



PERÚ

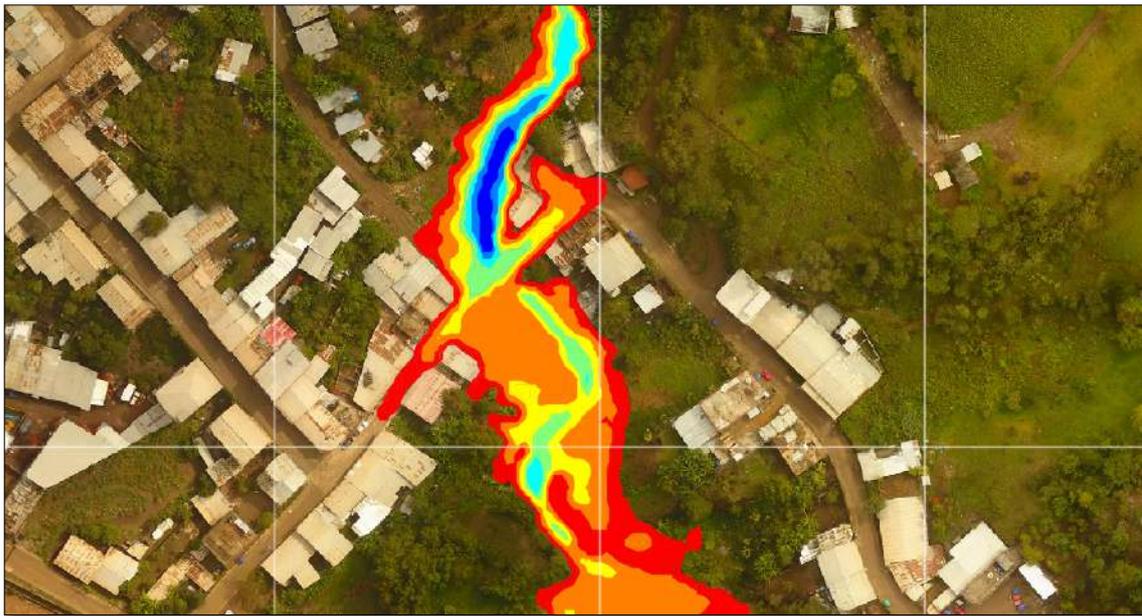
Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



INFORME

MODELAMIENTO NUMÉRICO DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA UNGULO CIUDAD DE HUANCABAMBA, PROVINCIA HUANCABAMBA, REGIÓN PIURA



PROYECTO

Convenio 166-2017-FONDECYT

**“EVALUACIÓN GEODINÁMICA, GEOFÍSICA Y GEOLÓGICA
DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA QUE AFECTAN LA
SEGURIDAD FÍSICA DE LA CIUDAD HUANCABAMBA
(PIURA)”**



Elaborado por:

Bach. Gustavo Adolfo Namay Poncca

Editado por:

MSc. Wendy Quiroz Sifuentes

Revisado por:

Dr. Juan Carlos Gómez Ávalos

Coordinador General del Proyecto:

Dr. Juan Carlos Villegas Lanza

Resumen

En el marco del desarrollo del proyecto convenio 166-2017-FONDECYT: “Evaluación geodinámica, geofísica y geológica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)” el IGP ha desarrollado el estudio “Modelamiento numérico de flujo de detritos en la quebrada Ungulo, distrito de Huancabamba” esto a fin de caracterizar la dinámica del flujo de detritos por activación de la quebrada Ungulo.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó información generada a partir del proyecto antes mencionado como: topografía del terreno mediante un modelo digital de superficie de 5 cm de resolución espacial y estudio de mecánica de suelos. Además, se generó información correspondiente a los hidrogramas de máxima avenidas para distintos periodos de retorno (Escenarios simulados), esto a partir de información obtenida del producto grillado PISCO, debido a la falta de datos en el área de la microcuenca de la quebrada Ungulo.

Para generar los escenarios de ocurrencia de flujos de lodo se utilizó el modelo numérico bidimensional FLO-2D, a dicho modelo se ingresó el modelo digital de terreno, la rugosidad del terreno, parámetros reológicos y los hidrogramas – solidogramas de avenidas a partir de lo cual se obtuvo que ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico correspondiente a un periodo de retorno de 20 años existiría una producción líquida de hasta 11.7 m³/s la cual a su vez generaría flujo de lodos con concentraciones volumétricas variables de entre 0.20 a 0.45, alcanzando alturas máximas de flujo de hasta 6.3 metros medidos desde el fondo del cauce, que afectaría a la Av. 2 de mayo y la calle Morropón con alturas de hasta 0.246 y 0.73 metros respectivamente sumando así un total de 0.401 hectáreas afectadas.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVO	6
3	ÁREA DE ESTUDIO	6
3.1	UBICACIÓN POLÍTICA, GEOGRÁFICA E HIDROGRÁFICA	6
3.2	DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	8
4	METODOLOGÍA	9
4.1	PREPROCESO	9
4.2	PROCESO	9
4.3	POSTPROCESO	9
5	MODELAMIENTO NUMÉRICO DE FLUJOS DE DETRITOS	10
5.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	10
5.2	CONFIGURACIÓN DEL MODELO	10
5.2.1	MODELO DIGITAL DEL TERRENO – ESCENARIO VIRTUAL	12
5.2.2	CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO – RUGOSIDAD	13
5.2.3	HIDROGRAMA Y SOLIDOGRAMA	14
6	RESULTADOS	18
7	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	24
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
8.1	CONCLUSIONES	25
8.2	RECOMENDACIONES	26
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
10	ANEXOS	26

Índice de Figuras

FIGURA 1	UBICACIÓN DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA UNGULO CON RESPECTO A LA CIUDAD DE HUANCABAMBA	7
FIGURA 2	VISTA AMPLIADA DE LA QUEBRADA UNGULO, CON RESPECTO AL DISTRITO DE HUANCABAMBA	8
FIGURA 3	DIAGRAMA DE INGRESO DE DATOS AL MODELO FLO-2D.....	11
FIGURA 4	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE DEL DOMINIO COMPUTACIONAL SOBRE EL CUAL SE REALIZARÁ LA SIMULACIÓN 12	
FIGURA 5	VISTA GENERAL Y AMPLIADA DEL MALLADO COMPUTACIONAL DE 1 METROS DE RESOLUCIÓN ESPACIAL.....	13
FIGURA 6	VALORES DEL NÚMERO DE MANNING DENTRO DEL DOMINIO COMPUTACIONAL.....	14
FIGURA 7	DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL HIDROGRAMA DE AVENIDA	16
FIGURA 8	HIETOGRAMA (AZUL) E HIDROGRAMA DE AVENIDA (NARANJA) CORRESPONDIENTE A 10 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO, QUEBRADA UNGULO.....	17
FIGURA 9	HIETOGRAMA (AZUL) E HIDROGRAMA DE AVENIDA (NARANJA) CORRESPONDIENTE A 20 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO, QUEBRADA UNGULO.....	17
FIGURA 10	HIETOGRAMA (AZUL) E HIDROGRAMA DE AVENIDA (NARANJA) CORRESPONDIENTE A 50 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO, QUEBRADA UNGULO.....	17
FIGURA 11	HIETOGRAMA (AZUL) E HIDROGRAMA DE AVENIDA (NARANJA) CORRESPONDIENTE A 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO, QUEBRADA UNGULO.....	18
FIGURA 12	ALTURAS MÁXIMAS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA UNGULO, ESCENARIO I.....	20
FIGURA 13	ALTURAS MÁXIMAS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESBORDE, ESCENARIO I.....	21
FIGURA 14	ALTURAS MÁXIMAS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA QUEBRADA UNGULO, ESCENARIO II.....	22
FIGURA 15	ALTURAS MÁXIMAS DE FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESBORDE, ESCENARIO II.....	23
FIGURA 16	VISTA AMPLIADA DE LA ZONA AFECTADA ALREDEDOR DEL PUENTE UNGULO, CORRESPONDIENTE A PERIODO DE RETORNO DE 10 (A) Y 20 AÑOS (B)	24

Índice de Cuadros

CUADRO 1	CUADRO RESUMEN DE LOS CAUDALES MAXIMOS CORRESPONDIENTES A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO, QUEBRADA UNGULO	18
-----------------	--	----

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del desarrollo del proyecto “Evaluación geodinámica, geofísica y geológica de los deslizamientos de tierra que afectan a la seguridad física de la ciudad de Huancabamba (Piura)” y, considerando que además de los deslizamientos de tierra existen otros peligros geodinámicos (flujos de detritos, caídas de rocas, etc) la ciudad de Huancabamba, el Instituto Geofísico del Perú mediante su unidad de Unidad de Geodinámica Superficial de la subdirección de Ciencias de la Tierra Solida ha desarrollado el estudio “Modelamiento numérico de Flujo de detritos en la quebrada Ungulo, Huancabamba”.

El distrito de Huancabamba se encuentra expuesto a peligros naturales los cuales se presentan con cierta periodicidad ya sean de origen geológico, sísmico y/o hidrometeorológico, afectando la seguridad física de las localidades y sus habitantes. Uno de estos peligros son los flujos de detritos por activación de la quebrada Ungulo.

El objetivo del presente estudio es estimar las áreas potencialmente expuestas a la ocurrencia de flujo de detritos, esto en base a simulaciones numéricas. Todo ello aplicado a al distrito de Huancabamba, región Piura.

Para estimar las áreas susceptibles a ser afectadas ante la ocurrencia de estos eventos, es necesario conocer la variación temporal del volumen de agua (hidrogramas) que escurre sobre el cauce de la quebrada; debido a la falta de disponibilidad de datos hidrométricos se aplican métodos indirectos para estimar los hidrogramas, estos métodos utilizan como base información de precipitación diaria. En el presente estudio dicha información ha sido obtenida del producto grillado PISCO(Aybar et al 2017), desarrollado por la Unidad de Investigación hidrológica del Servicio Nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI).

Con estos datos de precipitación se realiza un análisis de frecuencia; es decir, se establece una curva de tendencia de los datos registrados y posteriormente se pronostica una magnitud de precipitación para cierto grado de probabilidad (período de retorno). A este resultado que representa la precipitación total caída al suelo, se le resta el agua que se infiltra en él. Ésta es medida en campo calculando la cantidad de agua que ingresa al suelo en un determinado tiempo (capacidad de infiltración del suelo) y como resultado de esta sustracción se obtiene el hietograma de la lluvia

neta, que representa el agua (mm) que escurrirá sobre el suelo y que generará el hidrograma de avenida que será ingresado al modelo numérico FLO2D, para así generar los escenarios de ocurrencia de flujo de detritos correspondiente a distintos periodos de retorno.

2 OBJETIVO

El objetivo general del presente estudio es caracterizar la dinámica de flujo de detritos y estimar las áreas potencialmente expuestas ante la ocurrencia de un evento de este tipo por activación de la quebrada Ungulo en el distrito de Huancabamba.

3 ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Ubicación política, geográfica e hidrográfica

El área de interés es el distrito de Huancabamba, ubicado a la margen derecha de la quebrada Ungulo.

Para poder comprender de manera adecuada el estudio, sus alcances y la selección del tramo de estudio es necesario conocer la ubicación de este, tal como se detalla a continuación:

Hidrográficamente la quebrada Ungulo es afluente del río Huancabamba. El tramo de interés de la quebrada se ubica políticamente en el distrito del mismo nombre en la región Piura. Huancabamba se encuentra ubicado tanto a la margen derecha como izquierda de la quebrada Ungulo, es decir la quebrada corta transversalmente al distrito. El tramo de interés se encuentra limitado entre las coordenadas UTM 17S (672357E, 9420893N) y (672211E, 9420345N) en datum WGS84 con una longitud total de 641 metros.

La quebrada Ungulo permanece seca a lo largo de prácticamente todo el año. Los habitantes de la zona destacan que solo escurre agua por su cauce cada 3 o 5 años. Sin embargo, existe evidencia en el cauce de flujos antiguos.

En la *Figura 1*, se muestra la ubicación de la cuenca Ungulo, delimitada a partir del punto de aforo donde se iniciará la simulación.

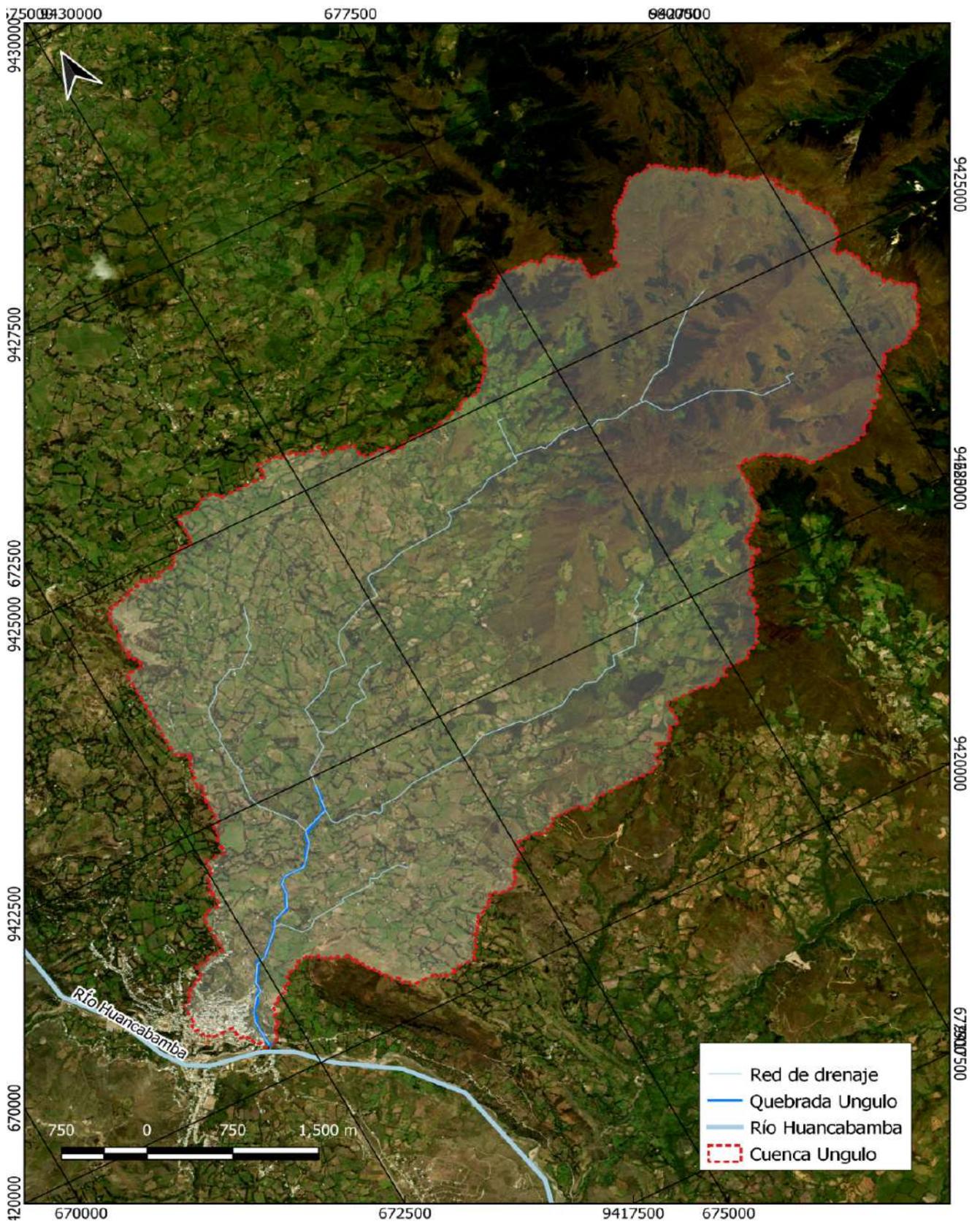


Figura 1. Ubicación de la cuenca de la quebrada Ungulo con respecto a la ciudad de Huancabamba

3.2 Descripción del tramo de estudio

Como se mencionó en el ítem anterior el presente informe se centra en estudiar la hidrodinámica de la quebrada Ungulo en un tramo de 641 metros medidos aguas arriba desde la desembocadura en el río Huancabamba. Asimismo, las elevaciones del cauce del río varían entre 1879 y 1914 msnm, presentando una pendiente promedio de 5.46%, el ancho del cauce varía entre los 5 y 9 metros, siendo más ancho en la zona de desembocadura al río Huancabamba

En la *Figura 2*, se observa el tramo de interés para el presente estudio y se muestra como referencia el distrito de Huancabamba y el río del mismo nombre.



Figura 2. Vista ampliada de la quebrada Ungulo, con respecto al distrito de Huancabamba

4 METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

4.1 Preproceso

Consistió en la revisión, análisis, interpretación y digitalización de información generada por estudios previos referentes a la geomorfología y eventos geodinámicos en el área de estudio (Córdova, 2018).

En esta etapa se obtuvieron los hidrogramas de avenidas correspondientes a 10, 20, 50 y 100 años de periodo de retorno. Además, se prepararon los datos de rugosidad, modelo digital de terreno, reología, hidrograma y sólidograma para ser ingresados al modelo numérico bidimensional FLO-2D.

4.2 Proceso

En esta etapa se procesaron y se resolvieron las ecuaciones que gobiernan la dinámica de flujo de detritos en la quebrada Ungulo, esto mediante el uso del modelo numérico bidimensional FLO-2D. En esta etapa también se realizaron los procesos de calibración y validación del modelo.

4.3 Postproceso

Finalmente, en esta etapa se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos por el modelo FLO-2D. A partir de la información obtenida se generan mapas de inundación y se determinan las zonas potencialmente expuestas ante la ocurrencia de flujo de detritos en el distrito de Huancabamba.

5 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE FLUJO DE DETRITOS

5.1 Descripción del modelo

Para la simulación de flujo de detritos, la estimación de áreas afectadas en la zona de estudio fue necesario utilizar un modelo numérico computacional. Para este caso el modelo utilizado fue el FLO-2D porque permite la simulación del proceso lluvia – escorrentía, además, se usa para estimar el tránsito de avenidas en 2 dimensiones; puede simular flujo en canales, superficies no confinadas y flujo en calles; y las características físicas del flujo pueden ser modificadas, como la reología (viscosidad, esfuerzo cortante), concentración de sedimentos, y composición de sedimentos finos (granulometría del sedimento), etc.

Este modelo está validado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia de los Estados Unidos (FEMA); Cuerpo de Ingenieros del Ejército (Corps), Distrito de Sacramento; Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Maricopa (FCDMC), Phoemix, Arizona; y entre otras entidades internacionales involucradas en el tema de gestión de riesgos y desastres naturales.

5.2 Configuración del modelo

El primer dato de ingreso al programa es la topografía del área de estudio. Luego es necesario caracterizar el coeficiente de rugosidad del cauce del río y de las áreas circundantes, esto se logra mediante el método del valor del número de Manning (n).

Con la información topográfica y sus características físicas estimadas, se procede con el ingreso del hidrograma del evento que se desea simular, se realiza la simulación y se extrae la información de las alturas máximas alcanzadas por el flujo para identificar la intensidad del evento.

Con los resultados del modelamiento numérico hidráulico computacional para la ocurrencia de un evento hidrometeorológico, se generan mapas de peligro que ayudarán a visualizar las potenciales áreas a inundarse.

En la *Figura 3*, se presenta de manera esquemática el ingreso necesario en el programa FLO2D, para el modelamiento números de flujo de detritos.

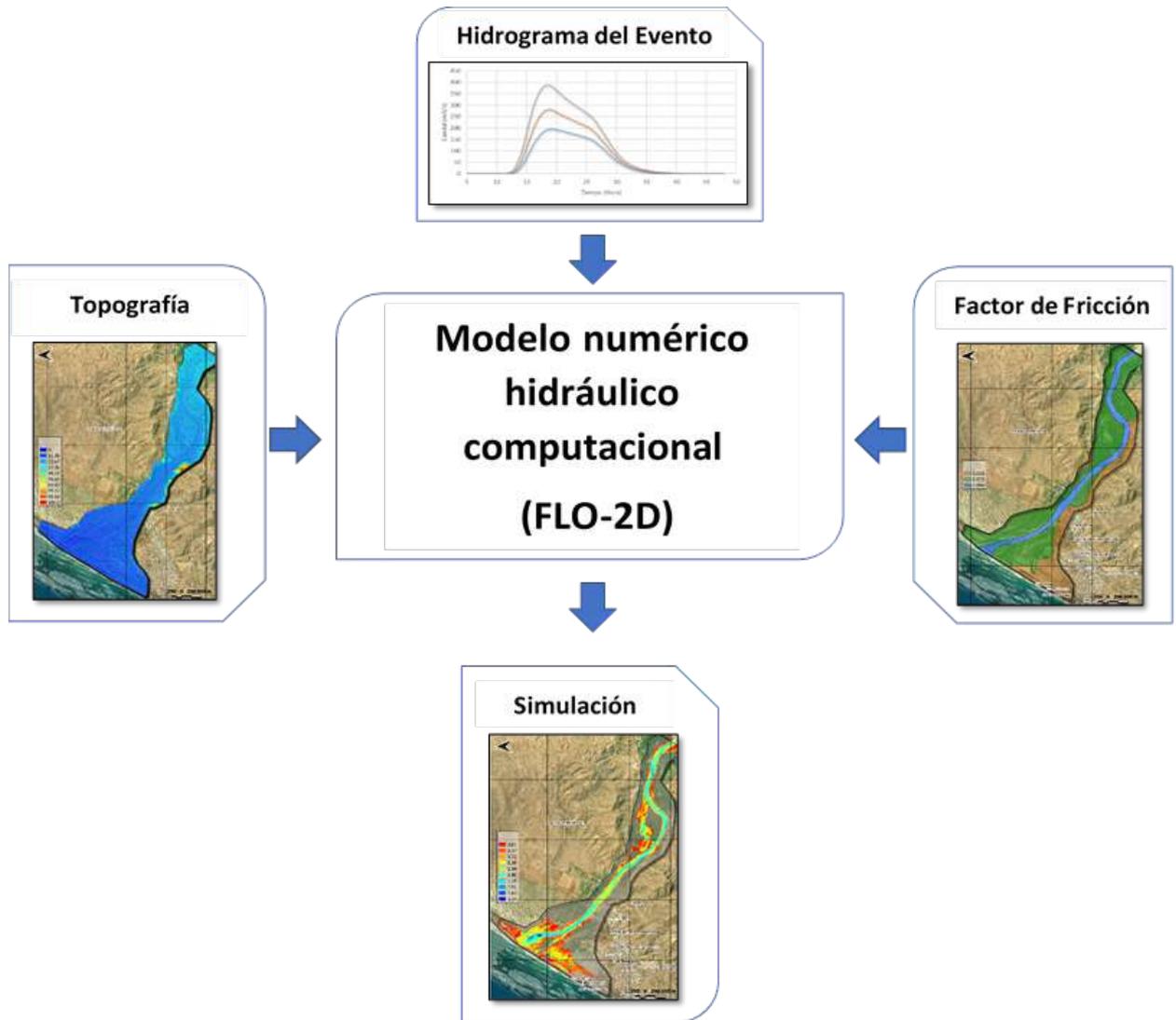


Figura 3. Diagrama de ingreso de datos al modelo FLO-2D

5.2.1 MODELO DIGITAL DEL TERRENO – ESCENARIO VIRTUAL

Para el desarrollo de este estudio se utilizó la topografía digital obtenida a través de un vuelo aero fotogramétrico, sobre el área de estudio obteniendo así un modelo digital de terreno (MDT) de resolución espacial de 5 cm, la metodología utilizada para generar la base topográfica se detalla en el informe “Levantamiento fotogramétrico – Distrito Huancabamba – región Piura”

En la *Figura 4*, se observa el modelo digital del terreno y la variación espacial de las elevaciones. Se observan tonalidades que varían de verdes para elevaciones inferiores

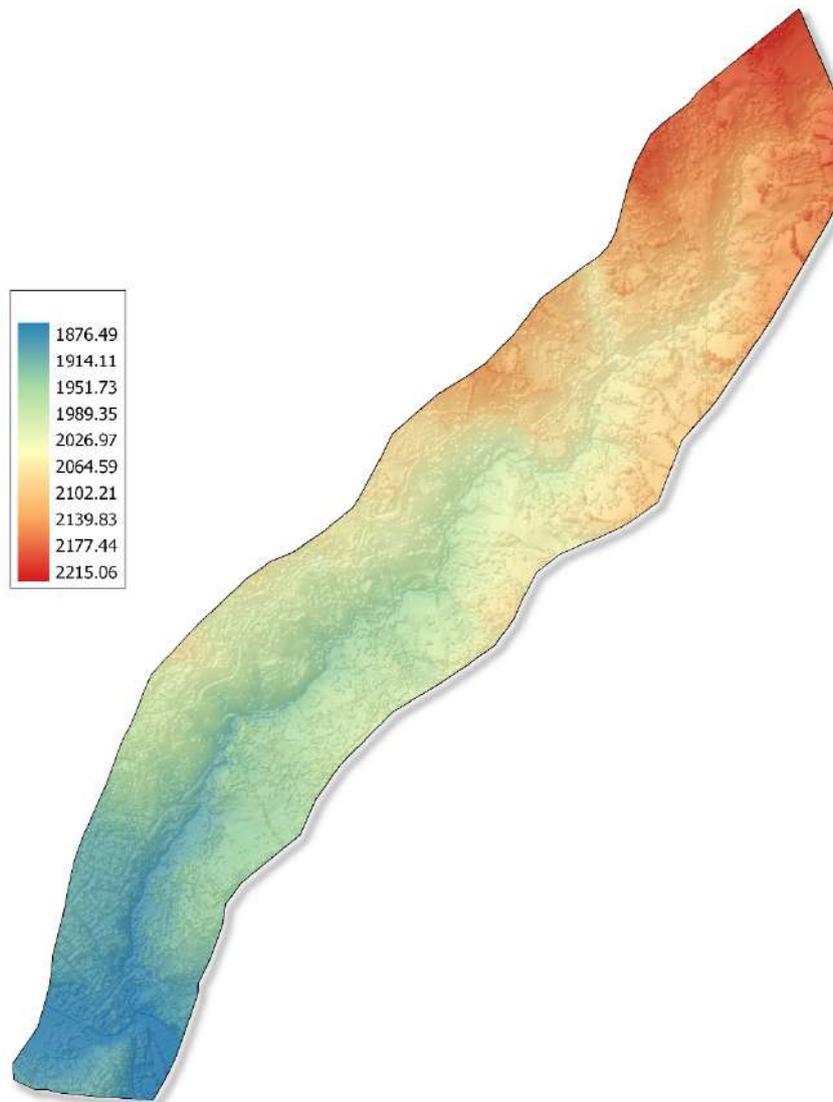


Figura 4. Modelo digital de superficie del dominio computacional sobre el cual se realizará la simulación

a 1989.35 ms.nm. a amarillas para elevaciones entre 1989.36 ms.nm. hasta 2064 ms.nm. a naranjas para elevaciones entre 2064.59 m s. n. m hasta 2177.44 ms.n.m, y a rojos para elevaciones superiores a los 2177.45 ms.n.m.

- **Escenario virtual**

El modelo digital del terreno generado fue ingresado al modelo FLO-2D para realizar el mallado. El mallado consiste en dividir el modelo digital del terreno en cuadros en los cuales el modelo calculará las alturas y velocidades del flujo para cada cuadrado.

En este caso el mallado fue realizado con una resolución de 1 metro debido a la extensión del terreno.

En la *Figura 5*, se observa el mallado del modelo digital del terreno con una resolución de 1 metro, esto quiere decir que por cada 1 m² del terreno existe un dato de elevación que representa la topografía del terreno.



Figura 5. Vista general y ampliada del mallado computacional de 1 metro de resolución espacial

5.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO – RUGOSIDAD

La importancia de la caracterización de la rugosidad del terreno radica en que distintos tipos de terreno ejercen más o menos esfuerzo a que el flujo fluya sobre él. Para la selección del valor del número de Manning en el cauce del río y de las áreas aledañas se utilizó el método de técnicas de campo en superficie de agua por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y la tabla de coeficiente de rugosidad de Manning propuesta por Ven Te Chow (Ven Te Chow, 1988) respectivamente.

A continuación, en *Figura 6*, se puede apreciar la variación de los valores del número de Manning en función a las tablas de los autores antes mencionados.



Figura 6. Valores del número de Manning dentro del dominio computacional

5.2.3 HIDROGRAMA Y SOLIDOGRAMA

5.2.3.1 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

Dado que en el país se tiene limitaciones en la disponibilidad de datos ya sea hidrométricos como pluviométricos, generalmente se utilizan métodos indirectos para la estimación de tormentas de diseño, lo que conlleva a seguir la siguiente metodología:

Tomando en cuenta las metodologías propuestas por: el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en el *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* aprobado mediante el Decreto Supremo N° 034 – 2008 – MTC; y el Ministerio de Economía y Finanzas en la *Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas* aprobada por la Dirección General de Programación Multianual del Sector Público; y otras a nivel internacional, se presenta la siguiente metodología para la estimación de áreas inundables ante la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos:

- Como dato básico se utilizaron las precipitaciones máximas en 24 horas para los años registrados (multianuales), las cuales pasan por un análisis de frecuencias que son validadas a través de una prueba de bondad de ajuste, que consiste en determinar que la correlación de la curva generada y los datos reales se ajuste al nivel mínimo de significancia (correlación menor a 0.05) para las distintas distribuciones probabilísticas.
- Determinada la distribución probabilística que más se ajusta al registro de datos, se pronostica una precipitación (mm) para un determinado período de retorno. Con esta altura, se procede a realizar el diseño de la tormenta por medio del método de tormentas hipotéticas del Servicio de Conservación del suelo de los Estados Unidos (US-SCS, 1986) con la distribución del tipo I, debido a que este método; calibrado por pruebas empíricas, presenta semejanza del medio geográfico y del clima marítimo del Pacífico, con inviernos húmedos y veranos secos.
- Con la aplicación de este método se obtiene el hietograma de la tormenta de diseño, el cual se le restará el agua infiltrada con el método de Número de curva del SCS (1972), éste es utilizado por la facilidad en el manejo e ingreso de datos. Este modelo se desarrolló en base resultados empíricos de subcuencas experimentales en donde relaciona el potencial de infiltración en una subcuenca y la infiltración máxima, obteniendo ecuaciones empíricas con distintos coeficientes para los distintos tipos de suelo y condiciones de humedad.
- Este nuevo hietograma, será transformado a un hidrograma a través del modelo del hidrograma sintético unitario del SCS (1972), este modelo de hidrograma es uno de los más usados, debido a que el hidrograma

generado es similar al que puede esperarse en una subcuenca real. Este método fue calibrado con mediciones de caudales en zonas rurales de gran tamaño y en pequeñas subcuencas.

En la *Figura 7*, se presenta un esquema de la metodología aplicada para el cálculo del hidrograma hidrometeorológico extremo.

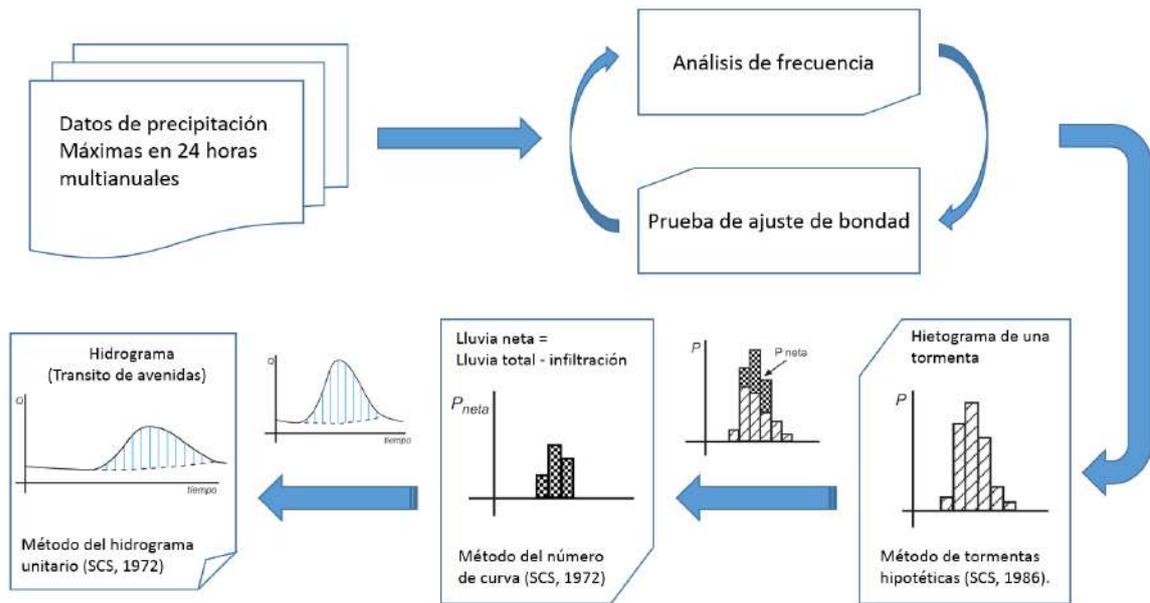


Figura 7 Diagrama de la metodología para el cálculo del hidrograma de avenida

5.2.3.2 HIETOGRAMAS DE TORMENTAS E HIETOGRAMAS DE AVENIDAS

En las figuras 8, 9, 10 y 11 se presentan los hietogramas de tormenta y sus respectivos hidrogramas de avenidas, para periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años respectivamente.



Figura 8. Hietograma (azul) e hidrograma de avenida (naranja) correspondiente a 10 años de periodo de retorno, Quebrada Ungulo.

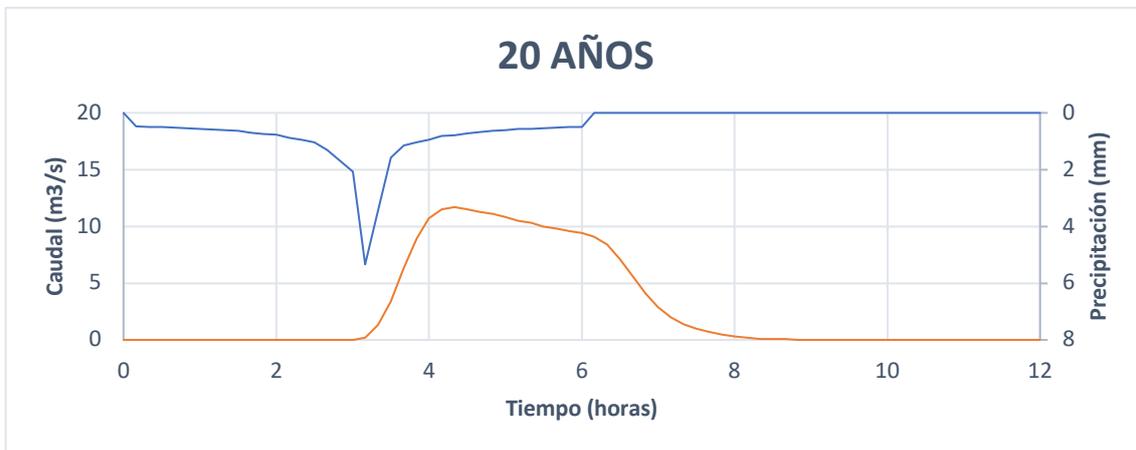


Figura 9. Hietograma (azul) e hidrograma de avenida (naranja) correspondiente a 20 años de periodo de retorno, Quebrada Ungulo.

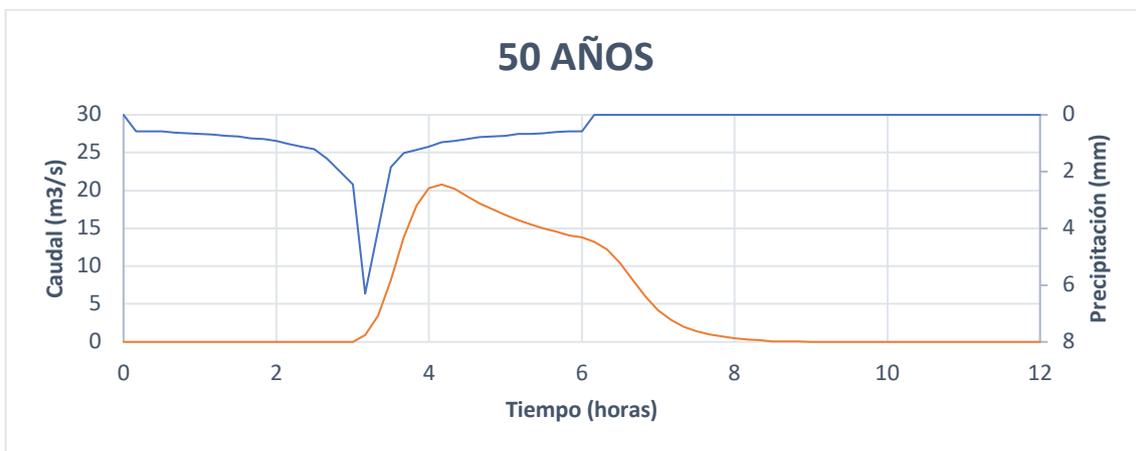


Figura 10. Hietograma (azul) e hidrograma de avenida (naranja) correspondiente a 50 años de periodo de retorno, Quebrada Ungulo.

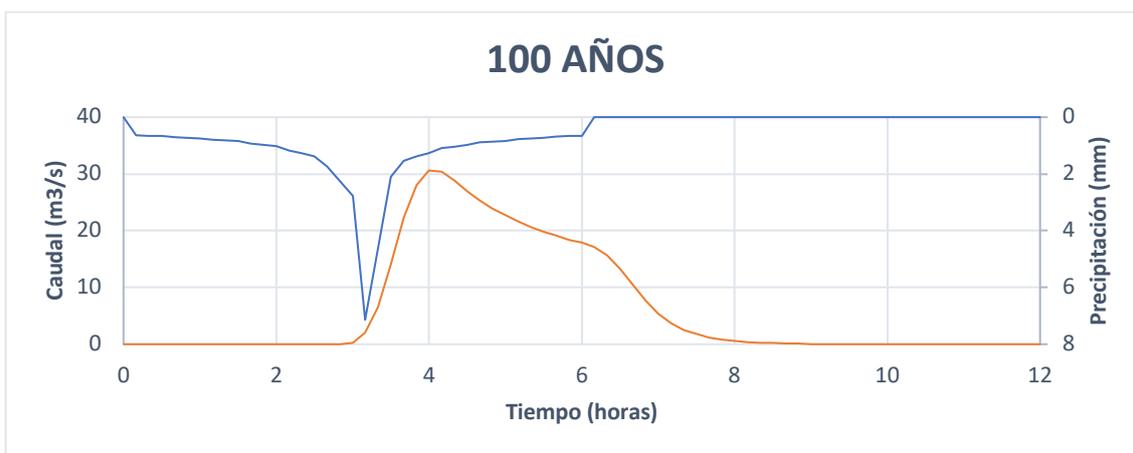


Figura 11. Hietograma (azul) e hidrograma de avenida (naranja) correspondiente a 100 años de periodo de retorno, Quebrada Ungulo.

Cuadro 1. Cuadro resumen de los caudales máximos correspondientes a distintos periodos de retorno, Quebrada Ungulo

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m ³ /s)
10	7.3
20	11.7
50	20.8
100	30.6

Fuente: Elaboración propia

Para la generación de escenarios de peligro por ocurrencia de flujo de detritos solo se considerarán hidrogramas correspondientes a 10 y 20 años de periodo de retorno, esto debido a que mayores caudales con un mismo volumen de sólidos hacen que la concentración de sólidos disminuya comportándose cada vez más como un flujo de agua.

6 RESULTADOS

Los escenarios generados fueron simulados con una duración de 12 horas y con una resolución de malla de 1 metro. Los hidrogramas fueron generados con el método del hidrograma unitario y varían de acuerdo con los periodos de retorno (10 y 20 años). La máxima concentración volumétrica de sedimento fino es del 45% y los parámetros reológicos fueron seleccionados de la muestra Glenwood Sample 2 (O'Brien y

Julien,1985). Los escenarios presentados y discutidos en el presente estudio son los siguientes:

- Escenario I : Simulación numérica de flujo de detritos con un caudal pico de 7.3 m³/s con concentraciones volumétricas variables de 0.20 hasta 0.45 de concentración de sólidos.
- Escenario II : Simulación numérica de flujo de detritos con un caudal pico de 11.7 m³/s con concentraciones volumétricas variables de 0.20 hasta 0.45 de concentración de sólidos.

A continuación, se presenta los resultados de las simulaciones para cada escenario de peligro por flujo de detritos.

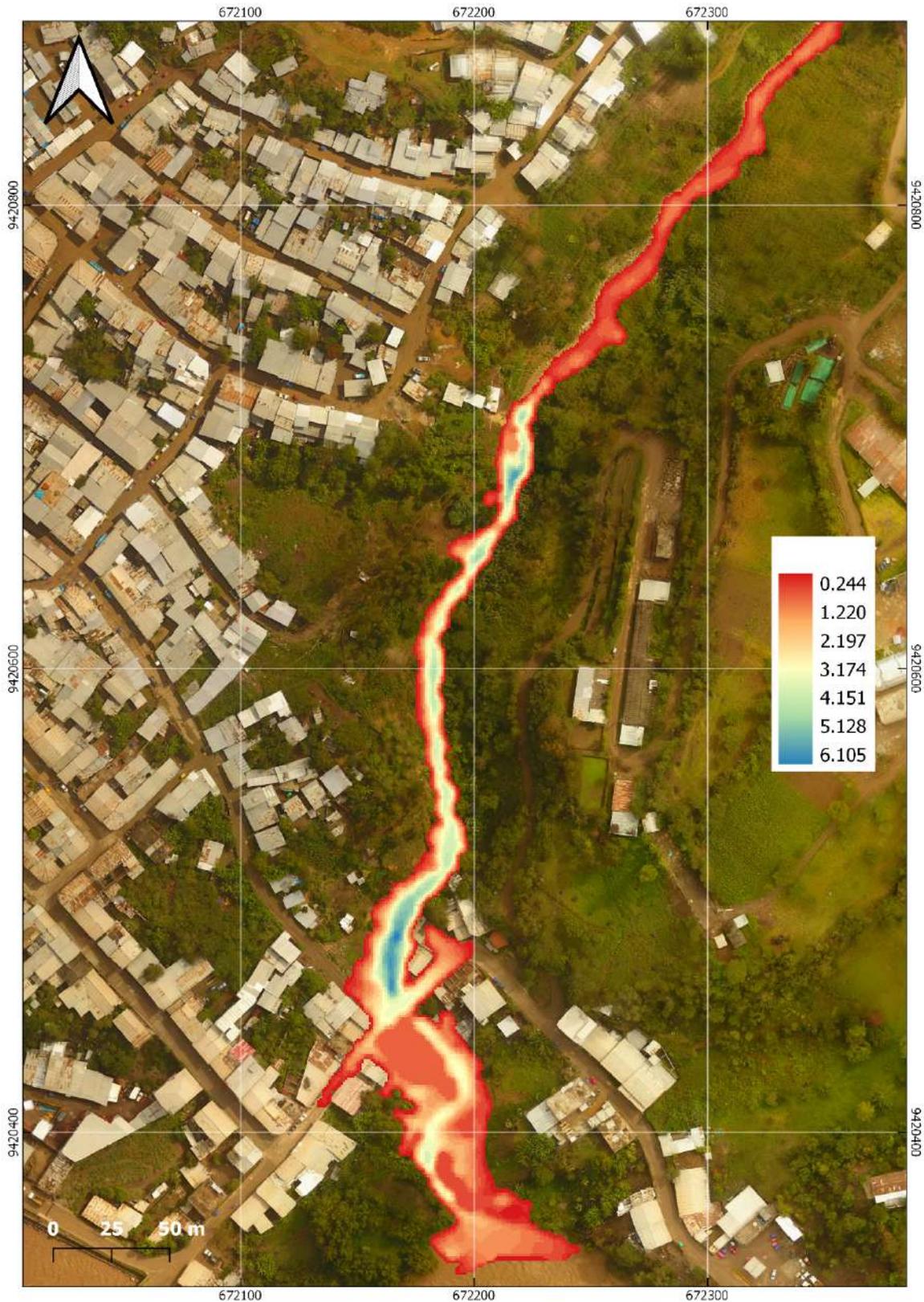


Figura 12. Alturas máximas de flujo de detritos en la quebrada Ungulo, Escenario I

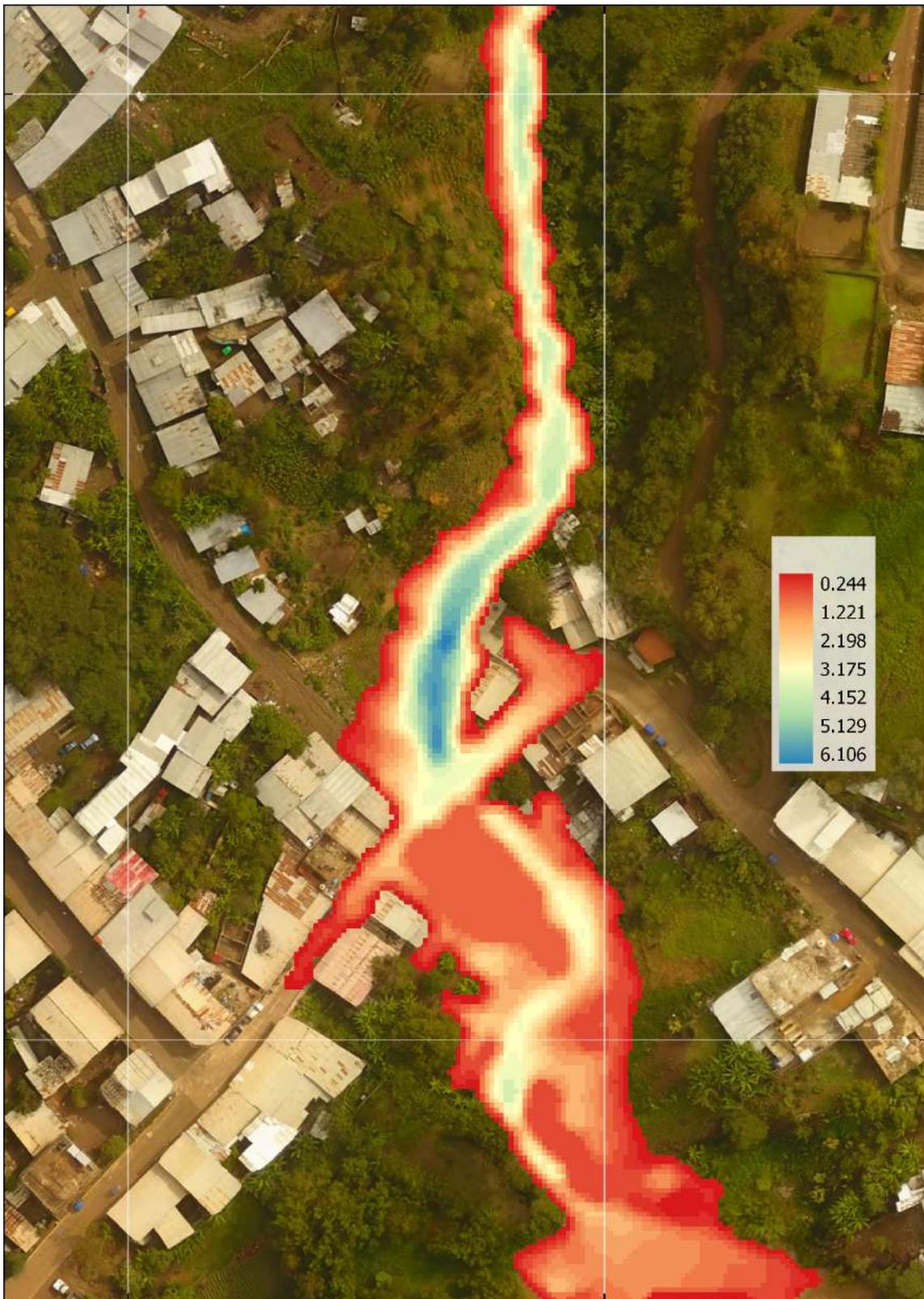


Figura 13. Alturas máximas de flujo de detritos en la zona de desborde, Escenario I

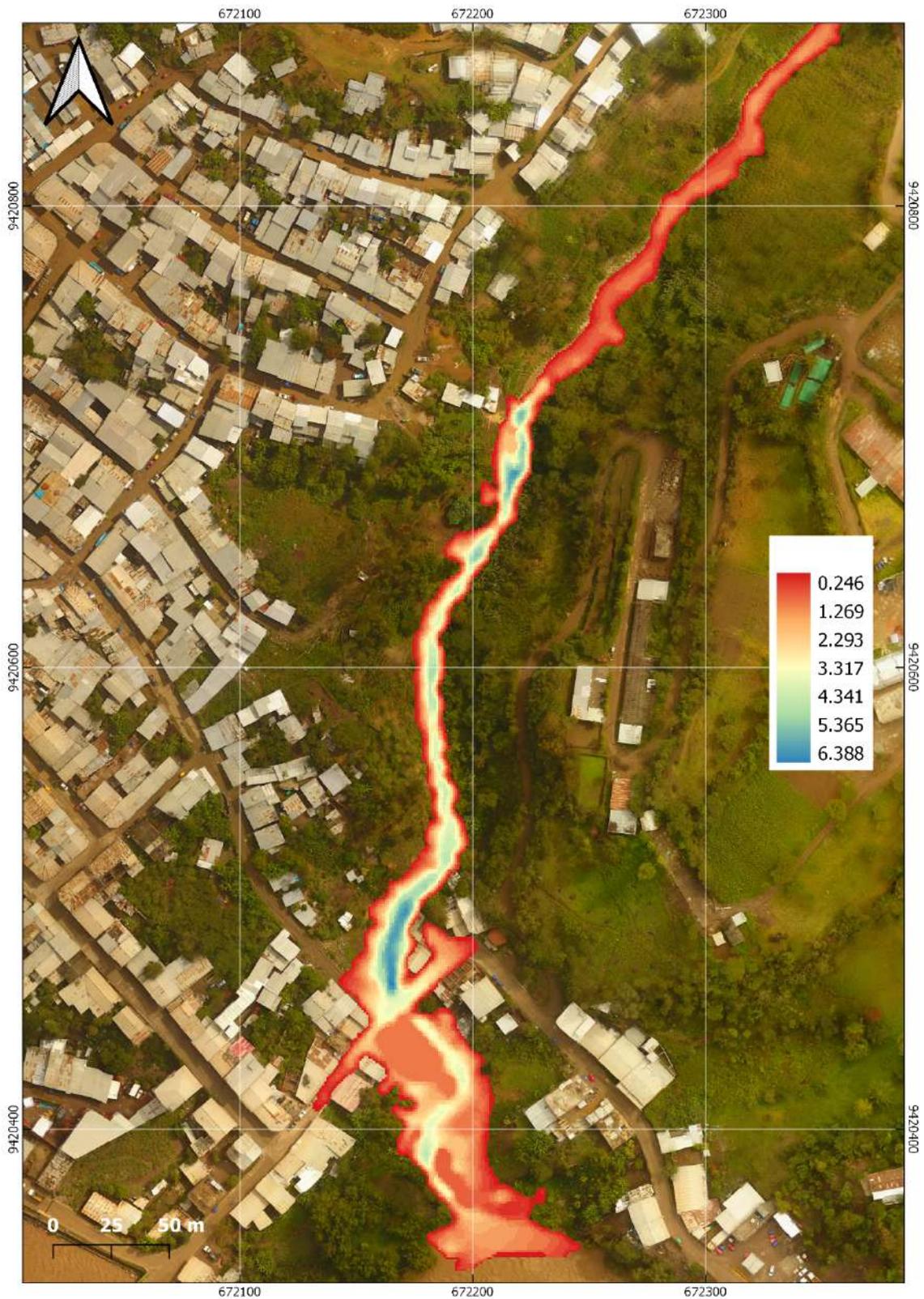


Figura 14. Alturas máximas de flujo de detritos en la quebrada Ungulo, Escenario II

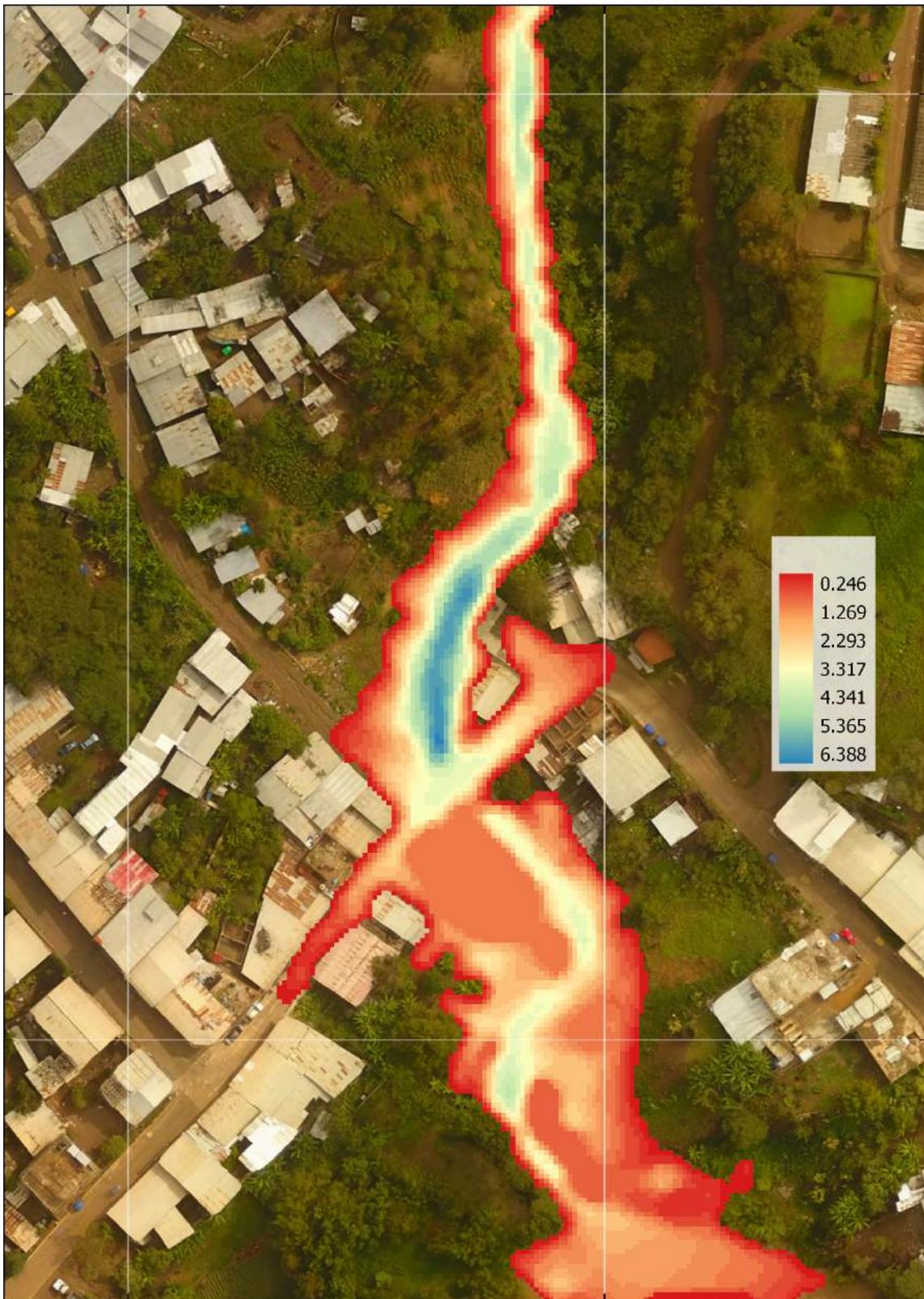


Figura 15. Alturas máximas de flujo de detritos en la zona de desborde, Escenario II

7 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos mediante el uso del modelo numérico FLO2D, los cuales se presentan en el Capítulo 6 del presente informe, se puede decir que:

Para ambos escenarios la dinámica es similar, el flujo presenta alturas variables de entre 0.26 a 1.25 metros dentro de sus primeros 230 metros de recorrido, posteriormente la altura del flujo se incrementa hasta alcanzar la zona de desborde alrededor del puente Ungulo, alcanzando la Calle Morropón con alturas de hasta 0.246 metros en una longitud total de 25 metros y la Av. 2 de mayo es afectada con alturas máximas de flujo de hasta 0.73 metros en una longitud total de 53 metros. Se puede decir también que en ambos escenarios existen dos viviendas potencialmente expuestas a ser afectadas por ocurrencia del flujo, esto se puede observar a continuación en la *Figura 16*.

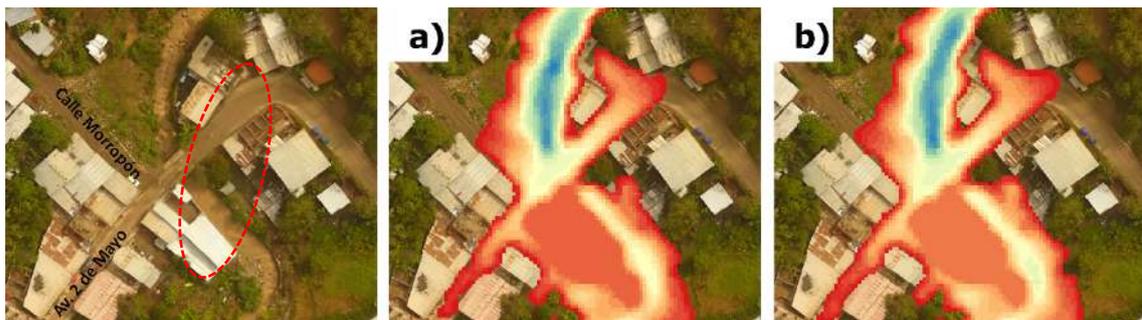


Figura 16 Vista ampliada de la zona afectada alrededor del puente Ungulo, correspondiente a periodo de retorno de 10 (a) y 20 años (b)

Nota: Encerrado en una circunferencia color rojo puede observarse las viviendas que potencialmente pueden ser afectadas ante la ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Ungulo

De la *Figura 16* se puede decir también que no existe un cambio significativo en ambos escenarios considerando que el caudal máximo del Escenario II es equivalente a un 160.27% del Escenario I, esto se explica a que las calles aledañas al puente Ungulo (zona de desborde) presentan cotas de elevación mayores a la cota del espejo de agua.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- La presencia de deslizamientos activos en la microcuenca Ungulo permite que se deposite este material en el cauce de la quebrada, favoreciendo así la formación de flujos ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico del tipo lluvias intensas.
- Ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico correspondiente a un periodo de retorno de 10 años existiría una producción líquida de hasta 7.3 m³/s la cual a su vez generaría flujo de lodos con concentraciones volumétricas variables de entre 0.20 a 0.45, alcanzando alturas máximas de flujo de hasta 6.1 metros medidos desde el fondo del cauce; afectaría a la Av. 2 de mayo y la calle Morropón con alturas de hasta 0.244 y 0.53 metros respectivamente sumando así un total de 0.247 hectáreas afectadas.
- Ante la ocurrencia de un evento hidrometeorológico correspondiente a un periodo de retorno de 20 años existiría una producción líquida de hasta 11.7 m³/s la cual a su vez generaría flujo de lodos con concentraciones volumétricas variables de entre 0.20 a 0.45, alcanzando alturas máximas de flujo de hasta 6.3 metros medidos desde el fondo del cauce; afectaría a la Av. 2 de mayo y la calle Morropón con alturas de hasta 0.246 y 0.73 metros respectivamente sumando así un total de 0.401 hectáreas afectadas.
- Debido a la condición topográfica de la ciudad de Huancabamba, es decir que la ciudad se encuentra a mayor cota de elevación de la cota del espejo de agua de la quebrada Ungulo, ante la ocurrencia de un evento extremo de flujo de detritos las altas velocidades presentadas por los flujos favorecerían la erosión de ladera a ambos márgenes del río, además el acarreo de troncos, rocas, lodo podría obstruir el puente Ungulo favoreciendo el represamiento del río que podría traer como consecuencia la sobresaturación del suelo, favoreciendo así las condiciones para la ocurrencia de deslizamientos de tierra.

8.2 Recomendaciones

- Se recomienda proteger el cauce natural de la quebrada Ungulo, asimismo proteger y mantener la vegetación existente debido que a esta actuara como una barrera natural que ayudara a reducir las velocidades del flujo y así evitar posibles formaciones de flujos de detritos.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.;. (2017). *Uso del Producto Grillado "PISCO" de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico*. Lima.
- Córdova A. (2018). Informe "Estudio Geológico del ámbito de la ciudad de Huancabamba y alrededores comprendiendo las zonas con afectación originada por el movimiento desplazatorio del terreno-provincia de Huancabamba, Piura". IGP
- FLO-2D Software, I. (2019). *FLO-2D Reference Manual 2019*. Arizona , EEUU.
- Suárez Diaz, J. (. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. En I. d. Deslizamientos., *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (pág. 541).
- Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays. (1988). *Hidrología Aplicada*. Illinois.

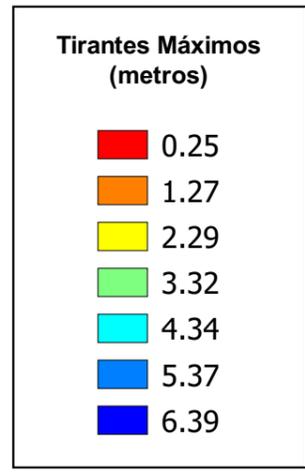
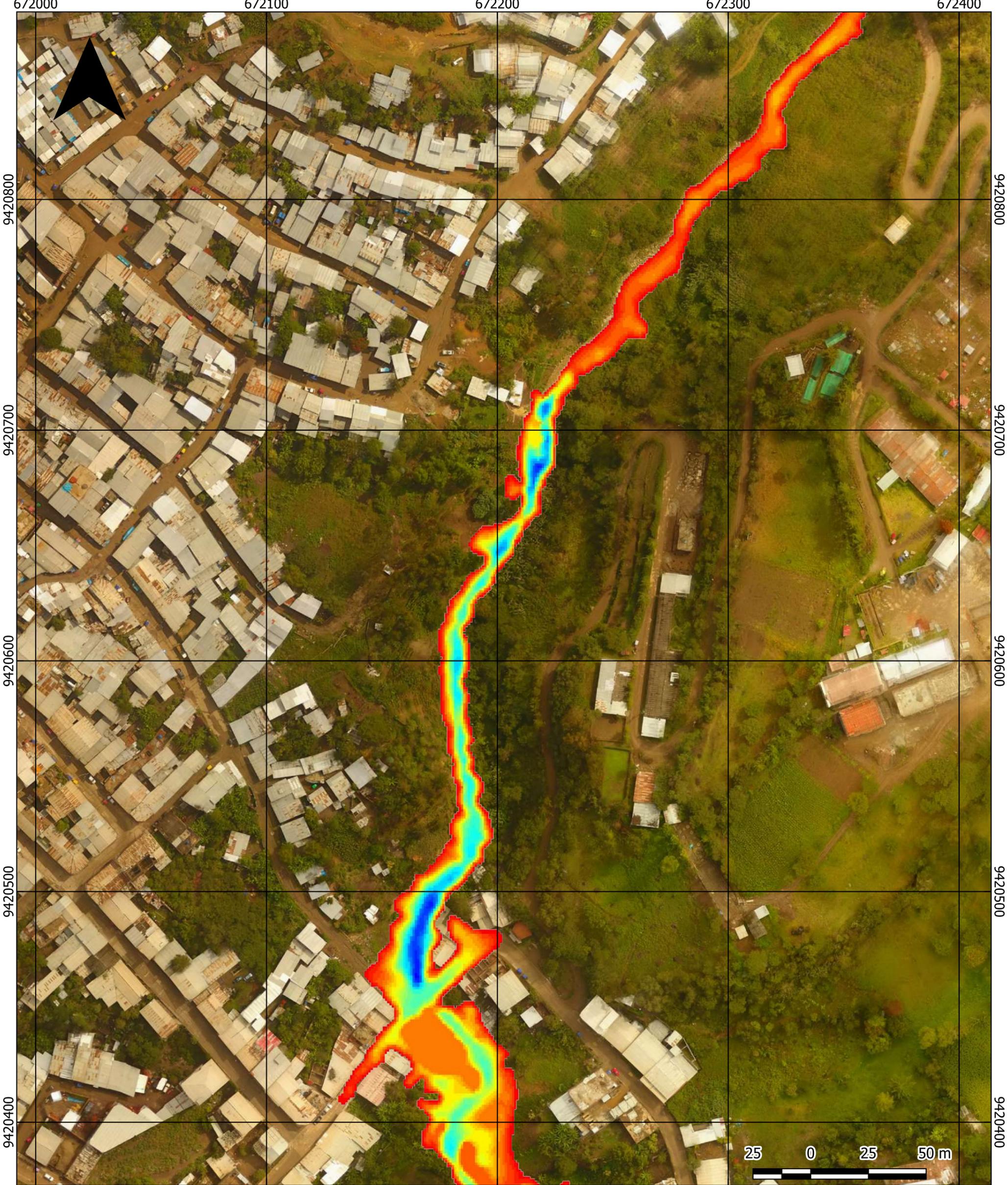
10 ANEXOS



Tirantes Máximos (metros)

0.24
1.22
2.20
3.17
4.15
5.13
6.11

Instituto Geofísico del Perú Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida			
"Evaluación Geodinámica, Geofísica y Geológica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)" Convenio 166-2017-FONDECYT			
MAPA DE INUNDACIÓN (10 años de periodo de retorno)			
Responsable del proyecto: Juan Carlos Villegas			
Elaborado por: Gustavo Namay P.		Escala: 1 : 1,500	PLANO: PI - 01
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 17 S	Noviembre 2020	Formato: A3	



Instituto Geofísico del Perú Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida			
"Evaluación Geodinámica, Geofísica y Geológica de los deslizamientos de tierra que afectan la seguridad física de la ciudad Huancabamba (Piura)" Convenio 166-2017-FONDECYT			
MAPA DE INUNDACIÓN (20 años de periodo de retorno)			
Responsable del proyecto: Juan Carlos Villegas			
Elaborado por: Gustavo Namay P.		Escala: 1 : 1,500	PLANO: PI - 02
Datum: WGS 1984 Proyección: UTM Zona 17 S	Noviembre 2020	Formato: A3	