



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada  
Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos.**

**Trabajo De Titulación para Optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Mirian Verónica Jácome Pérez

**Tutor:**

Ing. Carlos Israel Montalvo Montenegro

**Riobamba, Ecuador. 2022**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Yo, Mirian Verónica Jácome Pérez, con cédula de ciudadanía 060519746-6, autora del trabajo de investigación titulado: Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológico e hidráulicos, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 22 de marzo del 2022.



---

Mirian Verónica Jácome Pérez

C.I:060519746-6

**DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológico e hidráulicos, presentado por Mirian Verónica Jácome Pérez, con cédula de identidad número 060519746-6, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha 03 de mayo del 2022.

Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Mgs. Carlos Israel Montalvo Montenegro  
TUTOR

Firma

Mirian Verónica Jácome Pérez

C.I: 060519746-6

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada de Cunduana mediante el uso de modelos hidrológico e hidráulicos por Mirian Verónica Jácome Pérez, con cédula de identidad número 060519746-6, bajo la tutoría de Mgs. Ing. Carlos Israel Montalvo Montenegro; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

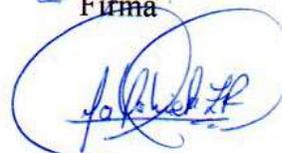
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de 03 de mayo del 2022.

Presidente del Tribunal de Grado  
Mgs. Alfonso Patricio Arellano Barriga



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez



Firma

Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Marco Javier Palacios Carvajal



Firma



# CERTIFICACIÓN

Que, **JÁCOME PEREZ MIRIAN VERÓNICA** con CC: **060519746-6** , estudiante de la Carrera **INGENIERIA CIVIL , NO VIGENTE**, Facultad de **FACULTAD DE INGENIERIA** ; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **DETERMINACIÓN DE ZONAS URBANAS VULNERABLES A INUNDACIONES DE LA QUEBRADA CUNDUANA MEDIANTE EL USO DE MODELOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS**", cumple con el **0 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 17 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**CARLOS ISRAEL  
MONTALVO  
MONTENEGRO**

---

Ing. Carlos Montalvo  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a mis padres y hermanos que con amor y entrega me han acompañado en cada uno de los pasos que he dado.

A mis tíos, que siempre confiaron en mis capacidades, con sus palabras me han ayudado a vencer mis miedos y seguir superándome.

A las personas que con sus acciones son capaces de tomar la iniciativa para generar cambios útiles en la sociedad que más lo necesita.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por alumbrar cada uno de mis pasos en el transcurso de mi formación Universitaria, a mis padres Sergio y Nancy gracias a su ejemplo me han demostrado que con esfuerzo y dedicación los sueños se cumplen. Al regalo más bonito de la vida; mis hermanos Marco y Steven por compartir mis recuerdos y motivarme a cumplir mis metas.

A mis tíos por su apoyo incondicional, A mi tía Nelly que con su amor y sus consejos me impulsa a seguir adelante.

A todos los docentes y todas aquellas personas que contribuyeron a mi formación compartiendo sus conocimiento y saberes, en especial A mi tutor el Ing. Carlos Montalvo.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	13
Planteamiento del problema.....	16
Objetivos .....	17
1.1 Objetivo general .....	17
2.1 Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Antecedente .....	18
2.2 Marco Teórico .....	20
2.2.1 Sistema Hidrológico.....	20
2.2.2 Modelo Hidrológico.....	22
2.2.3 Modelación hidráulica .....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	31
3.1 Área de Estudio: Cuenca de la Quebrada de Cunduana .....	32
3.2 Recolección de información .....	34
3.3 Técnica de análisis e interpretación de la información.....	35
3.4 Modelización Hidrológica .....	37
3.5 Modelización Hidráulica .....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	42
4.4 Discusión .....	51
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
Recomendaciones .....	56
Bibliografía .....	57
Anexos .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores de niveles de riesgo de Inundación .....	19
Tabla 2 Cobertura del suelo de la Cuenca Quebrada Cunduana.....	39
Tabla 3 Textura del suelo de la Cuenca Quebrada de Cunduana .....	39
Tabla 4 Caudales máximos alcanzados en la modelación hidrológica. ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la Cuenca quebrada Cunduana .....	15
Figura 2 Red irregular de enmallado IBER .....	29
Figura 3 Esquema del diseño de la investigación .....	31
Figura 4 Histograma de frecuencias altimétricas.....	33
Figura 5 Curva hipsométrica, Quebrada Cunduana.....	33
Figura 6 Perfil longitudinal.....	34
Figura 7 Levantamiento de la zona de Estudio.....	35
Figura 8 Comparación de la información de precipitación.....	36
Figura 9 Hietograma del 2 de marzo del 2021.....	36
Figura 10 Hietograma de diseño de periodo de retorno de 50 años.....	37
Figura 11 Mapa de Cobertura del suelo Cuenca de la Quebrada de Cunduana.....	38
Figura 12 Textura Del suelo de la Cuenca Quebrada de Cunduana .....	38
Figura 13 Secciones transversales en la planicie de inundación de la Quebrada de Cunduana ...	40
Figura 14 Enmallado de la planicie de inundación de la Quebrada Cunduana .....	41
Figura 15 Hidrograma del 2 de marzo del 2021 .....	42
Figura 16 Hidrograma de 50 años de periodo de retorno .....	43
Figura 17 Sección transversal 4120 Sección típica Quebrada de Cunduana. ....	43
Figura 18 Sección transversal 4496 dentro del lecho de la Quebrada. . ....	44
Figura 19 Sección transversal 3990.81 punto de desagüe de la quebrada Cunduana. ....	45
Figura 20 Mapas de Inundación Modelación 1D 2 de marzo del 2021 .....	45
Figura 21 Mapa de Inundación Modelación 1D periodo de retorno 50 años .....	46
Figura 22 Mapa de Inundación mediante modelación 2D- 2 de marzo del 2021 .....	47
Figura 23 Mapas de Inundación sectorizado – 2 de marzo del 2021 .....	48
Figura 24 Mapa de velocidad de la inundación del 2 de marzo del 2021.....	48
Figura 25 Mapa de Inundación mediante modelación 2D periodo de retorno 50 años .....	49
Figura 26 Mapas de Inundación sectorizado- Periodo de retorno de 50 años .....	50
Figura 27 Mapa de Velocidad de la Inundación de periodo de retorno de 50 años.....	51

## RESUMEN

Las inundaciones son fenómenos cada vez más comunes a nivel global, debido a la falta de planificación y al desarrollo productivo cerca de lechos de ríos. Los estudios hidrológicos son fundamentales para obtener caudales de máxima crecida mediante aplicaciones de principios lluvia-escorrentía, mientras la implementación de un modelo hidráulico ayuda a obtención de superficies de inundaciones reflejando profundidades y velocidades para identificar áreas en zonas de riesgo.

Este estudio se centró en la obtención de zonas urbanas susceptibles a inundación de la ciudad de Riobamba, partiendo de la obtención de parámetros fisiográficos geomorfológicos y del sistema de drenaje de la Cuenca Quebrada de Cunduana; para determinar el número de la Curva e implementar un modelo lluvia-escorrentía que permita estimar los caudales máximos de crecida. Posteriormente, empleando modelación hidráulica unidimensional y bidimensional se obtuvo mapas de inundaciones, que fueron contrastados con información obtenida en diarios locales y entrevistas con expertos.

Los resultados mostraron que las zonas de afectación en un periodo de retorno de 50 años pueden ser más amplias que las registradas el 2 marzo del 2021. Provocando un incremento de áreas urbanas sumergidas y altas velocidades de flujo, que podrían generar erosión de las superficies, arrastre de sedimentos, e incluso arrastre de objetos de gran tamaño.

### **Palabras claves:**

Modelación hidrológica, modelación hidráulica, mapas de inundación, Llanura de inundación, quebradas.

## Abstract

Floods are becoming more common globally, due to lack of planning and productive development near riverbeds. Hydrological studies are essential to obtain maximum flood flows through applications of rain-runoff principles, while the implementation of a hydraulic model helps to obtain flood surfaces reflecting depths and velocities to identify areas at risk. This study focused on obtaining urban areas which are susceptible to flooding in Riobamba, based on the physiographic, geomorphological and drainage system parameters of the Cunduana Ravine Basin, or *Cuenca Quebrada de Cunduana* (in Spanish); for determining the Curve Number (CN) and implement a rain-runoff model that allows estimating maximum flood flows. Subsequently, using one-dimensional, and two-dimensional hydraulic modeling it was possible to obtain flood maps, which were contrasted with information obtained from local newspapers and interviews to experts. The results showed that the affected areas in return periods of fifty years may be broader than the ones registered on March 2,2021. Causing an increase in submerged urban areas and high flow velocities, which could generate erosion of surfaces, sediment drag, and even dragging of large objects.

**Keywords:** hydrological modeling, hydraulic modeling, flood maps, floodplain, ravines.



Reviewed by:  
Mgs. Geovanny Armas Pesántez  
**PROFESSOR OF ENGLISH**  
C.C. 0602773301

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

En el desarrollo de obras de infraestructura civil es necesario contar con estudios técnicos que garanticen la funcionalidad y seguridad de un sistema, incluso ante eventos extremos. Por ello en el caso de infraestructura hidrosanitaria como captaciones de agua, o infraestructura civil relacionada a ríos, como puentes o alcantarillas, un correcto diseño hidráulico-hidrológico ayuda en la planificación y mitigación de riesgos ocasionados por las crecidas producidas por caudales de máxima crecida que se presentan con cierta periodicidad.

La precipitación al llegar a la superficie terrestre puede; evaporarse, infiltrarse o moverse de manera superficial de acuerdo con la topografía del terreno hasta alcanzar cuerpos de agua para su descarga, formando lo que se conoce como escorrentía. La cuantificación de esta escorrentía en un punto de salida se denomina caudal y está determinado por: la intensidad de precipitación, el área de contribución definida por la topografía, así como las características morfológicas del suelo (Montalvo, 2021).

El agua es uno de los recursos más valiosos existentes sobre el planeta tierra, ofrece una infinidad de beneficios socioeconómicos y desde la antigüedad ha sido base para el desarrollo de grandes civilizaciones. Sin embargo, las características del Ciclo Hidrológico pueden traer problemas como inundaciones y sequías. Según lo expresa la Cruz Roja las inundaciones son fenómenos que incrementan con mayor rapidez a nivel global (Salas & Jiménez, 2004). Un fenómeno natural no acarrea precisamente un desastre, más bien la población suele ser la encargada de alterar el entorno natural volviéndolo vulnerable a estos riesgos. La falta de planificación es la principal causa de inundaciones, junto a factores como: los asentamientos humanos irregulares, las actividades productivas, las cercanías de las poblaciones a los ríos y la

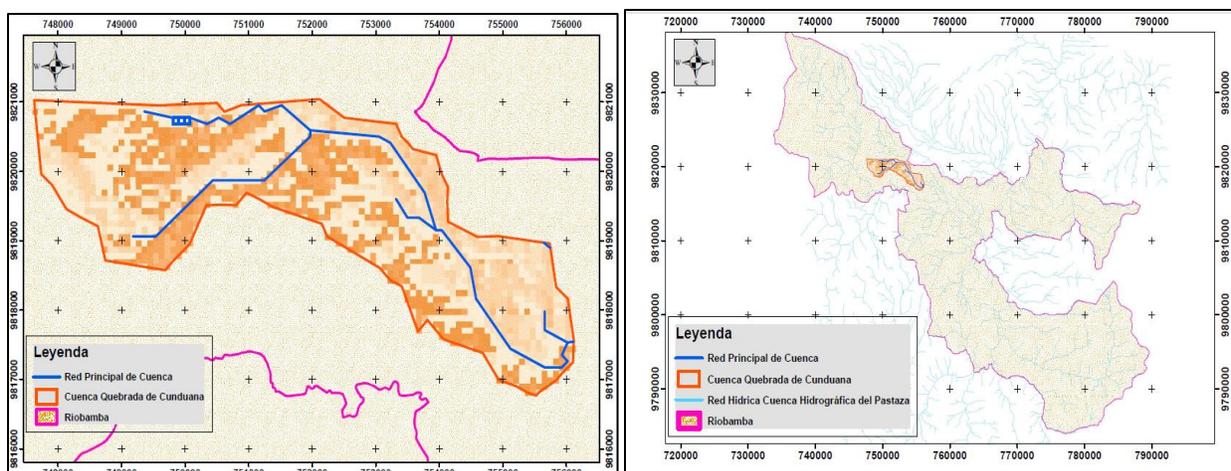
expansión de zonas urbanas, suelen ser un detonante clave para este desastre natural (Vergara et al., 2011).

Se debe entender que conforme el medio en el que nos desarrollamos crece se incrementa el riesgo de desastres debido el cambio de uso de suelo, los asentamientos irregulares y la construcción de obras de infraestructura que modifican el cauce natural de un afluente y las condiciones de infiltración del suelo de la llanura de inundación (GADM Riobamba, 2015).

En la zona centro del país, específicamente en la provincia de Chimborazo las zonas mayormente afectadas por inundaciones son: Pallatanga, Cumandá y Alausí (Parroquia Huigra). En el caso de la ciudad de Riobamba, las inundaciones se generan en el sector urbanos debido a la falta de planificación, y a un deficiente sistema de alcantarillado pluvial y sanitario (Larrea, 2018).

La Cuenca Quebrada de Cunduana localizada al norte de la Ciudad de Riobamba, en la parroquia Lican (Fig. 1) es denominada una quebrada seca (GADP Lican, 2015) y endorreica (no tiene desfogue). Años atrás, la quebrada cubría una llanura 6.3 km de recorrido, pero en la actualidad presenta una forma atípica con pendientes y velocidades de arrastre mayores a las normales debido a las acciones antrópicas causadas por la expansión urbana (Hidalgo, 2021). Las dimensiones en el tramo inicial son: tres metros por un metro y medio de profundidad, mientras que en la parte alta se reduce la sección a un tubo de asbesto cemento que desemboca en una canaleta artificial para finalmente ser sellada por la Panamericana Sur (Márquez, 2016).

Cuando se producen precipitaciones las vías son utilizadas como canales artificiales que conducen el flujo de sedimentos en dirección de la topografía hasta los barrios del Norte de la ciudad de Riobamba provocando colapso del sistema de alcantarillado e inundaciones (García, 2018).



**Figura 1** *Ubicación de la Cuenca quebrada Cunduana*

Desde el año 2015 los problemas se acentuaron con daños severos que cobraron la vida de una persona y cuantiosos daños materiales, la creciente arrastra una gran cantidad de sedimentos a áreas residenciales causando múltiples inconvenientes (Radio Mundial, 2015)

Por tal motivo es necesario determinar las zonas expuestas a inundación con un caudal de máxima crecida de al menos un periodo de retorno de 50 años, mediante la implementación de modelos hidrológicos e hidráulicos, así como comparar los efectos producidos por eventos registrados, como los de los caudales causantes de inundación en el año 2021 (Márquez, 2021), para identificar los riesgos potenciales y proponer posibles soluciones.

Este trabajo es un contribuyente a “Impulsar una cultura de gestión integral de riesgos que disminuya la vulnerabilidad y garantice a la ciudadanía la prevención, la respuesta y atención a todo tipo de emergencias y desastres originados por causas naturales, antrópicas o vinculadas con el cambio climático” mencionado en el plan Nacional de desarrollo toda una vida (2017-2021) elaborado por el Gobierno Nacional a través de la secretaria técnica de planificación (SENPLADES, 2017).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La presente investigación busca identificar las zonas urbanas susceptibles a inundación debido al desbordamiento de la Quebrada seca Cunduana, ubicada en la Parroquia Lican, Ciudad de Riobamba. Por tal motivo, se implementó una simulación numérica de la inundación correspondientes a marzo del 2021 que provocó fuertes afectaciones, a infraestructura vial, edificaciones, servicios públicos y bienes materiales, complementándola con una simulación que considera un caudal con un periodo de retorno de 50 años.

Para ello, se trabajó con software de modelamiento lluvia-escorrentía HEC-HMS para determinar caudales pico dentro de la Cuenca estudiada, mientras que el proceso de simulación hidráulica unidimensional se trabajó con el software HEC-GEORAS y HEC-RAS y para la simulación hidráulica bidimensional con el programa HEC-RAS (US Army Corps of Engineers, 2020), con el fin de brindar información útil que puede ser utilizada en el plan de ordenamiento territorial y mitigación de riesgos del cantón Riobamba.

## **OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

Determinar zonas susceptibles a inundación al norte de la ciudad de Riobamba debido al desbordamiento de la Quebrada de Cunduana

### **2.1 Objetivos específicos**

Estimar parámetros fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de la Cuenca.

Obtener un modelo lluvia-escorrentía para estimar los caudales de crecida del evento de marzo del 2021 y de la precipitación con un caudal de retorno de 50 años usando de modelo hidrológico HEC-HMS.

Simular los caudales de crecida calculados en el apartado anterior, mediante la aplicación del software de modelación unidimensional y bidimensional HEC-RAS.

Identificar áreas vulnerables a inundaciones ante eventos de la magnitud antes considerados, para recomendar soluciones ante esta problemática.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedente**

En el mundo, los desastres naturales causados por fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos ocasionan pérdidas de vidas, y afecciones a los mecanismos de desarrollo económico y social. En América del sur entre los años 1970 y 2012 las inundaciones causaron el 84% de pérdidas de vida humanas y un 64% de pérdidas económicas del total de pérdidas debido a desastres naturales (OMM, 2014).

En el Ecuador, la falta de información temporal y espacial disponible, así como, la baja calidad de la misma son grandes limitaciones existentes para el desarrollo de modelaciones hidráulicas (Pinos et al., 2017). En la Ciudad de Riobamba existe información limitada sobre estudios hidrológicos realizados sobre la Cuenca de la Quebrada de Cunduana. Y casi nulos trabajos de investigación se han realizado sobre la misma, siendo uno de los pocos el trabajo de titulación de Cardenas & Santillan (2018) que únicamente busca la obtención de un Número de la Curva adecuado para futuras modelaciones hidráulicas.

Para estimar daños por inundación la mayoría de los métodos relaciona el tipo de suelo del área, la profundidad de inundación y el área de afectación, con un enfoque empírico partiendo de datos recopilados después de eventos de inundación. En el caso de una cuenca endorreica es necesario un análisis geomorfológico de la zona circundante para determinar el área tributaria de la cuenca, el área total efectiva de la cuenca puede variar en un evento de lluvia y ser diferente de acuerdo al periodo de retorno (Iacobellis et al., 2015).

Para la simulación y modelación de inundación se deben realizar análisis hidrológicos e hidráulicos, para obtener caudales máximos de crecida con el principio lluvia-escorrentía y desarrollar mapas de inundación mediante parámetros del flujo hidráulico. Existen varios

indicadores hidráulicos para clasificar los niveles de riesgo de inundación en quebradas, como la profundidad y la velocidad de flujo (Tabla 1) (Al Amin et al., 2020).

**Tabla 1** *Indicadores de niveles de riesgo de Inundación*

<b>Indicador</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
Profundidad de Flujo (m)	0-0.60	0.60-1.20	>1.20
Velocidad de flujo (m/s)	0-0.60	0.60-1.20	>1.2

**Fuente:** (Al Amin et al., 2020)

Para proponer soluciones a problemas de vulnerabilidad frente a inundaciones se establece catálogos en base a dos grandes conceptos: la vulnerabilidad frente al peligro y la vulnerabilidad frente a la pérdida. Los problemas principales identificados ante una inundación son:

Vulnerabilidad frente al peligro:

1. Paralización de servicios básicos
2. Aislamiento de la población
3. Dificultad con servicios de asistencia y socorro
4. Afectación de sectores o bienes sensibles del territorio
5. Afección de riesgos del territorio por factores de contaminación asociados a la inundación

Vulnerabilidad frente a la pérdida:

1. Generación de grandes pérdidas
2. Dificultad de la población para recuperarse tras el impacto (Roselló et al., 2017)

## **2.2 Marco Teórico**

### **2.2.1 Sistema Hidrológico**

El Sistema o Ciclo Hidrológico es denominado un sistema debido al paso constantemente del agua de un estado líquido o sólido a gaseoso o inversamente (Breña & Jacobo, 2006) generando un conjunto de entradas y salidas. Este describe el movimiento continuo del agua en el planeta Tierra. Es un sistema regido por el principio de la conservación de la masa; en donde las entradas, siendo en este caso la precipitación; juntamente con las características del sistema, que la hidrología define como la Cuenca Hidrográfica; determinan la cantidad de salida de agua, que representa el caudal de la cuenca (Montalvo, 2021).

#### ***Precipitación***

La precipitación es el agua que cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre en forma sólida o líquida. Se le considera el punto de partida de cualquier estudio hidrológico debido a que es la principal fuente de escorrentía superficial. Su unidad de medida son los milímetros, a pesar de ser un volumen, ya que equivalen a la altura alcanzada en un área de un metro cuadrado. En la actualidad existen métodos de medición in-situ basados en el uso de aparatos como el pluviógrafo y el pluviómetro, y métodos remotos basados en radares y satélites que cuantifican la precipitación de forma indirecta, ambos métodos suelen ser usados de manera complementaria (Montalvo, 2021).

Para la elaboración de obras hidráulicas es importante conocer la frecuencia con la que ocurren eventos de gran intensidad y larga duración.

#### ***Curvas IDF***

Una curva Intensidad -Duración-Frecuencia es el resultado de un análisis de frecuencias generado al ajustar datos reales a una función de distribución de probabilidad. En términos básicos,

busca unir los puntos de la intensidad máxima (i), frecuencia de ocurrencia, relacionada a un periodo de retorno (T), y diferentes intervalos de duración (t) de eventos de precipitación registrados. Considerando que el periodo de retorno es el tiempo que tardaría en repetirse o superarse un evento de una determinada magnitud (Montalvo, 2021).

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) presentó en 2015 un documento con las curvas y ecuaciones IDF, que permiten el cálculo de intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 2,5,10,25,50,100 años en varias de las redes de estaciones pluviográficas del Ecuador (INAMHI, 2015).

### ***Hietograma de diseño***

Representa de forma sintética la distribución temporal de un evento de precipitación futura, con un determinado período de retorno. Para su análisis se dispone de diferentes métodos como: el triangular, rectangular y de bloques alternos, siendo este último el más complejo, pero que mejor representa la variación temporal de la precipitación (Montalvo, 2021).

### ***Escorrentía***

Es el agua producto de la precipitación que circula sobre o debajo de la superficie terrestre que alimenta a un cuerpo de agua, como un río, a través de su cuenca. Esta se cuantifica a base de los caudales aforados en el cuerpo de agua y los hidrogramas que representan la distribución temporal del caudal dentro de un determinado periodo de tiempo (Montalvo, 2021).

### ***Precipitación efectiva o neta***

La precipitación al caer a la superficie terrestre puede infiltrarse, evapotranspirar o generar escorrentía, la precipitación efectiva cuantifica el porcentaje de precipitación que produce

escorrentía, dejando de lado las pérdidas por infiltración y evapotranspiración. Por ello, en términos de volumen es equivalente a la escorrentía.

### ***Método del Numero de la Curva***

Este es uno de los métodos más aplicados para su estimación, por su fácil aplicación y la validez que se le ha dado con los años es el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, por su sigla en inglés), basado un parámetro fácil de estimar, llamado Número de la Curva (CN).

Este método trata de estimar la escorrentía superficial a partir de los parámetros presentes en el suelo, como la cobertura vegetal, y el uso de este. El método presenta una serie de curvas numera del 1 al 100 donde el valor más bajo representa un mayor volumen de precipitación que se pierde, mientras que el más alto indicara un mayor valor de precipitación neta que produciría flujo superficial.

Para el cálculo del Número de la Curva los factores a utilizar son; la humedad inicial del suelo, la clasificación del suelo por características hidrológicas y el uso del suelo, que son valores que se obtiene de tablas (Montalvo, 2021).

### ***2.2.2 Modelo Hidrológico***

Un modelo hidrológico permite estudiar el funcionamiento una cuenca hidrográfica mediante la simulación del ciclo hidrológico, representa una síntesis de un sistema real de manera física o matemática que revelan respuestas de manera mensual o individual, permitiendo estimar picos de escorrentía superficial, volúmenes de escorrentía, entre otros parámetros, de los cuales no hay un registro en la mayor cantidad de cuencas (Gavilán, 2019). El objetivo principal de un

análisis hidrológico es estudiar la operación interna de una cuenca y predecir un caudal de salida dependiendo de las metas y objetivos planteados de un proyecto (Garzón et al., 2018).

Los modelos matemáticos hidrológicos como; Determinístico representa una respuesta similar a la de un procedimiento físico, resolviendo y ajustándose a los parámetros del sistema; donde las salidas son iguales a las entradas sin importar el intervalo de tiempo, sin embargo, no se asemejan a un sistema hidrológico real por lo cual solo se pueden hacer afirmaciones probabilísticas. Los modelos estocásticos son procesos no observados, que tratan de presentar resultados similares a fenómenos observados con procesos aleatorios sucesivos basados en predicciones, representa que existen múltiples respuestas de salida para datos únicos de entrada (Sanchez, 1974).

Para el desarrollo de este estudio se ha optado por un modelo matemático determinístico basados en eventos registrados, donde se obtienen parámetros fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de la cuenca para la modelación hidrológica.

Pascual & Díaz (2016) sostienen que: se puede identificar como variable en el sistema hidrológico a la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración, entre otros. En los modelos hidrológicos se pueden apreciar claramente tres tipos de variables:

- **Variable de entrada.** - Es el componente inicial del sistema, en la modelación la precipitación es la principal variable.
- **Variable de estado.** - Se presentan los niveles de energía presentes en la cuenca, la humedad presente en el suelo.
- **Variable de Salida.** - Se podría considerar como el resultado obtenido en la modelación es el Caudal de salida de la Cuenca.

### ***Ejemplo de Modelos Hidrológicos***

Los modeladores de flujo se diferencian entre sí por la manera que abordan la cuenca van desde los más generalistas a los más específicos. Cada modelo suele ser único por su conceptualización, estructura, complejidad y por su accesibilidad.

#### ***Tetis***

Desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, basa su modelo en una distribución espacial con dos subconjuntos: el modelo hidrológico y el transporte de sedimentos. Se representa como datos reales medidos y con factores de corrección, tomando el principio de tanques representa los procesos más importantes del ciclo hidrológico para establecer un balance de masas. Dependiendo de la zona de estudio clasifica la precipitación en lluvia y nieve, la precipitación se acumula en los tanques simulando el comportamiento estático del suelo y en la vegetación, que varía por evapotranspiración, el remanente existente se divide en caudal superficial e infiltración, dependiendo de la capacidad de infiltración del suelo. El caudal total es canalizado por el método de onda geomorfológica, basado en la topografía hidráulica de la red de estudio (Buendia et al., 2015).

En la parametrización del modelo es fundamental: la morfometría de la cuenca, datos precipitación, las propiedades y cobertura del suelo. Para la calibración del modelo en ocasiones se utilizan 12 factores de corrección hidrológicos y 4 factores de arrastre de sedimentos (Buendia et al., 2015).

#### ***Hec-HMS***

Hec-HMS (Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System) establecido como un modelo semi-distribuido de una red ramificada de sistemas hidrológicos tanto físico como conceptual, mediante una interfaz gráfica simula el proceso lluvia-escorrentía (Hamdan et al.,

2021). Para la simulación existen diferentes alternativas de simulación, entre ellos los métodos Número de la Curva (SCS) y Soil Moisture Accounting basados respectivamente en relaciones matemáticas simples que permite modelar pérdidas y excesos de precipitación, flujo base y enrutamiento de inundaciones.

Entre los componentes principales de un proyecto se debe introducir el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico, especificaciones de control, tablas de tiempos de precipitación. El software asimila la parte de la precipitación que produce escurrimiento directo debido a la precipitación neta, representa la precipitación dentro del intervalo de tiempo establecido para calcular el hidrograma (Navara et al., 2020).

Para el desarrollo del hidrograma unitario en el punto de salida de la cuenca el programa emplea el método del Número de la Curva, estimando el Caudal Pico ( $Q_p$ ) (Ec. 1), en función del Área efectiva de la cuenca ( $A$ ) y el Tiempo al pico ( $T_p$ ) (Ec. 2), que se encuentra en función de la duración de la lluvia ( $T_y$ ) y el tiempo de retardo de la cuenca ( $T_i$ ), que el modelo calcula en base a la ( Ec. 3) (González et al., 2012).

$$Q_p = \frac{2.08 A}{T_p} \quad (1)$$

$$T_p = \frac{T_y}{2} + T_i \quad (2)$$

$$T_i = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14104 CN^{0.7}I^{0.5}} \quad (3)$$

Donde (**L**) Longitud del cauce principal [m], (**I**) Pendiente media del cauce [m/m], (**CN**) numero de la curva.

### **2.2.3 Modelación hidráulica**

La modelación hidráulica satisface solicitudes de similitudes dinámicas, cinemática y geométricas, en ocasiones debido a cuestiones económicas y técnicas una representación dinámica no es factible, por ende, se deben tomar las fuerzas predominantes seleccionadas mediante análisis dimensional y la teoría de similitud dinámica para asegurar el correcto diseño y funcionamiento del modelo (Castro et al., 2017).

Para el conocimiento de la evolución espacial y temporal de los flujos de agua se emplean modelos numéricos aproximados 1D, 2D y hasta 3D mediante metodologías con diferencias finitas, volúmenes y elementos finitos.

#### **Datos de entrada de una modelación hidráulica**

La calidad de la información influye directamente en el resultado obtenido, la información necesaria:

- Modelación hidrológica. - Comprende el análisis de lluvia-escorrentía con pruebas de cantidad y calidad para disminuir la incertidumbre de los resultados.
- Batimetría y topografía. - Se puede emplear curvas de nivel, información digital e imágenes LIDAR de hasta 1m para la creación de modelos de elevación digital (DEM), en cauces perennes es necesarios batimetrías.
- Malla de Calculo. – Varían en formas y tipos, afectando directamente al tiempo de cálculo, mientras menor sea el tamaño de mallado mayor será el número de elementos lo cual afecta al tiempo de respuesta, por ello, es factible en el lecho de río un enmallado menor y en zonas más alejas enmallados gruesos.

- Condición inicial y de contorno. Esenciales para representar las condiciones al inicio de los Cálculos y los límites del sistema finito.
- Pérdida de carga. Pérdidas debido a la fricción del terreno mediante una formulación empírica, comúnmente el coeficiente de Manning en ampliamente utilizado en lechos de ríos (Aragón et al., 2017).

### ***Flujos Unidimensionales***

Ochoa et al.( 2016) afirman que las modelaciones unidimensionales consideran al río en estudio como una línea que contiene secciones transversales con una serie de puntos que presenta las características del cuerpo de agua en estudio y sus márgenes. Se consideran unidimensionales debido a que el flujo se mueve en una sola dirección, siguiendo el sentido del río, lo cual es una abstracción de la realidad.

Se parte de la hipótesis que la escorrentía se ajusta a la topografía del terreno desplazándose por gravedad, teniendo en cuenta la rugosidad, el material de arrastre, las obras hidráulicas presentes entre otras. Estos modelos suelen considerar la velocidad de flujo constante en cualquier punto de la sección transversal (Diez et al., 2008).

Los modelos unidimensionales son útiles en cauces artificiales como canales, o en ríos con un cauce bien definido por la topografía, no obstante, al dejar de lado el flujo perpendicular al río, resultan poco recomendable al momento de simular caudales máximos. Por ello, en esos casos es recomendable la aplicación de modelos bidimensionales, mediante los cuales se puede simular márgenes urbanos o planicies de inundación cuando el caudal superan los márgenes del río (Diez et al., 2008).

### ***Flujo Bidimensional***

La modelación bidimensional considera al río y la llanura de inundación como una superficie mallada de forma regular e irregular, con un mallado de forma triangulada o rectangular que permite considerar un flujo en dos direcciones adaptándose mejor a las condiciones urbanas o de llanuras de inundación (Ochoa et al., 2016).

### ***Ejemplo de modelos unidimensionales y bidimensionales***

#### ***HEC-RAS***

HEC-RASS( Hidrologic Engineering Center River Analysis System) modela flujos permanentes unidimensionales y bidimensionales de diferencias finitas llegando a resultados sobre comportamientos de ríos o inundaciones (Villón, 2014). En los flujos gradualmente variados se emplea la ecuación de balance de energía de Bernoulli (Ec. 4) considerando calados fijos sin erosión, sin existencia de variación de caudal y cauce unidimensional excepto en obras de infraestructura hidráulica (Yara, 2019).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H \quad (4)$$

$$\Delta H = I * L_{12} + \Delta H_{local} \quad (5)$$

Donde (Y1-Y1) es el calado de lámina de agua, (Z1-Z2) cotas del terreno, (V1-V2) Velocidad en cada sección, ( $\alpha_1$ -  $\alpha_2$ ) Coeficiente de Coriolis para la corrección de la velocidad, ( $\Delta H$ ) Perdida de carga

HEC-RAS emplea la ecuación de Manning (Ec. 6) en función del caudal en el caso de pérdidas de carga continuas por la longitud ponderada (Ec. 7) aguas debajo de secciones continuas, se dividen por defecto en tres partes: llanura central, izquierda y derecha.

$$I = \frac{n^2}{R_h^{4/3}} * \frac{Q^2}{A^2} \quad (6)$$

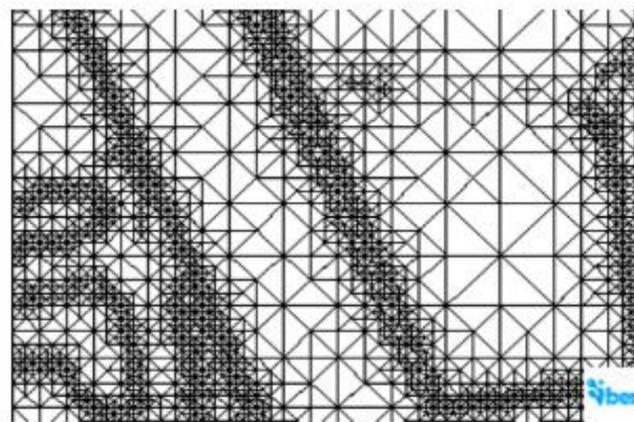
$$L_{12} = \frac{L_{12izq} * Q_{12izq} + L_{12cent} * Q_{12cent} + L_{12der} * Q_{12der}}{Q_T} \quad (7)$$

Las pérdidas de carga localizadas ( $\Delta H$  localizadas) se definen en las contracciones y ensanchamientos en las secciones donde existen obras de infraestructura hidráulica (Yara, 2019).

Los resultados obtenidos son; calados, velocidades y elevaciones que son fácilmente visualizados en RAS Mapper o su completo en ArcGIS HEC-GeoRas.

### ***Iber***

Este modelo ofrece una respuesta hidrodinámica a través de un modelo matemático bidimensional de aguas someras basado en las ecuaciones de St.Venant de volúmenes finitos sobre una interfaz gráfica tipo GID. Las igualdades se resuelven a través de las ecuaciones de conservación de la masa y la energía en dos direcciones, introduciendo un modelo de elevación digital sobre el cual se crea una geometría y el cauce del río, trabajando en modelos triangulares (Fig. 2), cuadriláteros o mixtos (Rincon et al., 2017).



**Figura 2** Red irregular de enmallado IBER Fuente: (Bladé et al., 2012)

Resuelve caudales subcríticos, supercríticos incluidos variación de régimen e incluye 6 módulos; turbulencia, hidrodinámico, acarreo de residuos, granulometría homogénea, residuos de fondo y suspensión, se puede disponer de condiciones de contorno abiertas donde se desprecia el rozamiento y cerradas tipo pared, cuando existen estructuras hidráulicas las ecuaciones de St Venant dejan de ser aplicables y se calcula con la relación del caudal y la pérdida de carga (Bladé et al., 2012).

### ***Delft-3d***

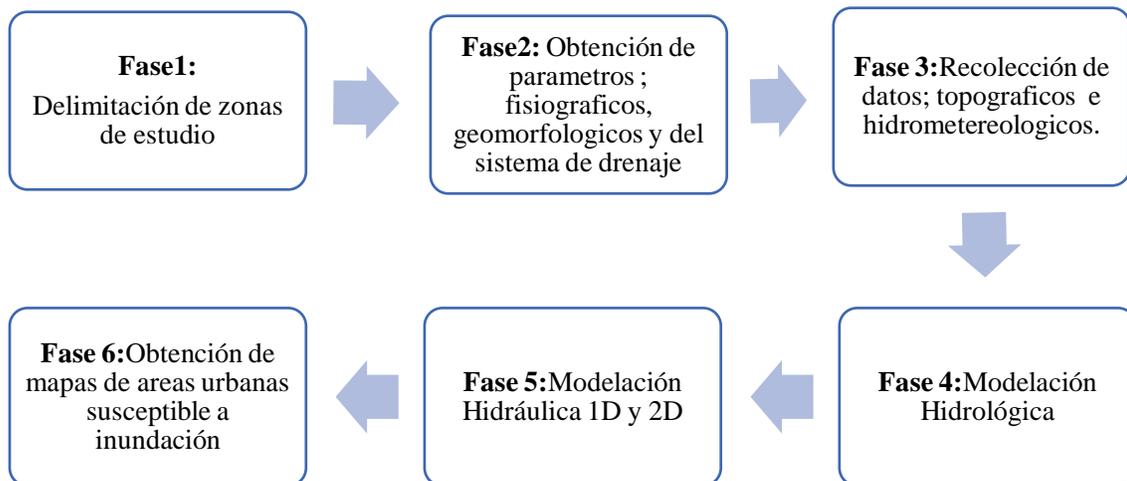
Delft 3D FLOW realiza simulaciones 2D y 3D calculando transporte de sedimentos, cambios morfológicos y flujos no permanentes en cuadrículas rectilíneas o curvilíneas ajustada a los límites, asume el principio de Bussinesq y resuelve ecuaciones Navier-Stokes en aguas poco profundas (Rifo, 2015). Presenta ventajas en el cálculo de sedimentos y erosiones por la facilidad de movimiento en espiral, en la presentación de resultados resuelve ecuaciones lineales de aguas superficiales, trabajando con ecuaciones de continuidad, momento horizontal, de acarreo y bloqueo de turbulencia. El programa asume las ecuaciones de continuidad horizontal mayores a las de escala vertical (despreciables) debido a la extensión y el tiempo.

Para la implementación del modelo se discretiza el límite del área de estudio para el cálculo (Definición de malla), define las secciones iniciales y de contorno, realiza una graduación de los modelos de cálculo (Parámetros físicos y Numéricos) (Granado, 2016).

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La investigación desarrollada presenta un alcance exploratorio, en virtud que se debe recopilar información, procesarla y posteriormente modelarla para la obtención de resultados que pueden ser empleados para proponer alternativas. Presenta una metodología mixta, se debe obtener información cuantitativa que es procesada y se trabaja con datos; fisiográficos, geomorfológicos y del sistema de drenaje de la cuenca, mismos que son necesarios para transformar datos de precipitación en escorrentía. Se trabaja con información cualitativa a modo de referencia de registros fotográficos de diarios locales para simular la inundación de una manera real de una tormenta registrada y posteriormente implementar una tormenta con un periodo de retorno de 50 años.

En función de alcanzar el objetivo general planteado en la investigación, y los objetivos específicos de la misma se sigue el esquema de trabajo presentado en la Fig. 3.



**Figura 3** Esquema del diseño de la investigación

### **3.1 Área de Estudio: Cuenca de la Quebrada de Cunduana**

La quebrada Seca comúnmente conocida como Quebrada de Cunduana se encuentra presente en la parroquia Lican de la Ciudad de Riobamba presenta suelos tipo Franco arenoso de estructura suelta (Cardena et al., 2018)

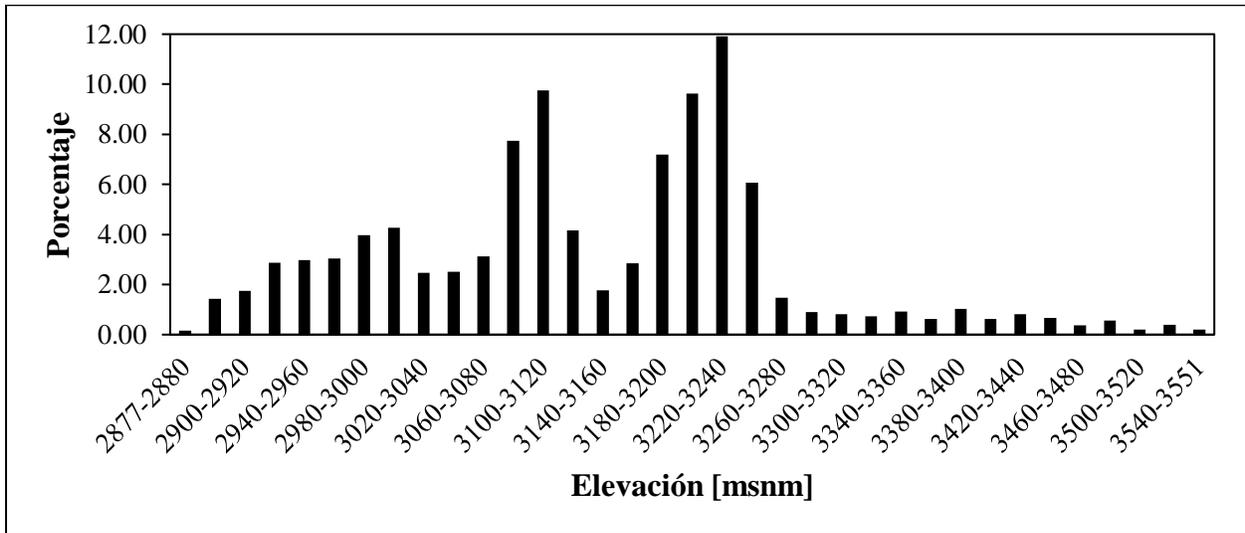
En los márgenes de la quebrada el 70% del area son cultivos de ciclo corto y el 30% restante se identifican como areas en proceso de erosión .Ronda una precipitación media y las temperaturas se sitúan sobre los 12°C (GADP Lican, 2015).

A partir del uso de un modelo de elevación digital de la Cuenca Hidrografica del Rio Pastaza se define que los parametros Fisiográficos (Anexo 1) de la Cuenca Quebrada Cunduana tiene un area de 15.67 km<sup>2</sup> con un perimetro de 23.41 km. Su longitud es 9.17 km, con un ancho estimado de 1.71 km, presentando un coeficiente de compacidad o indice de Gravelius de 1.67, y un factor de forma de 0.17, indicando que la cuenca es muy alargada e irregular.

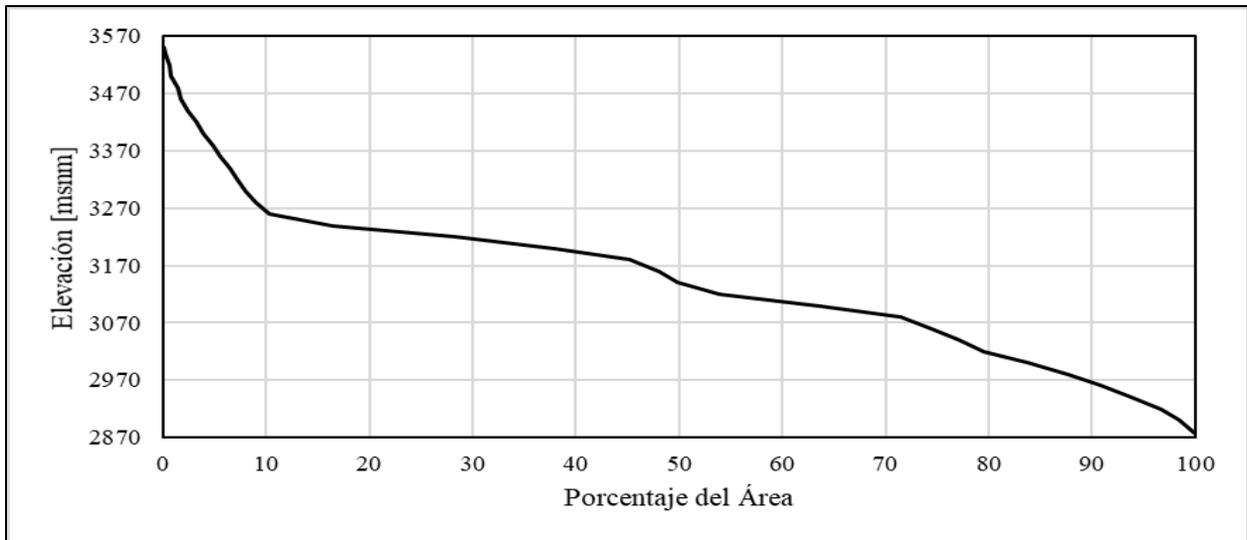
En los Parámetros Geomorfológicos (Anexo 2) estimados indican que la cuenca se ubica entre las cotas 2877 msnm y 3551 msnm, apreciándose que al rededor del 45.14% de la cuenca se encuentra sobre los 3142 msnm indicando que se trata de una cuenca montañosa (Montalvo, 2021) pudiendo corroborarse en el histograma de frecuencias altimetricas (Fig. 4). La pendiente de la cuenca es del 7.35% y su coeficiente de masividad de 0.208 m/km<sup>2</sup>. Al interpretar la curva hipsometrica (Fig. 5) nos podemos dar cuenta que se trata de una quebrada madura.

Al clasificar los parámetros de la red de drenaje (Anexo 3), se obtiene que la cuenca posee 14.81 km de longitud del total de rios consituida por 8.53 km de río principal y 6.29 km de ríos triburarios que se posiciona en orden de corriente 2, con una relación de bifurcación típica de 2. Determinándose que posee una densidad de drenaje baja de 0.95 km/km<sup>2</sup>; con un escurrimiento

superficial de 0.63 km y una frecuencia de ríos de 0.001 N°ríos/km<sup>2</sup>. Al tener un valor de 7.91m/m de pendiente media del cauce se posiciona como un terreno accidentado medio. Presenta una torrencialidad 0.00038 N° ríos/km<sup>2</sup>, lo que indica una torrencialidad baja. Su tiempo de concentración es 56.35 minutos, sería el tiempo que la quebrada tardara en recuperar su caudal normal, tras un evento de crecida.

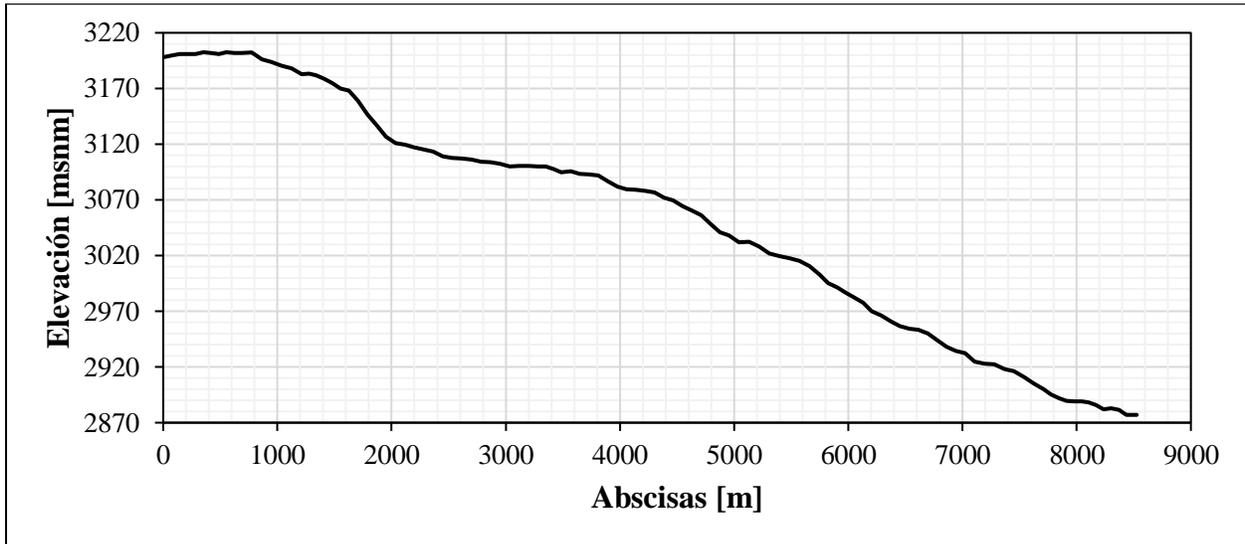


**Figura 4** Histograma de frecuencias altimétricas



**Figura 5** Curva hipsométrica, Quebrada Cunduana

El perfil longitudinal (Fig. 6) nos permite apreciar la variación de las alturas en los diversos tramos del río principal, observándose valores constantes de pendiente, en torno a la pendiente media calculada.



**Figura 6** Perfil longitudinal

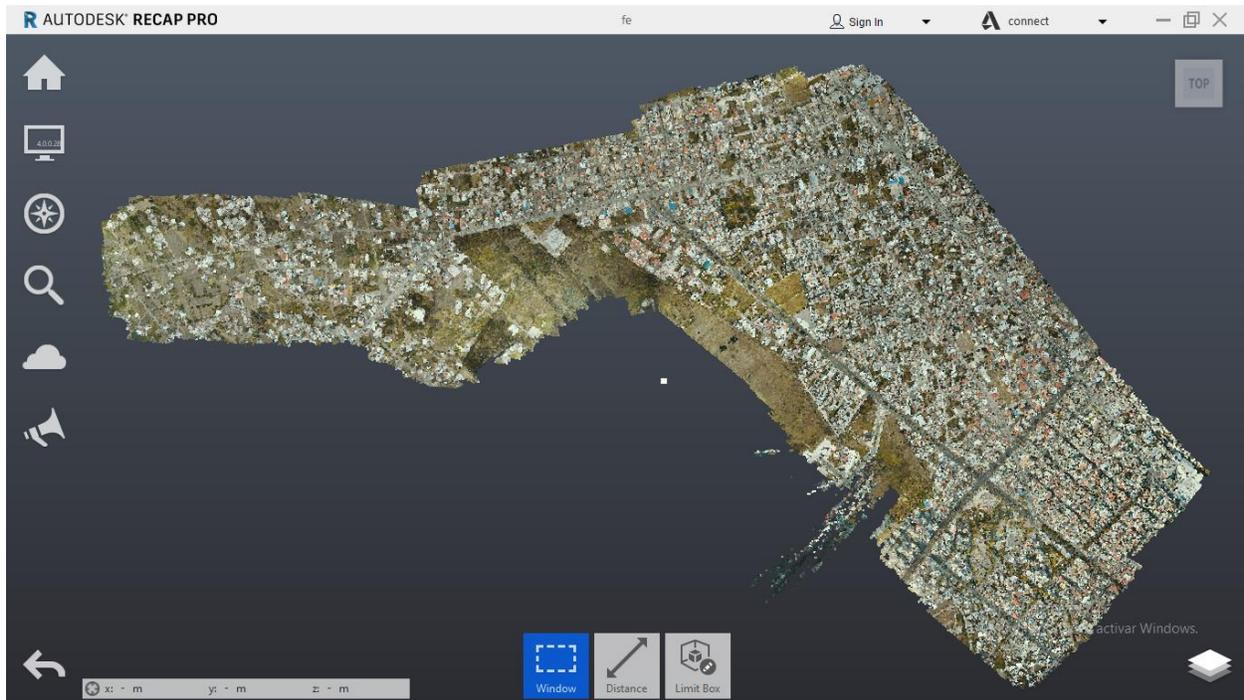
### 3.2 Recolección de información

Para la realización del estudio se partió de un análisis subjetivo, para identificar zonas afectadas por inundaciones registradas en la ciudad de Riobamba el mismo que permitió estimar límites y los causales de la problemática.

Se acudió a la Estación agrometeorológica de la Escuela superior politécnica del Chimborazo la más cercana a la zona de estudio para la obtención de datos de precipitación en los meses de febrero y marzo del 2021, de igual manera se solicitó datos de Precipitación a la estación Automática M1036 la Politécnica perteneciente al INAMHI (Anexo 4).

Se construyó un modelo de elevación digital que represente la orografía de la zona de estudio mediante un levantamiento topográfico del terreno llevado a cabo entre el 29 y el 31 de diciembre del 2021. Para ello se utilizó el equipo de precisión RTK, levantando las avenidas

Monseñor Leónidas Proaño, Canónigo Ramos, Saint Amand Montrond, Lizarzaburu, 11 de noviembre para obtener puntos de control. Y mediante el empleo de un DRON “phathom 4 pro” se realizó un levantamiento de la zona estimada de estudio, mediante 2 vuelos obteniendo puntos cada 0.029 metros (Fig. 7).



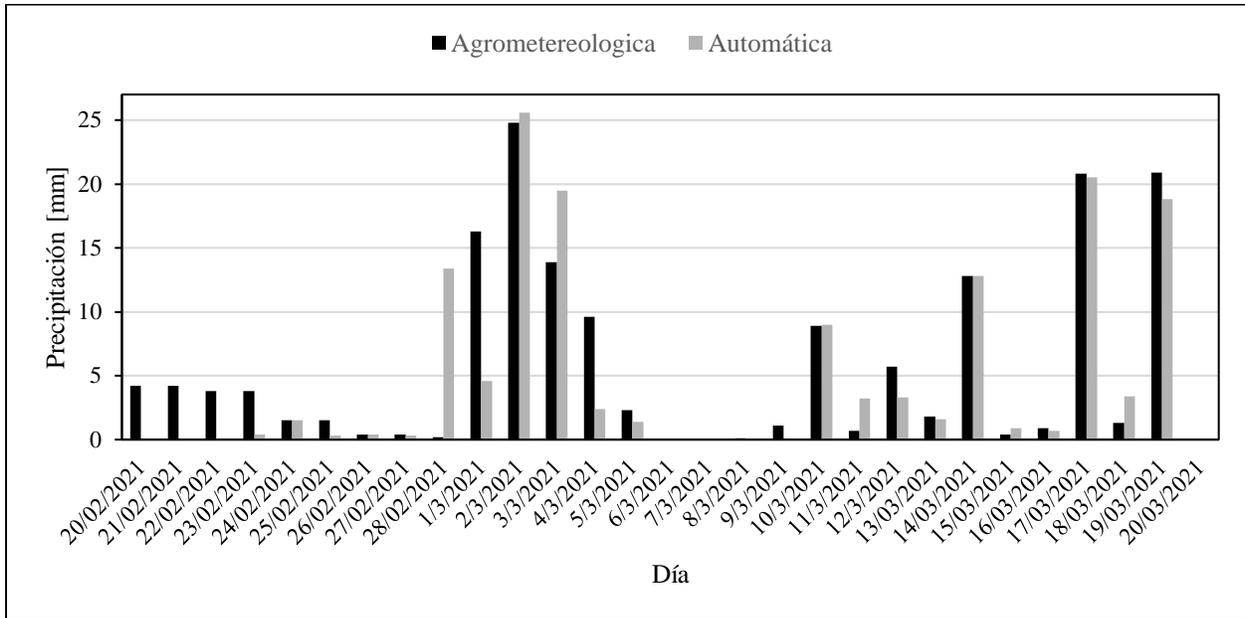
**Figura 7** Levantamiento de la zona de Estudio

### **3.3 Técnica de análisis e interpretación de la información**

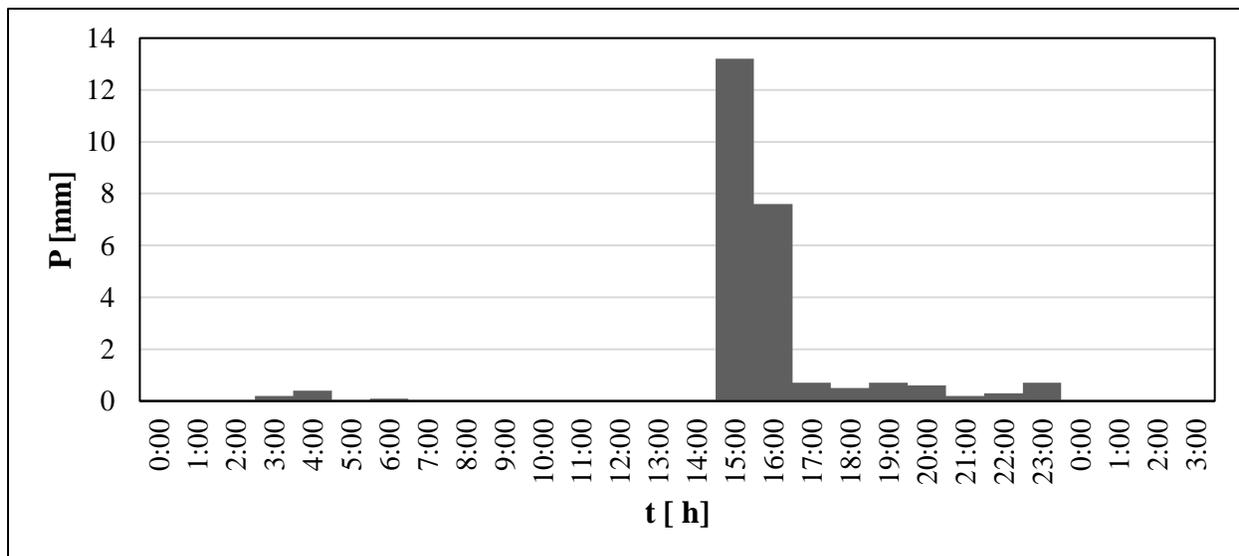
Con la información de precipitación obtenida se realizó una comparación entre los datos de la Estación agrometeorológica la politécnica y la estación automática M1036 (Riobamba - ESPOCH) de los meses de febrero y marzo 2021 apreciable en la Fig. 8.

A partir de esta comparación se determinó que existe un desfase muy significativo en los datos, por lo tanto, para la realización de este estudio se trabajará con la información de la estación Automática M1036 proporcionada por el INAMHI debido a que su registro es horario y es calibrada con regularidad. Para la modelación se seleccionó el día de mayor precipitación donde

se registró graves afectaciones, siendo este el 2 de marzo de 2021, el hietograma del evento se aprecia en la Fig. 9.



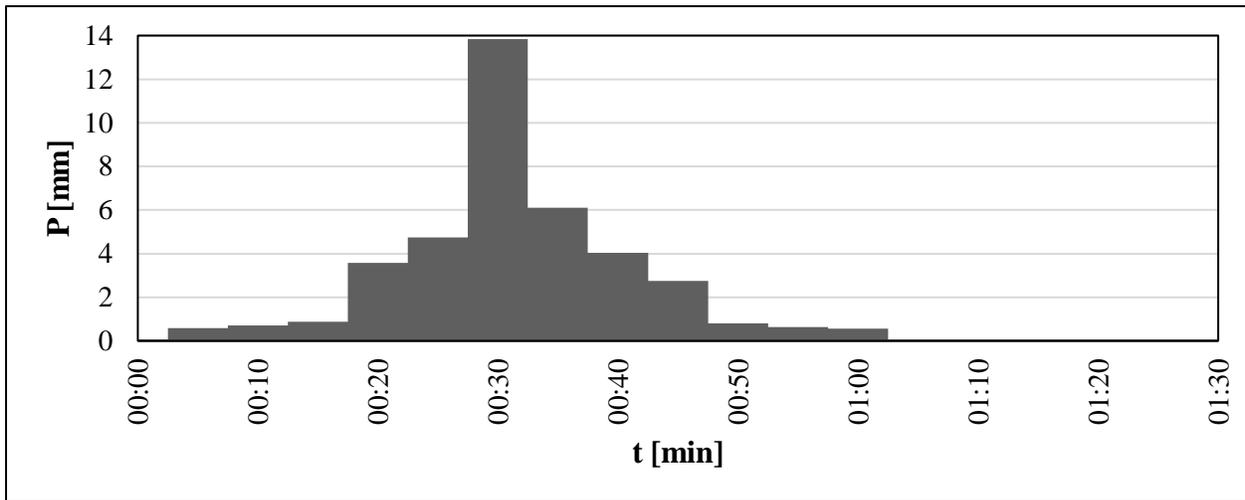
**Figura 8** Comparación de la información de precipitación



**Figura 9** Hietograma del 2 de marzo del 2021

De forma complementaria, empleando el método de Bloques alternados se presenta la distribución temporal de precipitaciones dentro de un periodo de retorno de 50 años (Anexo 5). Aplicando el tiempo de concentración de la cuenca y las curvas Intensidad-Duración y Frecuencia del Informe “Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máxima de precipitación” (INAMHI, 2015) se definió la ecuación (Ec.8) para el cálculo de intensidades en intervalos discretizados de 5 minutos representados en el hietograma de diseño (Fig. 10) de la estación M1036 (Riobamba-ESPOCH).

$$i = 541.519 * T^{0.2061} * t^{-0.8382} \quad (8)$$

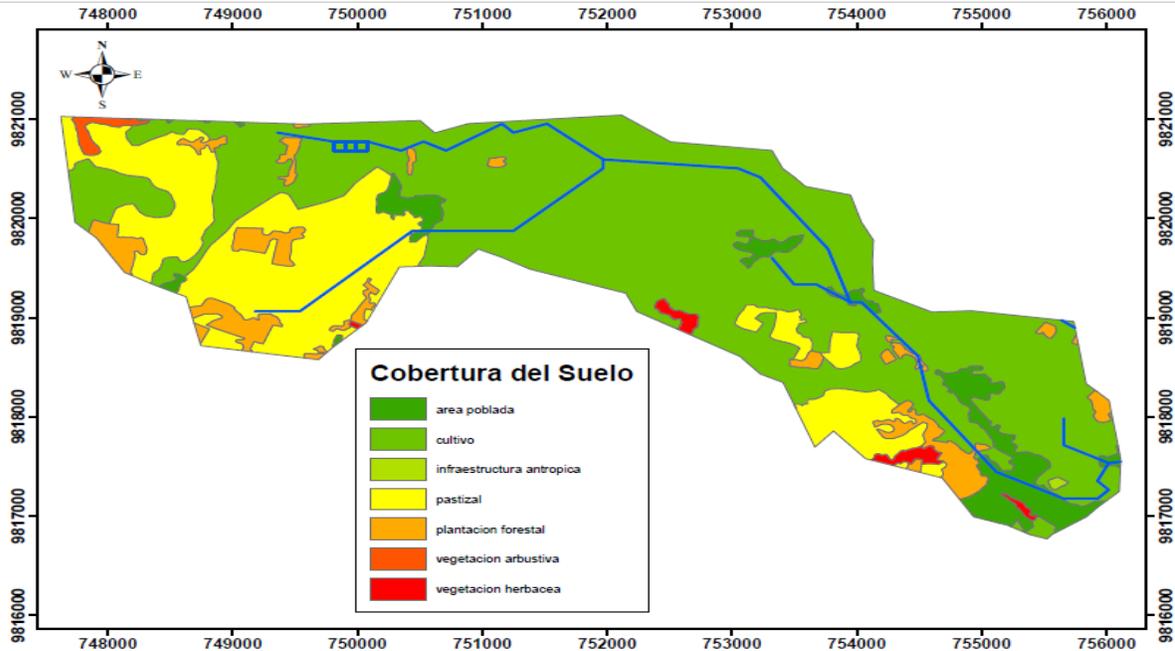


**Figura 10** Hietograma de diseño de periodo de retorno de 50 años

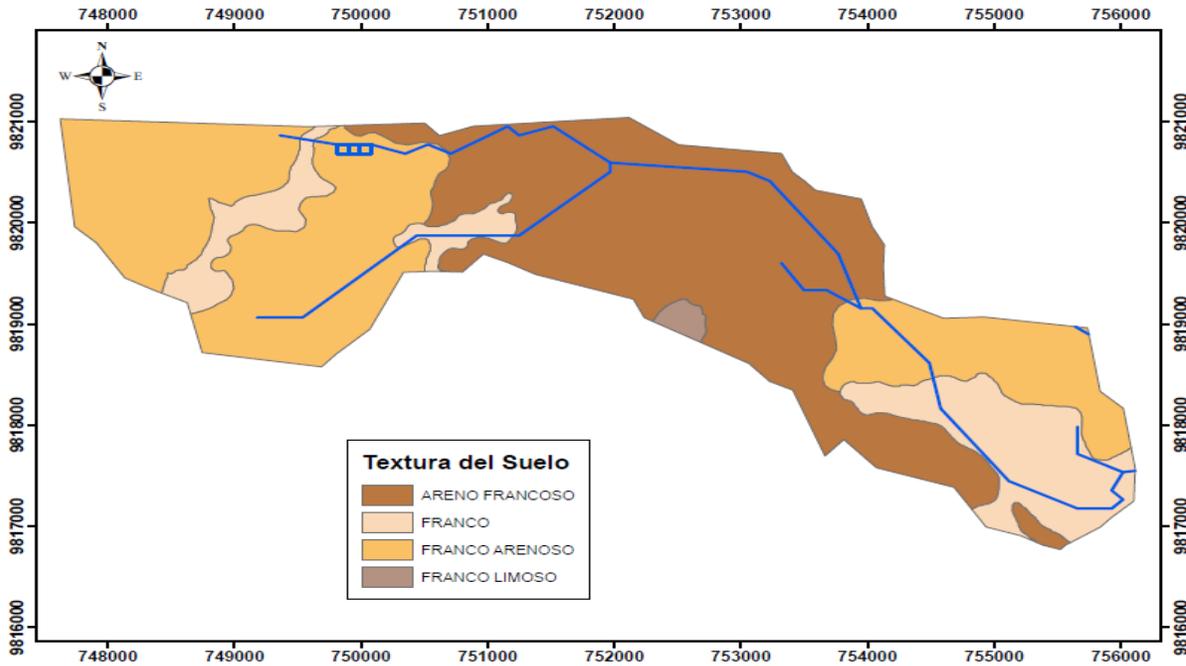
### 3.4 Modelización Hidrológica

Para la obtención de caudales pico se utilizó el modelo Hec-HMS, mediante una simulación hidrológica a partir de la información recolectada en el evento del 2 marzo de 2021 por la estación M1036 y la tormenta de diseño con un periodo de 50 años. La precipitación efectiva se estimó mediante el método SCS, considerando las clasificaciones y las condiciones hidrológicas del suelo.

Para la determinación de los parámetros hidrológicos con el método del Número de la curva (SCS) como paso inicial; se obtuvo los mapas de cobertura (Fig.11) y uso del suelo (Fig. 12) de la de la cuenca de la quebrada de Cunduana.



**Figura 11** Mapa de Cobertura del suelo Cuenca de la Quebrada de Cunduana



**Figura 12** Textura Del suelo de la Cuenca Quebrada de Cunduana

El suelo mayormente este compuesto por zonas de cultivo, pastizal e infraestructura correspondiente a viviendas de la parroquia Lican (Tabla 2). Mientras que el estrato predominante en la cuenca es un suelo tipo Franco Arenoso de acuerdo con los mapas del SIGTIERRAS-MAG (2020).

**Tabla 2** Cobertura del suelo de la Cuenca Quebrada Cunduana

<b>Cobertura</b>	<b>Área (km)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	0.94	5.99%
Cultivo	10.01	63.88%
Infraestructura antrópica	0.01	0.08%
Pastizal	3.58	22.87%
Plantación forestal	0.92	5.89%
Vegetación arbustiva	0.07	0.46%
Vegetación herbácea	0.13	0.84%
Total	15.67	100%

**Tabla 3** Textura del suelo de la Cuenca Quebrada de Cunduana

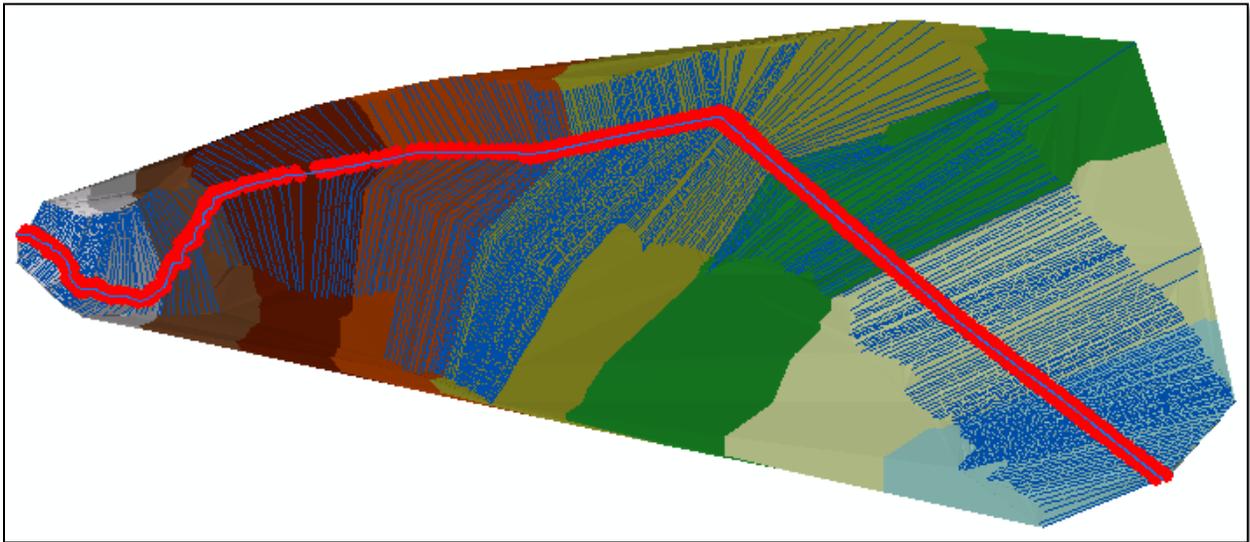
<b>Tipo de suelo</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Tipo</b>
Areno francos	6.5506	41.79	B
Franco	2.5800	16.46	B
Franco arenoso	6.4349	41.06	B
Franco limoso	0.1078	0.69	B
Total	15.6733	100.0	

Debido a la presencia de suelos Areno-Francos, Francos, Franco-Arenosos, Franco-Limosos los suelos de la Cuenca de la Quebrada de Cunduana se ubican dentro del tipo B, de acuerdo con la clasificación del grupo hidrológico del suelo (Anexo 6) son suelos bien drenados o moderadamente drenados. Sin embargo, cuando están húmedos presentan una capacidad de

infiltración moderada. Utilizando el método SCS como se visualiza en el Anexo 7 se determinó el número de la curva con un promedio ponderado de 74.89 (-).

### 3.5 Modelización Hidráulica

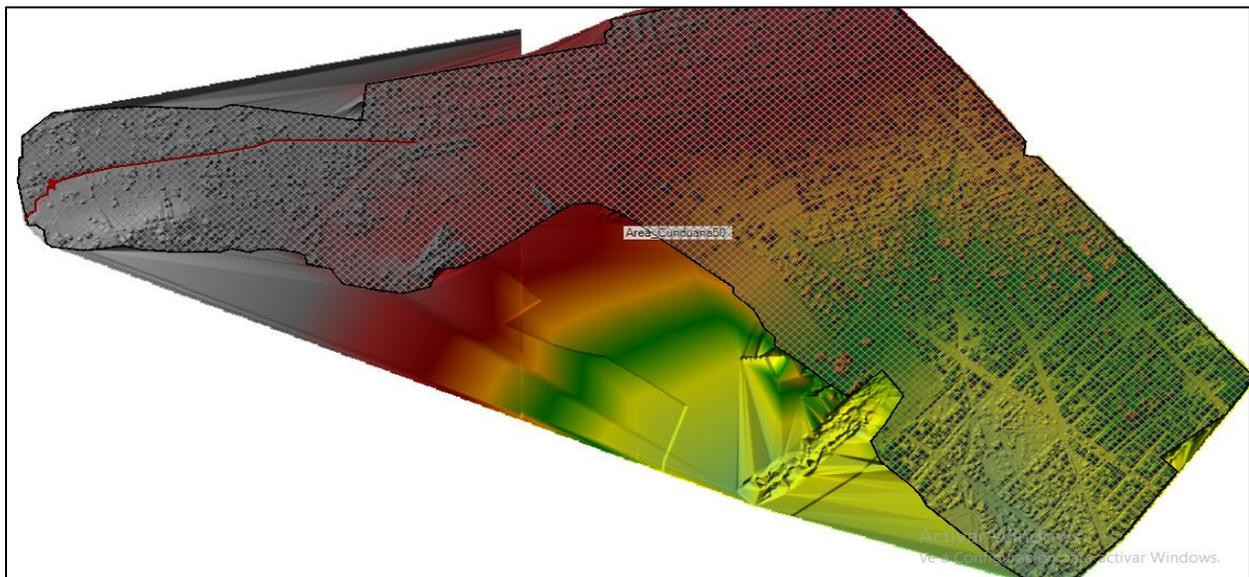
La simulación hidráulica de la inundación se realizó a partir de una modelación 1D en el programa Hec-RAS y su complemento en ArcGIS: Hec-GeoRAS, donde se delimito el cauce de la Quebrada, los márgenes y las secciones transversales con ayuda de la ortofoto de Riobamba 2011. Se trabajó con 347 secciones transversales distribuidas cada metro de forma paralela al lecho de la quebrada como se muestra en la Fig.13, al exportar al programa Hec-RAS se definió la rugosidad del terreno (Anexo 10) y el flujo estático con el caudal pico de condición crítica, para la obtención de velocidades y tirantes críticos.



**Figura 13** Secciones transversales en la planicie de inundación de la Quebrada de Cunduana

En la simulación 2D se trabajó con el módulo RAS Mapper de Hec-RAS, empleando el modelo digital del terreno generado a partir del levantamiento topográfico (Fig.7) donde se estableció el área de estudio y el cauce principal, con un enmallado de 3x3 m en las planicies de inundación, y un enmallado de 1x1m en las riberas del río se logró el refinamiento del modelo (Fig 14). Basado

en el estudio de Cea & Bladé ( 2008) “El coeficiente de Manning es empleado principalmente en la modelación de ríos o canales, por ende se utiliza valores promedios de vegetación baja y densa en planicies de inundación” se determinó un coeficiente de Manning de 0.06 y el punto de entrada de caudal fue colocado en las coordenadas 9817553 S - 756078 E, denominado desagüe de la Cuenca. Considerando un flujo inestable se introdujo los hidrogramas obtenidos de manera sintética. Para obtener los resultados; las salidas fueron consideradas cada segundo y el hidrograma generado cada hora.

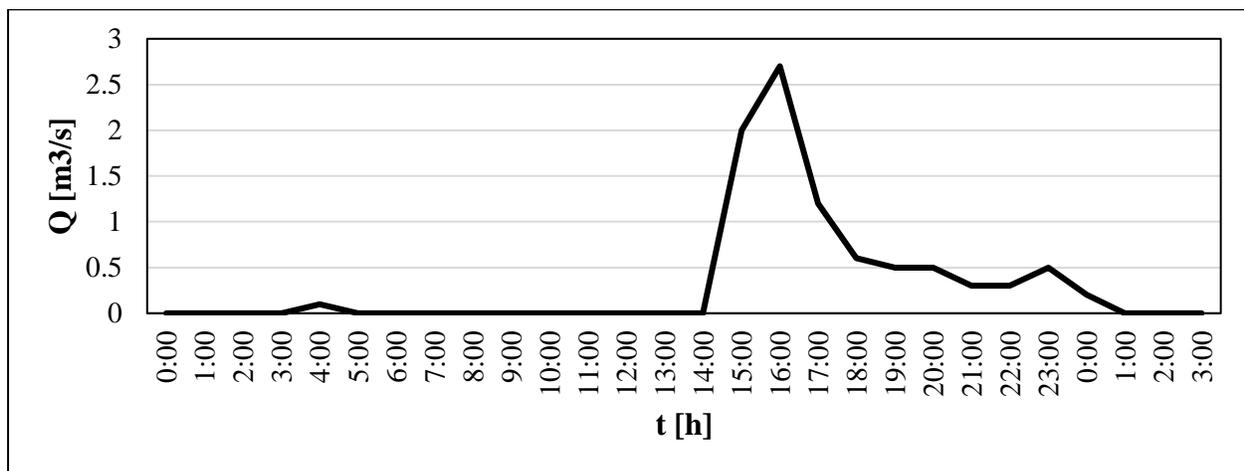


**Figura 14** *Enmallado de la planicie de inundación de la Quebrada Cunduana*

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Modelación Hidrológica

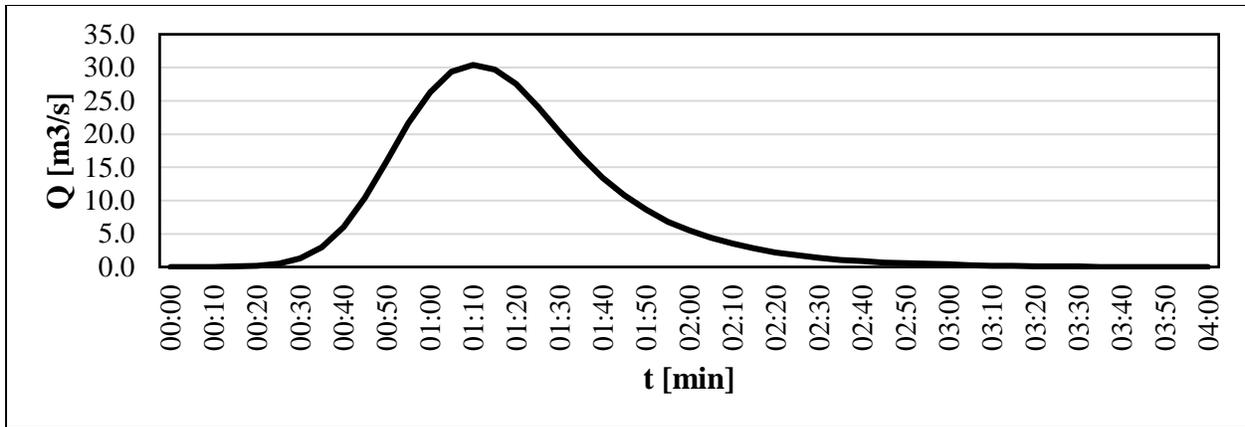
De la modelación hidrológica en el programa Hec-HMS del 2 de marzo del 2021 empleando el Hietograma (Fig.9) se obtiene el Hidrograma (Fig.15) que representa la escorrentía superficial a lo largo de 27 horas de duración del evento. Alcanzándose un caudal máximo de 2.7 [m<sup>3</sup>/s].



**Figura 15** Hidrograma del 2 de marzo del 2021

Empleando el Hietograma de 50 años de periodo de retorno (Fig.10) en Hec-HMS se obtuvo el Hidrograma (Fig.16) repartido a lo largo de 4 horas. Alcanzándose un caudal máximo de 30.4 [m<sup>3</sup>/s], siendo este un valor mucho más alto que el registrado el obtenido en el evento del 2 de marzo, lo que indica que podría producirse una tormenta con peores condiciones.

De la correspondiente modelación hidrológica fueron extraídos los caudales máximos de diseño (Tabla 4). Donde se aprecia que se tiene volúmenes de precipitación similares, no obstante, en el segundo caso, al estar ese volumen concentrado en un intervalo de tiempo menor, genera una respuesta más rápida, provocando que el caudal máximo alcanzado sea más alto.



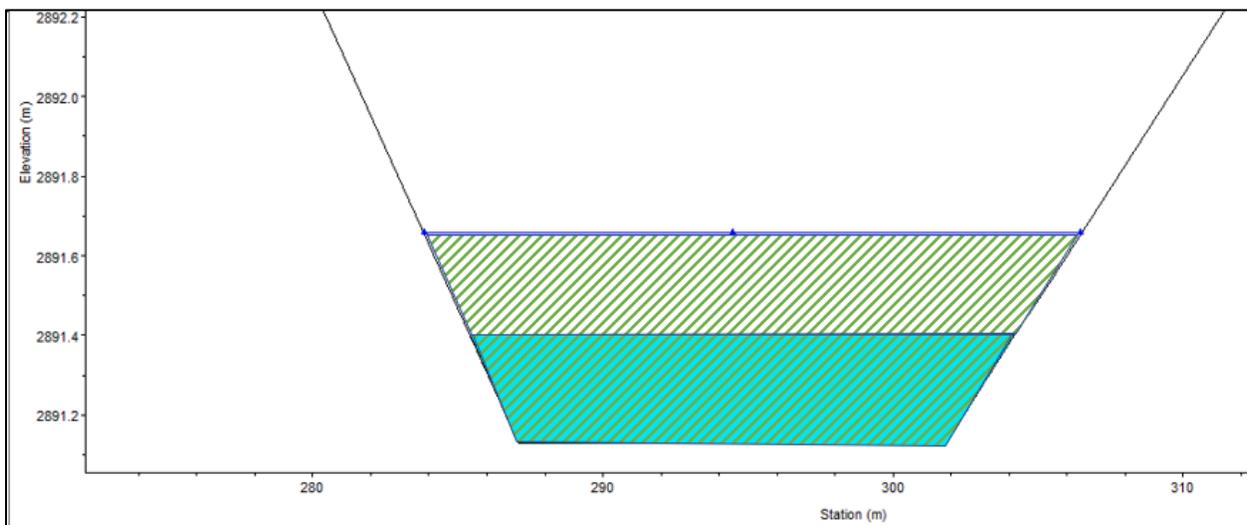
**Figura 16** Hidrograma de 50 años de periodo de retorno

**Tabla 4** Caudales máximos alcanzados en la modelación hidrológica.

Evento	Volumen de precipitación [mm]	Caudal [m3/s]
2 marzo 2021	26	2.7
50 años de retorno	39.20	30.4

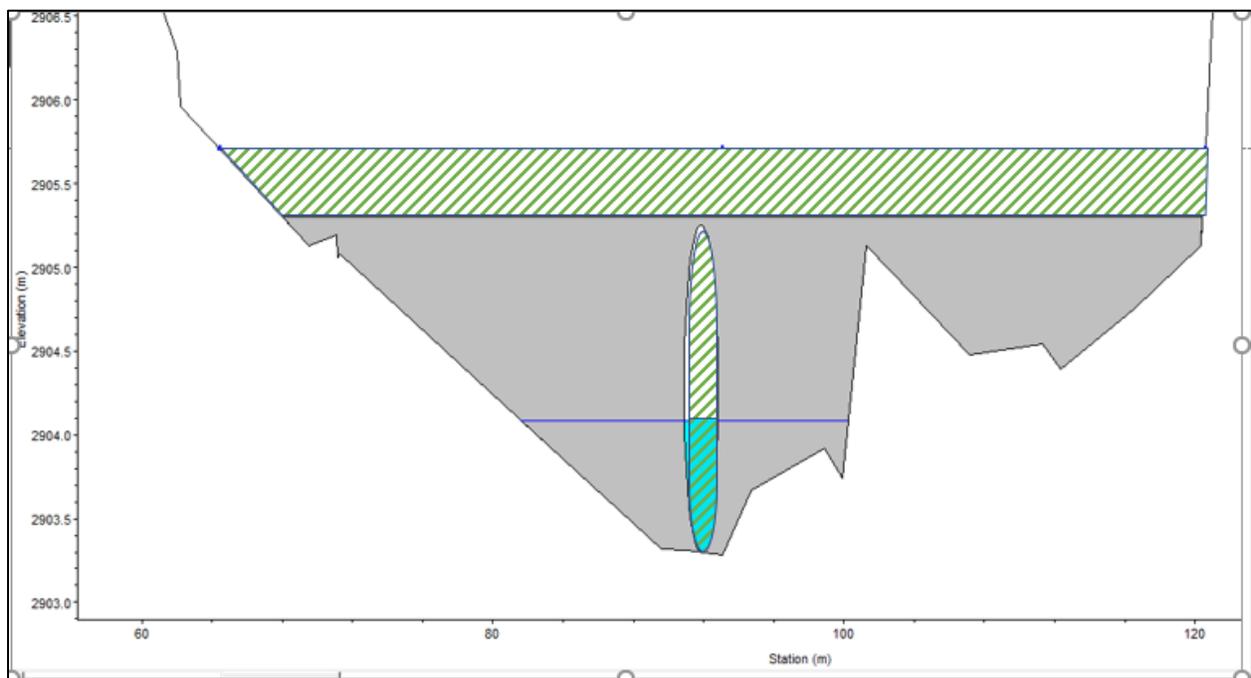
#### 4.2 Resultados de la Modelación 1D

En la Fig.17 se aprecia una sección típica de la Quebrada, donde agua se ajusta a la topografía del terreno tendiendo a acumularse en las depresiones existentes, sin existir desbordamiento para ninguno de los dos caudales máximos obtenidos en la simulación hidrológica.

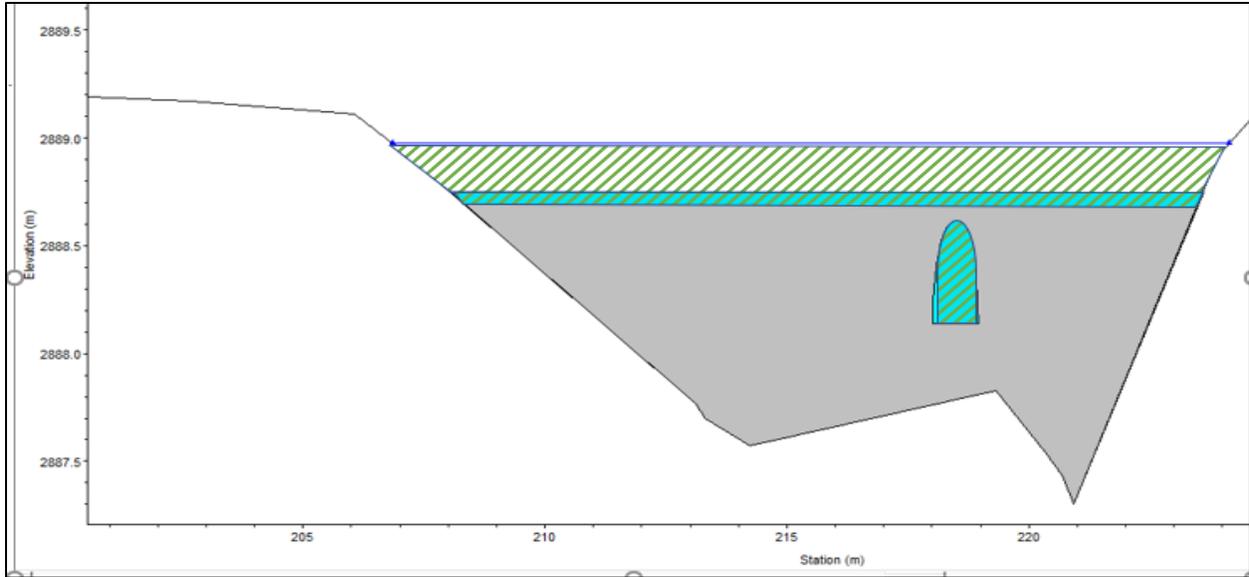


**Figura 17** Sección transversal 4120 Sección típica Quebrada de Cundwana. Donde la lámina azul representa la inundación del 2 de marzo del 2021 y líneas continuas representa PRT 50 años.

En Fig.18 se presenta un paso de alcantarilla tipo corrugada de  $\phi= 1.95\text{m}$  completamente despejado, por el cual los caudales pueden circular sin presentar un desbordamiento, incluso para en el caudal de retorno de 50 años. En la Fig.19 se denominada zona de desfogue, presentándose la obstrucción de diversos materiales, por tal motivo fue modelado como un arco de  $0.47\text{ cm} \times 100\text{cm}$  de Armex, debido a la reducción del área de trabajo de la zona de desfogue, se presenta desbordamiento de la Quebrada, tanto para el caudal máximo registrado para el 2 de marzo, como para el periodo de retorno de 50 años. Por este motivo, parte del flujo continúa su movimiento por la vía, siendo este uno de los orígenes de los problemas registrados por el departamento de Gestión de Riesgos del Municipio de Riobamba y la prensa local (Hidalgo,2021).



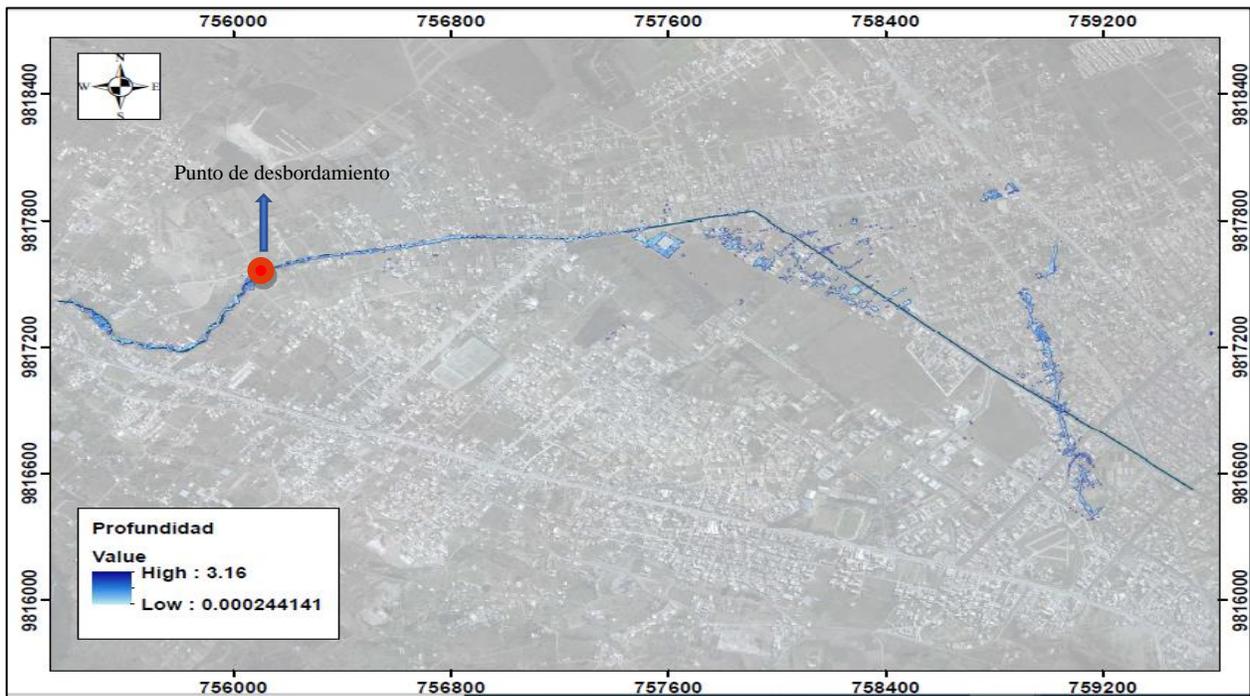
**Figura 18** Sección transversal 4496 dentro del lecho de la Quebrada. Donde la lámina azul representa la inundación del 2 de marzo del 2021 y líneas continuas representa PRT 50 años.



**Figura 19** Sección transversal 3990.81 punto de desagüe de la quebrada Cunduana. Donde la lámina azul representa la inundación del 2 de marzo del 2021 y líneas continuas representa PRT 50 años.

#### 4.2.1 Mapas de Inundación

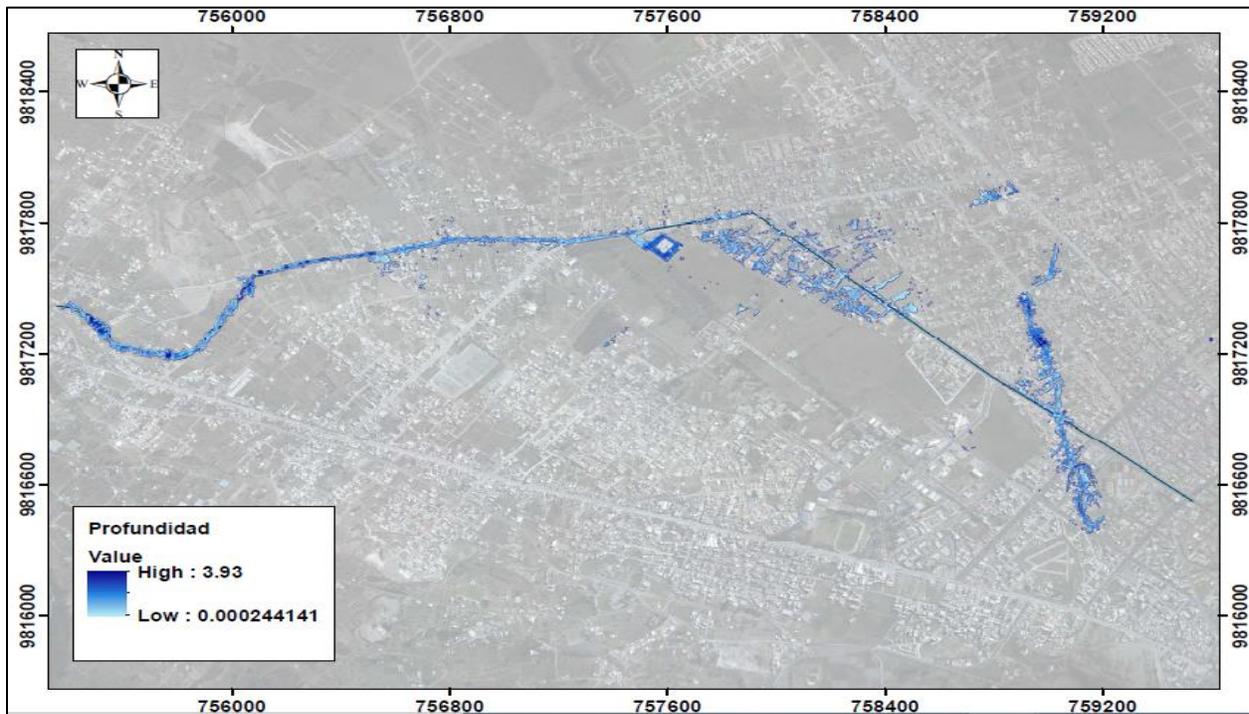
Con la modelación 1D se ha obtenido el mapa de inundación del 2 de marzo del 2021, en la Fig.20. se puede apreciar la mancha de inundación con un tirante que varía de 0 a 3.1 metros.



**Figura 20** Mapas de Inundación Modelación 1D 2 de marzo del 2021

Teniendo como punto crítico de desborde el punto de desagüe 3990.81 de la Cuenca. Se puede apreciar la invasión del agua a la vía, y como esta se mueve a través de esta, como si se tratara de un canal artificial.

En la Fig.21 se observa la mancha de inundación de un periodo de retorno de 50 años mediante una modelación 1D donde el tirante vario de 0 a 3.93 metros, evidenciándose un área urbana de afectación más grande que la del evento del 2 de marzo, debido al incremento en el caudal máximo alcanzado.

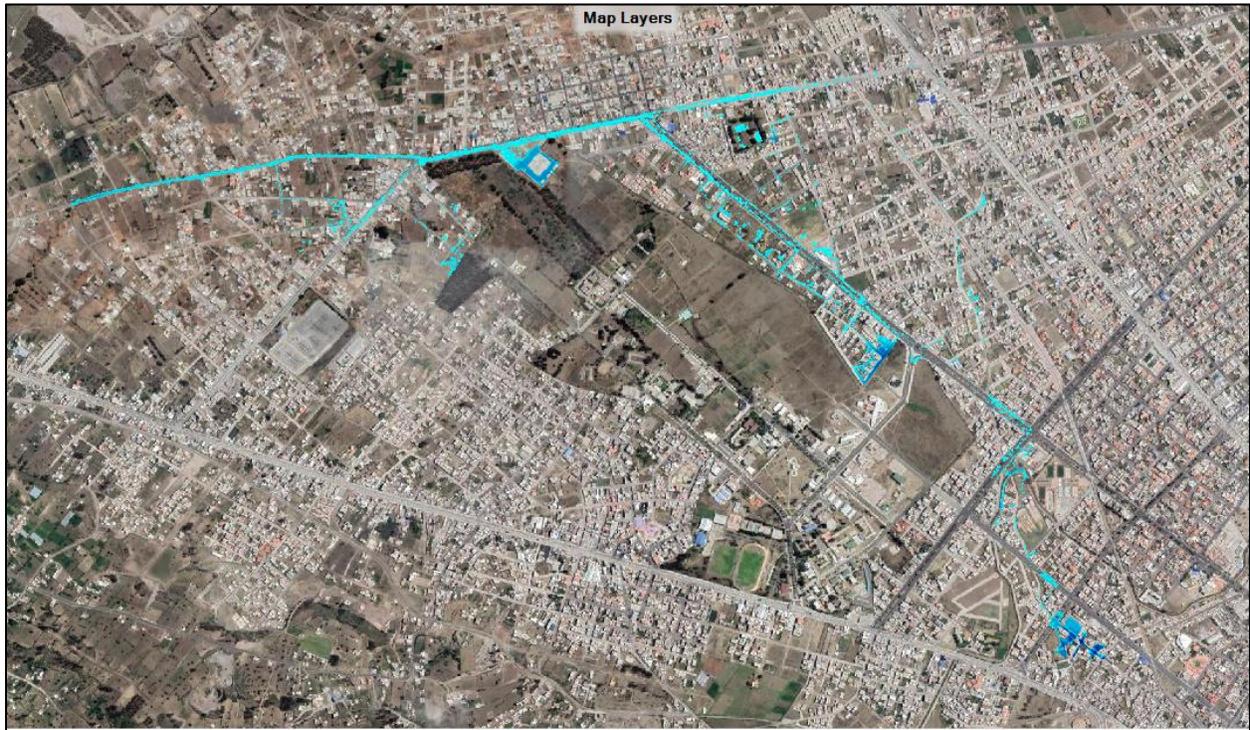


**Figura 21** Mapa de Inundación Modelación 1D periodo de retorno 50 años

### 4.3 Modelación 2D

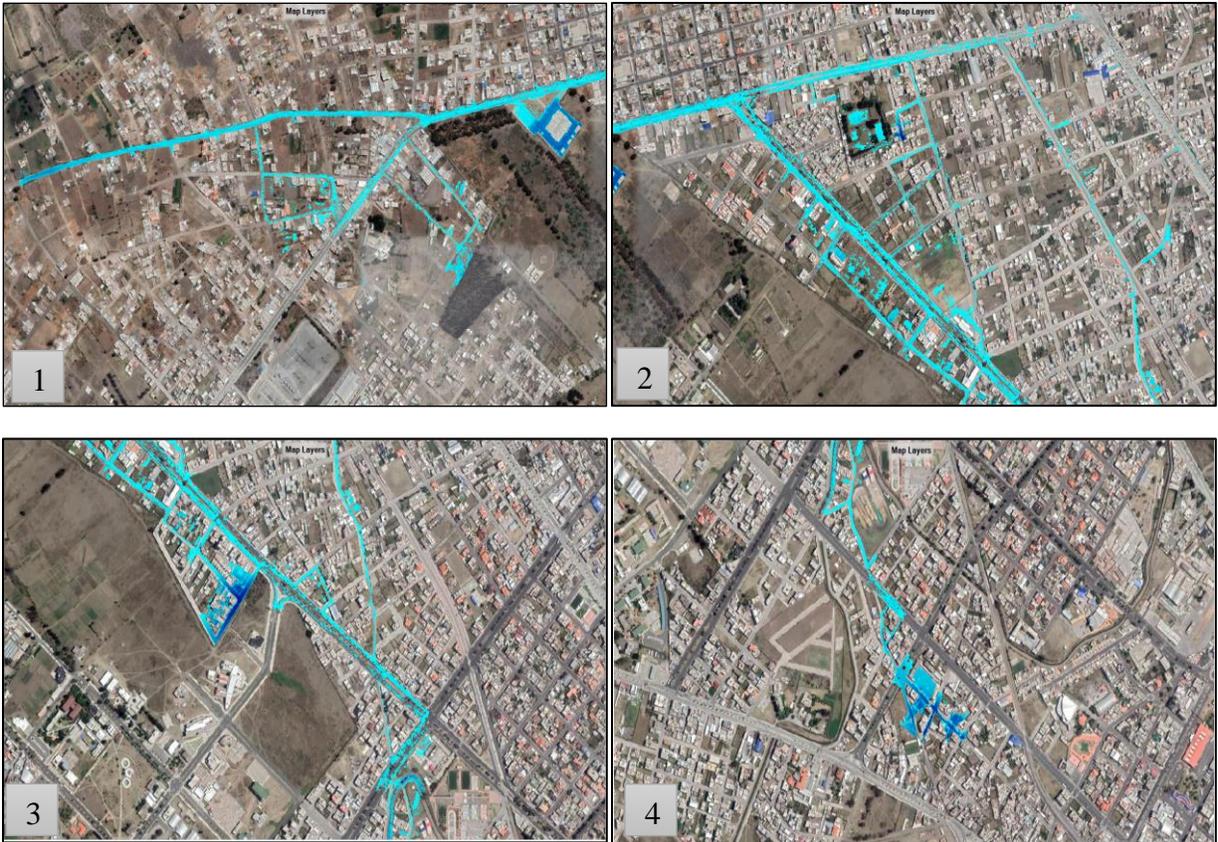
En la Fig.22 se muestra de manera global las zonas afectadas por inundación del 2 de marzo del 2021. La Fig.23 se muestra de una manera más detalla la afectación por zonas determinando que el tirante máximo de inundación se ubica entre 0 y 2.85 metros con la escala de color representada. Contrastando los resultados con la Modelación 1D, las áreas afectadas son parecidas,

no obstante, la modelación 2D presenta un mejor detalle en la dirección que el flujo sigue, debido a la conceptualización a base de malla que tiene.



**Figura 22** *Mapa de Inundación mediante modelación 2D- 2 de marzo del 2021*

Para una correcta presentación de resultados en la Fig.23 se ha subdividido la zona de estudio en 4 sectores; 1) Sector la Lolita, 2) Sector el Pinar, 3) Sector Av. Canónigo Ramos,4) Sector parque Sesquicentenario respectivamente. Se aprecia en el tramo final una profundidad máxima que ocurre debido a la presencia del canal de Riego Chambo- Guano que en la inundación suscitada sirvió de desfogue para las aguas provenientes de la escorrentía.



**Figura 23** Mapas de Inundación sectorizado – 2 de marzo del 2021

En la Fig.24 se encuentra representado el mapa de velocidad de la planicie de inundación del 2 de marzo del 2021 que varía entre los 0 y 3.3 m/s.



**Figura 24** Mapa de velocidad de la inundación del 2 de marzo del 2021

Las mayores velocidades se alcanzan en la zona de desbordamiento, no obstante, a lo largo de la zona urbana mantiene una velocidad de aproximadamente 1.3 m/s, suficiente para arrastrar sedimentos, erosionar suelo (Anexo 11) y luego depositarlos en zonas donde el flujo disminuya (Anexo 12).

El mapa de inundación (Fig.25) de los 50 años de periodo de retorno demuestra las zonas en riesgo hidrológico, donde los tirantes oscilan de 0-3.95 m. Se puede apreciar una mayor área urbana afectada, al contrastarla con el evento del 2 de marzo. Lo que podría producir problemas más grandes para la ciudad, si no se toman las medidas adecuadas con tiempo. El área afectada también incrementa con respecto a los resultados de la modelación 1D. Al considerarse el modelo 2D más exacto, por su conceptualización, se podría decir que los resultados de este deberían ser los que deba considerar el Departamento de Gestión de Riesgos del GAD de Riobamba para una gestión pertinente.

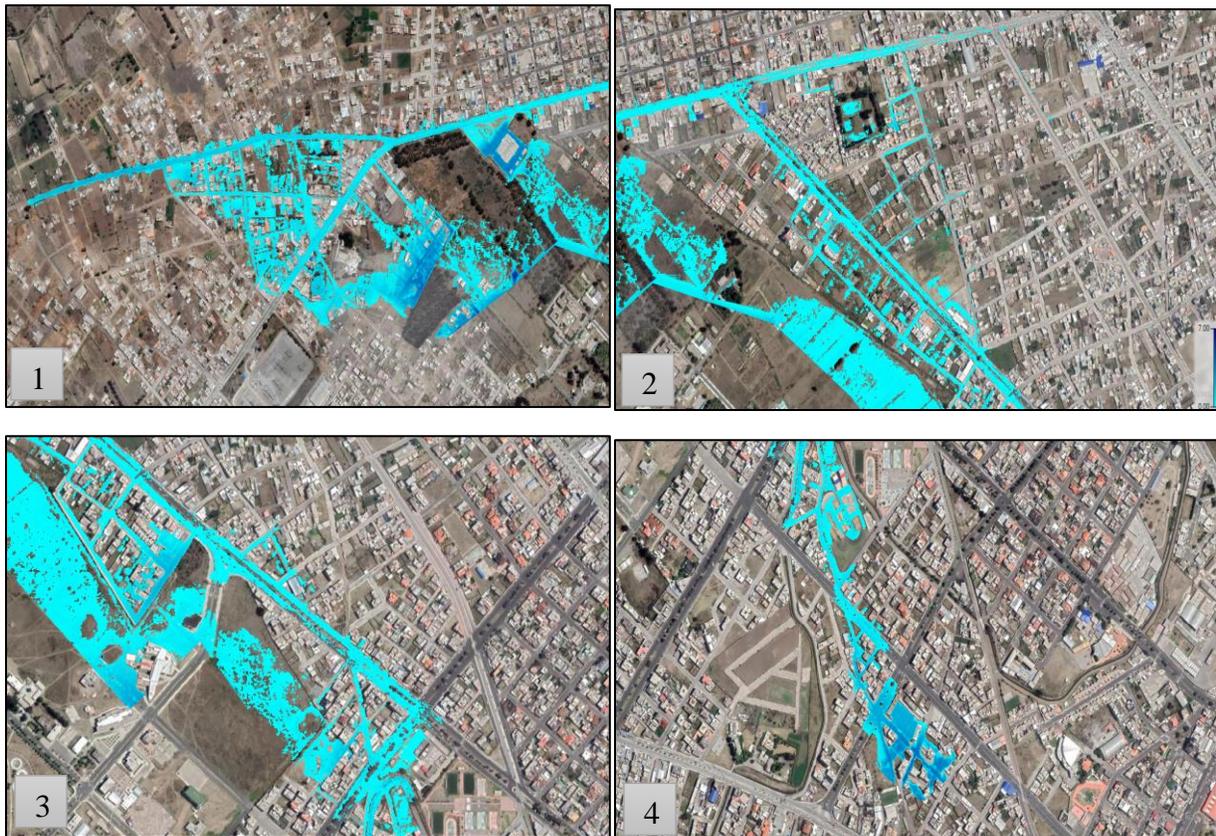


**Figura 25** Mapa de Inundación mediante modelación 2D periodo de retorno 50 años

En el tramo final donde el caudal es evacuado por el Canal de Riego Chambo- Guano, existen manchas dispersas sobre el modelo que son valores irrelevantes. Como se puede observar el desbordamiento se produce en el tramo de canal artificial de terreno natural Av. Esquimales.

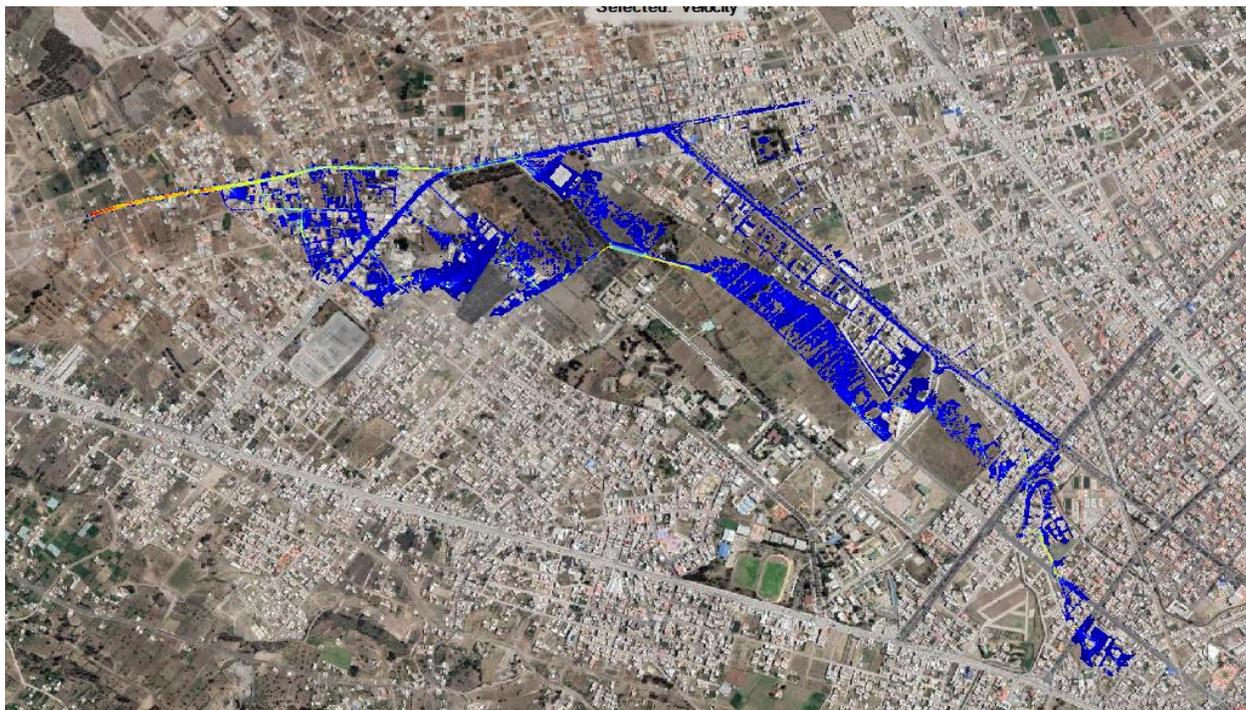
En la (fig.26) se aprecia la inundación por sectores; 1) Sector la Lolita, 2) Sector el Pinar, 3) Sector Av. Canónigo Ramos,4) Sector parque Sesquicentenario respectivamente, en caso de suscitarse una inundación con un caudal similar a un periodo de retorno de 50 años.

Se observa que el margen de Inundación se extiende a lo largo de la Av. Esquimales, cubriendo los sectores de la Calle Dakota, Manuel de Ibarra hasta los límites de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, sobre la Av. Monseñor Leónidas Proaño se prolonga hasta la Av. Los rieles y alcanza la altura de la Av. Milton Reyes.



**Figura 26** Mapas de Inundación sectorizado- Periodo de retorno de 50 años

En el mapa de velocidades (Fig.27) se observa una variación de 0-3.6 m/s, las mayores velocidades presentes se encuentran sobre el punto inicial de desbordamiento. A lo largo de la Av. Esquimales, se puede apreciar velocidades de 3 m/s, siendo velocidades altas, que pueden producir el arrastre de material grande, como vehículos, que podría producir daños grandes a la comunidad, incluidas pérdidas de vidas humanas, como en eventos registrados en los últimos años a nivel nacional.



**Figura 27** Mapa de Velocidad de la Inundación de periodo de retorno de 50 años

#### **4.4 Discusión**

La cuenca de la Quebrada de Cunduana desemboca en un canal artificial denominado Av. Esquimales como se puede apreciar en la modelación 1D (Fig.20) y 2D (Fig.22), la falta de planificación ha ocasionado que el cauce natural de la afluente sea rellenado y se han construido múltiples infraestructuras a su paso, evadiendo la construcción de un eficiente sistema de alcantarillado Pluvial. Comparando los resultados obtenidos del 2 de marzo del 2021 se muestran

similares en los dos caso, sin embargo, en la modelación 1D se observa un resultado más limpio debido al uso de una caudal constante, mientras que en la modelación 2D al trabajar con todos los datos del hidrograma de crecida se presenta una simulación más real y se asemeja a los reporte del evento suscitado.

Al implementar el periodo de retorno de 50 años sobre un modelo comprobado se observa que la área de afectación en mucho menor y los tirantes poseen una mayor elevación, debido a que el hidrograma de crecida del evento registrado tiene una distribución temporal mucho mayor, el caudal de evacuación será en menor medida por ende no supera los límites del canal artificial presente en el tramo inicial y el agua Alcanza lugares más alejados, el hidrograma del periodo de retorno de 50 años tiene una distribución temporal mucho menor , los caudales son superiores al evento registrado y son evacuados con mayor rapidez es por ello que se desborda en el tramo inicial y afecta en mayor medida a sectores aledaños a la Coca Cola, sin embargo, los dos eventos presentan tirantes y velocidades que los ubican dentro de un riesgo Alto de inundación.

Se puede apreciar en la Fig.24 y la Fig.27 que las mayores velocidades se encuentra presentes en el punto de desagüe debido a que; no existen curvas naturales presentes en una quebrada, la forma típica del lecho ha sido modificada, la presencia de una gran pendiente de 7%, la perdida de infiltración por la excesiva compactación y la falta de rugosidad del terreno , a medida que desciende disminuye la pendiente, y empieza a adaptarse a una topografía urbana artificial que hace que las velocidades disminuyan .

Según la UNESCO et al. (2019) “al introducir agua proveniente de las precipitaciones a un alcantarillado Combinado, es un recurso que se pierde e implica múltiples gastos para su purificación” , se ha considerado oportuno la construcción de un colector de aguas pluviales a la

altura del punto de desagüe de la Cuenca con el fin de disminuir el riesgo de inundación y en menor medida colocar las zonas vulnerables en un factor bajo de riesgo según (Tabla 1).

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La quebrada Cunduana se define como un río maduro de una Cuenca montañosa. La Cuenca está ubicada sobre 2870 msnm conformada principalmente por suelos de tipo B con buena permeabilidad utilizado para cultivo en gran parte, presenta una forma alargada e irregular, con un área de 15.67 km<sup>2</sup> y una longitud de ríos de 14.81 km de orden de corriente 2, se estima una baja torrencialidad, un tiempo de concentración de 56 minutos y un punto de desagüe artificial.

Se aplicó el método SCS para realizar una modelización de los efectos de crecida de la quebrada Cunduana en la zona urbana de la ciudad de Riobamba. Se aplicaron dos escenarios de simulación: un primero basando en el evento de precipitación registrado el 2 de marzo del 2021 en la ciudad de Riobamba, el cual presentaba un volumen de precipitación de 26 milímetros en un periodo de 27 horas, generando, según los resultados de la modelización: un caudal pico de 2.7 (m<sup>3</sup>/s); el segundo escenario representaba una tormenta de crecida considerando un periodo de retorno de 50 años, teniendo este un volumen 39.20 milímetros en 4 horas de precipitación, obteniéndose un caudal pico de 30.4 (m<sup>3</sup>/s). Si bien los volúmenes de precipitación de ambos eventos no varían en gran medida, se puede observar que los caudales sí tienen una diferencia considerable, eso es debido al tiempo de duración de la tormenta de diseño de 50 años, concentrando el volumen en un periodo más corto y generando una respuesta más rápida que deriva en un caudal más torrencioso.

Posteriormente se implementó una modelización hidráulica 1D trabajando con los caudales picos obtenidos de los resultados de la simulación hidrológica. Complementariamente se implementó un modelo 2D. En ambos casos, se obtuvieron mapas de inundación, demostrando que el sector norte de la ciudad de Riobamba existe un alto grado de peligro ante inundaciones, los sectores Ubicados entre la Av. Panamericana, Manuel de Ibarra colindante con la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, como se vio tras el evento del 02 de marzo de 2021.

La simulación del evento del 02 de marzo muestra que el agua, al no poder continuar su flujo natural, debido al embaulamiento de la quebrada en una tubería corrugada S/N, que además se encuentra obstruida por una gran cantidad de desperdicios y sólidos, invade la vía y continua su flujo a través de esta como si de un canal se tratara. Alcanzando velocidades de hasta 1.6 m/s, lo que deriva en erosión y arrastre de materiales, siendo una de las principales causas del mal estado de las vías de esa zona.

El escenario es más preocupante al considerar el caudal obtenido con la tormenta de retorno de 50 años, observándose que alcanzan velocidades promedio de aproximadamente 3 m/s. Lo que significa un aumento en los niveles de erosión, arrastre de material más grande, como vehículos, pudiendo producir mayores daños a la comunidad, inclusive pérdidas de vidas humanas.

Se pudo apreciar también, que el modelo 2D muestra resultados más acordes a la realidad, debido su conceptualización en malla, que permite una simulación más realista del flujo, además de considerar la variación temporal del caudal a través del tiempo. Pudiendo considerarse a esta como la alternativa adecuada para simulación de eventos similares en zonas urbanas.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda a las autoridades locales una actualización de los modelos de elevación digital de la ciudad, mediante la aplicación de tecnologías remotas como drones, sin dejar de lado la información in-situ. Lo cual facilitaría en un futuro, la realización de análisis como los del presente estudio. Principalmente en las áreas identificadas como zonas de mayor afectación en las conclusiones de este estudio.

De igual forma, se sugiere a expertos de las diferentes unidades del GAD Municipal de Riobamba, realizar estudios de este tipo en las quebradas locales, previos a la planificación del uso del suelo, ya sea para la construcción de infraestructura pública como vías, o infraestructura particular como residencias, a fin de evitar problemas futuros.

En las zonas con presencia de quebradas, que actualmente ya se encuentran afectadas por este tipo de inconvenientes, se debería considerar la implementación de sistemas de alerta temprana, con el objetivo de tomar las medidas necesarias para salvaguardar la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Al Amin, M. ., Ilmiaty, R. ., & Marlina, A. (2020). Flood Hazard Mapping in Residential Area Using Hydrodynamic Model HEC-RAS 5.0. *Geoplanning*, 7(1), 25–36.
- Aragón, J., De Luna, F., Vélez, L., Fuentes, O., & Rubio, H. (2017). La Modelación Numérica en Hidráulica. Una Herramienta en la Planeación del Territorio. *L'esprit Ingénieux*, 7(1). <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1370%0A>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2012). Iber — River modeling simulator tool. *Elservir Doima*, 30(1), 1–10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. *Universidad Autónoma Metropolitana*, 288 págs.
- Buendia, C., Bussin, G., Tusset, J., Vericat, D., Sabater, S., Palau, A., & Battalla, R. . (2015). Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.005>
- Cardena, M., Santillan, L., Brito, M., Orejuela, J., & Rosero, C. (2018). *Modelación de base de la distribución temporal de evento de lluvia intensa ocurrido sobre un área de suelo en la Quebrada de Cunduana, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo*. Revista Caribeña de Ciencias Sociales. //www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/distribucion-temporal-lluvia.html
- Cardenas, M. C., & Santillan, L. M. (2018). *Modelación de bases de la distribución temporal de un evento de lluvia intensa ocurrido sobre la quebrada de Cunduana, Provincia de Chimborazo, Ciudad Riobamba*. [Tesis de titulación]. Escuela Politecnica Superior del Chimborazo.
- Castro, M., Hidalgo, X., & Poveda, R. (2017). Sobre la modelación hidráulica en obras de saneamiento básico. *Over the Rim*, 1, 191–199.
- Cea, L., & Bladé, E. (2008). Modelación matemática en lecho fijo en flujo de ríos. Modelo 1D y 2D ren régimen permanente y variable. *Jornada Técnica Sobre Hidráulica Fluvial, CEDEX-Mini*.
- Diario de Riobamba. (2021, March 02). *Plan emergente ante lluvias*. <https://www.facebook.com/maltemporal>
- Diez, A., Laín, L., & Llorente, A. (2008). Metodologías y procedimientos para análisis de la peligrosidad por avenida e inundaciones. In *Mapas de peligrosidad por avenida e inundaciones* (1st ed., pp. 32–34). Instituto geológico y minero de España.
- GADM Riobamba. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Administración (2014-2019)
- GADP Lican. (2015). *Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Lican*. Centro de estudios para la gestión pública.
- García, D. (2018). *Factores de riesgo de la quebrada de Cuanduana sobre zonas de expansión urbanas de Riobamba* [Tesis de titulación] Universidad Nacional de Chimborazo.

- Garzón, C., Gonzáles, E., & Mafla, F. (2018). Estado del arte de modelos Hidrológicos. *Boletín Informativo CEI*, 116–117.  
<http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/1667>
- Gavilán, S. (2019). *Modelado del Balance hídrico a partir de datos satelitales y meteorológicos para el análisis de los flujos de los flujos superficiales del ciclo Hidrológico*. [Tesis de titulación] Universidad Nacional de la Plata.
- González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J., & López, J. (2012). Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona. *Obras y Proyectos*, 12, 15–30. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200002>
- Granado, I. (2016). *Modelado hidrodinámico y de la calidad en la bahía de Santander*. [Tesis de maestría] Universidad de Catambria.
- Hamdan, A. N. ., Almuktar, S., & Scholz, M. (2021). Rainfall-Runoff Modeling Using the HEC-HMS Model for the Al-Adhaim River Catchment, Northern Iraq. *Hydrology*, 8(58).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/hydrology8020058>
- Iacobellis, V., Castorani, A., Di Santo, A. R., & Gioia, A. (2015). Rationale for flood prediction in karst endorheic areas. *Journal of Arid Environments*, 112(PA), 98–108.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.018>
- INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación* (Vol. 2, p. 283).
- Larrea, P. (2018). *Informe del proceso de rendición de cuentas*. Recuperado [ 03 de diciembre del 2021] <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Informe-Narrativo-Z3.pdf>
- Márquez, C. (2016, March 29). *En Riobamba temen el colapso de una quebrada*.  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/riobamba-colapso-quebrada-lluvias-delizamientos.html>
- Márquez, C. (2021, March 12). *Intensa lluvia inundó las calles de nueve barrios de Riobamba*.  
<https://n9.cl/vodg9>
- Montalvo, C. (2021). Introducción a la Hidrología. *Hidrología Universidad Nacional de Chimborazo*, 33.
- Navara, G., Adugna, T., & Gudu, F. (2020). Rainfall Runoff modeling using HEC-HMS: The case of awash Bello Sub-Catchment, upper awash basin, Ethiopia. *International Journal of Enviromental*, 9(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3126/ije.v9i1.27588>
- Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Labaque, M., & Díaz, M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del Río Ctalamochita, Provincia de Córdoba. *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(2), 7.
- OMM. (2014). Atlas de la mortalidad y las pérdidas económicas provocadas por fenómenos

- meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos. 998.  
<https://public.wmo.int/es/media/press-release/ommcreducl---atlas-de-la-mortalidad-y-las-perdidas-economicas-provocadas-por>
- Pascual, J., & Díaz, M. (2016). Definiciones y características de los modelos hidrológico. In *Guía Práctica sobre la modelación hidrológica y del modelo Hec-HMS* (p. 15).
- Pinos, J., Timbe, L., & Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación de riesgos de Inundación fluvial: revisión de Literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *MASKANA*, 8(2).
- Radio Mundial. (2015). *Fuerte temporal superó instalaciones de alcantarillado y generó serias afectaciones en zona norte de Riobamba*.
- Rifo, C. (2015). *Modelación hidrodinámica del estuario del río Maquito mediante la herramienta computacional DELFT-FLOW3D*. [Tesis de Titulación] Universidad Católica de la Santísima Concepción.
- Rincon, J., Pérez, M., Delfin, G., Freitez, C., & Martínez, F. (2017). Análisis comparativo entre lo modelos Hec-Ras e Iber en la evaluación hidráulica de puentes. *Revista Gaceta Técnica*, 17(1), 9–28.
- Roselló, M. J. P., Barrionueno, J. F. S., & Prados, F. C. (2017). Cartografía de la vulnerabilidad del territorio frente al riesgo de inundación. Propuesta adaptada a la directiva europea de inundaciones y normativas derivadas. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2017(75), 341–372. <https://doi.org/10.21138/bage.2504>
- Salas, M., & Jimenez, M. (2004). *Inundaciones* (SEGOB (ed.)).
- Sanchez, J. (1974). Clasificación de modelos Hidrológicos. In *Modelos Matemáticos en Hidrología* (pp. 13–19). SCM.H.
- SENPLADES. (2017). *Secretaría Técnica de Planificación*.  
<https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/EcuandorPlanNacionalTodaUnaVida20172021.pdf>
- SIGTIERRAS-MAG. (2020). *Uso del suelo de la Cuenca Quebrada Cunduana*. Recuoerado [29 de agosto del 2021].
- UNESCO, SIAAP, & ARCEUA. (2019). *Agua, Megaciudades y Cambio Climático* (Dragana (ed.); 7th ed.).
- US Army Corps of Engineers. (2020). *HEC-RAS (Versión 6.0)[Software]*.  
[hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx](http://hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx)
- Vergara, M. del C., Ellis, E., Alarcón, L. del C., & Galván, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *SciELO*, 36, 45–69.
- Villegas, P. (2017). *Método del número de la Curva SCS*. Recuperado [18 de octubre 2021].<https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>
- Villón, M. (2014). Introducción. In T. de C. Rica (Ed.), *HEC-RAS* (1st ed., p. 752).
- Yara, F. (2019). *Estudio hidráulico del meandro del río Magdalena, municipio de La Dorada Caldas*. [Tesis de maestría] Universidad Nacional de Colombia.

## ANEXOS

### *Anexo 1 Parámetros fisiográficos, Cuenca de la Quebrada Cunduana*

<b>Símbolo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
A	Área	15.673317	Km <sup>2</sup>
P	Perímetro	23.406569	Km
L	Longitud	9.169091	Km
W	Ancho	1.70936432	Km
Ff	Factor de forma	0.1864268	(-)
Kc	Índice de Gravelius	1.6678323	(-)

### *Anexo 2 Parámetros geomorfológicos, Cuenca de la Quebrada Cunduana*

<b>Símbolo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Hmín	Cota mínima	2877	msnm
Hmáx	Cota máxima	3551	msnm
Hm	Altura media	3142	msnm
S	Pendiente de la Cuenca	7.35	%
Cm	Coefficiente de masividad	0.20	m/km <sup>2</sup>

**Anexo 3** *Parámetros del sistema de drenaje, Cuenca de la Quebrada Cunduana*

<b>Símbolo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Oc	Orden de corrientes	2	(-)
Rb	Relación de bifurcación	2	(-)
LR	Longitud del río principal	8.52562504	km
Ltrib	Longitud de ríos tributarios	6.28794	km
Lt	Longitud total de la red de drenaje	14.81357	km
Dd	Densidad de drenaje	0.94514566	km/km <sup>2</sup>
Es	Extensión media del escurrimiento superficial	0.62314966	km
Fr	Frecuencia de ríos	0.001	Nºríos/km <sup>2</sup>
Ct	Coefficiente de torrencialidad	0.00038	Nºríos/km <sup>2</sup>
tc	Tiempo de concentración	56.35	min
Sr	Pendiente media del cauce	7.906	m/m

#### Anexo 4 Datos de precipitación

	M1036	
	Automática	Agrometeorológica
20/02/2021	3.6	4.2
21/02/2021	0	4.2
22/02/2021	3.8	3.8
23/02/2021	0	3.8
24/02/2021	0.5	1.5
25/02/2021	1.7	1.5
26/02/2021	0.3	0.4
27/02/2021	0.1	0.4
28/02/2021	1.4	0.2
1/3/2021	14.2	16.3
2/3/2021	26	24.8
3/3/2021	12	13.9
4/3/2021	9.7	9.6
5/3/2021	2.3	2.3
6/3/2021	0	0
7/3/2021	0	0
8/3/2021	0.1	0.1
9/3/2021	0	1.1
10/3/2021	8.9	8.9
11/3/2021	3	0.7
12/3/2021	3.7	5.7
13/03/2021	1	1.8
14/03/2021	12.1	12.8
15/03/2021	0.5	0.4
16/03/2021	0.7	0.9
17/03/2021	20.9	20.8
18/03/2021	2.3	1.3
19/03/2021	19.8	20.9
20/03/2021	0	0

**Anexo 5** Precipitación para un periodo de retorno de 50 años empleando curvas IDF  
M1036

<b>k</b>	<b>t</b>	<b>i</b>	<b>i+</b>	<b>b</b>	<b>Σbj</b>	<b>P[mm]</b>
1	5	166.09	166.09	166.09	166.09	13.84
2	10	119.62	239.24	73.15	239.24	6.10
3	15	98.72	296.17	56.93	296.17	4.74
4	20	86.15	344.61	48.44	344.60	4.04
5	25	77.51	387.57	42.96	387.56	3.58
6	30	70.09	420.53	32.96	420.53	2.75
7	35	61.59	431.15	10.62	431.15	0.89
8	40	55.07	440.57	9.42	440.56	0.79
9	45	49.89	449.05	8.48	449.04	0.71
10	50	45.68	456.77	7.72	456.7	0.64
11	55	42.17	463.87	7.10	463.86	0.59
12	60	39.20	470.44	6.58		0.55
						39.20

**Anexo 6** Grupo hidrológico del suelo

<b>Tipo</b>	<b>Textura</b>	<b>Características</b>	<b>Velocidad</b>
A	Arenosa	Alta capacidad de infiltración > 76mm/h	Alta
B	Areno-Limoso Franco arenoso Franco Franco Arcillosa	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Moderada
C	Franco limosa Franco-Arcillo- Limoso Franco-Limo	Capacidad de Infiltración 36-13 mm/h	Lenta
D	Arcilloso Arcillosa	Capacidad de infiltración <13 mm/h	Muy lenta

**Fuente:** (Villegas, 2017)

**Anexo 7** *Calculo para obtención del número de la Curva por método SCS.*

<b>A</b>		<b>B</b>		<b>C</b>		<b>D</b>	
77.00	4.61	85.00	5.09	90.00	5.39	92.00	5.51
72.00	45.99	81.00	1.74	88.00	56.21	91.00	58.13
98.00	0.07	98.00	0.07	98.00	0.07	98.00	0.07
39.00	8.92	61.00	13.95	74.00	16.92	80.00	18.29
25.00	1.47	55.00	3.24	70.00	4.13	77.00	4.54
39.00	0.18	61.00	0.28	74.00	0.34	80.00	0.37
39.00	0.33	61.00	0.51	74.00	0.62	80.00	0.67
	61.58		74.89		83.68		87.58
	0.00		74.89		0.00		0.00
						NC	74.89

**Anexo 8 Series de tiempo del hidrograma de 2 de marzo del 2021**

Time-Series Results for Subbasin "Desague Cunduana"

Project: Quebrada Cunduana Simulation Run: 02-03-2021  
 Subbasin: Desague Cunduana

Start of Run: 02mar.2021, 00:00 Basin Model: Micro cuenca Cunduana  
 End of Run: 03mar.2021, 05:00 Meteorologic Model: 02-03-2021  
 Compute Time: 31ene.2022, 11:58:02 Control Specifications: 02-03-2021

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
02mar.2021	00:00				0,0	0,0	0,0
02mar.2021	01:00	0,80	0,76	0,04	0,1	0,0	0,1
02mar.2021	02:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	03:00	0,20	0,19	0,01	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	04:00	0,40	0,38	0,02	0,1	0,0	0,1
02mar.2021	05:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	06:00	0,10	0,10	0,01	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	07:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	08:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	09:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	10:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	11:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	12:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	13:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
02mar.2021	15:00	13,20	12,54	0,66	2,0	0,0	2,0
02mar.2021	16:00	7,60	6,93	0,67	2,7	0,0	2,7
02mar.2021	17:00	0,70	0,59	0,11	1,2	0,0	1,2
02mar.2021	18:00	0,50	0,41	0,09	0,6	0,0	0,6
02mar.2021	19:00	0,70	0,57	0,13	0,5	0,0	0,5
02mar.2021	20:00	0,60	0,48	0,12	0,5	0,0	0,5
02mar.2021	21:00	0,20	0,16	0,04	0,3	0,0	0,3
02mar.2021	22:00	0,30	0,24	0,06	0,3	0,0	0,3
02mar.2021	23:00	0,70	0,55	0,15	0,5	0,0	0,5
03mar.2021	00:00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,0	0,2
03mar.2021	01:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
03mar.2021	02:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
03mar.2021	03:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

## Anexo 9 Serie de tiempo del hidrograma de 50 años de periodo de retorno

Time-Series Results for Subbasin "Desague Cunduana"

Project: Quebrada Cunduana Simulation Run: Run 1  
Subbasin: Desague Cunduana

Start of Run: 01ene.2050, 00:00 Basin Model: Micro cuenca Cunduana  
End of Run: 01ene.2050, 04:00 Meteorologic Model: Evento 1  
Compute Time: 31ene.2022, 12:18:41 Control Specifications: Simulacion 01

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene.2050	00:00				0,0	0,0	0,0
01ene.2050	00:05	0,59	0,56	0,03	0,0	0,0	0,0
01ene.2050	00:10	0,71	0,67	0,04	0,0	0,0	0,0
01ene.2050	00:15	0,88	0,84	0,04	0,1	0,0	0,1
01ene.2050	00:20	3,58	3,40	0,18	0,2	0,0	0,2
01ene.2050	00:25	4,74	4,51	0,24	0,5	0,0	0,5
01ene.2050	00:30	13,84	12,60	1,24	1,3	0,0	1,3
01ene.2050	00:35	6,10	4,61	1,49	3,0	0,0	3,0
01ene.2050	00:40	4,04	2,75	1,29	6,0	0,0	6,0
01ene.2050	00:45	2,75	1,75	1,00	10,4	0,0	10,4
01ene.2050	00:50	0,79	0,48	0,30	15,9	0,0	15,9
01ene.2050	00:55	0,64	0,39	0,25	21,6	0,0	21,6
01ene.2050	01:00	0,55	0,33	0,22	26,3	0,0	26,3
01ene.2050	01:05	0,00	0,00	0,00	29,4	0,0	29,4
01ene.2050	01:10	0,00	0,00	0,00	30,4	0,0	30,4
01ene.2050	01:15	0,00	0,00	0,00	29,7	0,0	29,7
01ene.2050	01:20	0,00	0,00	0,00	27,5	0,0	27,5
01ene.2050	01:25	0,00	0,00	0,00	24,1	0,0	24,1
01ene.2050	01:30	0,00	0,00	0,00	20,3	0,0	20,3
01ene.2050	01:35	0,00	0,00	0,00	16,6	0,0	16,6
01ene.2050	01:40	0,00	0,00	0,00	13,4	0,0	13,4
01ene.2050	01:45	0,00	0,00	0,00	10,8	0,0	10,8
01ene.2050	01:50	0,00	0,00	0,00	8,6	0,0	8,6
01ene.2050	01:55	0,00	0,00	0,00	6,8	0,0	6,8
01ene.2050	02:00	0,00	0,00	0,00	5,5	0,0	5,5
01ene.2050	02:05	0,00	0,00	0,00	4,4	0,0	4,4
01ene.2050	02:10	0,00	0,00	0,00	3,5	0,0	3,5
01ene.2050	02:15	0,00	0,00	0,00	2,8	0,0	2,8

## Anexo 10 Coeficiente de Manning empleados en la modelación 1D

Tramo	Margen		
	Derecho	Central	Izquierdo
1	0.5	0.35	0.5
2	0.3	0.3	0.3
3	0.16	0.16	0.16

Nota: Los valores son tomados de (US Army Corps of Engineers, 2020) para suelos ;1)

Vegetación arbustiva baja y lechos de río irregular, 2) Suelos irregulares, 3) Superficies de hormigón.

**Anexo 11** *Erosión del suelo en la Av. Esquimales posterior al evento del 2 de marzo del 2021*



**Anexo 12** *Acumulación de sedimentos arrastrados posterior al evento del 2 de marzo del 2021*



**Fuente:** *(Diario de Riobamba, 2021)*