener el Modelo Digital de Terreno (DEM) de alta resolución para la entrada del modelo de debris flow.
- Estimación del material disponible el cual puede ser parámetro de entrada para la simulación del flujo para generar el mapa de amenaza futuro en la zona.
- Evaluación de la posible zona de iniciación de debris flow en la parte alta de la quebrada.

Se obtuvo imágenes aéreo fotogramétricos de 0.5cm de resolución de la quebrada de Tantará, proyectado sobre el sistema de proyección UTM WGS84 zona 18s, los cuales fueron usados para orientación en el campo mapeando las localizaciones de áreas investigadas.

Las alturas del flujo de detritos depositado en el área aluvial fue estimado y registradas visualmente incluyendo todos los escombros desde los montones de sedimentos y arenosos hasta las rocas grandes que han fluido desde la parte alta de la quebrada Tantará. Una vez registrada los datos de debris flow, procesamos los datos con el software GRASS GIS 7.0 y realizamos la delimitación de la zona alimentadora de material detrítico de la quebrada. (Ver Figura 15, Figura 12) Los eventos de mayor incidencia registrados en el COER¹ datan de las fechas 15 de agosto del 2007 a consecuencia del movimiento sismo se produjo grandes movimiento de masas y el ultimo evento del 10 de enero del 2013 como consecuencia de intensas precipitaciones en la quebrada. Dichos fenómenos afectaron alrededor de 200 personas, 40 viviendas, 5 hectáreas de campos de cultivo afectadas, y el colapso de infraestructuras viales.



Figura 12. Datos tomados de la observación en campo sobre los parámetros del flujo de detritos.

Fuente: fotografía tomada por el equipo de investigación.

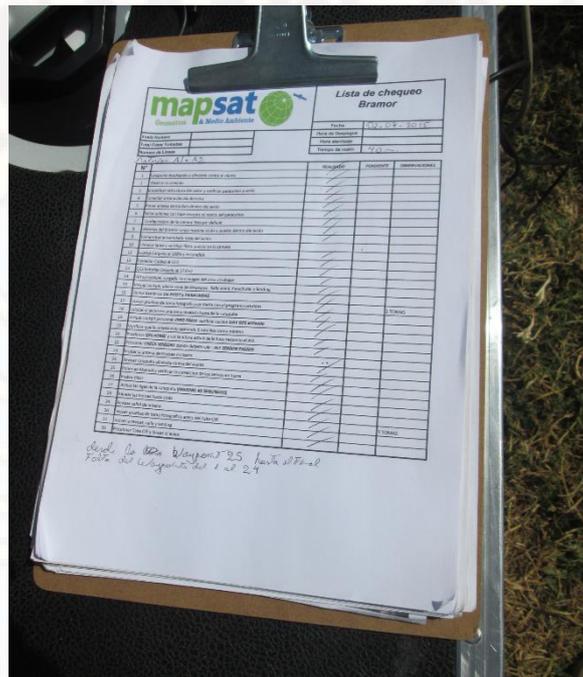


Figura 13. Mediciones de características del flujo de detritos.

Fuente: MAPSAT 2015.

3.5.3 Trabajo en gabinete.

El trabajo en gabinete básicamente consistió en el procesamiento de datos y la simulación de flujo de detritos en la quebrada de Tantará en un tramo de 1.5km desde la cabecera de la cuenca hasta la zona del cono aluvional.

El modelo digital de terreno (DEM) para la simulación consistió de un plano cartográfico a escala a 1:20000 para la delimitación de la cuenca y la correspondiente estimación de parámetros geomorfológicos. Adicionalmente se contó con ortofoto de 0.5x0.5cm de resolución obtenido a través de un vuelo (UAV2) sobre la quebrada Tantará las cuales se fueron parámetros de entrada sumamente importantes para la simulación de debris flow en la quebrada de Tantará.

La estimación de caudal líquido para la quebrada de Tantará se empleó la metodología desarrollada por Soil Conservation Service (SCS) con un hietograma sintético de tormenta de 24 horas de duración.

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

3.6.1 Delimitación de la quebrada de Tantará.

En base a la información proporcionada por las instituciones gubernamentales, entrevistadas en las visitas de campo (testimonios de los pobladores (ver Figura 12, Figura 13) y toda la información recolectada insitu se realizó la delimitación de la zona de estudio abarcando la zona urbana y las subcuencas alimentadoras en la parta alta de la quebrada con fin de llevar una adecuada visualización y representación del flujo de detritos en los modelos numéricos.



Figura 14. Testimonios sobre el flujo de detritos ocurrido en enero del año 2013
Fuente: tomado por el equipo de investigación.

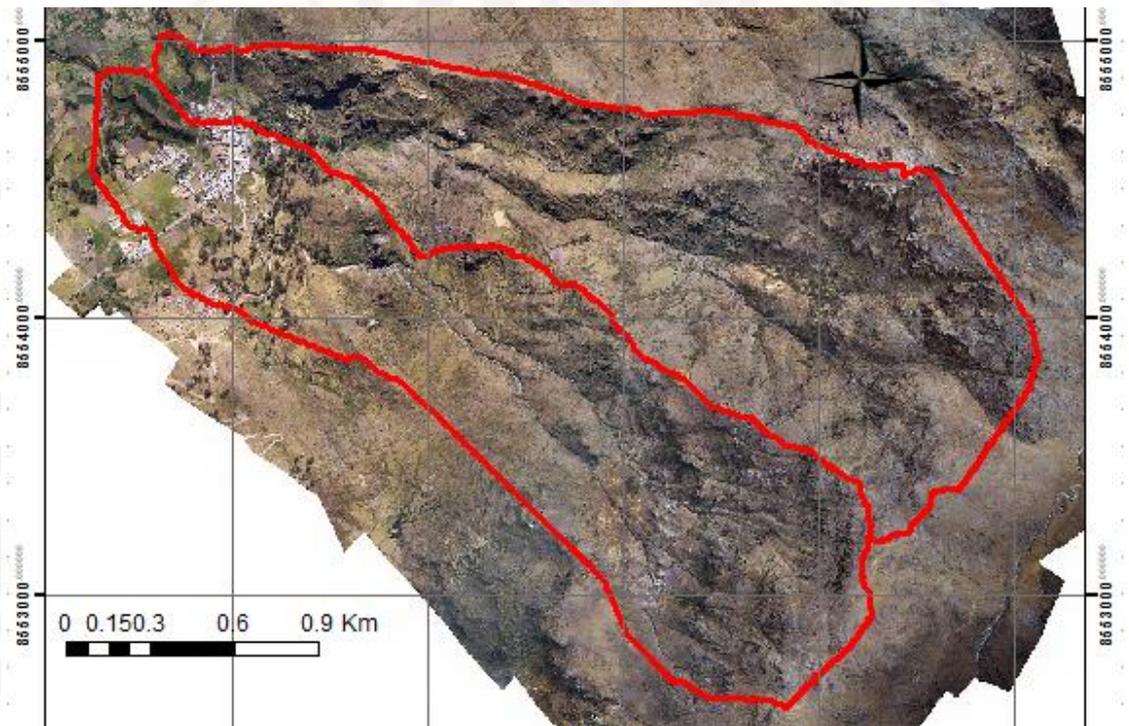


Figura 15. Área investigada en el trabajo de campo de julio-diciembre 2014
Fuente: elaboración propia.

3.6.2 Geomorfología de la quebrada de Tantará.

La zona de estudio, quebrada de Tantará sobre la zona de descarga tiene un trayecto de más de 4km a lo largo del cono de deyección aluvial, cuya parte superior de la quebrada se encuentra ubicada a 4068.22 m.a.s.l. El segmento más bajo de la quebrada es de 1.0 *km* comprendido entre los dos canales de llegada a la zona urbana. Además, en el trayecto a lo largo de cono aluvial, la quebrada de Tantará define el límite de los barrios de Estadiopampa y Chillhuapata.

La quebrada de Tantará incluye dos principales subcuencas tributarias, estas subcuencas están controladas por la estratificación de la formación abanico, desarrollando una erosión en las rocas y evidenciando un control

estructural en la red de drenaje. La quebrada de Tantar tributa cerca de la zona de descarga del río San Juan de Tantar.

3.6.2.1 Parámetros morfométricos de la quebrada.

Para determinar los caudales máximos que recibe la quebrada inicialmente es necesario determinar las características morfológicas de las subcuencas que lo conforman. Las características morfométricas de la quebrada de Tantar se obtuvo con la ayuda de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) y software de código libre GRASS GIS 7.2. A partir del DEM (Digital Elavation Model) en formato raster de la zona de estudio se procedió a determinar las corrientes de drenaje y se delimitaron las subcuencas. Finalmente se obtuvo los resultados como se pueden mostrar en la figura.

Adicionalmente se estimaron los parámetros morfométricos de la quebrada de Tantar obtenidos con GRASS GIS 7.2 como se muestra el resumen en la Tabla 8. Los parámetros resaltantes de las subcuencas de la quebrada de Tantar es que se puede observar que poseen similares características lo cual conlleva a deducir que el comportamiento morfológico de la quebrada de Tantar se puede tomar como de una sola cuenca.

Tabla 8. Tiempo de concentración T_c para la quebrada de Tantar

Parámetros Morfológicos quebrada de Tantar		
Parámetro	Unidad	Valor
<i>rea</i>	km ²	4.48
<i>Perímetro de la cuenca</i>	km	20.93
<i>Cota máxima</i>	msnm	4068.22
<i>Cota mínima</i>	msnm	2829.61
<i>X centroide</i>	m	596975.15
<i>Y centroide</i>	m	8537730.43
<i>Z centroide</i>	msnm	3713.26
<i>Altitud media</i>	msnm	3713.26

<i>Altitud más frecuente</i>	msnm	3648.34
<i>Altitud de frecuencia media</i>	msnm	3590.03
<i>Pendiente promedio de la cuenca</i>	%	12.31
<i>Longitud del curso principal</i>	km	4.19
<i>Orden de la red hídrica</i>	und	5
<i>Longitud de la red hídrica</i>	km	541.32
<i>Pendiente promedio de la red hídrica</i>	%	1.58
<i>Pendiente del cauced principal</i>	m/km	295.54

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2.2 Curva Hipsométrica.

Además de los parámetros morfológicos se obtuvo las gráficas de curvas hipsométricas, histograma de frecuencia y perfil longitudinal como se muestra en las Figura 16. De la curva hipsométrica Figura 16. de las subcuencas de la quebrada de Tantará se puede observar el alto grado de potencial de erosión (fase juventud) lo cual es un factor que ayuda a la generación de los flujos de detritos en la zona de estudio.

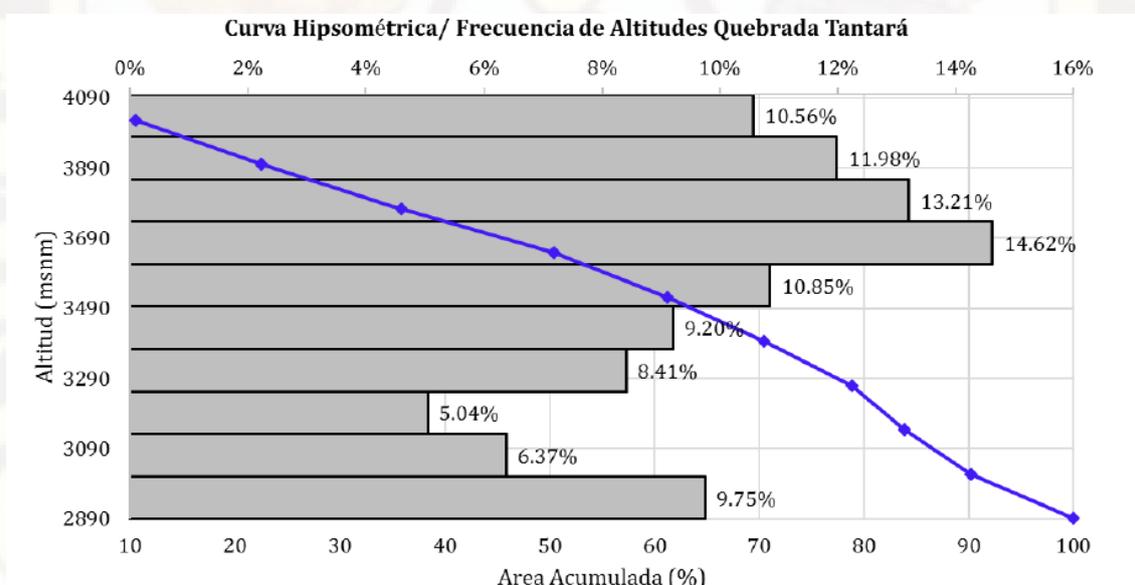


Figura 16. Curva hipsométrica y polígono de frecuencia de altitudes de la quebrada

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.3 Tiempo de concentración (Tc).

El tiempo de concentración (Tc) se define como el tiempo que tarda el agua en desplazarse desde la parte hidráulicamente más alejada de la zona que contribuye en la cuenca hasta la salida, después de que el suelo se ha saturado completamente y se han llenado pequeños depósitos de depresión. Tc se calcula sumando todos los tiempos de recorrido para componentes consecutivos del sistema de transporte de drenaje. En la Tabla 9 se resume el tiempo de concentraciones calculadas para la quebrada de Tantará.

Tabla 9. Tiempo de concentración Tc para la quebrada de Tantará

Tiempo de Concentración (Tc)	
Método	Tc (min)
Kirpich – 1940	19.19
California Culverts Practice - 1942	19.18
Promedio	19.2

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.4 Número de curva hidroloógico – CN.

El método de número curva fue establecido por el United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service en el año de 1972. El procedimiento para determinar el Curve Number, consiste en establecer un número adimensional de curva que se encuentre dentro del rango $0 \leq CN \leq 100$.

(Davie, 2008) El método Curve Number proporciona una solución simple al problema de cómo modelar la relación lluvia-escorrentía. Existen otros métodos para modelar la escorrentía de la lluvia, por ejemplo, el método de infiltración de Green-Ampt modificado se utiliza frecuentemente en modelos hidrológicos físicos para proporcionar estimaciones de infiltración y escorrentía superficial. La simplicidad proporcionada por el método Curve Number tiene muchos atractivos,

pero sí sufre de inconvenientes consecuentes. El más notable de éstos para cualquier análisis del cambio del uso de la tierra es que el método de número de curva varía según características del suelo y cubierta de tierra.

Tabla 10. Tabla de resumen de grupo de suelos hidrológicos.

Grupo de suelos hidrológicos	
Grupo A.	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B.	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
Grupo C.	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
Grupo D.	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas

Fuente: Taken from Hydrology and the management of watersheds.

Los valores del número de curva (CN) en la quebrada de Tantaré se ha tomado de estudios anteriores que a continuación mencionamos. Primero, según el estudio hidrológico del proyecto Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río San Juan realizado por la Autoridad Nacional del Agua (2015), la quebrada de Tantaré (Subcuenca de Alto San Juan) es asignado un tipo de suelo hidrológico B (característico para la quebrada). (Parámetros del Modelo de Cuenca, Tabla 11)

Tabla 11. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $la = 0.2s$,

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico			
	A	B	C	D
Tierra cultivada:				
sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:				
condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:				

condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques:					
troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,		45	66	77	83
Área abiertas, césped, parques, golf, cementerios					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Distritos Industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
		77	85	90	92
1/8 acre o menos	65	61	75	83	87
1/4 acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
1/2 acre	25	51	68	79	84
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Fuente: Hidrología Aplicada V.T. Chow

3.6.3 Caracterización Hidrológica.

3.6.3.1 Caudal Líquido.

Una vez definido el área de estudio y la estimación de parámetros morfológicos se determinaron las condiciones hidrológicas las cuales permitieron simular el flujo de detritos en la quebrada de Tantará.

Cuando no se cuenta con registros pluviográficos para establecer la duración y distribución temporal de la tormenta sobre la cuenca, es necesario emplear una metodología sintética para determinar las propiedades de las tormentas, como es el caso del Bloque Alterno. (Ayala Bizarro) En este estudio se empleó la metodología IILA SENAMHI UNI-83 debido a que en la zona de quebrada de Tantará no se cuenta con registros pluviométricos. Además, esta metodología se aplica con éxito en las regiones donde no se cuenta con

información hidrológica confiables ya que se aproxima mucho a la realidad (Chow & Maidment, 1959).

El método de bloques alternos requiere la obtención de las curvas sintéticas I-D-F para la zona de estudio. Con el método IILA SENAMHI UNI-83 se obtuvo las curvas sintéticas I-D-F de lluvia para los diferentes periodos de retorno, 10, 20, 50, 100 años. A partir de ello se generaron los hietogramas de precipitación correspondientes a cada periodo, para finalmente estimar los hidrogramas de avenidas para los diferentes periodos de retorno para la quebrada con el fin de incluir el aporte de estas subcuencas en la simulación numérica de los flujos de detritos. A continuación, en la Figura 17 se presenta las curvas I-D-F para las características hidrológicas según el estudio hidrológico regional IILA SENAMHI UNI de la quebrada de Tantará.

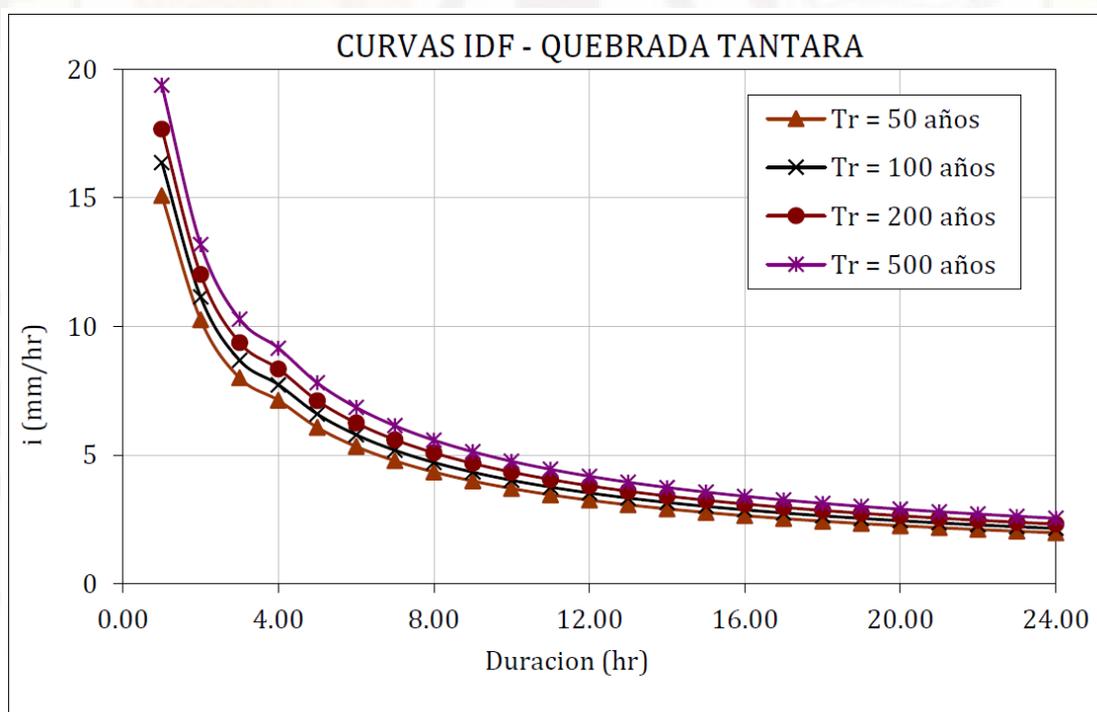


Figura 17. Curva I-D-F mediante el estudio hidrológico del Perú IILA SENAMHI UNI para la quebrada Tantará para los diferentes periodos de retorno. Fuente: elaboración propia.

El la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de las caudales máximas con el modelo HEC HMS en la zona de estudio que corresponde a la quebrada de Tantará.

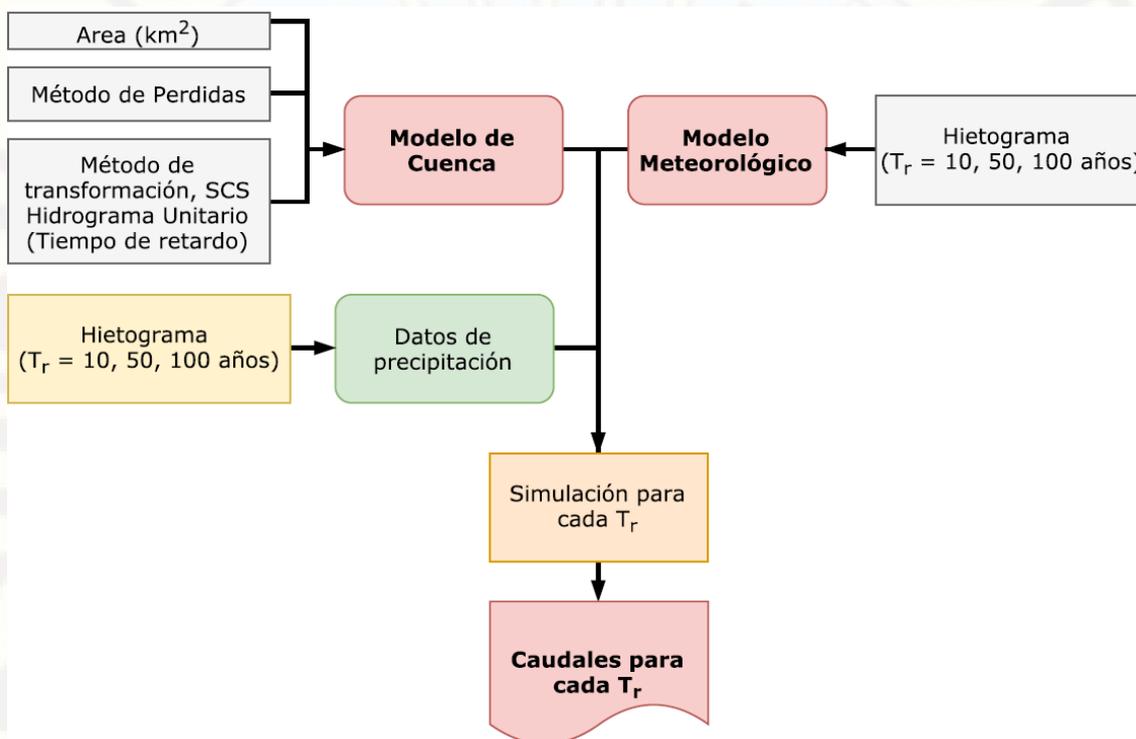


Figura 18. Diagrama de flujo para la obtención de las caudales máximas.
Fuente: Adoptado de HEC HMS

En la Tabla 12 se presenta un resumen del hietograma de lluvia estimadas para diferentes periodos de retorno a partir de las curvas I-D-F en la zona de estudio. Las hidrogramas de salida en la quebrada de Tantará se determinaron mediante el modelo HEC-HMS, debido a que el modelo es aceptado mundialmente por la comunidad científica, además se ha empleado en estudios similares en alrededor del mundo.

Tabla 12. Tabla de valores del hietograma de precipitación para los diferentes periodos de retorno en la quebrada de Tantará.

Tr = 10	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500
0.48	0.53	0.59	0.65	0.7	0.76
0.51	0.56	0.63	0.69	0.74	0.82
0.55	0.61	0.68	0.74	0.8	0.88
0.59	0.66	0.74	0.81	0.87	0.95
0.65	0.72	0.81	0.88	0.95	1.04
0.72	0.8	0.9	0.98	1.06	1.16
0.82	0.91	1.02	1.11	1.2	1.32
0.95	1.06	1.19	1.29	1.4	1.53
1.16	1.28	1.44	1.57	1.69	1.85
1.5	1.67	1.88	2.04	2.2	2.41
2.79	3.09	3.49	3.78	4.08	4.48
12.08	13.37	15.09	16.38	17.67	19.39
4.36	4.83	5.45	5.92	6.38	7
3.6	3.99	4.5	4.88	5.27	5.78
1.3	1.44	1.63	1.77	1.91	2.09
1.04	1.15	1.3	1.41	1.53	1.67
0.88	0.98	1.1	1.19	1.29	1.41
0.77	0.85	0.96	1.04	1.12	1.23
0.69	0.76	0.86	0.93	1	1.1
0.62	0.69	0.78	0.84	0.91	1
0.57	0.63	0.71	0.77	0.83	0.91
0.53	0.58	0.66	0.71	0.77	0.85
0.49	0.54	0.61	0.67	0.72	0.79
0.46	0.51	0.58	0.63	0.67	0.74

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos introducidos en el software HEC-HMS para el modelo de cuenca de la zona de estudio, modelo meteorológico y especificaciones de control para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 500 años, se calculó el caudal de máximas avenidas en al cauce de la quebrada de Tantará.

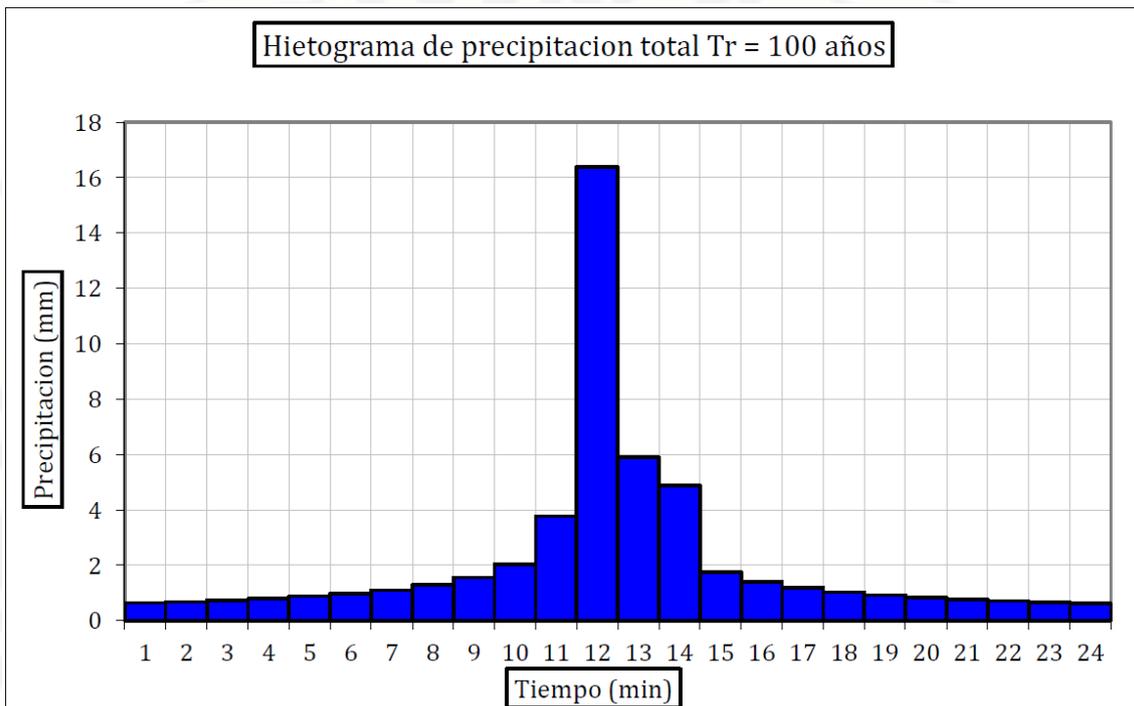


Figura 19. Hietograma de lluvia para un periodo de retorno $Tr = 100$ años mediante la metodología IILA SENAMHI UNI y el método de bloques alternos
Fuente: Elaboración propia.

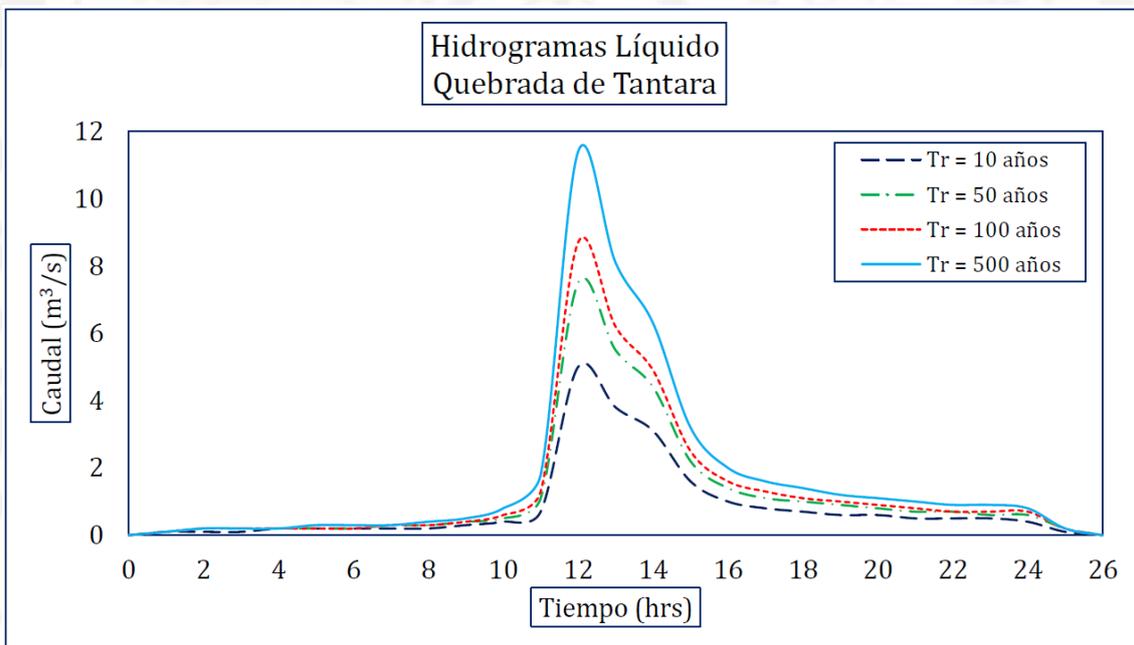


Figura 20. Hidrograma líquido de caudales máximos para los diferentes periodos de retorno en la quebrada de Tantará.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2 Hidrograma de sólidos.

Para la estimación de los hidrogramas de salida del flujo de debris flow se siguieron la metodología planteada por O'Brien et al., (1993) el cual consiste en asignar al caudal del líquido una concentración volumétrica de material sólido. Esta asignación se realiza en base a observaciones de campo y en las características granulométricas del sedimento en el cono aluvial siguiendo las recomendaciones de O'Brien, 2000. Por ello se asignaron valores de concentración entre 20% para caudales bajos y 38% para el caudal pico del creciente. La Figura 21 muestra la distribución de la concentración de material sólido para el creciente de $T_r = 50$ años.

Tabla 13. Valores del hidrograma liquido - sólido para el periodo de retorno $T_r = 50$ años

Tiempo (hrs)	Q (m ³ /s)	Cv
00:00	0	0.25
01:00	0.1	0.25
02:00	0.2	0.25
03:00	0.2	0.25
04:00	0.2	0.25
05:00	0.2	0.25
06:00	0.2	0.25
07:00	0.3	0.25
08:00	0.3	0.25
09:00	0.4	0.25
10:00	0.5	0.25
11:00	1.1	0.25
12:00	7.5	0.3
13:00	5.5	0.25
14:00	4.4	0.25
15:00	2.2	0.25
16:00	1.4	0.25
17:00	1.1	0.25
18:00	1	0.25
19:00	0.9	0.25
20:00	0.8	0.25
21:00	0.7	0.25
22:00	0.7	0.25

23:00	0.6	0.25
00:00	0.6	0.25
01:00	0.2	0.25
02:00	0	0.25

Fuente: Elaboración propia.

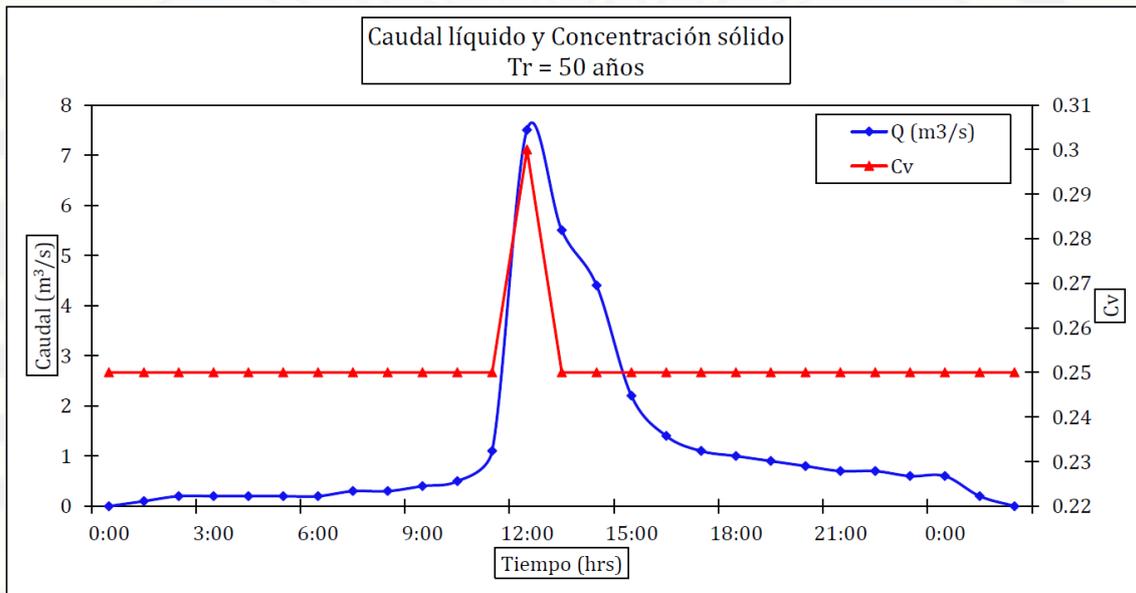


Figura 21. Hidrograma líquido-sólido de la quebrada Tantará para un periodo de retorno $Tr=50$ años
Fuente: Elaboración Propia..

3.6.4 Caracterización sedimentológica.

Para realizar la caracterización sedimentológica del material en el cono aluvial de flujo de detritos de la quebrada de Tantará se realizó inicialmente varias visitas de campo para observar directamente la variación de los tamaños de los sedimentos en el abanico aluvial.

3.6.4.1 Curva granulométrica del material aluvional.

Con el objetivo de realizar la simulación de debris flow en la quebrada de Tantará se realizó la caracterización granulométrica de escombros en el cono aluvional tomadas de 3 muestras (MT-01, MT-02, MT-03). Los resultados

muestran la baja plasticidad del material en la zona aluvional de la quebrada de Tantara.

Tabla 14. Análisis granulométrico del material aluvional en la quebrada de Tantara.

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854)		
Clasificación (S.U.C.S.)		GW
Descripción:	GW - Well-graded gravel with sand	
Clasificación (AASHTO)		A-2-6
Descripción (AASHTO)		REGULAR
Contenido de Humedad	(%)	3.92
Límite Líquido (LL)	(%)	24.37
Límite Plástico (LP)	(%)	12.28
Límite Contracción (LC)	(%)	NP
Índice Plástico (IP)	(%)	12.09

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos E.R.A.

3.6.4.2 Coeficiente de rugosidad de Manning.

El cálculo de los coeficientes de rugosidad de manning se realizó en base al análisis comparativo de imágenes satelitales landsat 8 y los registros de visitas de campo para calibrar los datos los resultados mostrados con la guía elaborada por Ven Te Chow en su libro Open Channel Hydraulic (1959). Los valores de rugosidad que fueron utilizados en la simulación de flujo de detritos en la quebrada de Tantaré se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores de coeficiente de Manning.

Coeficiente de Manning	
Descripción	n
Canal revestido	
Cemento / mortero	0.015
Recubrimiento vegetal	0.5
Corrientes montañosas, sin vegetación en el río bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales	
fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.05
fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.07
Planicies de inundación	
a) Pastizales, sin matorrales	
pasto corto	0.035

pasto alto	0.05
b) Áreas cultivadas	
sin cultivo	0.04
campos cultivados	0.05
c) Matorrales	
matorrales dispersos, mucha maleza	0.07
pocos matorrales y arboles	0.065

Fuente: Ven Te Chow, Open Channel Hydraulic (1959).

3.6.4.3 Concentración volumétrica (Cv).

Para efectos de la simulación bidimensional en el modelo FLO-2D, el caudal de sólidos e incorpora al caudal total, para generar el hidrograma total del flujo de detritos, aplicando el método desarrollado por O'Brien (2009) que consiste en generar una convolución del hidrograma de caudales líquidos (en este caso el hidrograma sintético SCS) con BF, un factor volumétrico que depende del coeficiente de concentración en volumen de sólidos medido en el flujo.

Tabla 16. Valores máximos de caudales líquidos y la concentración volumétrica (Cv) en la quebrada de Tantará.

Nro	Quebrada	Area(km ²)	Tc=10	Tr=50	Tr=100	Tr=500
1	Tantará	4.7	5	7.5	8.7	11.4
Concentración volumétrica (%)			20-25	25-30	30-40	40-50

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.5 Modelamiento de debris flow en la quebrada de Tantará.

Para la identificación de zonas de amenaza se plantea la modelación de flujo de debris flow con el modelo numérico FLO-2D, ya que dichos modelos matemáticos simulan las áreas de inundación por flujo de detritos (fluidos no newtonianos) basándose en el análisis cuantitativo del comportamiento a nivel espacial y temporal de los flujos de los flujos.

3.6.5.1 Modelamiento de debris flow con FLO-2D.

3.6.5.1.1 Información Topográfica.

Como primer paso para el proceso de simulación dinámica mediante el modelo bidimensional FLO-2D consistió en la construcción del DEM (Digital Elevation Model). El DEM de alta resolución fue generado a partir de vuelos UAV en la zona de estudio, obteniendo una resolución de 0.5mx0.5m, una imagen ortofoto de 0.1x0.1 y la cartografía base de Tantarà con curvas de nivel cada 5m y una escala 1:2000, estudios topográficos proporcionados por la gerencia de infraestructura y planeamiento de Tantarà y la información topográfica recolectada en la zona de estudio.

Como segundo paso, se delimitó el área la cuenca de estudio a simular, y como resultado se obtuvo un área de 4.70 km². El área comprende la parte alta y urbana de la quebrada de Tantarà para permitir la simulación adecuada de las áreas potencialmente inundables y obtener el mapa de amenazas frente a un evento de debris flow. La malla computacional utilizada en la simulación de flujo de detritos en la quebrada de Tantarà cuenta con un tamaño de celda 1mx1m, con el cual se generó 150468 celdas de dominio para un tiempo de simulación (compute run time) 3.36 horas para un periodo de retorno (Tr) 50 años.

3.6.5.1.2 Implementación del modelo dinámico.

Los datos de entrada (input date) en el modelo FLO-2D son los siguientes:

- i. Datos topográficos del terreno, Digital Terrain Model (DTM), Digital Elevation Model (DEM).
- ii. Valores de rugosidad de la planicie de inundación, calles tomadas desde un estudio bibliográfico sobre el tema y estudios realizados en la zona de influencia.

- iii. Hidrograma de entrada (Input hydrograph) líquidos y sólidos. Los caudales líquidos obtenidos mediante el modelo hidrológico HEC-HMS y caudales sólidos en función a la concentración volumétrica de sedimentos obtenidos a partir de la caracterización geomorfológica.
- iv. Características reológicas de la mezcla de debris flow o mud flow, son estimados indirectamente comparando muestras de la quebrada con muestra tipo.

3.6.5.2 Calibración del modelo computacional FLO-2D (DF).

Para fines predictivos del flujo de detritos un modelo computacional debe ser calibrado con el objetivo de contrastar con eventos históricos. La calibración del modelo bidimensional FLO-2D requiere la comparación del volumen de debris flow como también la comparación de tirantes del flujo medidos para eventos históricos.

Es importante mencionar que se debe desarrollar varias simulaciones para obtener los parámetros que mejor reproduzcan los tirantes del modelo con la altura del debris flow medidos en el trabajo de campo para los eventos ocurridos en la quebrada y el área urbana. Sin embargo, es muy importante subrayar que la información con la cual se cuenta para realizar la calibración es muy limitada respecto al flujo de detritos en la zona de estudio. Por lo que la calibración que se ha logrado en este trabajo deberá ser mejorada en estudios posteriores considerando los registros y estudios de campo de mayor precisión y detalle.

Por otra parte, el modelo FLO-2D se basa en el principio de conservación de volumen con el fin de garantizar una modelación numérica con resultados

confiables. Es así que el error máximo no debe superar el 0.001% del volumen total de los hidrogramas de entrada (O'Brien & Julien , Laboratory analysis of mudflow properties, 1988).

3.6.5.2.1 Caudal líquido – sólido.

De los cálculos hidrológicos descritos líneas arriba en la presente tesis, se obtuvieron los hidrogramas de caudal líquido para la precipitación ($P_{24}=16.38\text{mm}$) que corresponde al valor máximo de precipitación para un periodo de retorno de 100 años en la quebrada de Tantará.

3.6.5.2.2 Fotografías de campo.

Durante las visitas de campo se han obtenido fotografías de campo para la validación y calibración del modelo bidimensional FLO-2D. En el anexo se presenta las fotografías obtenidas del estudio de campo.

3.6.5.3 Diagrama de flujo para la simulación de flujo de detritos.

El diagrama de flujo para la simulación de debris flow con el modelo FLO-2D se muestra en la figura. Primero que todo, para realizar la simulación de flujo de detritos se procesa la topografía (Modelo Digital de Elevaciones). Una vez obtenido el Modelo Digital de Terreno (MDT), se procede a importar el DEM al procesador GDS (System Developer Grid) el cual permite definir las grillas para la simulación. En el ambiente del pre-procesador (GDS) una vez obtenidos las grillas y delimitado el dominio computacional se procede asignar los coeficientes de Manning y la ubicación del hidrograma de entrada (Inflow) en la grilla del dominio computacional. Luego de definir, asignar los valores de Manning, también se define las grillas de salidas de flujo (Outflow).

Para la simulación de un flujo de detritos con el programa FLO-2D se requiere como mínimo 7 archivos cuya extensión es *.DAT. A continuación, se lista los archivos necesarios para la simulación de debris flow:

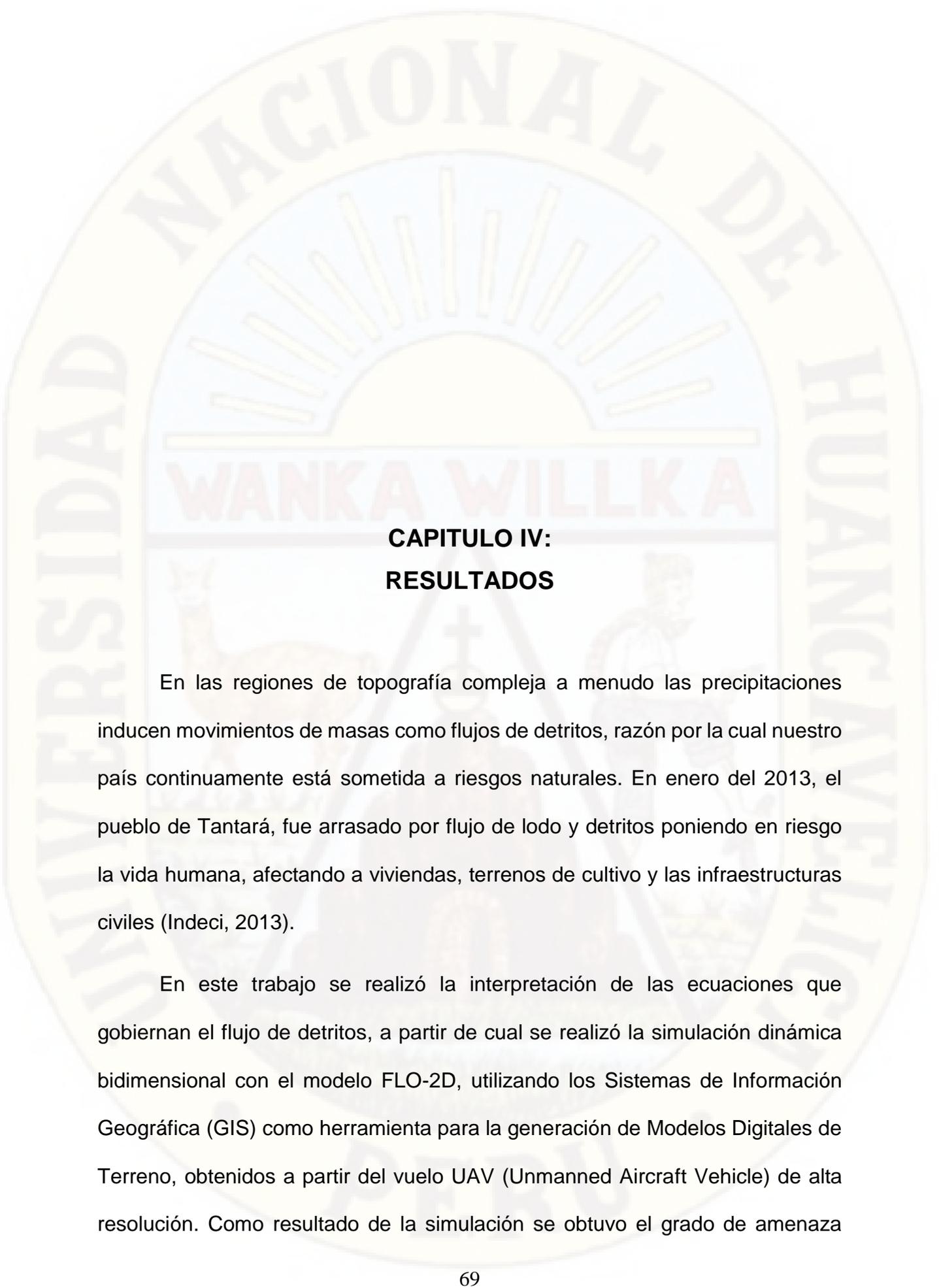
- FPLAIN.DAT
- CADPTS.DAT
- CONT.DAT
- TOLER.DAT
- INFLOW.DAT
- OUTFLOW.DAT
- SED.DAT

A continuación, se realiza una descripción breve sobre cada uno de ellos:

- Los archivos FPLAIN.DAT y CADPTS.DAT son creados por el pre-procesador GDS y nos indican el número de grillas utilizadas con su respectiva numeración. La cota de terreno y el coeficiente de Manning que corresponde a cada grilla son especificados en estos archivos.
- El archivo CONT.DAT es el archivo principal del programa y aquí se define el tiempo de simulación y el proceso físico a analizar. Para nuestro caso el proceso a ser simulado es Mud/Debris ó flujo de barro y detritos.
- El archivo TOLER.DAT es donde se indican las variables de control del sistema y dónde se define la ecuación de momentum, Fluid Dynamic Wave y los coeficientes de estabilidad para la onda dinámica. También se indica el paso de tiempo utilizado (Timestep).
- El archivo INFLOW.DAT es dónde se describe el hidrograma de entrada y la numeración de la grilla de inicio. Para el caso de simulaciones de flujos de detritos el hidrograma líquido va acompañado de una distribución de concentración de sedimentos. El programa se encarga de calcular el hidrograma de la mezcla para después proceder a transitarlo hacia aguas abajo.
- El archivo OUTFLOW. DAT es donde se indican las grillas por donde el flujo seguirá su camino. Para nuestro caso, estas grillas se ubicarían en

la parte baja de la quebrada. Estas grillas de flujo de salida deben indicarse para el caso de que la topografía no esté completa aguas abajo.

- El archivo SED.DAT es dónde se indican las propiedades reológicas del flujo de detritos. Las propiedades reológicas dependen del tipo de material existente en la quebrada y si se trata de un flujo muy viscoso o granular. Dentro de este archivo, debemos definir los coeficientes de viscosidad y esfuerzo de cedencia; la gravedad específica del sedimento (G_s) y el parámetro de resistencia para flujos laminares (K). Una vez ingresado todos los parámetros correspondientes y bajo cierto criterio del tipo de flujo a simular, se procede a realizar el Run o simulación del flujo de detritos para la quebrada respectiva.
- Finalmente, los resultados son graficados en los post-procesadores MAPPER ++ y MAPPER Pro pertenecientes al programa FLO-2D. Los resultados obtenidos por el programa son las elevaciones del terreno, tirantes, velocidades, presión de impacto, volúmenes de agua y sedimento del flujo. El mapa de amenaza por el flujo de detritos para diferentes escenarios de simulación.

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica is a large, circular emblem in the background. It features a sun with rays rising over a horizon line, with the text 'WANKA WILLKA' below it. The words 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA' are written around the perimeter of the circle. In the center, there is a shield with a cross and a figure.

CAPITULO IV: RESULTADOS

En las regiones de topografía compleja a menudo las precipitaciones inducen movimientos de masas como flujos de detritos, razón por la cual nuestro país continuamente está sometida a riesgos naturales. En enero del 2013, el pueblo de Tantará, fue arrasado por flujo de lodo y detritos poniendo en riesgo la vida humana, afectando a viviendas, terrenos de cultivo y las infraestructuras civiles (Indeci, 2013).

En este trabajo se realizó la interpretación de las ecuaciones que gobiernan el flujo de detritos, a partir de cual se realizó la simulación dinámica bidimensional con el modelo FLO-2D, utilizando los Sistemas de Información Geográfica (GIS) como herramienta para la generación de Modelos Digitales de Terreno, obtenidos a partir del vuelo UAV (Unmanned Aircraft Vehicle) de alta resolución. Como resultado de la simulación se obtuvo el grado de amenaza

frente a la ocurrencia del flujo de detritos en la quebrada de Tantar en los diferentes escenarios de ocurrencia, finalmente obteniendo los mapas de amenaza según el grado de peligrosidad determinado por Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Los mapas de peligrosidad precisos que proporcionan una representación visual de la dimensión anticipada e intensidad del riesgo de inundación pueden proporcionar información esencial para los objetivos del trabajo.

Métodos empíricos y la aplicación de modelos numéricos son las principales aproximaciones de representar los eventos de movimientos de masas. En la modelación numérica el principal objetivo es entender el comportamiento la dinámica del fenómeno desde la iniciación hasta la deposición.

4.1 PRESENTACIÓN DE DATOS

4.1.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo reveló que el movimiento sísmico del año 2007 fue la fuente detonante de los desechos para el subsiguiente flujo de detritos inducido por la lluvia que golpeó Tantar el año 2013. Esto también fue confirmado por el segmento de entrevistas del trabajo de campo que antes del Terremoto del 15 de agosto de 2007, no había registro frecuente de flujo de detritos en la cuenca. Se observaron huellas marcadas por el flujo de detritos Ver Figura 22.



Figura 22. Cantos rodados depositados en el cono de deyección.
Fuente: Investigadores FOCAM, 2015

Otras fuentes de desechos incluyen la erosión del piso del canal y la erosión de la roca / suelo en la pendiente con pendiente con una fracturación muy alta, lo que los hace inestables. Sin embargo, también se observó durante el trabajo de campo. La topografía de la cuenca desempeñó un papel clave en la removilización de detritos en la cuenca hidrográfica, ya que es muy empinada, con el punto más alto a 4090.930 *m* sobre el nivel del mar. Los materiales de la quebrada estaban formados por restos grandes a pequeños de rocas graníticas, como se muestra por relación de campo. La cuenca se caracterizó por numerosas fallas que pueden haberse desarrollado como resultado del terremoto que golpeó la cuenca, hizo que la cuenca sea más vulnerable a las actividades de derrumbes. Este evento, condujo a la disponibilidad de detritos (debris flow).

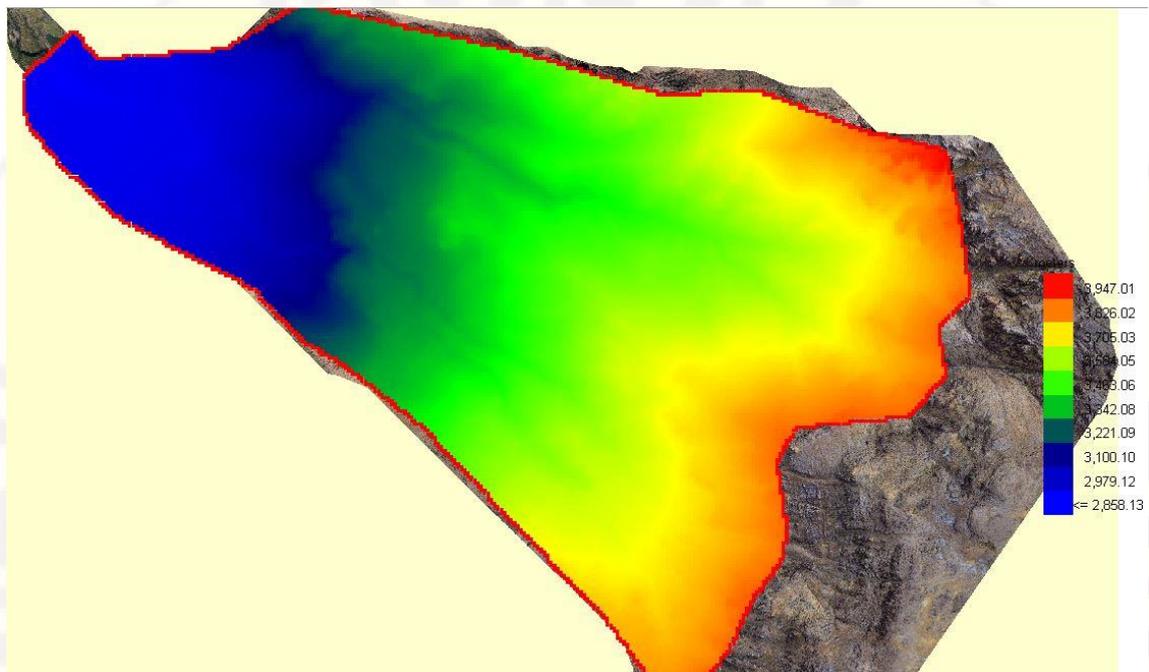


Figura 23. Modelo de Elevación Digital (DTM).
Fuente: MAPSAT, UAV-Global Network.

4.1.3 Resultados de laboratorio.

En la Tabla 17 se presenta un resumen de estadísticas de medida de tendencia central y dispersión. Las propiedades físicas del suelo evaluadas de las muestras de suelo en el laboratorio son: Peso específico saturado (Ksat), porosidad, contenido de humedad, densidad aparente y humedad.

Tabla 17: Resumen estadístico de las propiedades físicas del suelo.

Propiedades Físicas	Media	SD	Mediana	n
Densidad aparente(g/cm ³)	1.42	0.24	1.36	3
Capacidad de suelo	0.35	0.09	0.36	3
Contenido de Humedad	0.24	0.03	0.24	3
Peso específico saturado (Ksat)	0.66	0.11	0.64	3
Porosidad	49.25	7	48	3

Fuente: Laboratorio de Suelos y Concreto E.R.A Reg. N 4854.

El resultado de las 3 muestras de suelo reveló que la conductividad hidráulica saturada, K_{sat} y la porosidad de la cuenca son bastante altas. Esto puede haber facilitado la rápida infiltración del agua de lluvia en los cuerpos de tierra, saturando así el suelo. Bajo esta condición de saturación, junto con numerosas fallas y la pendiente pronunciada, los materiales de los cuerpos de deslizamientos (detritos) fallaron y se removilizaron como flujo de detritos. Este flujo de detritos se mueve hacia abajo en el lecho del canal y arrastra otros materiales del lecho de la corriente antes de la deposición sobre el ventilador de flujo de detritos.

4.1.2 Resultados de FLO-2D

Para la elaboración del mapa de amenaza de la zona urbana de Tantará se utilizó el programa MAPPER ++, esto requiere como dato de entrada los resultados de las diferentes simulaciones descritos anteriormente y se aplicó el criterio establecido por PREVENE (Jakob, Stein, & Ulmi, 2012).

Un análisis preliminar fue desarrollado superponiendo resultados de las simulaciones realizadas en términos de velocidades y profundidades máximas para la quebrada de Tantará, correspondiente a las crecientes de 10, 100 y 500 años de recurrencia, se ha construido y dibujado mapas de amenaza por flujo de detritos, los cuales se muestran en la Figura 24, Figura 25 y Figura 26.

El resultado de flujo de detritos muestra la velocidad máxima de flujo de 2.8 m/s (Figura 24), profundidad máxima de 5.02 m , (Figura 25) y la fuerza de impacto de $4.559.6 \text{ N/m}^2$ (Figura 26) área de inundación del es 955000 m^2 .

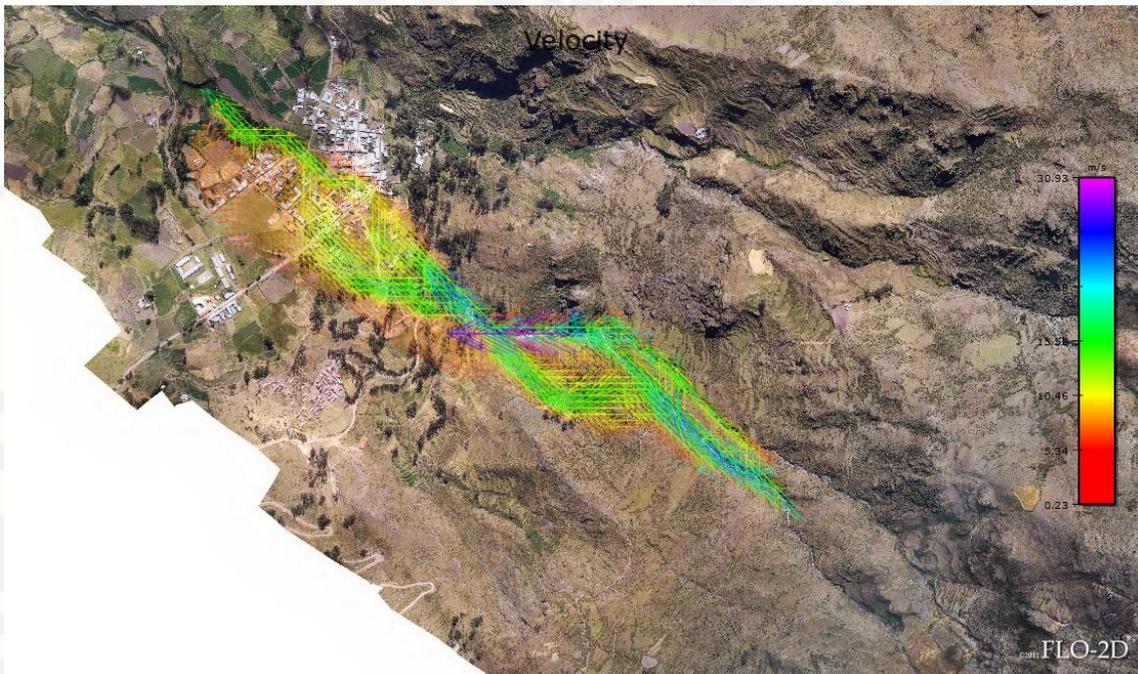


Figura 24. Velocidad máxima de la grilla de flujo de detritos
Fuente: Elaboración propia.

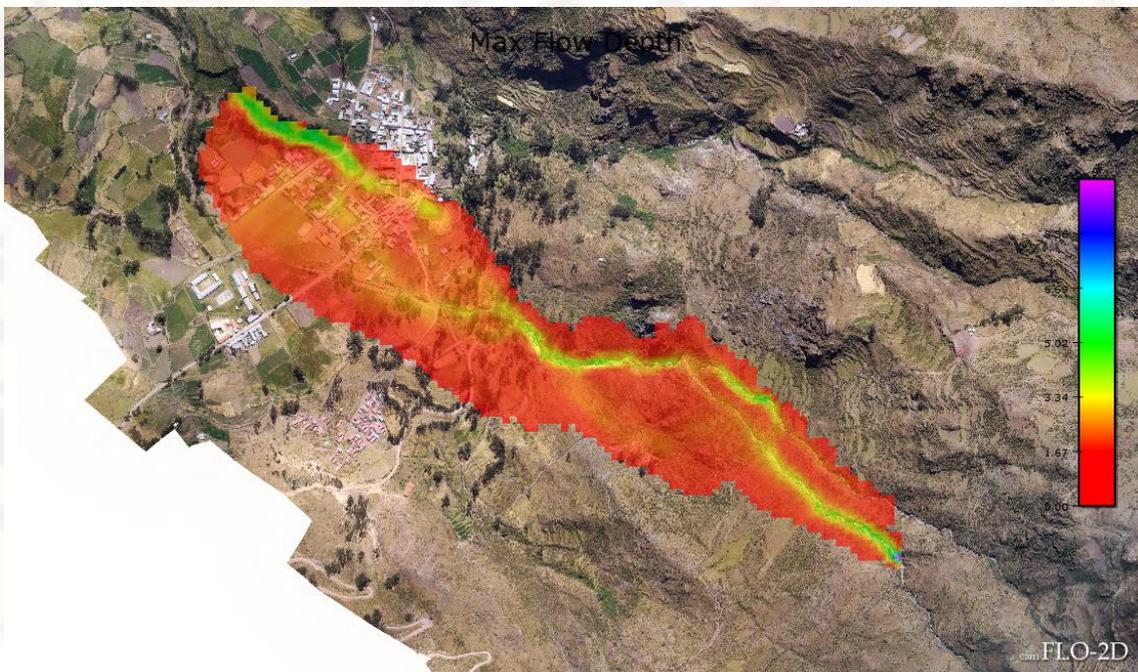


Figura 25. Profundidad máxima de la grilla de flujo de detritos.
Fuente: elaboración propia

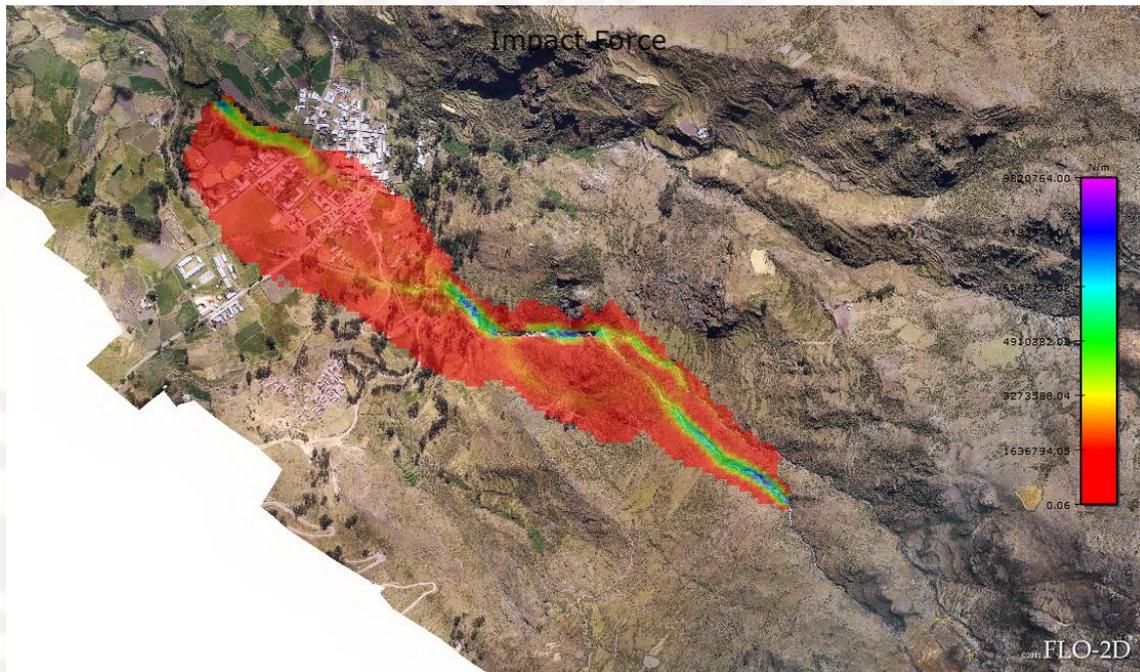


Figura 26. Fuerza de impacto de grilla de flujo de detritos.
Fuente: Elaboración propia.

El resultado muestra que la velocidad del flujo de detritos varía a lo largo de la cuenca (Figura 24). Esto puede deberse en parte a la naturaleza empinada del terreno que puede contribuir al movimiento descendente del flujo de detritos. Además, esto también puede deberse en parte al volumen de materiales arrastrados a medida que los restos se mueven y el componente de fricción basal del flujo en varios puntos. La velocidad es pequeña en los puntos de inicio usualmente en la parte superior de la cuenca. En ese punto, los materiales de detritos no han ganado suficiente energía cinética para fluir debido a la fuerza de inercia que tiende a restringir el flujo de movimiento. La velocidad se vuelve más rápida en el canal debido al estrechamiento del canal. la profundidad de flujo varía constantemente, pero alcanza mayor altura en la parte del cono de deyección donde todos los materiales de flujo de detritos tienden a acumularse.

La fuerza de impacto en el punto de iniciación es baja, esto puede deberse al hecho de que el flujo de detritos no ha arrastrado los materiales tanto como para afectar la fuerza de impacto (Figura 26). La fuerza de impacto cambia a medida que los restos se mueven a través del canal debido al estrechamiento del canal. El estrechamiento del canal de captación visto durante el trabajo de campo puede ser responsable de la fuerza de alto impacto en el inicio del cono de deyección. También en este punto, los desechos han arrastrado otros materiales a lo largo de su camino y arrastran con una gran masa, lo que resulta en una gran fuerza de impacto.

Finalmente, las áreas de amenaza de intensidad alta (roja), media (naranja) y baja (amarilla) se ajustaron usando QGIS en el mapa de amenaza Ver anexos, de acuerdo a las velocidades y profundidades máximas correspondiente a la creciente de 50 y 100 años de recurrencia.

Mapa de Amenaza por el Flujo de Detritos en la quebrada de Tantará.

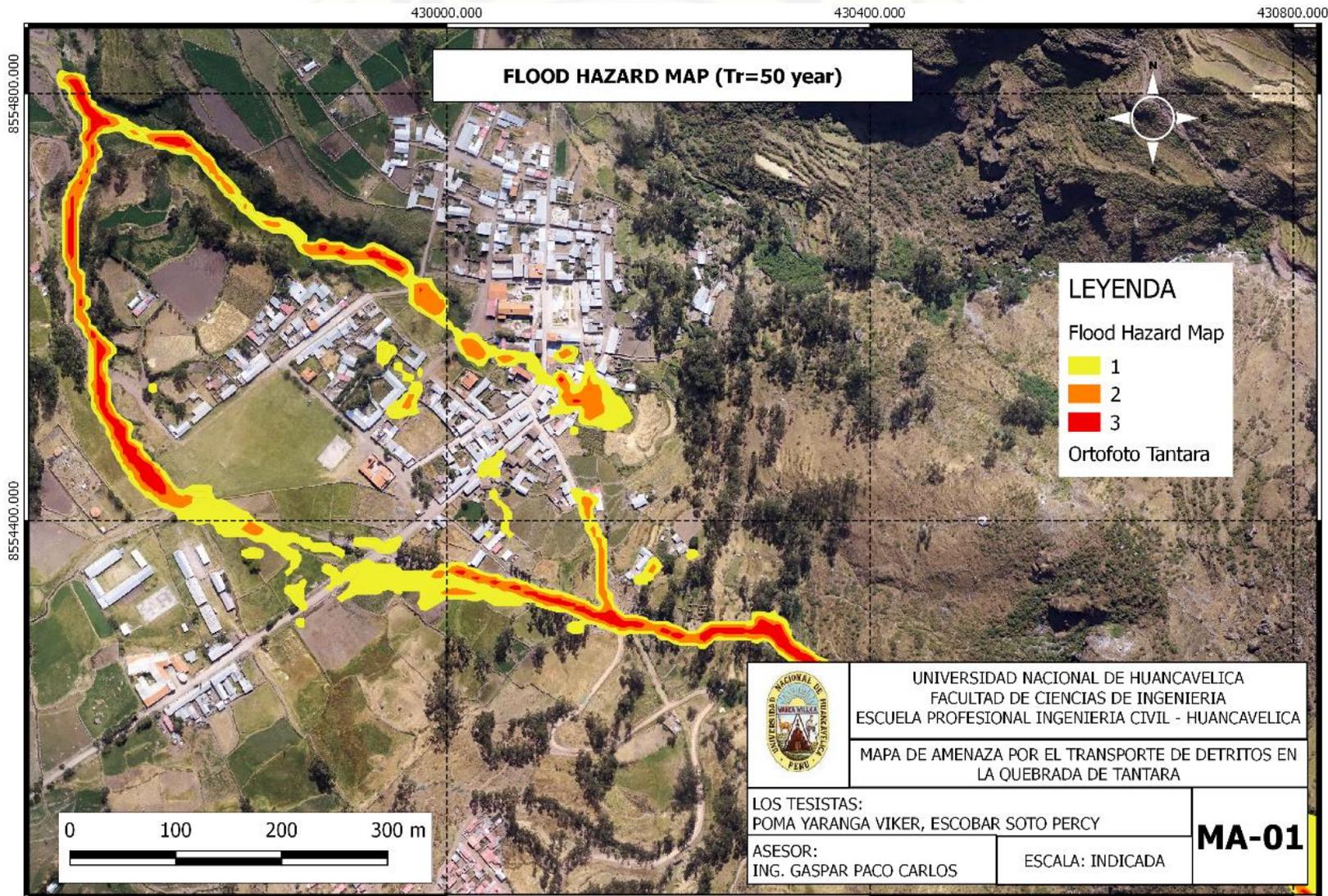


Figura 27. Mapa de Amenaza por el flujo de Detritos en la quebrada de Tantar. Para el periodo de retorno de 50 años.

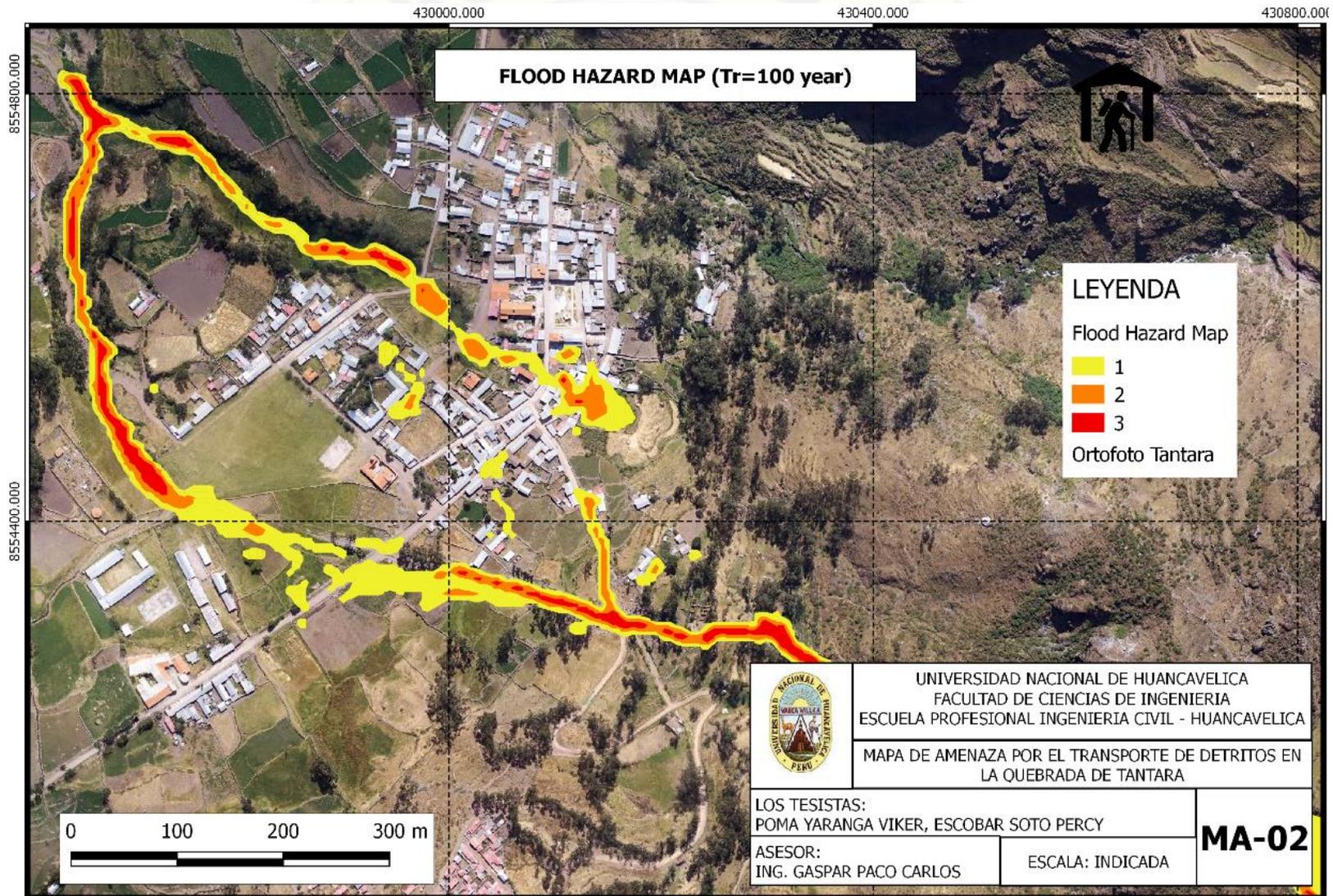


Figura 28. Mapa de Amenaza por el flujo de Detritos en la quebrada de Tantar. Para el periodo de retorno de 100 años.

4.2 ANÁLISIS DE DATOS

4.2.1 Sensibilidad a la concentración de sedimentos.

Un análisis de sensibilidad cuantifica la variación de resultados de salida del modelo debido a las variaciones en las entradas del modelo. Muestra cuán sensible es la salida del modelo para cambiar en la entrada y da una indicación de qué parámetro de entradas pesa más en el modelo. El análisis de sensibilidad se llevó a cabo en cuatro parámetros de entrada. Estos parámetros son: concentración de sedimentos (C_v), viscosidad (coeficiente de viscosidad y exponente), esfuerzo de cedencia (coeficiente de esfuerzo de cedencia y exponente) y n de Manning (coeficiente de fricción).

Sin embargo, la gravedad específica del sedimento y la resistencia al flujo laminar " k " se mantuvieron constantes a 2,65 y 24 respectivamente a lo largo de esta investigación.

Cada parámetro de entrada individual se aumentó o disminuyó según cierto valor de la literatura, mientras que los demás parámetros de entrada se mantuvieron constantes para no afectar la sensibilidad del parámetro que se está probando.

La concentración de sedimentos es un factor básico importante cuando se analizan simulaciones de flujo de detritos. La mayoría de los estudios de flujo de detritos requieren la estimación de la concentración de sedimentos por volumen, ya que esto es muy importante para describir la magnitud de un evento. También es importante tener en cuenta que la concentración de sedimentos

determina la clasificación de los flujos en inundaciones de agua, inundaciones de lodo, flujos de detritos y terrenos.

Por esta razón, se probó la concentración de sedimento por volumen que varía de 0,3- 0,4- 0,5- 0,6 y 0,7, mientras que otros parámetros constantes se muestran como resultado en la Tabla 18.

Tabla 18. Resultado del análisis de sensibilidad a la concentración de sedimentos

Concentración de sedimentos	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Volumen total (m^3)	150,100	155,491	161,353	167,749	174,754
Velocidad máxima (m/s)	2.9	2.9	2.8	2.6	2.6
Profundidad promedio (m)	10.1	11.0	11.2	11.3	11.4
Energía específica promedio (m)	10.1	11.2	11.2	11.3	11.4
Fuerza de impacto máxima (N/m^2)	3,554	4,007	4,559	5,355	5,597
Área de inundación (m^2)	945000	947500	950000	955500	975000

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de sensibilidad de la concentración de sedimentos por volumen se muestran arriba (Tabla 18), se puede ver que un aumento en el valor de la concentración conduce a un aumento en el volumen total de flujo de detritos, fuerza de impacto que es un factor de magnitud (intensidad). Esto está de acuerdo con el manual FLO-2D que establece que la concentración es muy importante para describir la magnitud de un evento. Con el aumento de la concentración de sedimentos de 0.3 a 0.7, se produce un aumento en la fuerza de impacto de $3.554 N/m^2$ a $5.597 N/m^2$, respectivamente. Sin embargo, el aumento en los medios de concentración aumenta la energía cinemática de las actividades de la matriz de fluido ya que el fluido tendrá una ganancia mayor en peso a partir de las partículas de sedimento

arrastrado. La fuerza de impacto tiende a ser mayor en el inicio de cono de deyección donde en canal se estrecha. El área de inundación también aumenta un poco debido a que habrá más sedimento para depositarse a lo largo del canal, el banco y el ventilador de flujo de detritos.

Con el aumento de la concentración volumétrica de sedimento, las velocidades en algún punto permanecen constantes a 2.9 m/s (Tabla 18), luego caen a 2.8 m/s cuando la concentración era 0.5 y permanecen constantes nuevamente con un incremento adicional en la concentración (Tabla 18). La razón por la cual el aumento adicional en la concentración volumétrica, la velocidad generalmente disminuye esto se debe a que las propiedades de la matriz de fluido han cambiado y se vuelven más pesadas al aumentar la concentración, disminuyendo así la velocidad

4.2.2 Sensibilidad al N de Manning (Coeficiente de fricción).

El comportamiento del flujo de escombros es una función de las propiedades de la matriz de fluidos, la geometría del canal, la pendiente y la rugosidad. Todos los demás parámetros (viscosidad, Esfuerzo de cedencia, gravedad específica del sedimento, resistencia al flujo laminar "K") se mantuvieron constantes al incluir la concentración de sedimento (0.5) mientras se prueba los cambios en la magnitud del volumen/área, velocidad, profundidad, energía específica y la fuerza de impacto del flujo de detritos, respectivamente.

El resultado del análisis de sensibilidad al coeficiente de fricción se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultado del análisis de sensibilidad al coeficiente de fricción.

Coeficiente de fricción	0.005	0.04	0.15	0.250
Volumen total (m^3)	161,352	161,350	161,357	161,376
Velocidad máxima (m/s)	2.6	1.8	1.1	0.8
Profundidad promedio (m)	11.2	11.2	10.5	9.7
Energía específica promedio (m)	11.2	11.2	10.5	9.7
Fuerza de impacto máxima (N/m^2)	4,058	2,211	1,136	799
Área de inundación (m^2)	955000	950000	937500	932500

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en la Tabla 19 muestran que un aumento en el n de Manning (coeficiente de fricción) causa una disminución en la velocidad del flujo de detritos, disminución en la profundidad del flujo y también una disminución en la fuerza de impacto (una medida de la intensidad del peligro). Se cree que, debido al aumento en la fricción basal del flujo con el aumento en el coeficiente de fricción, lo que reduce la velocidad del flujo. El volumen total de depósito de desechos aumentó con el aumento en el coeficiente de fricción (Tabla 19) y esto puede deberse a la baja velocidad, donde la deposición tiene lugar.

El parámetro más sensible al coeficiente de fricción es la velocidad del flujo, esto puede deberse al hecho de que a medida que aumenta el coeficiente de fricción, aumenta la resistencia al flujo y esto tiende a reducir la velocidad del flujo. Esto también afecta la fuerza de impacto, ya que la velocidad se reduce con el aumento en el coeficiente de fricción, la fuerza de impacto se reducirá.

4.2.3 Sensibilidad al Coeficiente de Viscosidad y Esfuerzo de Cedencia.

Cambiar el coeficiente de viscosidad y esfuerzo de cedencia mientras se mantiene la concentración (C_v) constante (y otros parámetros) ha mostrado pequeños cambios en el volumen total del flujo de detritos. se observó que, no

hubo cambios en la extensión del área de los desechos, la profundidad del flujo, la velocidad y la energía específica, las razones exactas de esto no son conocidas por los tesisistas.

4.3 Resultados de Calibración

La calibración es una parte importante del modelado de los flujos de detritos. Implica, intentar replicar espacialmente los eventos pasados o predecir los futuros. El objetivo de los modelos de calibración es ajustar los parámetros del modelo para que los resultados modelados repliquen los eventos observados reales y así determinar el rango de valores de los parámetros.

Debido a la falta de registros de eventos para la cuenca y la medición de campo limitada del evento de flujo de detritos, se realizó un análisis posterior del evento de flujo de detritos utilizando el volumen total de flujo de detritos de $250,000 m^3$ de la entrevista (la única información disponible del evento de 2013). El volumen calibrado del modelo FLO-2D fue de $161,350 m^3$. Este resultado representa un 64.54% de reconstrucción del evento de flujo de detritos. Este resultado (volumen de flujo de detritos de $161,350 m^3$) no incluye el arrastre. Esta es una limitación del modelo FLO-2D. El arrastre es un proceso importante de flujo de detritos que aumenta el volumen de flujo de detritos.

La aplicación de criterios de calibración en un análisis posterior de los eventos de flujo de detritos ha demostrado que son útiles para replicar el flujo de detritos similar al evento; enero del 2013 en la cuenca. Además, el uso de los valores de la literatura en lugar de los datos determinados en el campo tiene algunas deficiencias en los resultados del modelo.

CONCLUSIONES

1. Teniendo una altura de deposición sobre el abanico aluvial de 5.02 m de profundidad, se determina que la quebrada de Tantarà se encuentra bajo el nivel de amenaza de intensidad Alta y/o nivel 3, en conformidad a los parámetros de análisis regidos por FEMA.
2. Realizando un aumento de la concentración volumétrica de 0.3 a 0.7 conduce a un aumento de el volumen de salida del flujo de detritos y de igual forma la fuerza de impacto aumenta de $3.554 (N/m^2)$ a $5.597 (N/m^2)$.
3. Con el incremento de la concentración volumétrica, en algún punto permanecen constante a la magnitud de 2.9 m/s, luego disminuye a 2.8m/s, esto se debe a que las propiedades del flujo de detritos han cambiado y se vuelven más pesadas al incrementar la concentración volumétrica, pero disminuyendo la velocidad.
4. Definiendo un incremento para el n de Manning desde un valor de 0.005 a 0.250 causa una disminución en la velocidad de 2.6m/s a 0.8m/s, disminuyendo la profundidad de flujo de 11.2m a 9.7m y también una disminución en la fuerza de impacto de $4058 (N/m^2)$. a $799 (N/m^2)$.

RECOMENDACIONES

FLO-2D es capaz de simular el modelado numérico de flujo de detritos que tuvo lugar el 13 de enero de 2013 en la zona urbana de Tantará.

- Una nube de puntos LIDAR puede ser muy útil como entrada en el software FLO-2D con el fin de modelar con mayor precisión los flujos de detritos canalizados en la cuenca de Tantará en el futuro.
- Se aconseja analizar minuciosamente el cambio de pendiente del canal de flujo de detritos en el DEM y el efecto de esta pendiente sobre los cambios en las velocidades del flujo.
- Los datos compilados en esta tesis se pueden utilizar para encontrar relaciones entre otros tipos de salidas como la extensión total de la superficie de la salida, la distancia de desplazamiento vertical y el cambio en la energía del flujo (momento, energía cinética) en comparación con los parámetros entrada o el volumen de iniciación.
- Se recomienda al Municipio de Tantará implementar un programa de mediciones de campo orientado a la recolección de información durante la ocurrencia del fenómeno. Además, este debe permitir la toma de datos de las diferentes características del flujo de detritos (antes, durante y después). Por ejemplo, de concentración volumétrica, variaciones de niveles de flujo, límites de áreas afectadas, etc.
- Realizar obras de protección como: diques, dams para la orientación de canal y reubicación de viviendas que se encuentran sobre el área de deposición, grado de amenaza alta con el fin de evitar que las inundaciones produzcan mayores efectos sobre los bienes e infraestructura de las poblaciones.
- Resaltar que la información recopilada para la calibración del modelo FLO-2D es muy limitada, únicamente se dispone de la información de un evento de lluvias ocurrido el 13 de enero del año 2013. Por esta razón, la calibración que se logró en el presente trabajo deberá ser mejorada en investigaciones posteriores.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Rozelle, J., Bausch, D., McNabb, S., & Robles-Kyle, N. (2011). Rozelle, J., Bausch, D.,

McNabb, S., Robles-Kyle, N., & Region, F. E. M. A. (2011). Analyzing potential flood damage to Fargo, North Dakota using a detailed HAZUS Level 2 analysis. *In ESRI User Conference*.

Ayala Bizarro, I. A. (s.f.). HIDROLOGÍA DETERMINÍSTICA PARA LA ESTIMACION DE AVENIDAS MAXIMAS EN LA CUENCA DEL RIO ICHU.

Bartelt, P., Salm, B., & Gruber, U. (2017). Calculating dense-snow avalanche runout using a Voellmy-fluid model with active/passive longitudinal straining. *Journal of Glaciology*, 242-254.

Beguiría, S., Asch, T. W., Malet, J. P., & Gröndahl, S. (2009). A GIS-based numerical model for simulating the kinematics of mud and debris flows over complex terrain. 1897-1909.

Bestaoui Sebbane, Y. (2018). *INTELLIGENT AUTONOMY OF UAVS: advanced missions and future use*. U.S.: Chapman & Hall/CRC.

Brunsdon, D. (1999). Some geomorphological considerations for the future development of landslide models. *Geomorphology*, 13-24.

Cannon, S. H., Kirkham, R. M., & Praise, M. (2001). Wildfire-related debris-flow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado. *Geomorphology*, 171-188.

Cardenas, J., Carlotto, V., Valderrama, P., & Castillo, L. (2005). *Geología, Geodinamica y peligros en la quebrada Runtumayo(Cusco)*. Lima -Peru: Informe Tecnico INGEMMET.

Cardona, B. M., Pipia, L., Máñez, E. R., & Tueros, H. S. (2016). IAHR AIIH XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA LIMA, PERÚ, 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016. *researchgate.net*.

Castillo Navarro, L. F., & Fídel Smoll, L. (2006). Modelado de flujos de lodo usando flo-2d en la quebrada paihua: Impacto en la ciudad de matucana, lima. *Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú*.

Chen, H., & Lee, C. F. (2000). Numerical simulation of debris flows. *Canadian Geotechnical Journal*, 146-160.

Chow, T., & Maidment, V. (1959). APPLIED HYDROLOGY. *Journal of Engineering Education*, 308.

Christen, M., & Bartelt, P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 1-14.

Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P., Leine, R., & Glover, R. (2012). Integral hazard management using a unified software environment. *In 12th Congress Interpraevent*, 77-86.

Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J. M., & Altimir, J. (s.f.). Integrated Landslide Susceptibility Analysis and Hazard Assessment in the Principality of Andorra. *Springer Nature*.

Coussot, p., & Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Elsevier*, 209-227.

Davie, T. (2008). Fundamentals of hydrology. *Routledge*.

- Davies, T. R., & McSaveney, M. J. (2002). Dynamic simulation of the motion of fragmenting rock avalanches. *Canadian Geotechnical Journal*, 789-798.
- Eder, M., Barbeito, O., Ambrosino, S., Hillman, G., Moya, G., & Rodriguez, A. (2016). Análisis y modelo hidráulico (2d) de flujos hiperconcentrados en piedemonte occidental de la sierra de ambato, catamarca, Argentina. *Revista Internacional de Desastres Naturales*.
- Fannin, R. J., & Wise, M. P. (2001). An empirical-statistical model for debris flow travel distance. *Canadian Geotechnical Journal*, 982-994.
- Fuchs, S., Heiss, K., & Hübl, J. (2007). Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Science*, 495-506.
- Garcia, R., López, J. L., 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.*, 589-598.
- García-Martínez, R., & López, J. L. (2005). *Debris flows of December 1999 in Venezuela*. Berlin: Springer.
- Gonzales, C., Arreche, L. M., Garcia, A., & Ortega, M. (2006). Laboratorio virtual para el diseño y programación de células flexibles de fabricación. *X Congreso de Ingeniería de Organización*.
- Gribbin, J. E. (2007). *Hydraulics and Hydrology*. United States of America: Delmar, Cengage Learning.

- Heutger, M., & Kückelhaus, M. (2014). UNMANNED AERIAL VEHICLE IN LOGISTICS. *DHL Customer Solutions & Innovation*, 8-18.
- Highland, L. M., Ellen, S. D., Christian, S. B., & Brown, W. M. (1997). Debris-flow hazards in the United States. *US Geological Survey Fact Sheet*, 97.
- Hsu, S., Chiou, L., Lin, G., Chao, C., Wen, H., & Ku, C. (2010). Applications of simulation technique on debris-flow hazard zone delineation: a case study in hualien county, taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 535.
- Hungr, O., & Evans, S. (2001). A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 221-238.
- Hungr, O., & McDougall, S. (2007). Two numerical models for landslide dynamic analysis. *Computers & Geosciences*, 978-992.
- Hutter, K., Svendsen, B., & Rickenmann, D. (1995). Debris flow modeling: A review. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 1-35.
- Imran, J., Parker, G., Locat, J., & Lee, H. (2001). 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.
- Iverson, R. M. (2005). *Debris-flow mechanics*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Iverson, R. M. (2005). *Debris-flow mechanics*. Berlin, Heidelberg: Springer Praxis Books.
- Jackson, L. E. (1987). *Debris flow hazard in the Canadian Rocky Mountains*. Ottawa: Geological Survey of Canada.

- Jakob, M., Stein, D., & Ulmi, M. (2012). Vulnerability of buildings to debris flow impact. *Natural Hazards*, 241-261.
- Kailey, P. (2013). Debris flows in New Zealand Alpine Catchments.
- Karamouz, M., Nazif, S., & Falahi, M. (2013). *Hydrology and Hydroclimatology*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Kojan, E., & Hutchinson, J. D. (1978). Mayunmarca rockslide and debris flow, Peru. *Developments in Geotechnical Engineering*, 315-353.
- Lateltin, O., Haemmig, C., Raetzo, H., & Bonnard, C. (2005). Landslide risk management in Switzerland. *Landslides*, 313-320.
- Li, W., Zhang, Q., Oiso, N., & Novak, E. K. (2003). Hermansky-Pudlak syndrome type 7 (HPS-7) results from mutant dysbindin, a member of the biogenesis of lysosome-related organelles complex 1 (BLOC-1). *Nature Genetics*, 35,84.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of hydraulic engineering*, 877-887.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of hydraulic engineering*, 887.
- O'Brien, J. S., & Julien, P. Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of hydraulic engineering*, 877-887.
- O'Brien, J. S., Julien, P. Y., & Fullerton, W. T. (1993). Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of hydraulic engineering*, 244-261.

- Peru 21. (13 de Enero de 2013). *Peru 21*. Obtenido de [http://peru21. pe/ actualidad/ huaico-afecto-30-casas-huancavelica-2111890](http://peru21.pe/actualidad/huaico-afecto-30-casas-huancavelica-2111890)
- Phillips, C. J., & Davies, T. R. (1991). Determining rheological parameters of debris flow material. *Geomorphology*, 101-110.
- Quan Luna, B. R. (2012). Dynamic numerical run-out modeling for quantitative landslide risk assessment. *Thesis of University of Twente*.
- Rickenmann, D. (2005). *Runout prediction methods*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sosio, R., Crosta, G. B., & Frattini, P. (2006). Field observations, rheological testing and numerical modelling of a debris- flow event. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Steijn, H. v. (1996). Debris-flow magnitude—frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe. *Geomorphology*, 259-273.
- Valderrama, P., Castillo, L., Cardenas , J., Carlotto, V., & Fidel, L. (2006). Mapa de peligros y simulación del flujo flo-2d en la quebrada runtumayo (cusco): Alud y flujo de detritos del 12 de octubre del 2005. *XIII Congreso Peruano de Geología*. Lima.
- Vallance, J. W., & Scott, K. M. (1997). The Osceola Mudflow from Mount Rainier: Sedimentology and hazard implications of a huge clay-rich debris flow. *Geological Society of America*, 143-163.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, Special report 176: Landslides. *Analysis and Control: Washington*.

ANEXOS

INTENSIDADES MAXIMAS DE DISEÑO - QUEBRADA DE TANTARA

METODOLOGIA: FORMULAS IILA - SENAMHI – UNI

$$I_{i,T_r} = a(1 + K \log T_r)(t + 0.4)^{n-1} \text{ Para duraciones menores a 3 horas}$$

$$I_{i,T_r} = a(1 + K \log T_r)t^{n-1} \text{ Para duraciones entre 3 y 24 horas}$$

DISEÑO DE LA SUBCUENCA 01

Red hidrológica	123 ₁₁	a =	9.890
		K =	0.553
		n =	0.286

CUADRO Nº 01. Intensidades máximas de diseño.

D (hr)	Tr (años)							
	10	15	20	50	100	200	500	1000
1.00	12.08	12.84	13.37	15.09	16.38	17.67	19.39	20.68
2.00	8.22	8.74	9.10	10.27	11.15	12.03	13.19	14.07
3.00	6.41	6.81	7.10	8.01	8.69	9.38	10.29	10.98
4.00	5.71	6.07	6.32	7.13	7.74	8.35	9.16	9.77
5.00	4.87	5.17	5.39	6.08	6.60	7.12	7.81	8.33
6.00	4.27	4.54	4.73	5.34	5.80	6.25	6.86	7.32
7.00	3.83	4.07	4.24	4.78	5.19	5.60	6.14	6.55
8.00	3.48	3.70	3.85	4.35	4.72	5.09	5.59	5.96
9.00	3.20	3.40	3.54	4.00	4.34	4.68	5.13	5.48
10.00	2.97	3.15	3.29	3.71	4.02	4.34	4.76	5.08
11.00	2.77	2.95	3.07	3.46	3.76	4.06	4.45	4.75
12.00	2.61	2.77	2.88	3.25	3.53	3.81	4.18	4.46
13.00	2.46	2.61	2.72	3.07	3.34	3.60	3.95	4.21
14.00	2.33	2.48	2.58	2.91	3.16	3.41	3.75	4.00
15.00	2.22	2.36	2.46	2.77	3.01	3.25	3.57	3.80
16.00	2.12	2.25	2.35	2.65	2.88	3.10	3.40	3.63
17.00	2.03	2.16	2.25	2.54	2.75	2.97	3.26	3.48
18.00	1.95	2.07	2.16	2.44	2.64	2.85	3.13	3.34
19.00	1.88	1.99	2.08	2.34	2.54	2.75	3.01	3.21
20.00	1.81	1.92	2.00	2.26	2.45	2.65	2.90	3.10
21.00	1.75	1.86	1.93	2.18	2.37	2.56	2.80	2.99
22.00	1.69	1.80	1.87	2.11	2.29	2.47	2.71	2.89
23.00	1.64	1.74	1.81	2.04	2.22	2.40	2.63	2.80
24.00	1.59	1.69	1.76	1.98	2.15	2.32	2.55	2.72

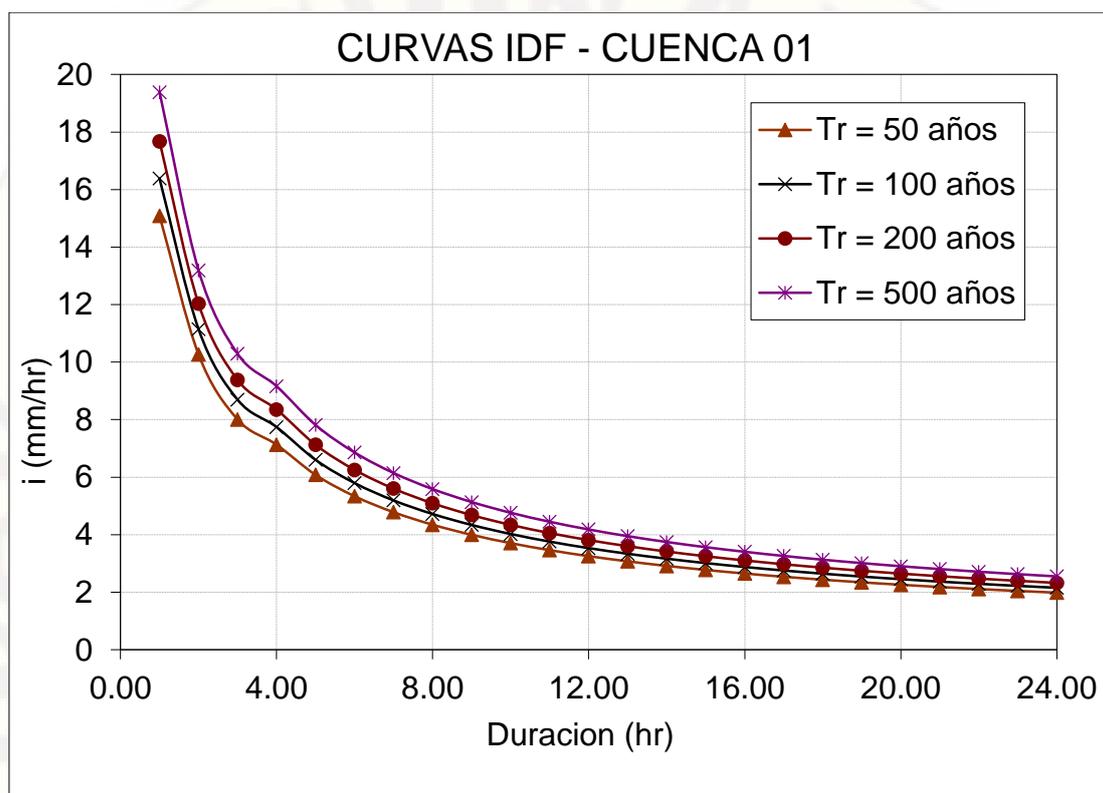


ILUSTRACIÓN N° 01. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.

INTENSIDADES MAXIMAS DE DISEÑO - QUEBRADA DE TANTARA

METODOLOGIA: FORMULAS IILA - SENAMHI - UNI

$$I_{i,T_r} = a(1 + K \log T_r)(t + 0.4)^{n-1} \text{ Para duraciones menores a 3 horas}$$

$$I_{i,T_r} = a(1 + K \log T_r)t^{n-1} \text{ Para duraciones entre 3 y 24 horas}$$

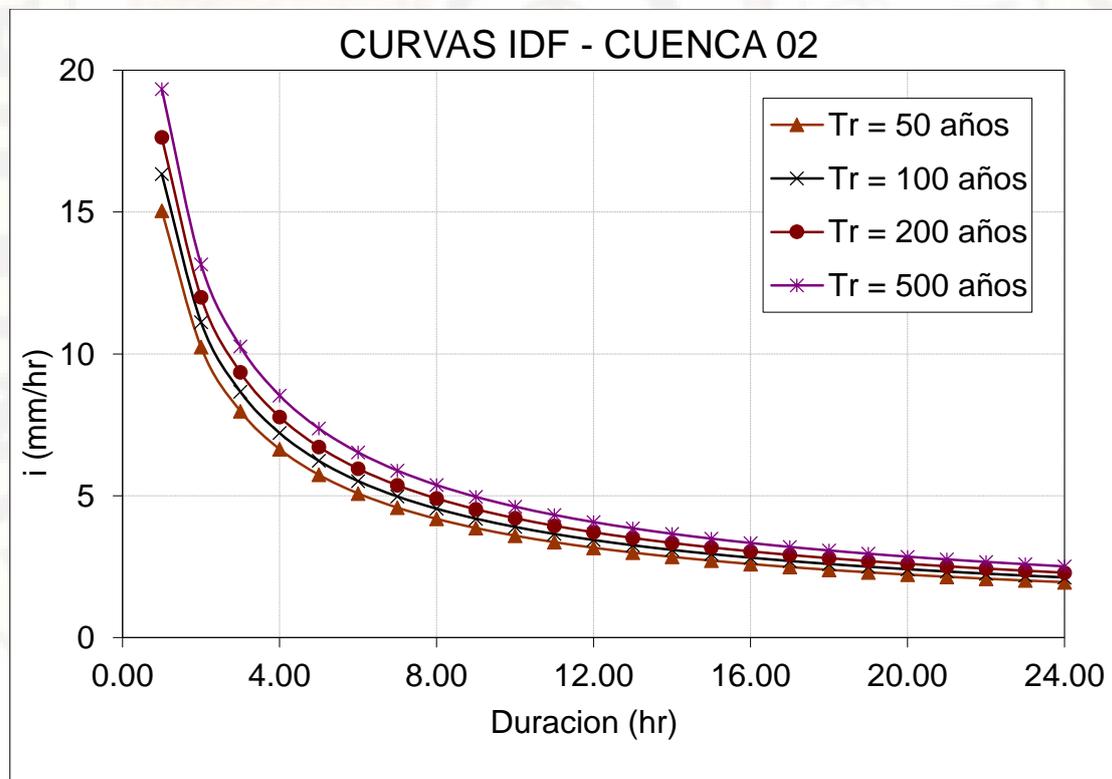
DISEÑO DE LA SUBCUENCA 02

Red hidrológica	123 ₁₁	a =	9.867
		K =	0.553
		n =	0.286

CUADRO N° 02. Intensidades máximas de diseño.

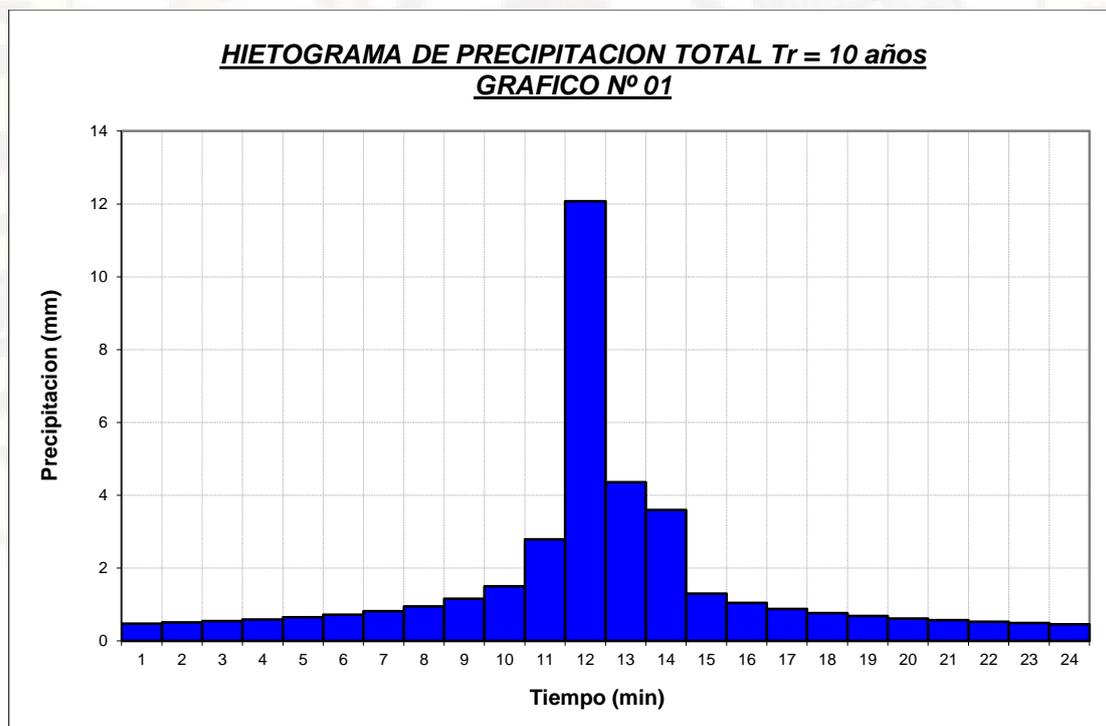
D (hr)	Tr (años)							
	10	15	20	50	100	200	500	1000
1.00	12.05	12.81	13.34	15.05	16.34	17.63	19.34	20.63
2.00	8.20	8.72	9.08	10.24	11.12	12.00	13.16	14.04
3.00	6.40	6.80	7.08	7.99	8.67	9.36	10.26	10.95
4.00	5.32	5.65	5.89	6.64	7.21	7.78	8.54	9.11

5.00	4.60	4.88	5.09	5.74	6.23	6.73	7.38	7.87
6.00	4.07	4.33	4.51	5.08	5.52	5.96	6.53	6.97
7.00	3.67	3.90	4.06	4.58	4.98	5.37	5.89	6.28
8.00	3.35	3.56	3.71	4.19	4.55	4.91	5.38	5.74
9.00	3.09	3.29	3.43	3.86	4.20	4.53	4.97	5.30
10.00	2.88	3.06	3.19	3.60	3.90	4.21	4.62	4.93
11.00	2.70	2.87	2.99	3.37	3.66	3.95	4.33	4.62
12.00	2.54	2.70	2.81	3.17	3.44	3.72	4.07	4.35
13.00	2.40	2.55	2.66	3.00	3.26	3.52	3.86	4.11
14.00	2.28	2.42	2.53	2.85	3.09	3.34	3.66	3.91
15.00	2.18	2.31	2.41	2.72	2.95	3.18	3.49	3.72
16.00	2.08	2.21	2.30	2.60	2.82	3.04	3.34	3.56
17.00	1.99	2.12	2.21	2.49	2.70	2.92	3.20	3.41
18.00	1.92	2.04	2.12	2.39	2.60	2.80	3.07	3.28
19.00	1.84	1.96	2.04	2.30	2.50	2.70	2.96	3.16
20.00	1.78	1.89	1.97	2.22	2.41	2.60	2.86	3.05
21.00	1.72	1.83	1.90	2.15	2.33	2.52	2.76	2.94
22.00	1.66	1.77	1.84	2.08	2.26	2.44	2.67	2.85
23.00	1.61	1.71	1.79	2.01	2.19	2.36	2.59	2.76
24.00	1.57	1.66	1.73	1.96	2.12	2.29	2.51	2.68



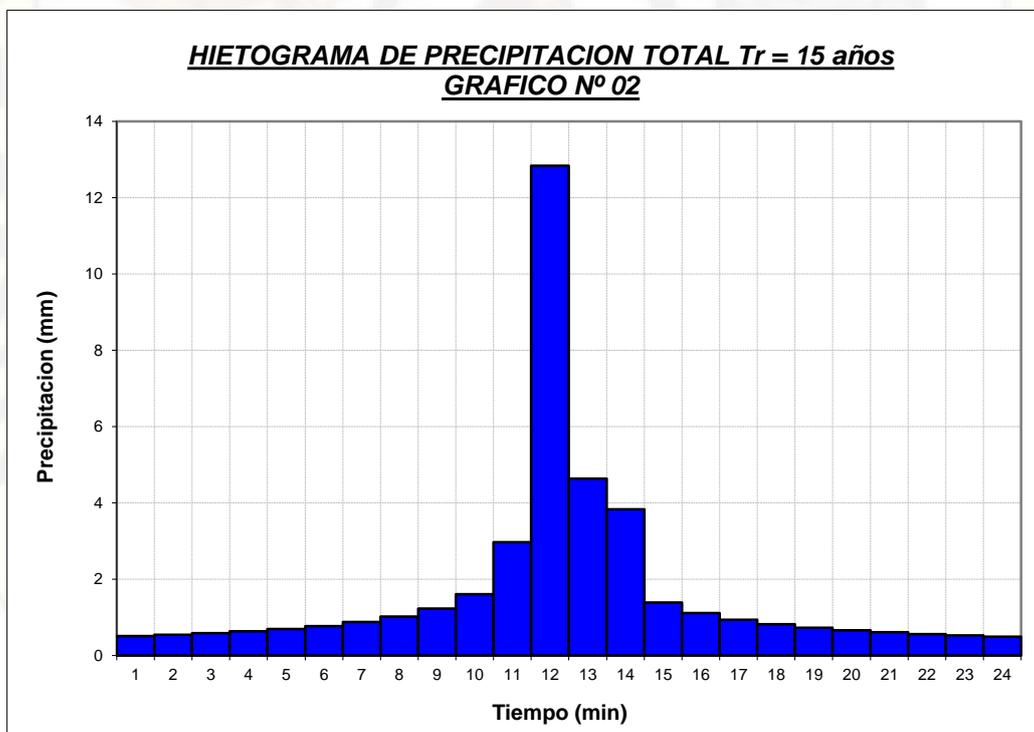
**CUADRO N° 10. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 10$ años,
UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 - TANTARA**

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	12.08	12.08	12.08	0-1	0.48
2	8.22	16.44	4.36	1-2	0.51
3	6.41	19.23	2.79	2-3	0.55
4	5.71	22.83	3.60	3-4	0.59
5	4.87	24.34	1.50	4-5	0.65
6	4.27	25.64	1.30	5-6	0.72
7	3.83	26.80	1.16	6-7	0.82
8	3.48	27.84	1.04	7-8	0.95
9	3.20	28.79	0.95	8-9	1.16
10	2.97	29.67	0.88	9-10	1.50
11	2.77	30.49	0.82	10-11	2.79
12	2.61	31.26	0.77	11-12	12.08
13	2.46	31.99	0.72	12-13	4.36
14	2.33	32.67	0.69	13-14	3.60
15	2.22	33.32	0.65	14-15	1.30
16	2.12	33.94	0.62	15-16	1.04
17	2.03	34.54	0.59	16-17	0.88
18	1.95	35.11	0.57	17-18	0.77
19	1.88	35.65	0.55	18-19	0.69
20	1.81	36.18	0.53	19-20	0.62
21	1.75	36.69	0.51	20-21	0.57
22	1.69	37.18	0.49	21-22	0.53
23	1.64	37.65	0.48	22-23	0.49
24	1.59	38.12	0.46	23-24	0.46



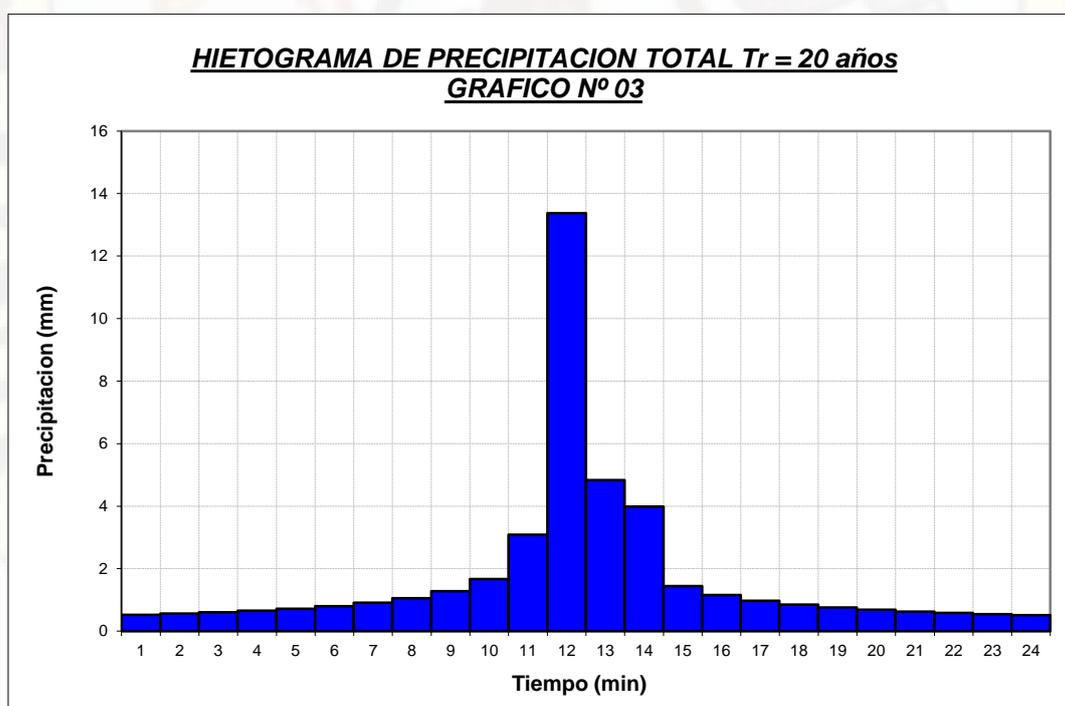
**CUADRO N° 11. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 15$ años,
UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 – TANTARA**

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	12.84	12.84	12.84	0-1	0.51
2	8.74	17.47	4.64	1-2	0.54
3	6.81	20.44	2.97	2-3	0.58
4	6.07	24.26	3.83	3-4	0.63
5	5.17	25.86	1.60	4-5	0.69
6	4.54	27.25	1.38	5-6	0.77
7	4.07	28.48	1.23	6-7	0.87
8	3.70	29.58	1.11	7-8	1.01
9	3.40	30.60	1.01	8-9	1.23
10	3.15	31.53	0.94	9-10	1.60
11	2.95	32.41	0.87	10-11	2.97
12	2.77	33.22	0.82	11-12	12.84
13	2.61	33.99	0.77	12-13	4.64
14	2.48	34.72	0.73	13-14	3.83
15	2.36	35.41	0.69	14-15	1.38
16	2.25	36.07	0.66	15-16	1.11
17	2.16	36.70	0.63	16-17	0.94
18	2.07	37.31	0.60	17-18	0.82
19	1.99	37.89	0.58	18-19	0.73
20	1.92	38.45	0.56	19-20	0.66
21	1.86	38.99	0.54	20-21	0.60
22	1.80	39.51	0.52	21-22	0.56
23	1.74	40.02	0.51	22-23	0.52
24	1.69	40.51	0.49	23-24	0.49



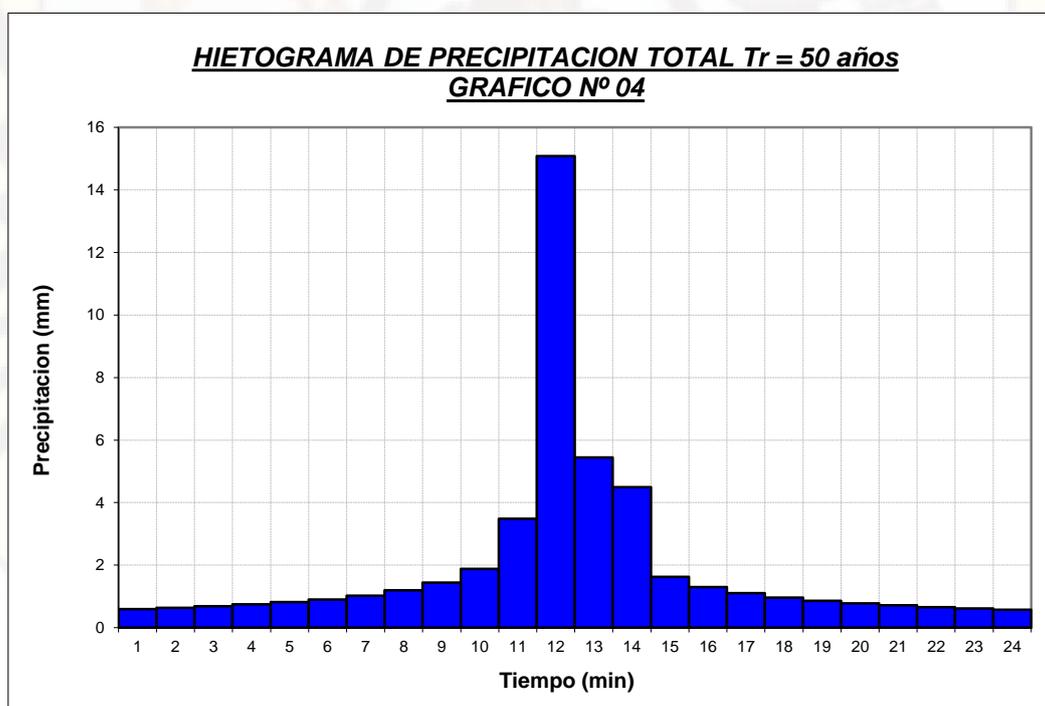
CUADRO N° 12. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 20$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 – TANTARA

DURACION	INTENSIDAD	PROF. ACUMULADA	PROF. INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
(hr)	(mm/hr)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
1	13.37	13.37	13.37	0-1	0.53
2	9.10	18.20	4.83	1-2	0.56
3	7.10	21.29	3.09	2-3	0.61
4	6.32	25.28	3.99	3-4	0.66
5	5.39	26.95	1.67	4-5	0.72
6	4.73	28.39	1.44	5-6	0.80
7	4.24	29.67	1.28	6-7	0.91
8	3.85	30.82	1.15	7-8	1.06
9	3.54	31.88	1.06	8-9	1.28
10	3.29	32.85	0.98	9-10	1.67
11	3.07	33.76	0.91	10-11	3.09
12	2.88	34.61	0.85	11-12	13.37
13	2.72	35.41	0.80	12-13	4.83
14	2.58	36.17	0.76	13-14	3.99
15	2.46	36.89	0.72	14-15	1.44
16	2.35	37.58	0.69	15-16	1.15
17	2.25	38.24	0.66	16-17	0.98
18	2.16	38.87	0.63	17-18	0.85
19	2.08	39.47	0.61	18-19	0.76
20	2.00	40.06	0.58	19-20	0.69
21	1.93	40.62	0.56	20-21	0.63
22	1.87	41.16	0.54	21-22	0.58
23	1.81	41.69	0.53	22-23	0.54
24	1.76	42.20	0.51	23-24	0.51



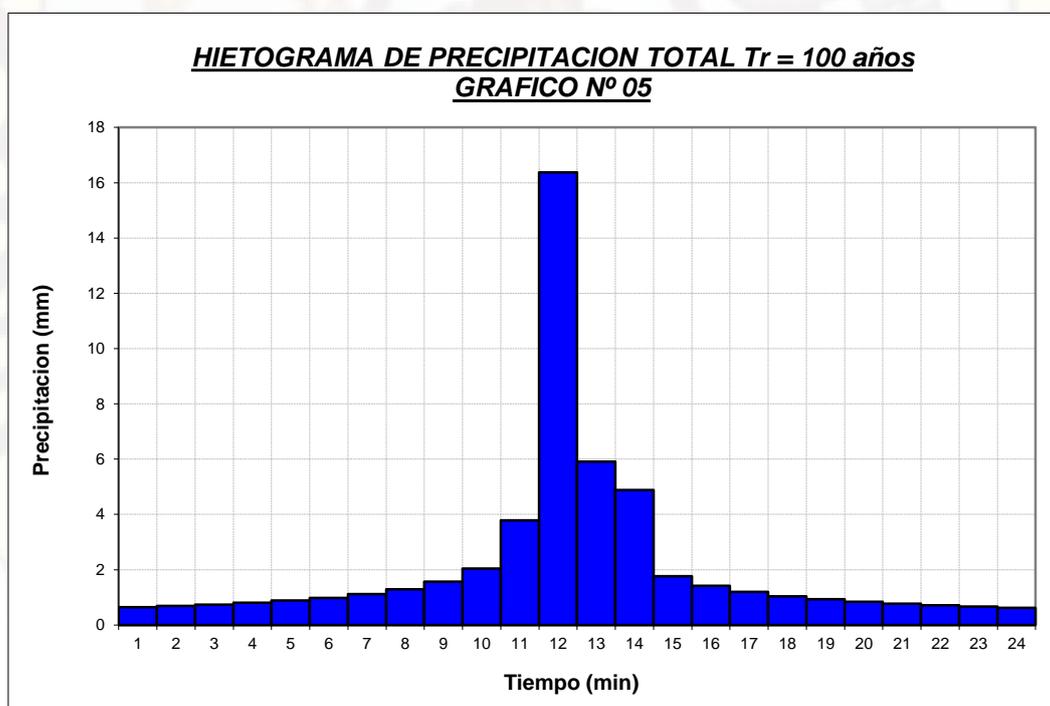
CUADRO N° 13. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 50$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PRO. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	15.09	15.09	15.09	0-1	0.59
2	10.27	20.53	5.45	1-2	0.63
3	8.01	24.02	3.49	2-3	0.68
4	7.13	28.52	4.50	3-4	0.74
5	6.08	30.39	1.88	4-5	0.81
6	5.34	32.02	1.63	5-6	0.90
7	4.78	33.47	1.44	6-7	1.02
8	4.35	34.77	1.30	7-8	1.19
9	4.00	35.96	1.19	8-9	1.44
10	3.71	37.06	1.10	9-10	1.88
11	3.46	38.08	1.02	10-11	3.49
12	3.25	39.04	0.96	11-12	15.09
13	3.07	39.95	0.90	12-13	5.45
14	2.91	40.80	0.86	13-14	4.50
15	2.77	41.62	0.81	14-15	1.63
16	2.65	42.39	0.78	15-16	1.30
17	2.54	43.13	0.74	16-17	1.10
18	2.44	43.84	0.71	17-18	0.96
19	2.34	44.53	0.68	18-19	0.86
20	2.26	45.18	0.66	19-20	0.78
21	2.18	45.82	0.63	20-21	0.71
22	2.11	46.43	0.61	21-22	0.66
23	2.04	47.03	0.59	22-23	0.61
24	1.98	47.60	0.58	23-24	0.58



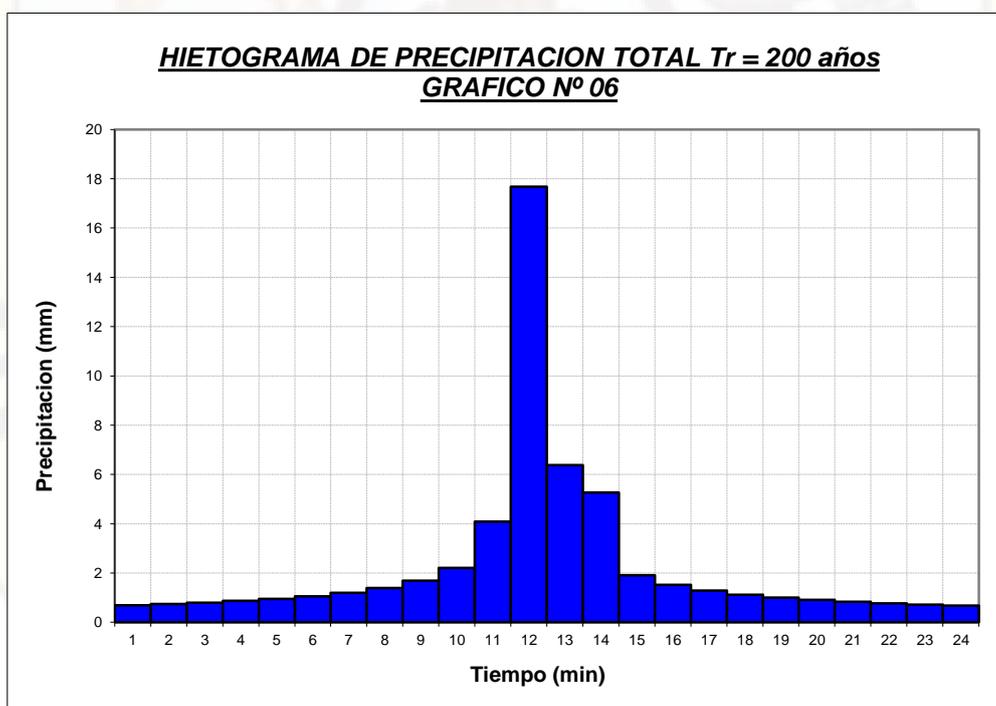
CUADRO N° 14. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 100$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 - TANTARA

DURACION	INTENSIDAD	PROF. ACUMULADA	PROF. INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
(hr)	(mm/hr)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
1	16.38	16.38	16.38	0-1	0.65
2	11.15	22.30	5.92	1-2	0.69
3	8.69	26.08	3.78	2-3	0.74
4	7.74	30.96	4.88	3-4	0.81
5	6.60	33.00	2.04	4-5	0.88
6	5.80	34.77	1.77	5-6	0.98
7	5.19	36.34	1.57	6-7	1.11
8	4.72	37.75	1.41	7-8	1.29
9	4.34	39.05	1.29	8-9	1.57
10	4.02	40.24	1.19	9-10	2.04
11	3.76	41.35	1.11	10-11	3.78
12	3.53	42.39	1.04	11-12	16.38
13	3.34	43.38	0.98	12-13	5.92
14	3.16	44.30	0.93	13-14	4.88
15	3.01	45.19	0.88	14-15	1.77
16	2.88	46.03	0.84	15-16	1.41
17	2.75	46.83	0.81	16-17	1.19
18	2.64	47.61	0.77	17-18	1.04
19	2.54	48.35	0.74	18-19	0.93
20	2.45	49.06	0.71	19-20	0.84
21	2.37	49.75	0.69	20-21	0.77
22	2.29	50.42	0.67	21-22	0.71
23	2.22	51.06	0.65	22-23	0.67
24	2.15	51.69	0.63	23-24	0.63



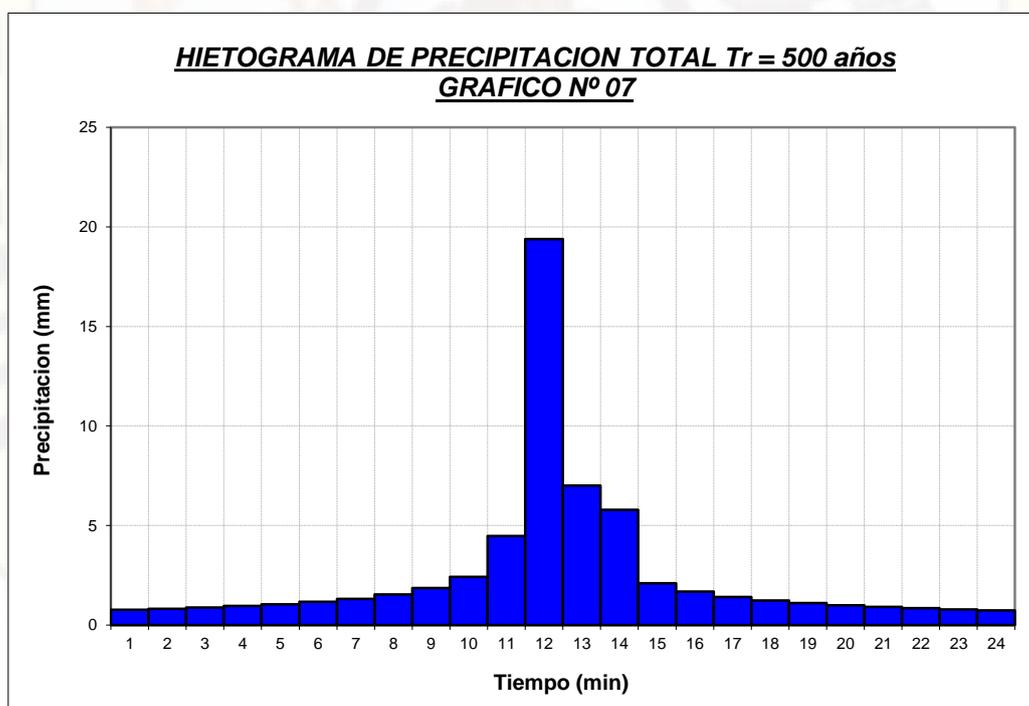
CUADRO Nº 15. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 200$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA Nº 1 - TANTARA

DURACION	INTENSIDAD	PROF. ACUMULADA	PROF. INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
(hr)	(mm/hr)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
1	17.67	17.67	17.67	0-1	0.70
2	12.03	24.06	6.38	1-2	0.74
3	9.38	28.14	4.08	2-3	0.80
4	8.35	33.41	5.27	3-4	0.87
5	7.12	35.61	2.20	4-5	0.95
6	6.25	37.52	1.91	5-6	1.06
7	5.60	39.21	1.69	6-7	1.20
8	5.09	40.74	1.53	7-8	1.40
9	4.68	42.13	1.40	8-9	1.69
10	4.34	43.42	1.29	9-10	2.20
11	4.06	44.62	1.20	10-11	4.08
12	3.81	45.74	1.12	11-12	17.67
13	3.60	46.80	1.06	12-13	6.38
14	3.41	47.81	1.00	13-14	5.27
15	3.25	48.76	0.95	14-15	1.91
16	3.10	49.67	0.91	15-16	1.53
17	2.97	50.54	0.87	16-17	1.29
18	2.85	51.37	0.83	17-18	1.12
19	2.75	52.17	0.80	18-19	1.00
20	2.65	52.94	0.77	19-20	0.91
21	2.56	53.68	0.74	20-21	0.83
22	2.47	54.40	0.72	21-22	0.77
23	2.40	55.10	0.70	22-23	0.72
24	2.32	55.77	0.67	23-24	0.67



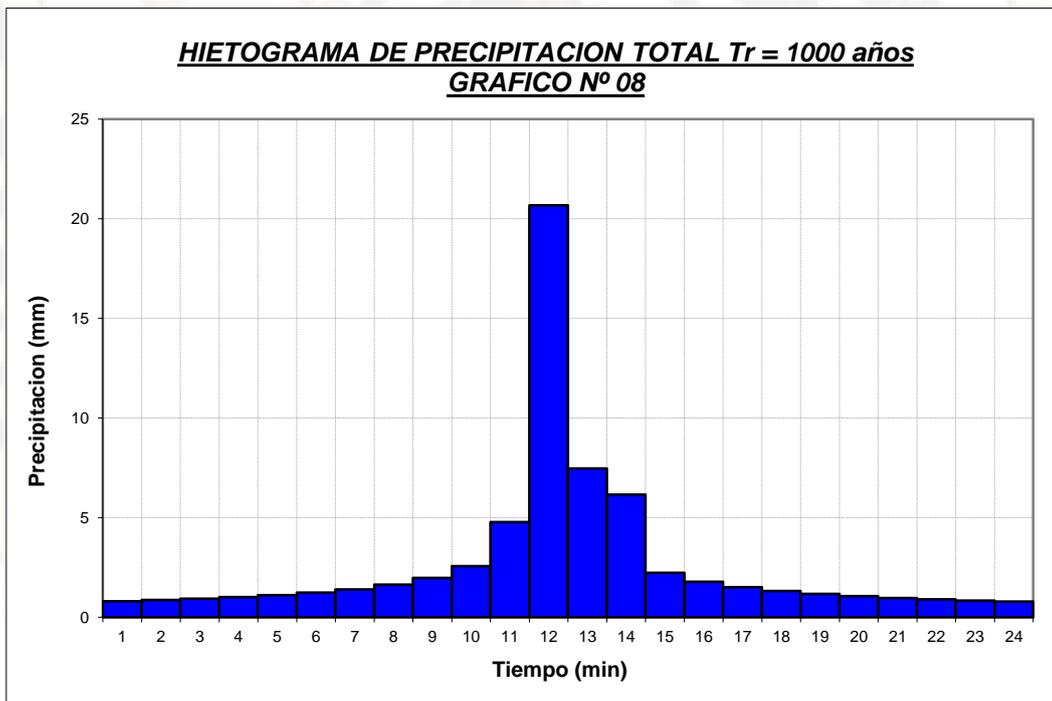
CUADRO Nº 16. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 500$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA Nº 1 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	19.39	19.39	19.39	0-1	0.76
2	13.19	26.39	7.00	1-2	0.82
3	10.29	30.87	4.48	2-3	0.88
4	9.16	36.65	5.78	3-4	0.95
5	7.81	39.06	2.41	4-5	1.04
6	6.86	41.15	2.09	5-6	1.16
7	6.14	43.01	1.85	6-7	1.32
8	5.59	44.68	1.67	7-8	1.53
9	5.13	46.21	1.53	8-9	1.85
10	4.76	47.63	1.41	9-10	2.41
11	4.45	48.94	1.32	10-11	4.48
12	4.18	50.17	1.23	11-12	19.39
13	3.95	51.34	1.16	12-13	7.00
14	3.75	52.44	1.10	13-14	5.78
15	3.57	53.48	1.04	14-15	2.09
16	3.40	54.48	1.00	15-16	1.67
17	3.26	55.43	0.95	16-17	1.41
18	3.13	56.34	0.91	17-18	1.23
19	3.01	57.22	0.88	18-19	1.10
20	2.90	58.07	0.85	19-20	1.00
21	2.80	58.88	0.82	20-21	0.91
22	2.71	59.67	0.79	21-22	0.85
23	2.63	60.44	0.76	22-23	0.79
24	2.55	61.18	0.74	23-24	0.74



CUADRO N° 17. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 1000$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 1 - TANTARA

DURACION	INTENSIDAD	PROF. ACUMULADA	PROF. INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
(hr)	(mm/hr)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
1	20.68	20.68	20.68	0-1	0.81
2	14.07	28.15	7.47	1-2	0.87
3	10.98	32.93	4.78	2-3	0.94
4	9.77	39.09	6.17	3-4	1.02
5	8.33	41.67	2.58	4-5	1.11
6	7.32	43.90	2.23	5-6	1.24
7	6.55	45.88	1.98	6-7	1.40
8	5.96	47.66	1.79	7-8	1.63
9	5.48	49.30	1.63	8-9	1.98
10	5.08	50.81	1.51	9-10	2.58
11	4.75	52.21	1.40	10-11	4.78
12	4.46	53.53	1.32	11-12	20.68
13	4.21	54.76	1.24	12-13	7.47
14	4.00	55.94	1.17	13-14	6.17
15	3.80	57.05	1.11	14-15	2.23
16	3.63	58.12	1.06	15-16	1.79
17	3.48	59.13	1.02	16-17	1.51
18	3.34	60.11	0.97	17-18	1.32
19	3.21	61.04	0.94	18-19	1.17
20	3.10	61.95	0.90	19-20	1.06
21	2.99	62.82	0.87	20-21	0.97
22	2.89	63.66	0.84	21-22	0.90
23	2.80	64.47	0.81	22-23	0.84
24	2.72	65.26	0.79	23-24	0.79

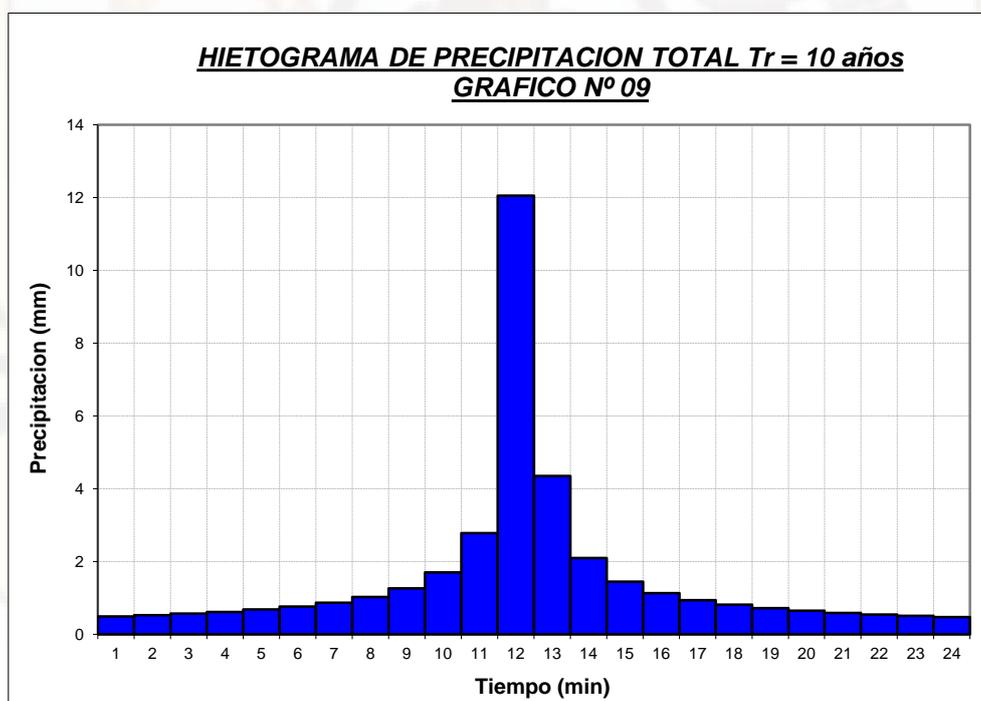


CUADRO N° 18. CUADRO RESUMEN DE HIETOGRAMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO, EN CADA UNA DE LAS SUBCUENCAS DE DRENAJE, SUBCUENCA N° 01 - TANTARA

Tr = 10	Tr = 15	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500	Tr = 1000
0.48	0.51	0.53	0.59	0.65	0.70	0.76	0.81
0.51	0.54	0.56	0.63	0.69	0.74	0.82	0.87
0.55	0.58	0.61	0.68	0.74	0.80	0.88	0.94
0.59	0.63	0.66	0.74	0.81	0.87	0.95	1.02
0.65	0.69	0.72	0.81	0.88	0.95	1.04	1.11
0.72	0.77	0.80	0.90	0.98	1.06	1.16	1.24
0.82	0.87	0.91	1.02	1.11	1.20	1.32	1.40
0.95	1.01	1.06	1.19	1.29	1.40	1.53	1.63
1.16	1.23	1.28	1.44	1.57	1.69	1.85	1.98
1.50	1.60	1.67	1.88	2.04	2.20	2.41	2.58
2.79	2.97	3.09	3.49	3.78	4.08	4.48	4.78
12.08	12.84	13.37	15.09	16.38	17.67	19.39	20.68
4.36	4.64	4.83	5.45	5.92	6.38	7.00	7.47
3.60	3.83	3.99	4.50	4.88	5.27	5.78	6.17
1.30	1.38	1.44	1.63	1.77	1.91	2.09	2.23
1.04	1.11	1.15	1.30	1.41	1.53	1.67	1.79
0.88	0.94	0.98	1.10	1.19	1.29	1.41	1.51
0.77	0.82	0.85	0.96	1.04	1.12	1.23	1.32
0.69	0.73	0.76	0.86	0.93	1.00	1.10	1.17
0.62	0.66	0.69	0.78	0.84	0.91	1.00	1.06
0.57	0.60	0.63	0.71	0.77	0.83	0.91	0.97
0.53	0.56	0.58	0.66	0.71	0.77	0.85	0.90
0.49	0.52	0.54	0.61	0.67	0.72	0.79	0.84
0.46	0.49	0.51	0.58	0.63	0.67	0.74	0.79

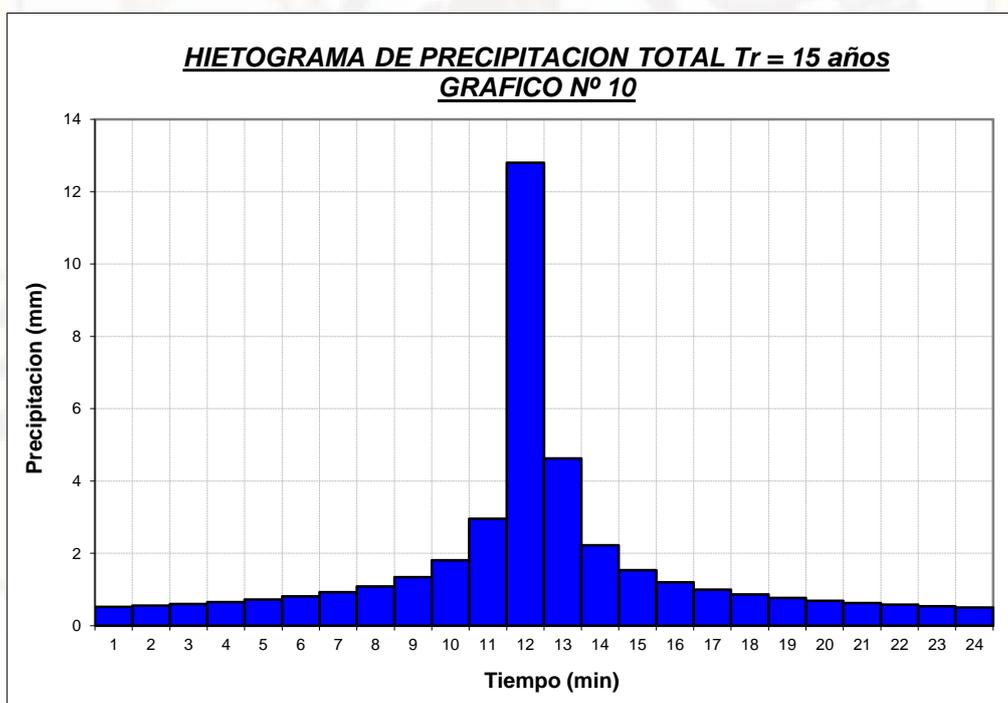
CUADRO N° 19. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 10$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION	INTENSIDAD	PROF. ACUMULADA	PROF. INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
(hr)	(mm/hr)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
1	12.05	12.05	12.05	0-1	0.49
2	8.20	16.40	4.35	1-2	0.52
3	6.40	19.19	2.78	2-3	0.57
4	5.32	21.28	2.09	3-4	0.62
5	4.60	22.98	1.70	4-5	0.68
6	4.07	24.43	1.45	5-6	0.76
7	3.67	25.69	1.27	6-7	0.87
8	3.35	26.82	1.13	7-8	1.02
9	3.09	27.85	1.02	8-9	1.27
10	2.88	28.79	0.94	9-10	1.70
11	2.70	29.66	0.87	10-11	2.78
12	2.54	30.47	0.81	11-12	12.05
13	2.40	31.23	0.76	12-13	4.35
14	2.28	31.95	0.72	13-14	2.09
15	2.18	32.63	0.68	14-15	1.45
16	2.08	33.27	0.65	15-16	1.13
17	1.99	33.89	0.62	16-17	0.94
18	1.92	34.48	0.59	17-18	0.81
19	1.84	35.04	0.57	18-19	0.72
20	1.78	35.59	0.54	19-20	0.65
21	1.72	36.11	0.52	20-21	0.59
22	1.66	36.62	0.51	21-22	0.54
23	1.61	37.11	0.49	22-23	0.51
24	1.57	37.58	0.47	23-24	0.47



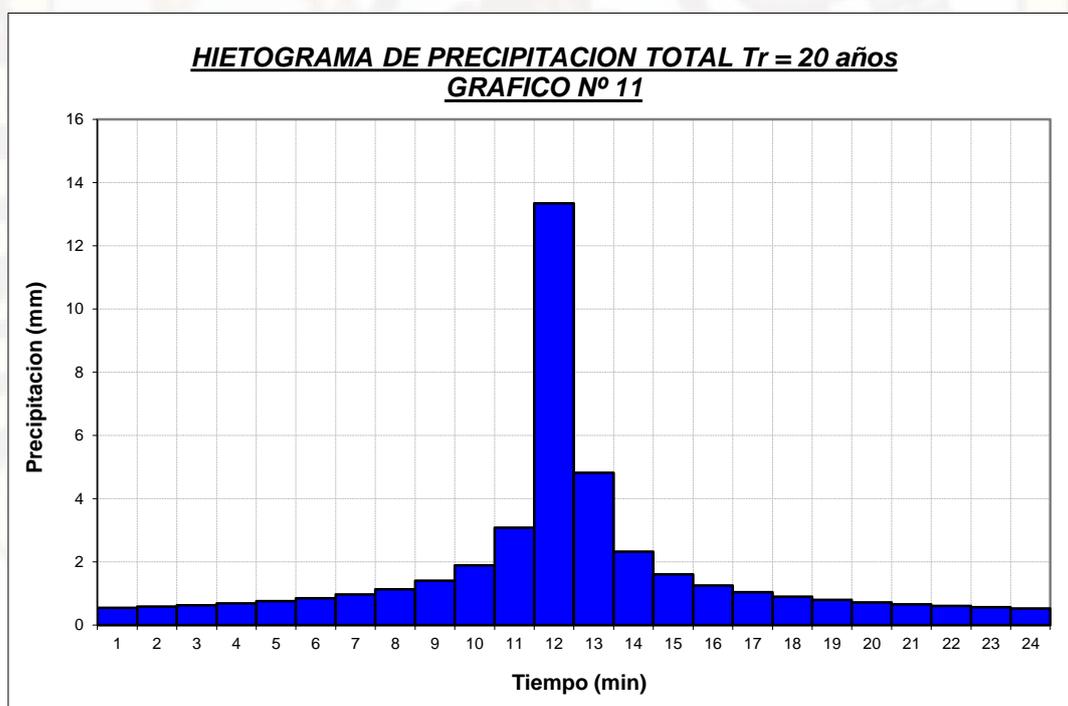
CUADRO Nº 20. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 15$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA Nº 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	12.81	12.81	12.81	0-1	0.52
2	8.72	17.43	4.62	1-2	0.56
3	6.80	20.39	2.96	2-3	0.60
4	5.65	22.62	2.23	3-4	0.66
5	4.88	24.42	1.81	4-5	0.72
6	4.33	25.96	1.54	5-6	0.81
7	3.90	27.30	1.34	6-7	0.92
8	3.56	28.51	1.20	7-8	1.09
9	3.29	29.59	1.09	8-9	1.34
10	3.06	30.59	1.00	9-10	1.81
11	2.87	31.52	0.92	10-11	2.96
12	2.70	32.38	0.86	11-12	12.81
13	2.55	33.19	0.81	12-13	4.62
14	2.42	33.95	0.76	13-14	2.23
15	2.31	34.67	0.72	14-15	1.54
16	2.21	35.36	0.69	15-16	1.20
17	2.12	36.01	0.66	16-17	1.00
18	2.04	36.64	0.63	17-18	0.86
19	1.96	37.24	0.60	18-19	0.76
20	1.89	37.82	0.58	19-20	0.69
21	1.83	38.38	0.56	20-21	0.63
22	1.77	38.91	0.54	21-22	0.58
23	1.71	39.43	0.52	22-23	0.54
24	1.66	39.94	0.50	23-24	0.50



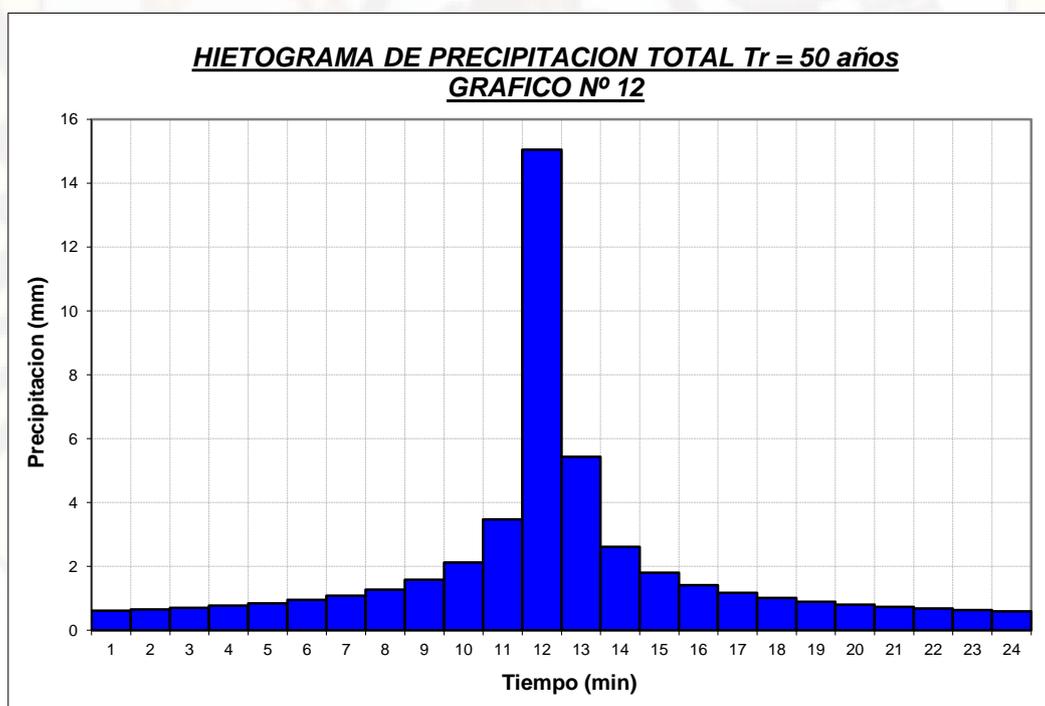
CUADRO N° 21. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 20$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	13.34	13.34	13.34	0-1	0.54
2	9.08	18.16	4.82	1-2	0.58
3	7.08	21.24	3.08	2-3	0.63
4	5.89	23.56	2.32	3-4	0.68
5	5.09	25.45	1.88	4-5	0.75
6	4.51	27.05	1.60	5-6	0.84
7	4.06	28.45	1.40	6-7	0.96
8	3.71	29.70	1.25	7-8	1.13
9	3.43	30.83	1.13	8-9	1.40
10	3.19	31.87	1.04	9-10	1.88
11	2.99	32.84	0.96	10-11	3.08
12	2.81	33.73	0.90	11-12	13.34
13	2.66	34.58	0.84	12-13	4.82
14	2.53	35.37	0.79	13-14	2.32
15	2.41	36.12	0.75	14-15	1.60
16	2.30	36.84	0.72	15-16	1.25
17	2.21	37.52	0.68	16-17	1.04
18	2.12	38.17	0.65	17-18	0.90
19	2.04	38.80	0.63	18-19	0.79
20	1.97	39.40	0.60	19-20	0.72
21	1.90	39.98	0.58	20-21	0.65
22	1.84	40.54	0.56	21-22	0.60
23	1.79	41.09	0.54	22-23	0.56
24	1.73	41.61	0.52	23-24	0.52



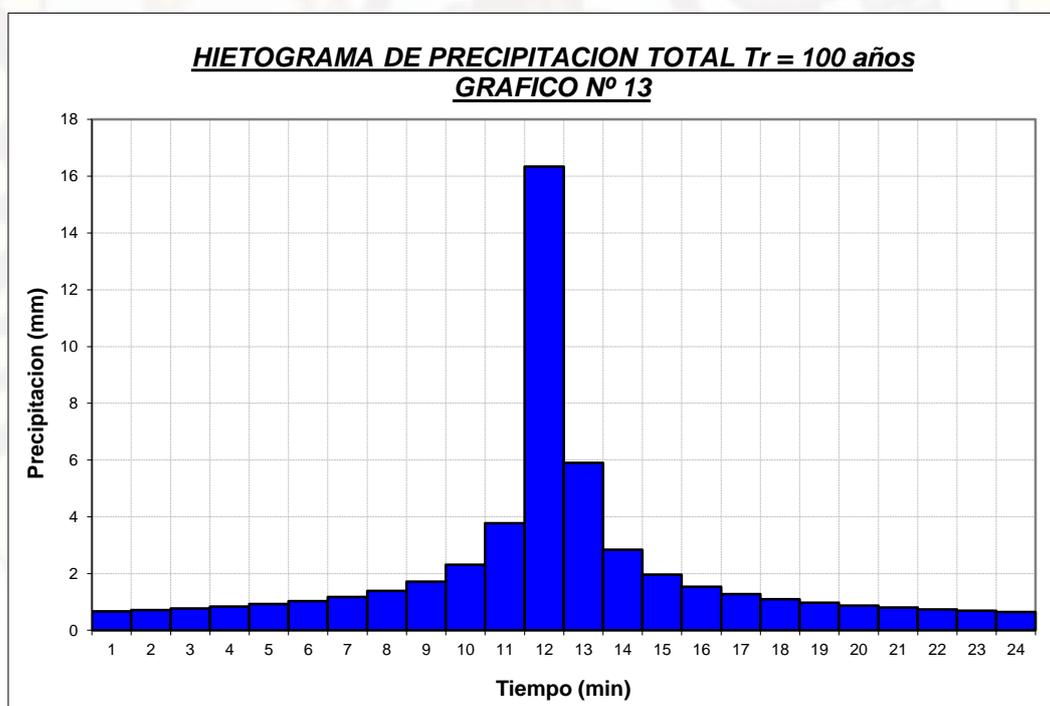
CUADRO N° 22. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 50$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	15.05	15.05	15.05	0-1	0.61
2	10.24	20.49	5.43	1-2	0.65
3	7.99	23.96	3.48	2-3	0.71
4	6.64	26.58	2.62	3-4	0.77
5	5.74	28.70	2.13	4-5	0.85
6	5.08	30.51	1.81	5-6	0.95
7	4.58	32.09	1.58	6-7	1.09
8	4.19	33.50	1.41	7-8	1.28
9	3.86	34.78	1.28	8-9	1.58
10	3.60	35.95	1.17	9-10	2.13
11	3.37	37.04	1.09	10-11	3.48
12	3.17	38.05	1.01	11-12	15.05
13	3.00	39.00	0.95	12-13	5.43
14	2.85	39.90	0.90	13-14	2.62
15	2.72	40.75	0.85	14-15	1.81
16	2.60	41.55	0.81	15-16	1.41
17	2.49	42.32	0.77	16-17	1.17
18	2.39	43.06	0.74	17-18	1.01
19	2.30	43.77	0.71	18-19	0.90
20	2.22	44.45	0.68	19-20	0.81
21	2.15	45.10	0.65	20-21	0.74
22	2.08	45.73	0.63	21-22	0.68
23	2.01	46.34	0.61	22-23	0.63
24	1.96	46.93	0.59	23-24	0.59



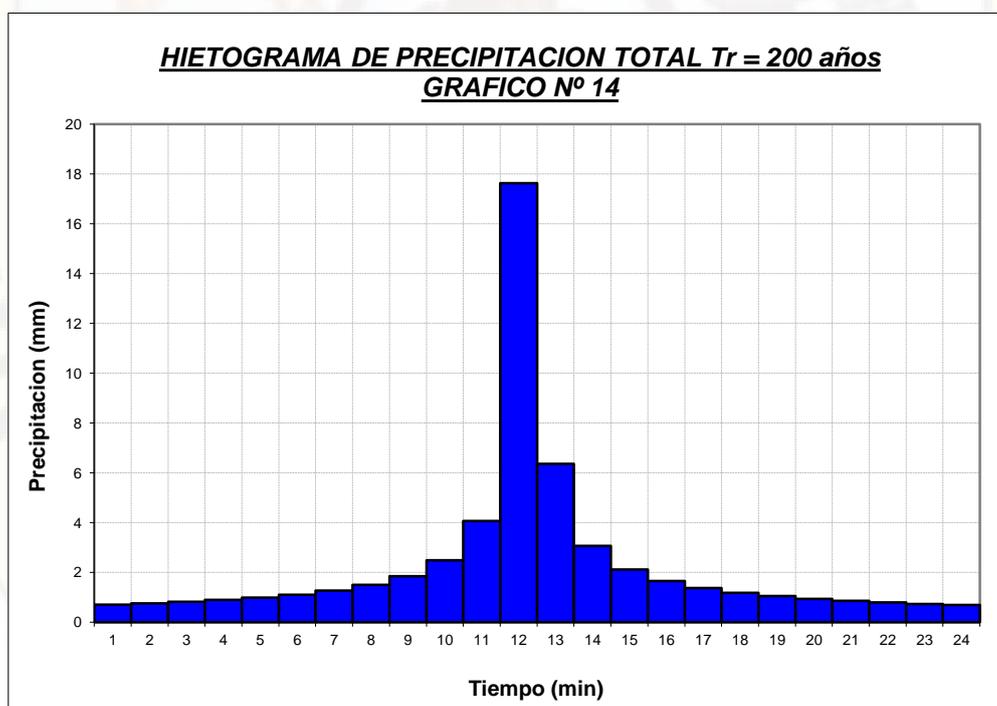
CUADRO N° 23. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 100$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	16.34	16.34	16.34	0-1	0.66
2	11.12	22.24	5.90	1-2	0.71
3	8.67	26.02	3.78	2-3	0.77
4	7.21	28.86	2.84	3-4	0.84
5	6.23	31.17	2.31	4-5	0.92
6	5.52	33.13	1.96	5-6	1.03
7	4.98	34.84	1.72	6-7	1.18
8	4.55	36.37	1.53	7-8	1.39
9	4.20	37.76	1.39	8-9	1.72
10	3.90	39.04	1.27	9-10	2.31
11	3.66	40.22	1.18	10-11	3.78
12	3.44	41.32	1.10	11-12	16.34
13	3.26	42.35	1.03	12-13	5.90
14	3.09	43.32	0.97	13-14	2.84
15	2.95	44.24	0.92	14-15	1.96
16	2.82	45.12	0.88	15-16	1.53
17	2.70	45.96	0.84	16-17	1.27
18	2.60	46.76	0.80	17-18	1.10
19	2.50	47.52	0.77	18-19	0.97
20	2.41	48.26	0.74	19-20	0.88
21	2.33	48.97	0.71	20-21	0.80
22	2.26	49.66	0.69	21-22	0.74
23	2.19	50.32	0.66	22-23	0.69
24	2.12	50.96	0.64	23-24	0.64



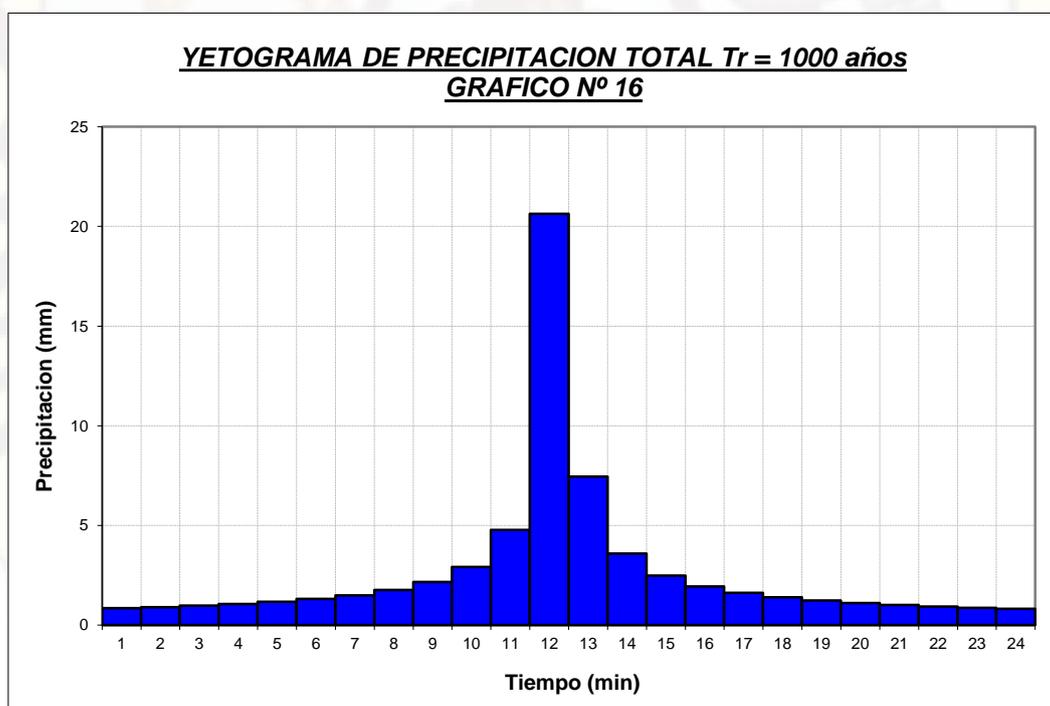
CUADRO N° 24. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $T_r = 200$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	17.63	17.63	17.63	0-1	0.72
2	12.00	24.00	6.37	1-2	0.77
3	9.36	28.08	4.07	2-3	0.83
4	7.78	31.14	3.06	3-4	0.90
5	6.73	33.63	2.49	4-5	0.99
6	5.96	35.75	2.12	5-6	1.11
7	5.37	37.60	1.85	6-7	1.27
8	4.91	39.25	1.65	7-8	1.50
9	4.53	40.75	1.50	8-9	1.85
10	4.21	42.12	1.37	9-10	2.49
11	3.95	43.40	1.27	10-11	4.07
12	3.72	44.58	1.19	11-12	17.63
13	3.52	45.70	1.11	12-13	6.37
14	3.34	46.75	1.05	13-14	3.06
15	3.18	47.74	0.99	14-15	2.12
16	3.04	48.69	0.95	15-16	1.65
17	2.92	49.59	0.90	16-17	1.37
18	2.80	50.45	0.86	17-18	1.19
19	2.70	51.28	0.83	18-19	1.05
20	2.60	52.08	0.80	19-20	0.95
21	2.52	52.84	0.77	20-21	0.86
22	2.44	53.58	0.74	21-22	0.80
23	2.36	54.30	0.72	22-23	0.74
24	2.29	54.99	0.69	23-24	0.69



CUADRO N° 26. HIETOGRAMA DE PRECIPITACION TOTAL DE DISEÑO $Tr = 1000$ años, UTILIZANO EL METODO DE BLOQUES ALTERNOS, SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

DURACION (hr)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mm)	PROF. INCREMENTAL (mm)	TIEMPO (min)	PRECIPITACION (mm)
1	20.63	20.63	20.63	0-1	0.84
2	14.04	28.08	7.45	1-2	0.90
3	10.95	32.85	4.77	2-3	0.97
4	9.11	36.44	3.59	3-4	1.06
5	7.87	39.35	2.91	4-5	1.16
6	6.97	41.83	2.48	5-6	1.30
7	6.28	43.99	2.17	6-7	1.49
8	5.74	45.93	1.93	7-8	1.75
9	5.30	47.68	1.75	8-9	2.17
10	4.93	49.29	1.61	9-10	2.91
11	4.62	50.78	1.49	10-11	4.77
12	4.35	52.17	1.39	11-12	20.63
13	4.11	53.47	1.30	12-13	7.45
14	3.91	54.70	1.23	13-14	3.59
15	3.72	55.86	1.16	14-15	2.48
16	3.56	56.97	1.11	15-16	1.93
17	3.41	58.02	1.06	16-17	1.61
18	3.28	59.03	1.01	17-18	1.39
19	3.16	60.00	0.97	18-19	1.23
20	3.05	60.93	0.93	19-20	1.11
21	2.94	61.83	0.90	20-21	1.01
22	2.85	62.70	0.87	21-22	0.93
23	2.76	63.53	0.84	22-23	0.87
24	2.68	64.35	0.81	23-24	0.81



CUADRO N° 27. CUADRO RESUMEN DE HIETOGRAMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN CADA UNA DE LAS CUENCAS DE DRENAJE SUBCUENCA N° 2 - TANTARA

Tr = 10	Tr = 15	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500	Tr = 1000
0.49	0.52	0.54	0.61	0.66	0.72	0.78	0.84
0.52	0.56	0.58	0.65	0.71	0.77	0.84	0.90
0.57	0.60	0.63	0.71	0.77	0.83	0.91	0.97
0.62	0.66	0.68	0.77	0.84	0.90	0.99	1.06
0.68	0.72	0.75	0.85	0.92	0.99	1.09	1.16
0.76	0.81	0.84	0.95	1.03	1.11	1.22	1.30
0.87	0.92	0.96	1.09	1.18	1.27	1.40	1.49
1.02	1.09	1.13	1.28	1.39	1.50	1.64	1.75
1.27	1.34	1.40	1.58	1.72	1.85	2.03	2.17
1.70	1.81	1.88	2.13	2.31	2.49	2.73	2.91
2.78	2.96	3.08	3.48	3.78	4.07	4.47	4.77
12.05	12.81	13.34	15.05	16.34	17.63	19.34	20.63
4.35	4.62	4.82	5.43	5.90	6.37	6.98	7.45
2.09	2.23	2.32	2.62	2.84	3.06	3.36	3.59
1.45	1.54	1.60	1.81	1.96	2.12	2.32	2.48
1.13	1.20	1.25	1.41	1.53	1.65	1.81	1.93
0.94	1.00	1.04	1.17	1.27	1.37	1.51	1.61
0.81	0.86	0.90	1.01	1.10	1.19	1.30	1.39
0.72	0.76	0.79	0.90	0.97	1.05	1.15	1.23
0.65	0.69	0.72	0.81	0.88	0.95	1.04	1.11
0.59	0.63	0.65	0.74	0.80	0.86	0.95	1.01
0.54	0.58	0.60	0.68	0.74	0.80	0.87	0.93
0.51	0.54	0.56	0.63	0.69	0.74	0.81	0.87
0.47	0.50	0.52	0.59	0.64	0.69	0.76	0.81

HIDROGRAMA LÍQUIDO (HEC HMS 4.2.1)

Hydrologic element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge	Time of peak	Volume (mm)
Salida01	4.7	5	13Jan2013, 12:00	16.8

TIME SERIES RESULT $T_r = 10$

Date	Time	Inflow from quebrada01	Total Inflow (m3/s)
13Jan2013	00:00	0	0
13Jan2013	01:00	0.1	0.1
13Jan2013	02:00	0.1	0.1
13Jan2013	03:00	0.1	0.1
13Jan2013	04:00	0.2	0.2
13Jan2013	05:00	0.2	0.2
13Jan2013	06:00	0.2	0.2
13Jan2013	07:00	0.2	0.2
13Jan2013	08:00	0.2	0.2
13Jan2013	09:00	0.3	0.3
13Jan2013	10:00	0.4	0.4
13Jan2013	11:00	0.7	0.7
13Jan2013	12:00	5	5
13Jan2013	13:00	3.8	3.8
13Jan2013	14:00	3.1	3.1
13Jan2013	15:00	1.6	1.6
13Jan2013	16:00	1	1
13Jan2013	17:00	0.8	0.8
13Jan2013	18:00	0.7	0.7
13Jan2013	19:00	0.6	0.6
13Jan2013	20:00	0.6	0.6
13Jan2013	21:00	0.5	0.5
13Jan2013	22:00	0.5	0.5
13Jan2013	23:00	0.5	0.5
14Jan2013	00:00	0.4	0.4
14Jan2013	01:00	0.1	0.1
14Jan2013	02:00	0	0

Hydrologic element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge	Time of peak	Volume (mm)
Salida01	4.7	7.5	13Jan2013, 12:00	23.81

TIME SERIES RESULT Tr= 50

Date	Time	Inflow from quebrada01	Total Inflow (m3/s)
13Jan2013	00:00	0	0
13Jan2013	01:00	0.1	0.1
13Jan2013	02:00	0.2	0.2
13Jan2013	03:00	0.2	0.2
13Jan2013	04:00	0.2	0.2
13Jan2013	05:00	0.2	0.2
13Jan2013	06:00	0.2	0.2
13Jan2013	07:00	0.3	0.3
13Jan2013	08:00	0.3	0.3
13Jan2013	09:00	0.4	0.4
13Jan2013	10:00	0.5	0.5
13Jan2013	11:00	1.1	1.1
13Jan2013	12:00	7.5	7.5
13Jan2013	13:00	5.5	5.5
13Jan2013	14:00	4.4	4.4
13Jan2013	15:00	2.2	2.2
13Jan2013	16:00	1.4	1.4
13Jan2013	17:00	1.1	1.1
13Jan2013	18:00	1	1
13Jan2013	19:00	0.9	0.9
13Jan2013	20:00	0.8	0.8
13Jan2013	21:00	0.7	0.7
13Jan2013	22:00	0.7	0.7
13Jan2013	23:00	0.6	0.6
14Jan2013	00:00	0.6	0.6
14Jan2013	01:00	0.2	0.2
14Jan2013	02:00	0	0

Hydrologic element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge	Time of peak	Volume (mm)
Salida01	4.7	8.7	13Jan2013, 12:00	26.99

TIME SERIES RESULT Tr= 100

Date	Time	Inflow from quebrada01	Total Inflow (m3/s)
13Jan2013	00:00	0	0
13Jan2013	01:00	0.1	0.1
13Jan2013	02:00	0.2	0.2
13Jan2013	03:00	0.2	0.2
13Jan2013	04:00	0.2	0.2
13Jan2013	05:00	0.2	0.2
13Jan2013	06:00	0.2	0.2
13Jan2013	07:00	0.3	0.3
13Jan2013	08:00	0.3	0.3
13Jan2013	09:00	0.4	0.4
13Jan2013	10:00	0.6	0.6
13Jan2013	11:00	1.3	1.3
13Jan2013	12:00	8.7	8.7
13Jan2013	13:00	6.2	6.2
13Jan2013	14:00	4.9	4.9
13Jan2013	15:00	2.5	2.5
13Jan2013	16:00	1.6	1.6
13Jan2013	17:00	1.3	1.3
13Jan2013	18:00	1.1	1.1
13Jan2013	19:00	1	1
13Jan2013	20:00	0.9	0.9
13Jan2013	21:00	0.8	0.8
13Jan2013	22:00	0.7	0.7
13Jan2013	23:00	0.7	0.7
14Jan2013	00:00	0.7	0.7
14Jan2013	01:00	0.2	0.2
14Jan2013	02:00	0	0

Hydrologic element	Drainage Area (km2)	Peak Discharge	Time of peak	Volume (mm)
Salida01	4.7	11.4	13Jan2013, 12:00	34.68

TIME SERIES RESULT Tr= 500

Date	Time	Inflow from quebrada01	Total Inflow (m3/s)
13Jan2013	00:00	0	0
13Jan2013	01:00	0.1	0.1
13Jan2013	02:00	0.2	0.2
13Jan2013	03:00	0.2	0.2
13Jan2013	04:00	0.2	0.2
13Jan2013	05:00	0.3	0.3
13Jan2013	06:00	0.3	0.3
13Jan2013	07:00	0.3	0.3
13Jan2013	08:00	0.4	0.4
13Jan2013	09:00	0.5	0.5
13Jan2013	10:00	0.8	0.8
13Jan2013	11:00	1.8	1.8
13Jan2013	12:00	11.4	11.4
13Jan2013	13:00	8.1	8.1
13Jan2013	14:00	6.3	6.3
13Jan2013	15:00	3.2	3.2
13Jan2013	16:00	2	2
13Jan2013	17:00	1.6	1.6
13Jan2013	18:00	1.4	1.4
13Jan2013	19:00	1.2	1.2
13Jan2013	20:00	1.1	1.1
13Jan2013	21:00	1	1
13Jan2013	22:00	0.9	0.9
13Jan2013	23:00	0.9	0.9
14Jan2013	00:00	0.8	0.8
14Jan2013	01:00	0.2	0.2
14Jan2013	02:00	0	0

Simulación de Flujo de detritos de Amenza (FLO-2D) para Tr = 50 años

NEGATIVE VOLUME CONSERVATION (CUBIC METERS)
INDICATES EXCESS VOLUME (OUTFLOW + STORAGE >

INFLOW)

SIMULATION TIME CONSERVATION (HOURS) PERCENT OF INFLOW	AVERAGE TIMESTEP (SECONDS)	VOLUME (CU METERS)
---	-------------------------------	-----------------------

SUMMARY.OUT FILE

Pro Model - Build No. 16.06.16

0.100 0.000003	1.799	-0.000000
0.201 0.000002	2.931	-0.000000
0.301 0.000004	2.691	0.000001
0.400 0.000004	2.536	0.000002
0.500 0.000003	2.337	-0.000002
0.600 0.000000	2.124	-0.000000
0.700 0.000002	1.866	0.000003
0.800 0.000002	1.647	-0.000003
0.900 0.000003	1.536	-0.000005
1.000 0.000002	1.414	0.000005
1.100 0.000004	1.351	0.000012
1.200 0.000000	1.317	-0.000001
1.300 0.000004	1.288	-0.000015
1.400 0.000001	1.256	0.000002
1.500 0.000004	1.222	-0.000022
1.600 0.000004	1.194	-0.000022
1.700 0.000003	1.169	-0.000022
1.800 0.000003	1.146	-0.000024
1.900 0.000002	1.124	0.000016

2.000	1.098	0.000003
0.000000		
2.100	1.092	0.000004
0.000000		
2.200	1.092	0.000040
0.000003		
2.300	1.092	-0.000012
0.000001		
2.400	1.092	0.000011
0.000001		
2.500	1.091	0.000057
0.000004		
2.600	1.092	0.000025
0.000002		
2.700	1.092	0.000043
0.000003		
2.800	1.091	-0.000042
0.000002		
2.900	1.092	0.000011
0.000001		
3.000	1.093	-0.000060
0.000003		
3.100	1.091	0.000016
0.000001		
3.200	1.091	-0.000122
0.000006		
3.300	1.092	0.000089
0.000004		
3.400	1.091	-0.000016
0.000001		
3.500	1.091	-0.000051
0.000002		
3.600	1.091	0.000061
0.000002		
3.700	1.091	-0.000048
0.000002		
3.800	1.092	0.000022
0.000001		
3.900	1.091	-0.000072
0.000003		
4.000	1.092	0.000050
0.000002		
4.100	1.091	-0.000095
0.000003		
4.200	1.092	0.000074
0.000002		
4.300	1.091	-0.000109
0.000003		
4.400	1.091	0.000044
0.000001		
4.500	1.091	0.000061
0.000002		

4.600	1.091	0.000109
0.000003		
4.700	1.091	-0.000015
0.000000		
4.800	1.091	-0.000058
0.000002		
4.900	1.090	0.000033
0.000001		
5.000	1.091	-0.000054
0.000001		
5.100	1.091	-0.000009
0.000000		
5.200	1.091	-0.000009
0.000000		
5.300	1.091	-0.000034
0.000001		
5.400	1.091	-0.000009
0.000000		
5.500	1.091	-0.000086
0.000002		
5.600	1.092	0.000059
0.000001		
5.700	1.090	-0.000019
0.000000		
5.800	1.091	0.000083
0.000002		
5.900	1.091	0.000172
0.000004		
6.000	1.090	-0.000212
0.000004		
6.100	1.089	0.000177
0.000004		
6.200	1.082	0.000224
0.000004		
6.300	1.074	-0.000012
0.000000		
6.400	1.068	0.000111
0.000002		
6.500	1.092	-0.000027
0.000001		
6.600	1.088	-0.000013
0.000000		
6.700	1.080	-0.000039
0.000001		
6.800	1.073	0.000112
0.000002		
6.900	1.048	0.000128
0.000002		
7.000	0.976	-0.000118
0.000002		
7.100	0.951	0.000053
0.000001		

7.200	0.952	-0.000051
0.000001		
7.300	0.951	-0.000200
0.000003		
7.400	0.940	-0.000121
0.000002		
7.500	0.952	-0.000228
0.000003		
7.600	0.929	0.000178
0.000003		
7.700	0.941	0.000157
0.000002		
7.800	0.948	-0.000263
0.000004		
7.900	0.946	-0.000262
0.000004		
8.000	0.938	0.000182
0.000002		
8.100	0.940	-0.000058
0.000001		
8.200	0.941	0.000241
0.000003		
8.300	0.933	-0.000134
0.000002		
8.400	0.900	-0.000180
0.000002		
8.500	0.900	0.000511
0.000006		
8.600	0.890	-0.000317
0.000004		
8.700	0.877	0.000334
0.000004		
8.800	0.850	-0.000222
0.000003		
8.900	0.843	0.000047
0.000001		
9.000	0.861	-0.000387
0.000004		
9.100	0.860	0.000046
0.000000		
9.200	0.823	0.000209
0.000002		
9.300	0.805	-0.000252
0.000003		
9.400	0.804	0.000178
0.000002		
9.500	0.802	-0.000002
0.000000		
9.600	0.801	-0.000290
0.000003		
9.700	0.802	-0.000198
0.000002		

9.800	0.801	-0.000399
0.000004		
9.900	0.801	0.000303
0.000003		
10.000	0.799	0.000353
0.000003		
10.100	0.783	0.000100
0.000001		
10.200	0.741	0.000084
0.000001		
10.300	0.698	0.000205
0.000002		
10.400	0.701	0.000126
0.000001		
10.500	0.735	-0.000248
0.000002		
10.600	0.716	0.000097
0.000001		
10.700	0.658	-0.000597
0.000004		
10.800	0.637	-0.000363
0.000003		
10.900	0.630	0.000261
0.000002		
11.000	0.630	-0.000270
0.000002		
11.100	0.609	-0.000480
0.000003		
11.200	0.569	-0.000611
0.000004		
11.300	0.511	0.000208
0.000001		
11.400	0.496	-0.000310
0.000002		
11.500	0.460	0.000456
0.000002		
11.600	0.397	-0.000356
0.000001		
11.700	0.348	-0.000105
0.000000		
11.800	0.324	0.000891
0.000003		
11.900	0.317	0.000550
0.000002		
12.000	0.316	-0.002262
0.000006		
12.100	0.312	0.000366
0.000001		
12.200	0.311	0.001856
0.000004		
12.300	0.311	-0.001546
0.000003		

12.400	0.311	-0.000570
0.000001		
12.500	0.314	-0.000939
0.000002		
12.600	0.316	-0.003426
0.000006		
12.700	0.319	-0.000662
0.000001		
12.800	0.320	0.000099
0.000000		
12.900	0.320	-0.000154
0.000000		
13.000	0.319	0.002564
0.000004		
13.100	0.321	-0.003040
0.000004		
13.200	0.324	-0.000000
0.000000		
13.300	0.325	0.003245
0.000004		
13.400	0.329	0.000040
0.000000		
13.500	0.327	0.000834
0.000001		
13.600	0.326	0.000823
0.000001		
13.700	0.332	-0.004681
0.000005		
13.800	0.332	-0.000681
0.000001		
13.900	0.335	-0.001577
0.000002		
14.000	0.343	-0.001686
0.000002		
14.100	0.343	0.005564
0.000006		
14.200	0.354	0.005686
0.000006		
14.300	0.370	0.005101
0.000005		
14.400	0.396	0.001952
0.000002		
14.500	0.416	-0.001184
0.000001		
14.600	0.429	-0.000536
0.000001		
14.700	0.464	-0.005326
0.000005		
14.800	0.473	-0.002622
0.000002		
14.900	0.485	0.001698
0.000002		

15.000	0.497	-0.001108
0.000001		
15.100	0.504	-0.001577
0.000001		
15.200	0.514	-0.000449
0.000000		
15.300	0.518	0.004194
0.000004		
15.400	0.530	0.005347
0.000005		
15.500	0.541	-0.000250
0.000000		
15.600	0.555	-0.001418
0.000001		
15.700	0.569	0.000995
0.000001		
15.800	0.581	-0.001796
0.000002		
15.900	0.587	-0.001695
0.000001		
16.000	0.594	0.001525
0.000001		
16.100	0.601	0.002301
0.000002		
16.200	0.596	0.001100
0.000001		
16.300	0.593	-0.005036
0.000004		
16.400	0.591	-0.005293
0.000004		
16.500	0.587	0.005864
0.000005		
16.600	0.590	0.000749
0.000001		
16.700	0.595	0.002272
0.000002		
16.800	0.595	-0.000622
0.000001		
16.900	0.599	-0.002132
0.000002		
17.000	0.605	0.001233
0.000001		
17.100	0.605	-0.003027
0.000002		
17.200	0.614	-0.004886
0.000004		
17.300	0.616	0.003036
0.000002		
17.400	0.619	-0.002048
0.000002		
17.500	0.619	0.003760
0.000003		

17.600	0.621	-0.000347
0.000000		
17.700	0.621	0.002904
0.000002		
17.800	0.624	0.003074
0.000002		
17.900	0.624	-0.000188
0.000000		
18.000	0.631	0.000070
0.000000		
18.100	0.640	-0.001857
0.000001		
18.200	0.632	0.003493
0.000003		
18.300	0.628	-0.002537
0.000002		
18.400	0.623	-0.001367
0.000001		
18.500	0.631	-0.007124
0.000005		
18.600	0.629	0.000850
0.000001		
18.700	0.635	0.003895
0.000003		
18.800	0.633	-0.000757
0.000001		
18.900	0.633	0.001721
0.000001		
19.000	0.630	-0.003364
0.000003		
19.100	0.629	-0.003116
0.000002		
19.200	0.630	-0.007065
0.000005		
19.300	0.631	-0.003922
0.000003		
19.400	0.636	-0.007542
0.000006		
19.500	0.640	-0.002071
0.000002		
19.600	0.645	0.000853
0.000001		
19.700	0.648	-0.008985
0.000007		
19.800	0.651	0.003636
0.000003		
19.900	0.659	0.005454
0.000004		
20.000	0.666	0.003177
0.000002		
20.100	0.660	0.000652
0.000000		

20.200	0.659	-0.000198
0.000000		
20.300	0.670	0.004636
0.000003		
20.400	0.678	-0.005029
0.000004		
20.500	0.686	-0.005257
0.000004		
20.600	0.698	0.006294
0.000005		
20.700	0.713	-0.010611
0.000008		
20.800	0.715	0.001358
0.000001		
20.900	0.713	-0.007036
0.000005		
21.000	0.692	0.007324
0.000005		
21.100	0.693	-0.003736
0.000003		
21.200	0.694	0.003712
0.000003		
21.300	0.691	-0.011187
0.000008		
21.400	0.689	-0.001772
0.000001		
21.500	0.691	0.008383
0.000006		
21.600	0.689	-0.009074
0.000006		
21.700	0.690	-0.000842
0.000001		
21.800	0.693	0.012588
0.000009		
21.900	0.690	-0.010865
0.000008		
22.000	0.691	-0.001613
0.000001		
22.100	0.691	-0.001182
0.000001		
22.200	0.689	0.010305
0.000007		
22.300	0.689	-0.003288
0.000002		
22.400	0.691	0.005923
0.000004		
22.500	0.690	-0.003566
0.000002		
22.600	0.691	0.002843
0.000002		
22.700	0.693	-0.002774
0.000002		

22.800	0.703	0.003760
0.000003		
22.900	0.703	-0.013858
0.000009		
23.000	0.698	0.002446
0.000002		
23.100	0.696	-0.001953
0.000001		
23.200	0.698	0.000333
0.000000		
23.300	0.700	0.004753
0.000003		
23.400	0.699	-0.006932
0.000005		
23.500	0.695	-0.002375
0.000002		
23.600	0.704	0.005117
0.000003		
23.700	0.696	0.013098
0.000009		
23.800	0.696	-0.000403
0.000000		
23.900	0.700	0.000482
0.000000		
24.000	0.698	0.009782
0.000007		

```

=====
=====
==

```

MASS BALANCE INFLOW - OUTFLOW VOLUME

*** INFLOW (CU METERS) ***

WATER BULKED W/SEDIMENT

SURFACE WATER INFLOW HYDROGRAPH

110880.874 149889.935

```

=====
=====
==

```

*** SURFACE OUTFLOW (CU METERS) ***

WATER OVERLAND FLOW BULKED W/SEDIMENT

FLOODPLAIN STORAGE
7166.117 9580.188

STREET STORAGE
0.076 0.093

FLOODPLAIN OUTFLOW HYDROGRAPH (W/STREETS)
103732.52 140309.68

FLOODPLAIN OUTFLOW AND STORAGE
110898.719 149889.960

TOL FLOODPLAIN STORAGE
6753.469

TOTAL SURFACE OUTFLOW AND STORAGE
110898.719

=====
=====
==

*** TOTALS ***

TOTAL OUTFLOW FROM GRID SYSTEM
103732.523 140309.679

TOTAL VOLUME OF OUTFLOW AND STORAGE
110898.719 161350.960

SURFACE AREA OF INUNDATION REGARDLESS OF THE TIME OF
OCCURRENCE:
(FOR FLOW DEPTHS GREATER THAN THE "TOL" VALUE TYPICALLY 0.1 FT
OR 0.03 M)

THE MAXIMUM INUNDATED AREA IS:
224591.712 SQ. METERS

THE MAXIMUM INUNDATED AREA (DEPTH > 0.15 M) IS:
55643.975 SQ. METERS

=====
=====
==

AVERAGE GRID ELEMENT FLOW DIRECTION FLOODPLAIN HYDRAULICS:

DISCHARGE (CFS OR CMS): 0.110
 VELOCITY (FPS OR CMS): 0.449
 FLOW AREA (FT^2 OR M^2): 0.174
 FLOW DEPTH (FT OR M): 0.084
 FLOW WIDTH (FT OR M): 2.071

TOTAL COMPUTATIONS: 147044346.

COMPUTER RUN TIME IS : 3.36206 HRS

THIS OUTPUT FILE WAS TERMINATED ON: 5/23/2017 AT:
 9:50:25

Simulación de Flujo de detritos para Tr = 100 años (FLO-2D)

NEGATIVE VOLUME CONSERVATION (CUBIC METERS)
 INDICATES EXCESS VOLUME (OUTFLOW + STORAGE >
 INFLOW)

SIMULATION TIME CONSERVATION (HOURS) PERCENT OF INFLOW	AVERAGE TIMESTEP (SECONDS)	VOLUME (CU METERS)
---	-------------------------------	-----------------------

SUMMARY.OUT FILE
 Pro Model - Build No. 16.06.16

0.100 0.000003	1.799	-0.000000
0.201 0.000002	2.931	-0.000000
0.301 0.000004	2.691	0.000001
0.400 0.000004	2.536	0.000002
0.500 0.000003	2.337	-0.000002
0.600 0.000000	2.124	-0.000000
0.700 0.000002	1.866	0.000003

0.800	1.647	-0.000003
0.000002		
0.900	1.536	-0.000005
0.000003		
1.000	1.414	0.000005
0.000002		
1.100	1.351	0.000012
0.000004		
1.200	1.317	-0.000001
0.000000		
1.300	1.288	-0.000015
0.000004		
1.400	1.256	0.000002
0.000001		
1.500	1.222	-0.000022
0.000004		
1.600	1.194	-0.000022
0.000004		
1.700	1.169	-0.000022
0.000003		
1.800	1.146	-0.000024
0.000003		
1.900	1.124	0.000016
0.000002		
2.000	1.098	0.000003
0.000000		
2.100	1.092	0.000004
0.000000		
2.200	1.092	0.000040
0.000003		
2.300	1.092	-0.000012
0.000001		
2.400	1.092	0.000011
0.000001		
2.500	1.091	0.000057
0.000004		
2.600	1.092	0.000025
0.000002		
2.700	1.092	0.000043
0.000003		
2.800	1.091	-0.000042
0.000002		
2.900	1.092	0.000011
0.000001		
3.000	1.093	-0.000060
0.000003		
3.100	1.091	0.000016
0.000001		
3.200	1.091	-0.000122
0.000006		
3.300	1.092	0.000089
0.000004		

3.400	1.091	-0.000016
0.000001		
3.500	1.091	-0.000051
0.000002		
3.600	1.091	0.000061
0.000002		
3.700	1.091	-0.000048
0.000002		
3.800	1.092	0.000022
0.000001		
3.900	1.091	-0.000072
0.000003		
4.000	1.092	0.000050
0.000002		
4.100	1.091	-0.000095
0.000003		
4.200	1.092	0.000074
0.000002		
4.300	1.091	-0.000109
0.000003		
4.400	1.091	0.000044
0.000001		
4.500	1.091	0.000061
0.000002		
4.600	1.091	0.000109
0.000003		
4.700	1.091	-0.000015
0.000000		
4.800	1.091	-0.000058
0.000002		
4.900	1.090	0.000033
0.000001		
5.000	1.091	-0.000054
0.000001		
5.100	1.091	-0.000009
0.000000		
5.200	1.091	-0.000009
0.000000		
5.300	1.091	-0.000034
0.000001		
5.400	1.091	-0.000009
0.000000		
5.500	1.091	-0.000086
0.000002		
5.600	1.092	0.000059
0.000001		
5.700	1.090	-0.000019
0.000000		
5.800	1.091	0.000083
0.000002		
5.900	1.091	0.000172
0.000004		

6.000	1.090	-0.000212
0.000004		
6.100	1.089	0.000177
0.000004		
6.200	1.082	0.000224
0.000004		
6.300	1.074	-0.000012
0.000000		
6.400	1.068	0.000111
0.000002		
6.500	1.092	-0.000027
0.000001		
6.600	1.088	-0.000013
0.000000		
6.700	1.080	-0.000039
0.000001		
6.800	1.073	0.000112
0.000002		
6.900	1.048	0.000128
0.000002		
7.000	0.976	-0.000118
0.000002		
7.100	0.951	0.000053
0.000001		
7.200	0.952	-0.000051
0.000001		
7.300	0.951	-0.000200
0.000003		
7.400	0.940	-0.000121
0.000002		
7.500	0.952	-0.000228
0.000003		
7.600	0.929	0.000178
0.000003		
7.700	0.941	0.000157
0.000002		
7.800	0.948	-0.000263
0.000004		
7.900	0.946	-0.000262
0.000004		
8.000	0.938	0.000182
0.000002		
8.100	0.940	-0.000058
0.000001		
8.200	0.941	0.000241
0.000003		
8.300	0.933	-0.000134
0.000002		
8.400	0.900	-0.000180
0.000002		
8.500	0.900	0.000511
0.000006		

8.600	0.890	-0.000317
0.000004		
8.700	0.877	0.000334
0.000004		
8.800	0.850	-0.000222
0.000003		
8.900	0.843	0.000047
0.000001		
9.000	0.861	-0.000414
0.000005		
9.100	0.848	0.000232
0.000002		
9.200	0.804	-0.000042
0.000000		
9.300	0.802	0.000141
0.000001		
9.400	0.801	0.000330
0.000003		
9.500	0.800	-0.000407
0.000004		
9.600	0.794	-0.000356
0.000003		
9.700	0.783	-0.000478
0.000004		
9.800	0.775	0.000415
0.000004		
9.900	0.770	-0.000063
0.000001		
10.000	0.716	-0.000017
0.000000		
10.100	0.698	0.000619
0.000005		
10.200	0.699	-0.000219
0.000002		
10.300	0.740	0.000501
0.000004		
10.400	0.709	0.000345
0.000003		
10.500	0.655	-0.000381
0.000003		
10.600	0.632	0.000154
0.000001		
10.700	0.627	-0.000236
0.000002		
10.800	0.620	-0.000277
0.000002		
10.900	0.604	0.000554
0.000004		
11.000	0.597	0.000447
0.000003		
11.100	0.589	-0.000340
0.000002		

11.200	0.534	0.000115
0.000001		
11.300	0.502	-0.001249
0.000006		
11.400	0.471	0.000636
0.000003		
11.500	0.407	0.000883
0.000004		
11.600	0.344	-0.000017
0.000000		
11.700	0.322	0.000490
0.000002		
11.800	0.319	-0.000745
0.000002		
11.900	0.314	0.000745
0.000002		
12.000	0.310	-0.001279
0.000003		
12.100	0.310	0.000336
0.000001		
12.200	0.319	0.000247
0.000000		
12.300	0.346	-0.002865
0.000005		
12.400	0.346	-0.002368
0.000004		
12.500	0.350	0.000780
0.000001		
12.600	0.345	-0.001464
0.000002		
12.700	0.328	-0.000530
0.000001		
12.800	0.313	0.001580
0.000002		
12.900	0.315	-0.000217
0.000000		
13.000	0.318	-0.002349
0.000003		
13.100	0.323	-0.001805
0.000002		
13.200	0.324	-0.000321
0.000000		
13.300	0.322	-0.003399
0.000004		
13.400	0.320	-0.001412
0.000002		
13.500	0.322	-0.000569
0.000001		
13.600	0.321	0.005416
0.000006		
13.700	0.324	0.002916
0.000003		

13.800	0.324	0.002007
0.000002		
13.900	0.325	0.001825
0.000002		
14.000	0.328	0.001462
0.000001		
14.100	0.328	-0.003987
0.000004		
14.200	0.334	0.000993
0.000001		
14.300	0.338	-0.005235
0.000005		
14.400	0.351	-0.000505
0.000000		
14.500	0.369	-0.000931
0.000001		
14.600	0.397	-0.002538
0.000002		
14.700	0.423	-0.002334
0.000002		
14.800	0.458	0.000522
0.000000		
14.900	0.466	-0.000078
0.000000		
15.000	0.479	0.001214
0.000001		
15.100	0.492	0.000459
0.000000		
15.200	0.499	0.000457
0.000000		
15.300	0.503	0.007314
0.000006		
15.400	0.509	0.003218
0.000003		
15.500	0.513	-0.002505
0.000002		
15.600	0.519	-0.001550
0.000001		
15.700	0.530	-0.002937
0.000002		
15.800	0.541	-0.007353
0.000006		
15.900	0.558	0.001125
0.000001		
16.000	0.573	0.003233
0.000002		
16.100	0.584	-0.004470
0.000003		
16.200	0.586	-0.006088
0.000005		
16.300	0.589	0.006299
0.000005		

16.400	0.592	-0.006198
0.000005		
16.500	0.596	-0.003987
0.000003		
16.600	0.598	0.008441
0.000006		
16.700	0.601	-0.006280
0.000005		
16.800	0.602	-0.004425
0.000003		
16.900	0.594	0.000148
0.000000		
17.000	0.589	-0.005620
0.000004		
17.100	0.590	-0.001845
0.000001		
17.200	0.583	-0.004266
0.000003		
17.300	0.590	0.004201
0.000003		
17.400	0.591	-0.003352
0.000002		
17.500	0.595	-0.000320
0.000000		
17.600	0.594	0.008226
0.000006		
17.700	0.596	0.005608
0.000004		
17.800	0.600	-0.001449
0.000001		
17.900	0.603	0.001715
0.000001		
18.000	0.603	-0.001666
0.000001		
18.100	0.607	0.004087
0.000003		
18.200	0.610	-0.000596
0.000000		
18.300	0.614	-0.012392
0.000008		
18.400	0.615	0.002854
0.000002		
18.500	0.619	0.000329
0.000000		
18.600	0.619	0.006508
0.000004		
18.700	0.621	-0.008257
0.000006		
18.800	0.621	-0.004201
0.000003		
18.900	0.625	0.005008
0.000003		

19.000	0.626	-0.014051
0.000009		
19.100	0.629	-0.005003
0.000003		
19.200	0.628	0.000827
0.000001		
19.300	0.628	-0.005818
0.000004		
19.400	0.624	0.011756
0.000008		
19.500	0.627	0.000247
0.000000		
19.600	0.628	0.004711
0.000003		
19.700	0.632	-0.003117
0.000002		
19.800	0.632	-0.008298
0.000005		
19.900	0.637	-0.003533
0.000002		
20.000	0.630	-0.014770
0.000010		
20.100	0.631	-0.008680
0.000006		
20.200	0.630	-0.001466
0.000001		
20.300	0.632	0.004377
0.000003		
20.400	0.636	-0.003988
0.000003		
20.500	0.638	0.007270
0.000005		
20.600	0.642	0.004983
0.000003		
20.700	0.641	0.007067
0.000004		
20.800	0.648	-0.001863
0.000001		
20.900	0.657	-0.010596
0.000007		
21.000	0.658	-0.002373
0.000001		
21.100	0.665	-0.004826
0.000003		
21.200	0.665	0.008289
0.000005		
21.300	0.660	-0.009509
0.000006		
21.400	0.677	-0.008620
0.000005		
21.500	0.688	-0.009252
0.000006		

21.600	0.695	0.004744
0.000003		
21.700	0.712	0.010282
0.000006		
21.800	0.710	0.003055
0.000002		
21.900	0.707	0.004454
0.000003		
22.000	0.696	-0.008116
0.000005		
22.100	0.691	-0.011914
0.000007		
22.200	0.691	-0.003771
0.000002		
22.300	0.691	-0.010851
0.000007		
22.400	0.693	-0.004496
0.000003		
22.500	0.694	-0.009414
0.000006		
22.600	0.692	-0.006392
0.000004		
22.700	0.694	0.000668
0.000000		
22.800	0.690	0.008482
0.000005		
22.900	0.692	-0.011964
0.000007		
23.000	0.690	-0.013377
0.000008		
23.100	0.690	0.002124
0.000001		
23.200	0.693	0.002767
0.000002		
23.300	0.690	-0.000299
0.000000		
23.400	0.692	0.012076
0.000007		
23.500	0.690	0.004121
0.000002		
23.600	0.690	-0.000612
0.000000		
23.700	0.692	0.006719
0.000004		
23.800	0.691	0.008123
0.000005		
23.900	0.692	0.001818
0.000001		
24.000	0.690	0.003490
0.000002		
=====		
=====		
==		

MASS BALANCE INFLOW - OUTFLOW VOLUME

=====
=====
==

*** INFLOW (CU METERS) ***

WATER BULKED W/SEDIMENT

SURFACE WATER INFLOW HYDROGRAPH
125100.913 169169.167

=====
=====
==

*** SURFACE OUTFLOW (CU METERS) ***

WATER OVERLAND FLOW
 BULKED W/SEDIMENT

FLOODPLAIN STORAGE
7462.495 9977.241

STREET STORAGE
0.085 0.104

FLOODPLAIN OUTFLOW HYDROGRAPH (W/STREETS)
117656.75 159191.83

FLOODPLAIN OUTFLOW AND STORAGE
125119.328 169169.172

TOL FLOODPLAIN STORAGE
6901.660

TOTAL SURFACE OUTFLOW AND STORAGE
125119.328

=====
=====
==

*** TOTALS ***

TOTAL OUTFLOW FROM GRID SYSTEM
117656.752 159191.827

TOTAL VOLUME OF OUTFLOW AND STORAGE
125119.328 169169.172

SURFACE AREA OF INUNDATION REGARDLESS OF THE TIME OF
OCCURRENCE:

(FOR FLOW DEPTHS GREATER THAN THE "TOL" VALUE TYPICALLY 0.1 FT
OR 0.03 M)

THE MAXIMUM INUNDATED AREA IS:
229557.962 SQ. METERS

THE MAXIMUM INUNDATED AREA (DEPTH > 0.15 M) IS:
60533.975 SQ. METERS

=====
=====
==

AVERAGE GRID ELEMENT FLOW DIRECTION FLOODPLAIN HYDRAULICS:

DISCHARGE (CFS OR CMS):	0.116
VELOCITY (FPS OR CMS):	0.461
FLOW AREA (FT^2 OR M^2):	0.178
FLOW DEPTH (FT OR M):	0.086
FLOW WIDTH (FT OR M):	2.071

TOTAL COMPUTATIONS: 159947873.

COMPUTER RUN TIME IS : 3.54858 HRS

THIS OUTPUT FILE WAS TERMINATED ON: 5/23/2017 AT:
17:57: 5

Panel fotográfico.



Fotografía n°1. Recopilación de datos históricos registrados sobre fenómenos de flujo de detritos



Fotografía n°2. Cuenca 1 de Tantarà con flujo de detritos en el Canal de Deyección.



Fotografía n°3. Cuenca de La Esmeralda, alternativa para modelar el flujo de detritos.



Fotografía n°4. Familia damnificada por la caída de lodo y piedra flujo de detritos, ocurrido el 13-01-2013.



Fotografía n°5. Terrenos de cultivo afectado por el flujo de detritos.



Fotografía n°6. Instalación de GNS diferencial para levantamiento de nube de puntos.



Fotografía n°7. Ajuste del UAV a las condiciones geográficas de la zona.



Fotografía n°8. Barrido de nube puntos sobre el área predeterminada.