



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

**Influencia Del Cambio Climático Sobre El Régimen De Crecidas En La  
Quebrada De Cundwana**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Alcocer Cabezas, Karen Alejandra  
Montes Leones, Lenny Thalia**

**Tutor:**

**Ing. María Gabriela Zúñiga**

**Riobamba, Ecuador 2023**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Karen Alejandra Alcocer Cabezas**, con cédula de ciudadanía **0650007198** y **Lenny Thalia Montes Leones**, con cédula de ciudadanía **1500725062**, autoras del trabajo de investigación titulado: **Influencia Del Cambio Climático Sobre El Régimen De Crecidas En La Quebrada De Cunduana**, 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, 27 de febrero de 2023.

---

Karen Alejandra Alcocer Cabezas

C.I: 0650007198

---

Lenny Thalia Montes Leones

C.I: 1500725062

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Ing/Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez**, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “**Influencia Del Cambio Climático Sobre El Régimen De Crecidas En La Quebrada De Cunduana**”, bajo la autoría de Karen Alejandra Alcocer Cabezas y Lenny Thalia Montes Leones; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 27 días del mes de febrero de 2023.



---

Ing/Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez  
C.I: 0604004945

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Influencia Del Cambio Climático Sobre El Régimen De Crecidas En La Quebrada De Cunduana, presentado por Karen Alejandra Alcocer Cabezas, con cédula de identidad número 0650007198 y Lenny Thalia Montes Leones 1500725062 , bajo la tutoría de Mgs. María Gabriela Zúñiga Rodríguez; 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 24 de marzo de 2023.

Alfonso Arellano, Mgs.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Mauro Jiménez, Msc.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Nelson Patiño, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





# CERTIFICACIÓN

Que, **ALCOCER CABEZAS KAREN ALEJANDRA** con CC: **0650007198** y **MONTES LEONES LENNY THALIA** con CC: **1500725062**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RÉGIMEN DE CRECIDAS EN LA QUEBRADA DE CUNDUANA"**, cumple con el 2 %, 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, 16 de marzo de 2023

Ing./Mgs. María Gabriela Zúñiga  
**TUTOR(A)**

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera especial este logro a Dios y a mis padres Fabian y Nancy, quienes han velado por mi bienestar y educación, por ser mi mayor motivación a lo largo de todos mis estudios y sobre todo por depositar su confianza en cada uno de mis retos sin dudar de mis capacidades.

A mis hermanos Evelyn y Joseph por ser una parte fundamental en mi vida, por brindarme siempre su apoyo ante cualquier decisión y estar en los buenos y malos momentos de manera incondicional.

A mis amigos y todas aquellas personas especiales, que me acompañaron durante la etapa universitaria, y aportaron a mi formación profesional y como ser humano.

*Karen Alcocer*

## **DEDICATORIA**

A Dios y al Señor de la Justicia por reflejar todo su amor hacia mí con mi madre Elizabeth el pilar más grande de la vida, que a través de su amor, bondad, nobleza y carisma me ha permitido alcanzar grandes metas. A mi motivación más grande mis hermanos Dylan y Leyre, con esfuerzo y dedicación todos los sueños se cumplen.

A Daniel por todo el amor y apoyo incondicional brindado durante esta etapa, por sus palabras de aliento y creer en mí.

A mi tía Paola, por sus consejos y el impulso necesario para continuar. A mis ángeles Julio y Catalina, por creer en mí desde el día cero, llenarme de bendiciones y coraje para poder culminar esta etapa.

A mis amigos, porque sin ustedes todo esto no hubiera sido lo mismo y a todas las personas que nunca dudaron de mis capacidades.

***Thalia Montes***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría y templanza en esta etapa, a nuestros padres por ser nuestra motivación constante y apoyo incondicional, a nuestros hermanos por sus palabras de aliento. A nuestra querida Alma Mater la Universidad Nacional de Chimborazo y la Carrera de Ingeniería Civil por abrirnos las puertas y mediante sus docentes proyectar en nosotras todos sus conocimientos. Nuestro sincero agradecimiento al Ing. Carlos Montalvo por brindarnos su tiempo, cooperación y guía durante este proyecto, a nuestra tutora Ing. María Gabriela Zúñiga y todas aquellas personas que han hecho que esta etapa sea inolvidable y han contribuido a nuestro desarrollo como seres humanos.

¡Gracias!

***Karen y Thalia***

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	16
Antecedentes .....	16
Problema.....	17
Justificación.....	18
Objetivos .....	19
Caso de estudio.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
Agua en la tierra .....	22
Inundaciones urbanas .....	23
Cambio Climático .....	24
Modelos Hidrológicos .....	26
Método SCC del número de la curva .....	27
Hec-hms .....	27
Modelo Hidrodinámico Unidimensional Hec-ras .....	29
Modelo Hidrodinámico Bidimensional Iber .....	30
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	34
Construcción de Curvas IDF .....	35
Construcción de Tormentas de Diseño.....	37
Modelación Hidrológica.....	38
Modelación Hidráulica.....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
Curvas IDF .....	43
Tormentas de Diseño.....	45
Modelación Hidrológica.....	46
Modelación Hidráulica.....	48

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
CAPÍTULO VI. PROPUESTA .....	56
Propuestas.....	56
BIBLIOGRAFÍA .....	57
ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades Principales de la Cuenca de Cunduana .....	21
<b>Tabla 2</b> Ecuaciones de Intensidad.....	43
<b>Tabla 3</b> Intensidades, ejemplo: T= 50 años, t=30 min.....	45
<b>Tabla 4</b> Resumen de caudales máximos, modelación hidrológica. ....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación de la Quebrada de Cunduana. ....	21
<b>Figura 2</b> Esquematación Marco Teórico. ....	22
<b>Figura 3</b> Representación esquemática de la complejidad del ciclo hidrológico.....	23
<b>Figura 4</b> Metodología de la investigación .....	34
<b>Figura 5</b> Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado para el escenario RCP 8.5, con respecto al periodo de referencia 1981-2005 .....	36
<b>Figura 6</b> Shapefile de la delimitación de la cuenca en estudio.....	39
<b>Figura 7</b> Geometría de la cuenca y condición de entrada.....	40
<b>Figura 8</b> Ubicación de la condición inicial de salida.....	41
<b>Figura 9</b> Uso de Suelo .....	42
<b>Figura 10</b> Curvas IDF sin Cambio Climático.....	44
<b>Figura 11</b> Curvas IDF con Cambio Climático.....	44
<b>Figura 12</b> Comparación de la tormenta de diseño actual y futura considerando CC para un período de retorno de 50 años.....	46
<b>Figura 13</b> Comparación de hidrogramas (condición normal vs condición con CC).....	47
<b>Figura 14</b> Mapa de tirantes máximos sin Cambio Climático .....	49
<b>Figura 15</b> Mapa de tirantes máximos con escenarios RCP 8.5 de Cambio Climático. ....	49
<b>Figura 16</b> Diferencia de áreas de inundación. ....	50
<b>Figura 17</b> Diferencia de tirantes entre la situación actual y futura. ....	51
<b>Figura 18</b> Mapa de velocidades máximas sin Cambio Climático. ....	52
<b>Figura 19</b> Mapa de velocidades máximas con Cambio Climático Escenario RCP 8.5.....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Factor de Cambio Climático RCP 8.5 .....	62
<b>Anexo 2</b> Precipitación máxima por año sin Cambio Climático .....	62
<b>Anexo 3</b> Análisis de Gumbel por año sin Cambio Climático .....	63
<b>Anexo 4</b> Precipitación máxima por año con Cambio Climático .....	64
<b>Anexo 5</b> Análisis de Gumbel por año con Cambio Climático .....	65
<b>Anexo 6</b> Hidrogramas de diseño .....	65
<b>Anexo 7</b> Condiciones Iniciales.....	66
<b>Anexo 8</b> Modelo Digital del Terreno en Iber .....	66

## RESUMEN

La quebrada de Cunduana ubicada en la parroquia Licán perteneciente a la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, se ha visto afectada por fuertes condiciones climáticas y por la intervención del cauce natural del agua. Esto podría incrementarse si se consideran los efectos del Cambio Climático sobre el régimen de crecidas en la quebrada de Cunduana. Los estudios realizados en el Ecuador acerca del Cambio Climático son pocos y la información de anuarios meteorológicos dificultan la estimación de resultados. Es por ello que en este estudio se implementaron modelos hidrológicos e hidráulicos para simular las condiciones locales, para lo cual se implementaron escenarios de Cambio Climático para analizar cuáles son las posibles condiciones futuras en la zona de la quebrada, con el fin de identificar el efecto del clima y así encontrar franjas de inundación futuras. Para ello, se generaron curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para identificar la situación actual y futura, mediante el uso de datos históricos obtenidos a partir de la estación agrometeorológica M1036 y los escenarios climáticos generados por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Posteriormente se realizó la modelación hidrológica e hidráulica usando el modelo hidrológico Hec-hms y el modelo hidráulico Iber junto al escenario climático RCP 8.5 dentro de un período de retorno de 50 años, obteniendo mapas de las nuevas franjas de inundación. Los resultados mostraron variaciones de hasta  $0.60 \text{ m}^3/\text{s}$  en caudal y  $0.90 \text{ m}$  en el tirante observado entre la situación actual y futura. Sin embargo, las zonas propensas a inundaciones no variaron tras la modelación, no obstante, los valores antes indicados, muestran un ligero incremento que podrían aumentar el riesgo actual sobre vidas humanas y pérdidas materiales ante eventos de crecidas. Por lo que, se espera que entidades de control puedan proponer planes de acción que ayuden a reducir los peligros provocados por este tipo de situaciones.

**Palabras claves:** Cambio Climático, Modelación Hidrológica, Modelación Hidráulica, Inundaciones.

## **ABSTRACT**

The Cunduana's ravine, located in the Lican parish belonging to Riobamba city, province of Chimborazo, has been affected by intense weather conditions and by the intervention of the natural water course. This could increase if weather change's effects on the flood regime in the Cunduana's ravine are considered. The studies carried out in Ecuador on weather change are few, and the information from meteorological yearbooks makes it challenging to estimate results. That is why in this study, hydrological and hydraulic models were implemented to simulate local conditions, for which weather change scenarios were implemented to analyze characteristics of possible future needs in the ravine area to identify the effect of the weather and thus find strips of future floods. For this, Intensity-Duration-Frequency curves were generated to determine the current and future situation using historical data obtained from the M1036 agrometeorological station and the weather scenarios developed by the Ministry of the Environment, Water and Ecological Transition. Afterward, the hydrological and hydraulic modeling was carried out using the Hec-hms hydrological model and the Iber hydraulic model together with the RCP 8.5 weather scenario within a return period of 50 years, obtaining maps of the new flood strips. The results showed variations of up to 0.60 m<sup>3</sup>/s in flow and 0.90 m in depth observed between the current and future situations. However, the areas prone to flooding did not vary after the modeling; nevertheless, the above values show a slight increase that could increase the real risk to human lives and material losses in flood events. Therefore, it is expected that the control entities can propose action plans that help to reduce the dangers caused by this type of situation.

**Keywords:** weather change, hydrological modeling, hydraulic modeling, floods.



Reviewed by:  
Mgs. Mario Salazar  
**ENGLISH PORFESSOR**  
**C.C 0604069781**

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCION.**

### *Antecedentes*

El agua es un recurso natural necesario para el desarrollo del planeta y el ser humano, la importancia de este líquido va más allá de ser necesario para la vida, pues el agua es el epicentro del desarrollo sostenible y fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y la supervivencia de los seres humanos (Naciones Unidas, 2022).

El agua está relacionada con todos los componentes del sistema climático, por lo que el Cambio Climático afecta al agua mediante diversos mecanismos (ONU, 2019). Uno de los mecanismos más importantes son los procesos causantes de crecidas como las precipitaciones intensas y prolongadas que se ven influenciadas por procesos climáticos, por la intervención humana en zonas inundables y la falta de planes de respuesta, es por ello que el agua y el Ciclo Hidrológico son considerados en los escenarios de adaptación al Cambio Climático, ya que las proyecciones indican que el CC aumentaría el riesgo de crecidas repentinas y de inundaciones en sectores urbanos (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018).

La influencia del Cambio Climático sobre las precipitaciones y los fuertes eventos de crecidas tiene como consecuencia el aumento al posible riesgo de inundaciones, considerándose un peligro entre los desastres naturales debido a que el 47% de los desastres naturales son causados por las inundaciones afectando a 2300 millones de personas.

Las fuertes precipitaciones causadas en el Ecuador si bien son producto del fenómeno del Niño y otros factores, se han incrementado debido a la influencia del CC sobre este fenómeno, lo que ha desencadenado que las precipitaciones sean más intensas,

poniendo en riesgo a la población y creando zonas vulnerables a inundaciones (Ministerio de Salud Pública, 2016).

Por ello, el estudio de los impactos del Cambio Climático sobre los ciclos de precipitaciones en el Ecuador es importante considerando la vulnerabilidad y riesgos de inundaciones que actualmente existen en ciertas poblaciones, a fin de desarrollar estrategias adecuadas de prevención y protección.

Actualmente el rápido desarrollo de las computadoras ha facilitado la elaboración de softwares de modelación numérica como The Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) que permite estimar los caudales que se pueden alcanzar en una cuenca a partir de la información de precipitaciones en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un evento de lluvia (López et al., 2012), y el modelo hidráulico Iber que permite la simulación del flujo del agua en dos dimensiones permitiendo identificar zonas vulnerables a inundaciones.

### ***Problema***

El incremento en la frecuencia de eventos de inundaciones se debe a varios factores, se destaca de ellos la ausencia de ordenamiento territorial, qué ha facilitado el deterioro de los cauces naturales, llanuras de inundación y los efectos del Cambio Climático sobre el ciclo hidrológico (Arreguín et al., 2016).

El porcentaje de ocurrencia de inundaciones entre los años 1995-2015 es del 43%, siendo este valor superior a otros desastres, a su vez el número de inundaciones aumentó a un promedio de 171 en el período 2005-2014 en donde su impacto generalmente golpea en los continentes de Asia y África, mientras que, en América del Sur en los primeros ocho meses del 2015, 820.000 personas se vieron afectadas por las inundaciones (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNISDR], 2015).

Debido a la ubicación del Ecuador en el planeta, este es susceptible al Cambio Climático, lo que es un reto para el país, ya que debe adaptarse a nuevas condiciones climáticas. La información sobre impacto del Cambio Climáticos en el Ecuador es escasa y además resulta difícil determinar con precisión las tendencias climáticas en cada una de las regiones del país (Armenta et al., 2016). Nuestro país se ve influenciado por distintas corrientes y complejas interrelaciones entre los sistemas meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos, generando fuertes eventos de precipitación que derivan en el desbordamiento de ríos, acumulación de lluvia e influencia de marea, siendo las inundaciones una de las grandes amenazas reportada en el país y la principal causa de muerte por amenazas hidrometeorológicas (Mena et al., 2021).

En Chimborazo el Cambio Climático ha afectado a las lluvias originadas por el invierno y el fenómeno de El Niño, sobre todo en cauces como el de la Quebrada de Cunduana en la Ciudad de Riobamba donde se han presentado múltiples eventos de desbordamiento en los últimos tiempos. Uno de los factores de riesgo más comunes en la zona de Cunduana es el desbordamiento e inundación de la quebrada del mismo nombre, provocados por las intensas precipitaciones a las cuales se ha visto afectada la provincia de Chimborazo, la cual ha tenido repercusiones en la calidad de vida de los habitantes afectando la infraestructura tanto de sus bienes inmuebles como de los servicios básicos. La población afectada no suele estar preparada o tener el conocimiento para sobrellevar las amenazas ya que no han recibido información por parte de las entidades de control de la ciudad (García, 2018).

### ***Justificación***

El gobierno del Ecuador está en constante trabajo para la conservación de la naturaleza, teniendo que enfrentar un fenómeno global como lo es el Cambio Climático.

Considerando que el clima regula las actividades agropecuarias, la oferta hídrica, la cobertura vegetal, el hábitat de especies animales y vegetales, los hábitos de las personas, y en casos de eventos extremos, incrementa la vulnerabilidad por el aumento de sequías, inundaciones y otros tantos relacionados con el estado del tiempo (Oviedo, 2010). La falta de estudio sobre el Cambio Climático ha afectado a la planificación y control de riesgos frente a inundaciones o desastres.

Si bajo las condiciones históricas del clima en la zona, las fuertes precipitaciones que provocan inundaciones son un problema constante, se debe considerar la manera en la que el calentamiento global afecta los patrones del clima local, ya que las consecuencias en la quebrada podrían empeorar, afectando la calidad de vida de los habitantes.

Por esta razón, la presente investigación busca implementar escenarios de CC mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulicos, con el fin de conocer cómo este fenómeno podría afectar a esta zona, y contribuir con información útil que podrá ser utilizada por entidades de control para el beneficio de la población local que se encuentran en situación de riesgo y vulnerabilidad

### ***Objetivos***

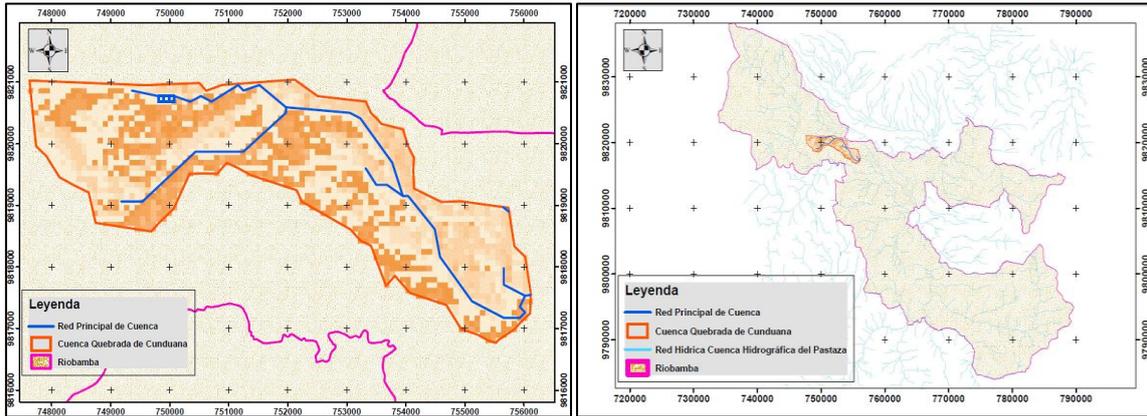
Identificar los posibles efectos del Cambio Climático sobre el régimen de crecidas en la Quebrada de Cunduana en Riobamba, implementando un modelo hidrológico e hidráulico para estimar los nuevos caudales y tirantes que podrían producirse en el cauce bajo eventos de inundación.

## **Objetivos Específicos**

- Construir curvas IDF (Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia) a partir de los registros de precipitación máxima histórica de la estación agrometeorológica M1036 de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Aplicar el escenario de Cambio Climático RCP 8.5 para determinar la variación que se produciría sobre las precipitaciones en la zona de la estación M1036.
- Implementar el modelo hidrológico de lluvia-escorrentía Hec-hms para obtener los posibles caudales alcanzados en un periodo de retorno de 50 años, con y sin los efectos del Cambio Climático.
- Implementar el modelo hidráulico en dos dimensiones Iber, para identificar las zonas vulnerables a inundación en los entornos urbanos cercanos a la Quebrada Cunduana considerando los caudales obtenidos anteriormente.
- Identificar las variaciones producidas por los efectos del Cambio Climático en la zona.

## ***Caso de estudio***

La Quebrada de Cunduana está situada en la parroquia Licán de la Ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo (Figura 1), la cual presenta suelos tipo Franco arenoso de estructura suelta (Cárdenas et al., 2018). Esta se define como una cuenca muy alargada e irregular dado los parámetros fisiológicos definidos por la Cuenca Hidrográfica del Río Pastaza, debido a estar ubicada entre las cotas 2877 msnm y 3551 msnm, podemos decir que se trata de una cuenca montañosa (Jácome, 2022).



**Figura 1** Ubicación de la Quebrada de Cunduana.

**Fuente:** (Jácome, 2022)

Los parámetros de la red de drenaje de la cuenca determinan que la densidad de drenaje es de 0.95 km/km<sup>2</sup>, con una torrencialidad baja de 0.00038 ríos/km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 56.35 minutos, tiempo que tardará en recuperar su caudal normal tras un evento de crecida (Jácome, 2022).

El área de estudio está determinada por el impacto que produce el desfogue de la cuenca, que afecta principalmente cuando se produce inundaciones causando deslizamientos y acumulación de agua. Según Márquez (2016), la quebrada mide tres metros de ancho y un metro y medio de profundidad en su tramo inicial, pero a medida que desciende su tamaño se reduce al punto de lucir como una especie de canaleta y se cierra en la carretera Panamericana Sur, afectando principalmente la avenida Monseñor Leónidas Proaño. En la Tabla 1 se presenta las principales propiedades de la cuenca.

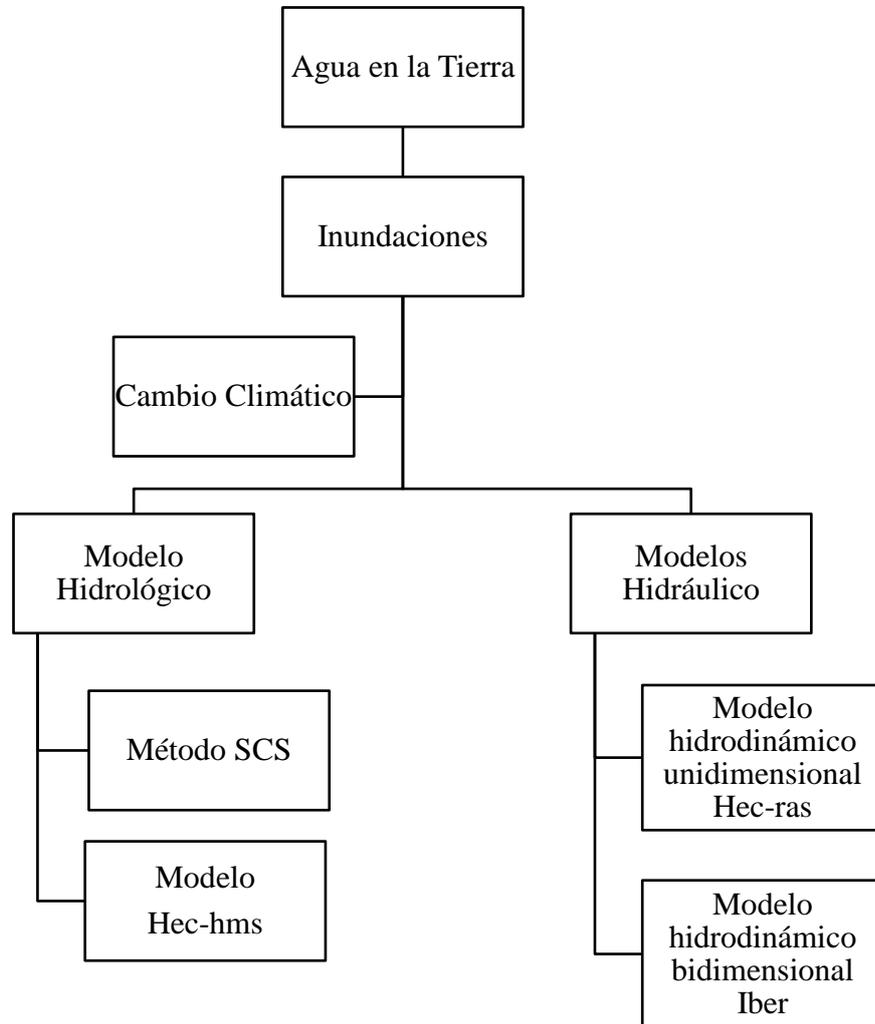
**Tabla 1** Propiedades Principales de la Cuenca de Cunduana

<b>Propiedades Principales de la Cuenca</b>	
Área de la cuenca	15.67 km <sup>2</sup>
Pendiente Media	7.91 m/m
Número de curva	74.89 (-)
Tiempo de concentración	56.35 min
Área de la zona de estudio	4.61 km <sup>2</sup>

**Fuente:** (Jácome, 2022)

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

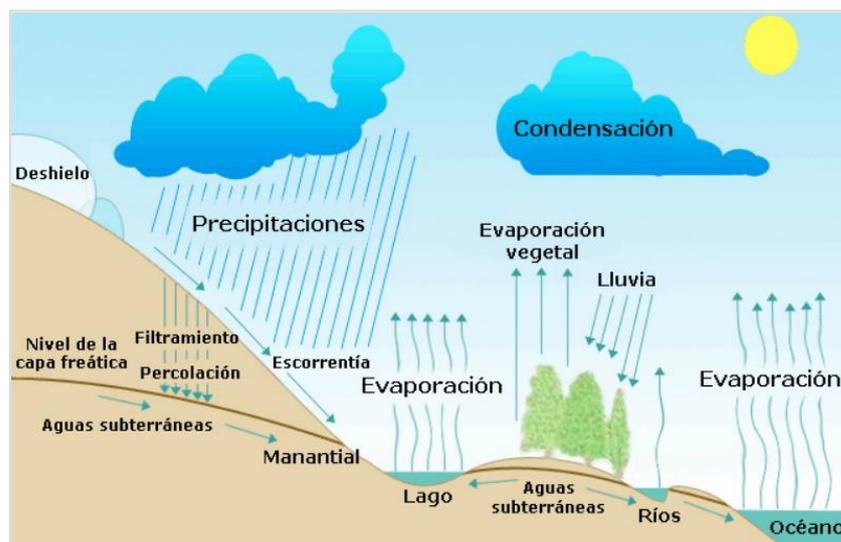
El esquema mostrado en la Figura 2 muestra el marco teórico de esta investigación.



**Figura 2** Esquemización Marco Teórico.

### *Agua en la tierra*

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de la vida y de las sociedades, el hombre ha venido invirtiendo tiempo y esfuerzo en estudiarlo (Montalvo, 2017). El agua es un recurso renovable pero finito que realiza un ciclo hidrológico, este un proceso complejo que incluye la precipitación, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración (Fernández, 2012).



**Figura 3** Representación esquemática de la complejidad del ciclo hidrológico.  
**Fuente:** (Montalvo, 2017)

El vapor de agua en la atmósfera se condensa en las nubes y se generan las precipitaciones, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo. Cuando esta llega al suelo, una parte recorre la superficie hacia la red hidrográfica y las extensiones de agua libre como lagos, mares y océanos, que se alimentan de la escorrentía. Así mismo, otra fracción se infiltra, ingresando en el suelo y el subsuelo suministrando a las aguas subterráneas que forman parte de la reserva de agua del suelo y los mantos acuíferos (Montalvo, 2017).

En el siglo XXI, el agua es considerada un recurso esencial para el mantenimiento de nuestra forma de vida y el abastecimiento de la población, sino también para desarrollo de las actividades económicas y otros muchos usos (Mediavilla, 2016).

### ***Inundaciones urbanas***

Las inundaciones urbanas son fenómenos naturales que son resultado tanto de eventos meteorológicos como hidrológicos extremos y de la falta de capacidad de los sistemas urbanos de drenaje (Jha et al., 2012).

Las lluvias de intensidades altas pueden provocar inundaciones, ya que la escorrentía que debería ser transportada supera la capacidad de los sistemas de drenaje para

abordar estos caudales. Por lo general el agua ingresa al sistema de alcantarillado en un lugar y reaparece en otro diferente. Otro factor a considerar es la inadecuada planificación del uso del suelo, debido a que las altas demandas de suelo y la presencia de asentamientos informales concurren a la obstrucción del camino natural del flujo de agua. Así mismo la modificación del uso y la cobertura del suelo alteran las propiedades hidráulicas del mismo (Jha et al., 2012). Es así como las inundaciones urbanas dan origen a una serie de catástrofes causantes de pérdidas materiales y humanas (Aragón & Quezada, 2014).

La ocurrencia de inundaciones en zonas urbanas desencadena mayores daños de los que hubiesen en zonas rurales, esto debido a la gran cantidad de infraestructura, bienes materiales y asentamientos de personas, lo que de manera general implica pérdidas económicas, pérdida de empleo y deficiencias en la salud de las personas que habitan lugares donde el drenaje no funciona adecuadamente (Jha et al., 2012).

### ***Cambio Climático***

Se define al Cambio Climático como el desequilibrio que se produce en el balance energético de la tierra provocado por procesos internos naturales o procesos antropogénicos constantes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013).

El calentamiento climático está asociado a las variaciones del ciclo y los sistemas hidrológicos presentando cambios en la temperatura, precipitación y las intensidades de las mismas (Bates et al., 2008).

En los últimos 25 años investigaciones del IPCC han confirmado los efectos del Cambio Climático en todo el mundo.

Algunos de estos incluyen: un aumento temperatura de 0,85°C entre 1880 – 2014, el aumento del nivel del mar de 19 cm de 1901 a 2010, una disminución de 1,07 a 106 km<sup>2</sup> del hielo ártico cada 10 años, la absorción de energía térmica por los océanos, el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, el aumento del 40% de la concentración de CO<sub>2</sub>, la acidificación de los océanos debido a la mayor absorción de CO<sub>2</sub>, la pérdida de ecosistemas, sequías más largas y precipitaciones intensas (Toulkeridis et al., 2020).

El aumento observado en el clima extremo según estas investigaciones es consistente con la probabilidad del peligro y el riesgo de inundación (Jha et al., 2012). Siendo probable que el Cambio Climático modifique la naturaleza, intensidad y magnitud de los fenómenos meteorológicos (Aragón & Quezada, 2014).

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos exponen a millones de personas y han reducido la seguridad hídrica, causando daños y pérdidas que con el paso del tiempo se hacen irreversibles, teniendo un mayor alcance y magnitud en sus daños (IPCC, 2013).

En Ecuador los principales efectos del Cambio Climático presentan estimaciones de 34.36% en sequías y un 21.41% de lluvias escasas pero intensas (Toulkeridis et al., 2020).

Por ende, es importante que en escalas de tiempo más largas se considere que el Cambio Climático podría desempeñar un papel aún más significativo, entonces es necesario tener presente las perspectivas a corto y a largo plazo al gestionar el riesgo de inundación.

## ***Modelos Hidrológicos***

Se puede definir un modelo hidrológico como una simplificación de un sistema natural, basados en balances de masa y energía, es un modelo desarrollado con la finalidad de representar la variabilidad espacial en suelos, vegetación y datos atmosféricos en los balances de agua y energía al interior de los sistemas hidrológicos, permitiendo estimar picos de escorrentía superficial, volúmenes de escorrentía, entre otros parámetros; agrupados en modelos basados en procesos físicos y modelos conceptuales (Jácome, 2022; Loaiza & Valentijn, 2011; Mendoza et al., 2002).

El modelo hidrológico funciona como un sistema que presenta la variabilidad espacial y la distribución lateral del agua superficial en base a la topografía local (Loaiza & Valentijn, 2011), estos se alimentan generalmente de información meteorológica observada como las series temporales de precipitación y temperatura, que forman parte de las variables temporales, permitiendo modelos lluvia escorrentía que produce la cuenca (Montalvo, 2017).

Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma o hidrograma de escurrimiento (Garzón et al., 2016).

Los modelos hidrológicos también permiten predecir los flujos al interior de los sistemas hidrológicos, lo cual es importante en la predicción de inundaciones y fenómenos violentos asociados a los flujos de agua, especialmente en materiales con un alto grado de meteorización.

### ***Método SCS del número de la curva***

Este es uno de los métodos más aplicados para la modelización de procesos de lluvia-escorrentía, planteado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), basado en un parámetro llamado Número de la Curva (CN), se trata de un método deducido de una numerosa serie de estimaciones realizadas por el SCS en base a datos de numerosas cuencas pequeñas experimentales.

Este método trata de estimar la escorrentía superficial partiendo de parámetros del suelo, como su cobertura vegetal, y su uso. El método presenta curvas numeradas en un rango del 0 al 100 donde el valor más bajo indica un volumen de precipitación mayor que se pierde y el valor más alto indica un valor de precipitación neta mayor que producirá un flujo superficial, estos dependen de factores que influyen la generación de escorrentía en la cuenca (López et al., 2012).

Para el cálculo del Número de la Curva se utilizan factores como la humedad inicial del suelo, la clasificación del suelo por características hidrológicas y el uso del suelo, valores que se pueden obtener de tablas (Montalvo, 2017).

Los estudios realizados por el SCS permiten relacionar la retención máxima potencial,  $S$ , con un parámetro de referencia empírico y adimensional CN, que se expresa como la siguiente ecuación:

$$S = 254 \left( \frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) \quad (1)$$

### ***Hec-hms***

Es un modelo lluvia escorrentía, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center HEC del U.S. Army Corps of Engineers (USACE), que está diseñado para simular un hidrograma de escorrentía que se produce en un punto de la red fluvial como resultado de

un evento de precipitación, a partir de una interfaz gráfica. Este permite simular eventos hidrológicos, lineales y semidistribuidos, tomando en cuenta parámetros de la cuenca como pérdidas por infiltración, zonas impermeables, etc.(Guaman, 2020).

Hec-hms, al igual que para los demás componentes del modelo, dispone de diferentes métodos para determinar el hidrograma de escorrentía directa, como lo es el modelo SCS y Soil Moisture Accounting, mismos que permiten modelar pérdidas y excesos de precipitación, flujo base y enrutamiento de inundaciones (Jácome, 2022).

Este programa realiza una simulación del hietograma de una cuenca junto con datos físicos para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas, es decir, caudales máximos y tiempos pico que parten de condiciones extremas de tormentas. También calcula las pérdidas por infiltración, el flujo base y la conversión en escorrentía directa. Entre los trabajos que realiza el programa se tiene la separación de la lluvia neta, cálculo de la escorrentía directa producida por la precipitación neta, cálculo del hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce y al final suma todos los caudales generados a lo largo del recorrido. Como resultado facilita en tablas y gráficos el hidrograma en la salida de la cuenca (Duque-Sarango et al., 2019).

En el punto de salida de la cuenca Hec-hms emplea el método SCS, para estimar el caudal máximo ( $Q_p$ ) (Ec. 2) en función del Área efectiva de la cuenca ( $A$ ) y el Tiempo pico ( $T_p$ ) (Ec. 3), los que están en función de duración de la lluvia ( $T_y$ ) y el tiempo de retardo de la cuenca ( $T_i$ ), donde el modelo lo calcula según la expresión de la ( Ec. 4), teniendo ( $L$ ) Longitud del cauce principal [m], ( $I$ ) Pendiente media del cauce [m/m], ( $CN$ ) número de la curva (González et al., 2012).

$$Q_p = \frac{2.08 A}{T_p} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{T_y}{2} + T_1 \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86CN)^{0.7}}{14104 CN^{0.7}I^{0.5}} \quad (4)$$

### ***Modelo Hidrodinámico Unidimensional Hec-ras***

Un modelo hidrodinámico resuelve para la hidrodinámica las ecuaciones de flujo variable del agua en lámina libre o ecuaciones bidimensionales de Saint Venant. Estas ecuaciones describen el flujo bidimensional no estacionario promediado verticalmente y representan los principios de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, y son obtenidas a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes-Reynolds bajo ciertas simplificaciones (Torres Bejarano et al., 2015).

Por otra parte, el modelado unidimensional tiene como objetivo representar el flujo principal del sistema en una dimensión. El modelado de inundaciones con este enfoque requiere datos de entrada como el Modelo de Elevación Digital del Terreno y las redes de superficie, extraída de forma manual o automática a partir de modelos DEM. Sin embargo, no es capaz de simular condiciones de flujo multidireccional, por ejemplo, cuando el flujo rebasa las aceras de la calle (Bulti & Abebe, 2020).

Hec-ras es el software que permite realizar el modelo hidrodinámico unidimensional, el cual modela flujos permanentes unidimensionales y bidimensional de diferencias finitas llegando a resultados sobre comportamientos de ríos o inundaciones (Jácome, 2022). Este modelo de base numérica que tiene en consideración la ecuación de energía (Ec.5), sabiendo que  $Y_1, Y_2$  son los tirantes de sección transversal;  $Z_1, Z_2$  las alturas del fondo en el canal principal, mientras que,  $V_1, V_2$  son las velocidades medias;  $a_1, a_2$  los coeficientes de velocidad;  $g$  la gravedad y  $h_e$  la energía perdida, considerando

pérdidas de energía del flujo de agua por fricción  $\Delta H$  como pérdida de carga (Ec.6)  
(Alcántara Boza & Castro Tenorio, 2021).

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta H \quad (5)$$

$$\Delta H = I * L_{12} + \Delta H_{local} \quad (6)$$

En el modelo, el flujo de agua tiene un comportamiento unidimensional para el tirante y la velocidad se asume que varía en dirección longitudinal del cauce, con un eje aproximadamente en línea recta y una velocidad constante a lo largo de la sección transversal (Ardiclioglu & Kuriqi, 2019), además se considera que se tiene como variables influyentes en inundaciones: la topografía, caudales máximos anuales y el coeficiente de rugosidad (Alcántara Boza & Castro Tenorio, 2021).

### ***Modelo Hidrodinámico Bidimensional Iber***

El modelado bidimensional del flujo superficial tiene como objetivo modelar la propagación del flujo superficial, teniendo en cuenta los dos componentes ortogonales del flujo, mediante mallas estructuradas o no estructuradas, para resolver la hidráulica usando ecuaciones de aguas poco profundas (Bulti & Abebe, 2020).

Para el caso de un modelo hidrodinámico bidimensional se tiene Iber, este es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios que permite, la simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales, evaluación de zonas inundable, cálculo de las zonas de flujo preferente, calculo hidráulico de encauzamiento, entre otros (Bladé et al., 2014).

Para resolver la hidrodinámica Iber, emplea ecuaciones que se deducen de dos leyes físicas de conservación elementales:

- 1 Conservación de la masa.
- 2 Conservación de la cantidad de movimiento.

Para lo cual estas leyes físicas se traducen en unas expresiones matemáticas conocidas como ecuaciones de Saint Venant en dos dimensionales, estas se obtienen a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes realizando dos pasos:

El primero en donde se obtiene el promedio temporal para filtrar las fluctuaciones turbulentas, con lo que se obtiene las ecuaciones de Reynolds y el segundo donde se estima un promedio en la profundidad para pasar de las ecuaciones tridimensionales a las ecuaciones bidimensionales.

La descomposición de Reynolds consiste en separar la velocidad instantánea  $u$  (Ec. 7) en la suma de la velocidad media  $u_m$  y unas fluctuaciones turbulentas  $u'$ :

$$u = u_m + u' \quad (7)$$

De manera que la velocidad media se puede entender como el promedio temporal de la velocidad instantánea en un cierto intervalo de tiempo

$$u_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u dt \quad (8)$$

Después de este proceso, las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones se pueden escribir como:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (h \overline{u'_x u'_x}) - \frac{\partial}{\partial y} (h \overline{u'_x u'_y}) \quad (10)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x} (h \overline{u'_x u'_y}) - \frac{\partial}{\partial y} (h \overline{u'_y u'_y}) \quad (11)$$

Donde, h= calado o profundidad de la lámina de agua, qx= caudal específico en x, qy= caudal específico en y, zb=cota de fondo, g= gravedad, tb,x= componente de la tensión tangencial que ejerce el fondo, tb,y= componente Y de la tensión tangencial que ejerce el fondo, p= densidad.

Así, la (Ec.9) representa la conservación de la masa, mientras que la (Ec. 10 y 11) representan la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento en las direcciones x e y respectivamente. De igual forma (Ec.10 y 11) representan como varían los caudales en función de las fuerzas que actúan, las cuales son:

- Fuerzas de inercia
- Fuerzas de presión
- Fuerzas de gravedad (a través de la pendiente del fondo)
- Fuerzas de rozamiento con los contornos

La formulación matemática del modelo Hec-ras en su condición de flujo no permanente y lecho fijo viene dada por el principio de conservación de la masa (continuidad) y el principio de conservación del momento, ambas en una dirección. Mientras que Iber la respuesta hidrodinámica viene dada por la resolución a través del método de los volúmenes finitos, de las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant bidimensionales). Es decir, se

resuelven las ecuaciones de conservación de la masa y de momento en las dos direcciones horizontales (Freitez & Martinez, 2017).

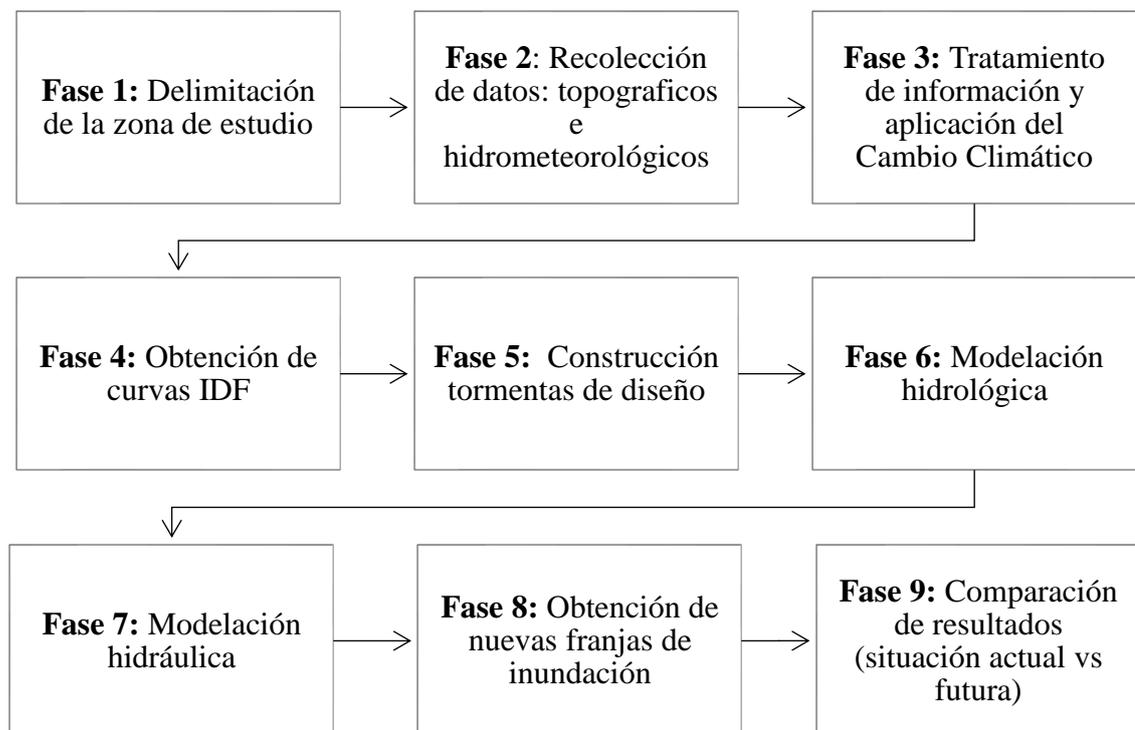
Así también, Hec-ras, incluye los datos generales, geométricos y de flujo mientras que en Iber es necesario importar un modelo digital del terreno, el cual contiene la estructura hidráulica (Freitez & Martinez, 2017).

Iber representa de mejor manera los resultados calculados respecto a los observados en comparación con Hec-ras; esto debido a que presenta propiedades de aguas poco profundas o flujos de superficie libre en aguas someras, con la relación de ancho-profundidad pequeña donde dominan los procesos bidimensionales y por lo tanto los resultados obtenidos tienen una mejor representación (Ochoa et al., 2016).

### CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

La presente investigación presenta un alcance exploratorio, dado que se debe recolectar información, para luego ser procesada y modelada mediante softwares como Hec-hms e Iber que permiten una mejor visualización de los resultados con la finalidad de proponer alternativas. Debido a que se realizan cálculos para medir las variables en estudio como la precipitación en función del tiempo se tiene un enfoque cuantitativo ya que estas se desarrollan en base a ecuaciones que permite simplificar la interpretación de los resultados, como también la implementación del Cambio Climático con un período de retorno de 50 años.

En la Figura 4, se muestra un diagrama de flujo con las actividades a realizar durante el desarrollo de esta investigación, para cumplir con los objetivos propuestos.



**Figura 4** Metodología de la investigación

Para la recolección de datos que serán utilizados en esta investigación, se tiene en cuenta la información espacial y temporal de la Quebrada de Cunduana, así también, es

necesario una recopilación histórica de datos para analizar la influencia a futuro y el cambio de las variables como precipitación y área de riesgo. Cabe recalcar que este trabajo de investigación se lo realizará partiendo de la tesis de Jácome (2022). El detalle de la información que será recopilada y solicitada, así como su procesamiento, validación y uso final, se detalla a continuación.

### ***Construcción de Curvas IDF***

Una curva IDF representa la intensidad de una lluvia (mm/h), para una determinada duración (h), ajustada a una probabilidad de ocurrencia o una frecuencia (años), es decir, un periodo de retorno, la relación de estas variables representa las curvas IDF mismas que pueden expresarse como ecuaciones.

Para la construcción de estas aplicaremos datos recolectados de los anuarios Meteorológicos del INAHMI, donde para la estación M1036 los datos disponibles van de septiembre de 1978 a junio de 2015, de los cuales en particular se usó la precipitación máxima en 24 horas. A través de una programación en Excel con las intensidades y duraciones respectivas a los años indicados se realizó un análisis de frecuencias para obtener curvas IDF mediante un ajuste en la función de Gumbel y de Regresión Logarítmica, ya que en base a varios estudios es la que mejor ajuste posee.

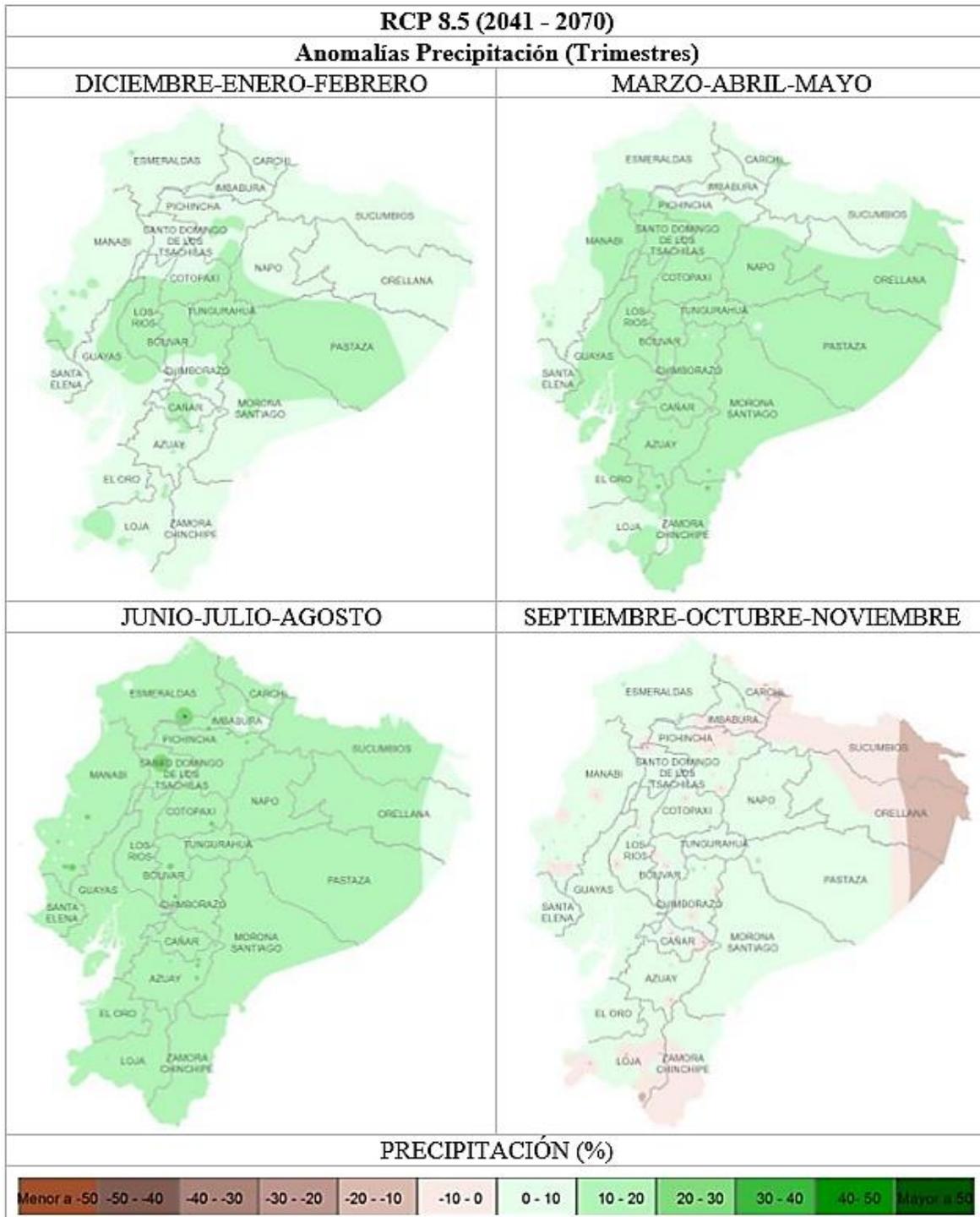
La función de Gumbel se puede definir con la siguiente expresión (Ec. 12):

$$F(X) = e^{-e^{-\frac{X-\mu}{\alpha}}} \quad (12)$$

Donde los parámetros estadísticos  $\alpha$ ,  $\mu$ , y  $x$  son la desviación y la media de los datos medidos.

Para la aplicación del CC, se realizaron 2 análisis en donde el primero se realizó con condiciones normales y el segundo en donde se aplica el escenario de CC

regionalizado RCP 8.5, para de esta manera obtener dos ecuaciones que expresen la precipitación efectiva normal y una segunda con las condiciones menos favorables.



**Figura 5** Distribución espacial del cambio de la precipitación proyectado para el escenario RCP 8.5, con respecto al periodo de referencia 1981-2005

**Fuente:** (Armenta et al., 2016)

En la Figura 5 encontramos los porcentajes de precipitación proyectados para el escenario RCP 8.5 del Ecuador en trimestres, mismos que fueron aplicados en los datos de precipitación histórica de los anuarios meteorológicos de la estación M1036, así pues, lo que se busca es expresar la Intensidad y Frecuencia para diferentes intervalos de duración para la función de Gumbel en ambos casos. Ajustada la precipitación a esta función se obtienen líneas que irán trazadas en puntos conocidos, que al representarse en las curvas IDF con una duración a escala logarítmica se puede definir según la (Ec. 13), teniendo en cuenta que la pendiente de esta curva es representada por b y donde K representa la intersección de la curva con la abscisa de 1 minuto de duración.

$$\text{Log}(i) = \log(K) + b * \log(t) \quad ; \quad K = a * T^c \quad (13)$$

Por lo tanto, la Intensidad se expresaría como:

$$i = \frac{a * T^c}{t^b} \quad (14)$$

Donde a, b y c pueden calcularse aproximadamente en cada región.

### ***Construcción de Tormentas de Diseño***

Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto mediante un hietograma de diseño. Donde estas tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación (Chow et al., 1994).

Para la construcción de las tormentas de diseño se utilizó el método de los bloques alternos, el cual es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño mediante una curva intensidad-duración-frecuencia (Chow et al., 1994). El hietograma de diseño producido por este método se distribuye colocando el mayor valor en el centro de la

representación y alternando de derecha a izquierda el resto de los valores obtenidos de forma decreciente como se observa en la (Ec. 15).

$$b_k = k * i_T(k * \Delta t) - \sum_{j=1}^{k-1} b_j \quad (15)$$

Donde el volumen de precipitación en base al período de retorno se expresa como  $i_T$ ,  $\Delta t$  representa la intensidad obtenida de la curva IDF y  $b_j$  es la intensidad media del conjunto de bloques.

En este caso las tormentas de diseño generadas mediante este método corresponden a un periodo de retorno de 50 años, con una duración igual a 60 min. Se realizó un hietograma de diseño con la Curva IDF obtenida de datos históricos sin Cambio Climático y otro hietograma con la Curva IDF donde se aplicó el escenario de Cambio Climático.

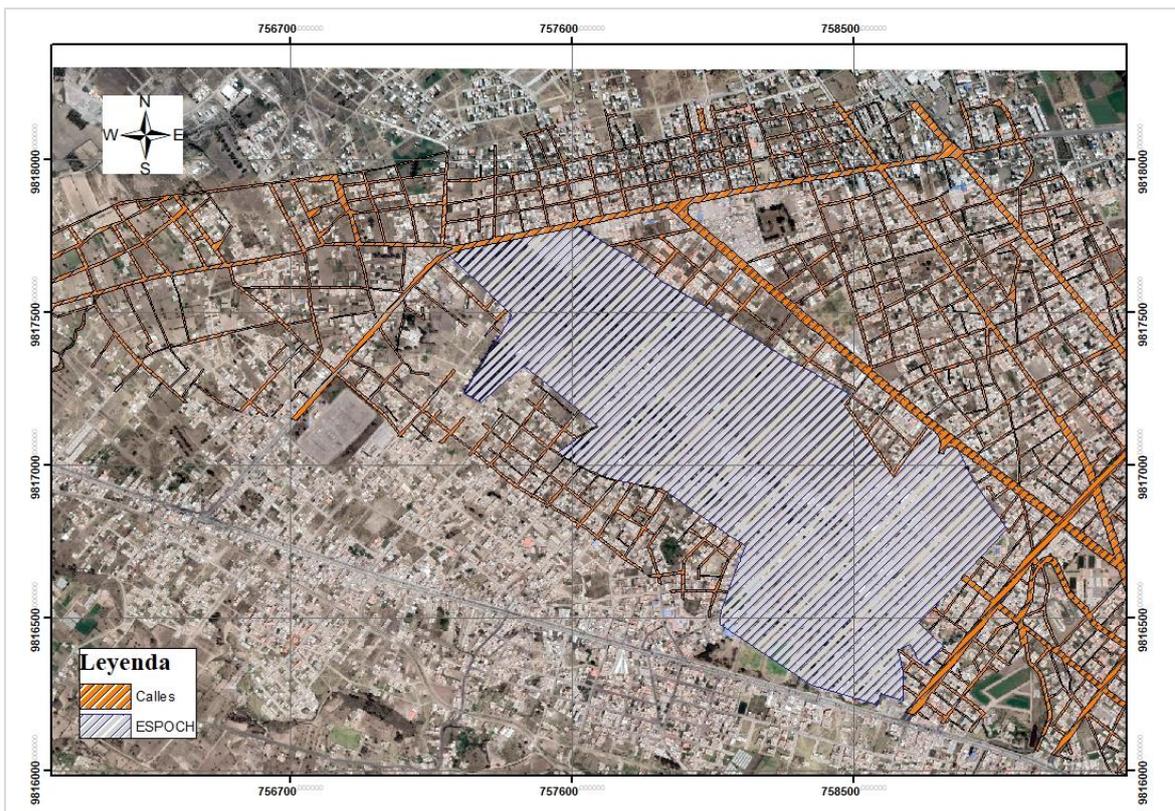
### ***Modelación Hidrológica***

Para la modelación hidrológica se utilizó el software Hec-hms para obtener los caudales, donde según Jácome (2022), por la clasificación del grupo hidrológico del suelo de la cuenca de la quebrada de Cunduana, el valor del número de la curva con un promedio ponderado es de 74.89 (-), para la modelación también se tomaron en cuenta factores indicados en la Tabla 1.

A través del método SCS (Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos) y partiendo de los datos históricos de precipitación de la estación M1036 y una tormenta de diseño con un periodo de 50 años se realizaron dos modelaciones hidrológicas, una sin CC y otra con los efectos del CC, donde consideramos la precipitación efectiva obtenida de las ecuaciones de intensidad para posteriormente obtener hidrogramas de diseño para cada caso.

## ***Modelación Hidráulica***

La simulación hidráulica se lo realizó en el software bidimensional Iber a partir de un Modelo de Elevación Digital del terreno de la Quebrada. Previo a la modelación en Iber se realizó una delimitación de la cuenca mediante el software ArcGIS teniendo en cuenta el área afectada por las inundaciones, así pues se procedió a separar las calles de los edificios Figura 6 obteniendo un shapefile únicamente de las calles dado que es el recorrido que realiza el agua frente a una tormenta, se separó la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH dado que dicha institución presenta un área en donde prevalece la vegetación lo cual es importante puesto que esta es una posible área de inundación.

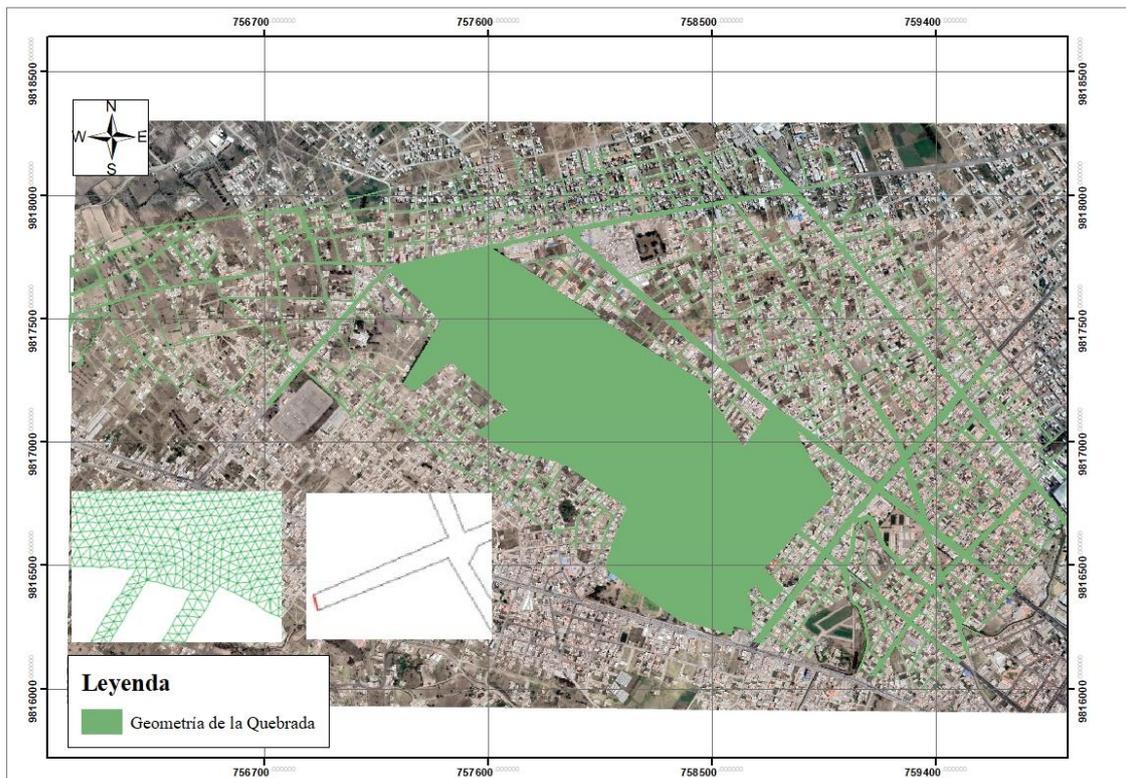


**Figura 6** *Shapefile de la delimitación de la cuenca en estudio.*

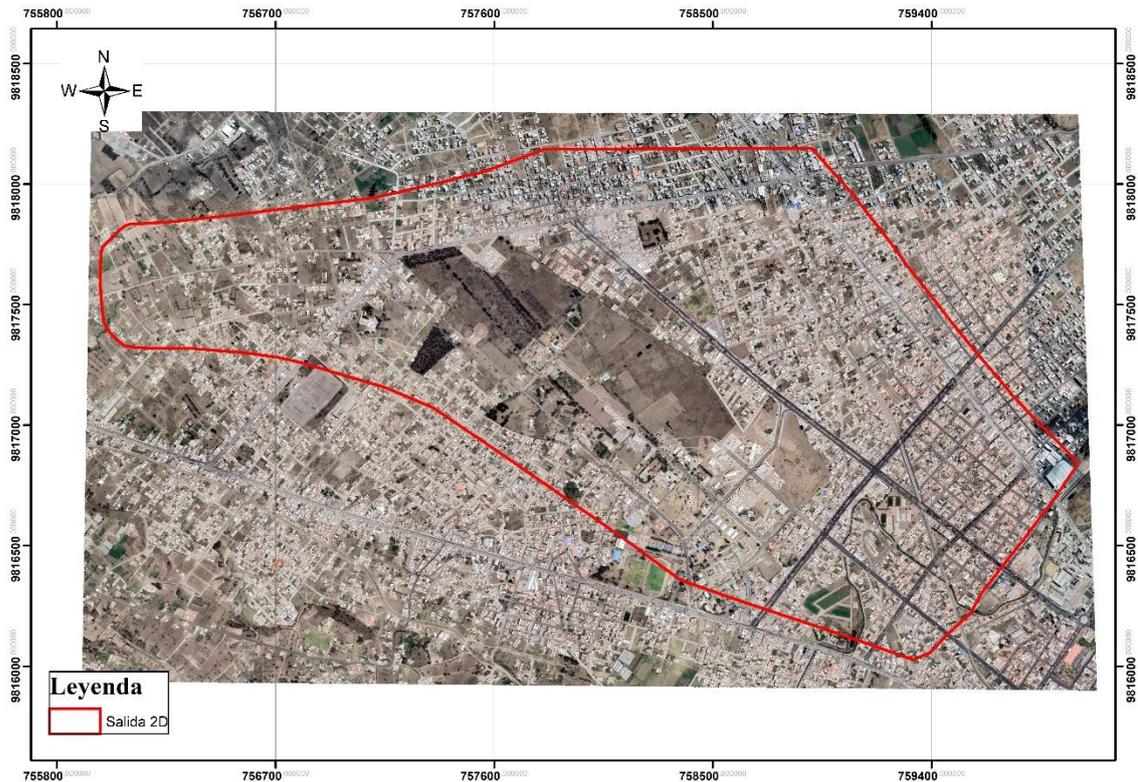
Una vez listo el shapefile y teniendo el MDT, se importó en Iber y se creó la geometría en base a un DEM con una malla de 4x4 a partir de dicho modelo, por lo que se utiliza la metodología RTIN que consiste en dividir la superficie del terreno en triángulos

rectángulos de diferentes tamaños y se acomodan adecuadamente para representar la topografía, por lo que la geometría que obtenemos se muestra en la Figura 7 compuesta por puntos, líneas y superficies en forma de triángulos rectángulos.

Iber distingue entre contornos cerrados (tipo pared) y contornos abiertos por los cuales entra y sale el agua del dominio del cálculo (Bladé et al., 2014). Por lo que, en los contornos de entrada se fija el caudal de agua mientras que en los contornos de salida se impone el nivel de agua en caso de que el régimen sea subcrítico. Por ende, la entrada del caudal se ubica en el sector la Lolita (Figura 7) dado que es el lugar en donde desfoga la cuenca de la Quebrada y empiezan los problemas de inundación, así también la salida (Figura 8) fue colocada en el borde de la delimitación que compete principalmente la Avenida Monseñor Leónidas Proaño (norte), Avenida la Prensa (sur) ,prolongación de la Avenida Gonzalo Davalos (este), Avenida Pedro Vicente (oeste), debido a que son las áreas principales propensas a inundaciones dado los antecedentes.



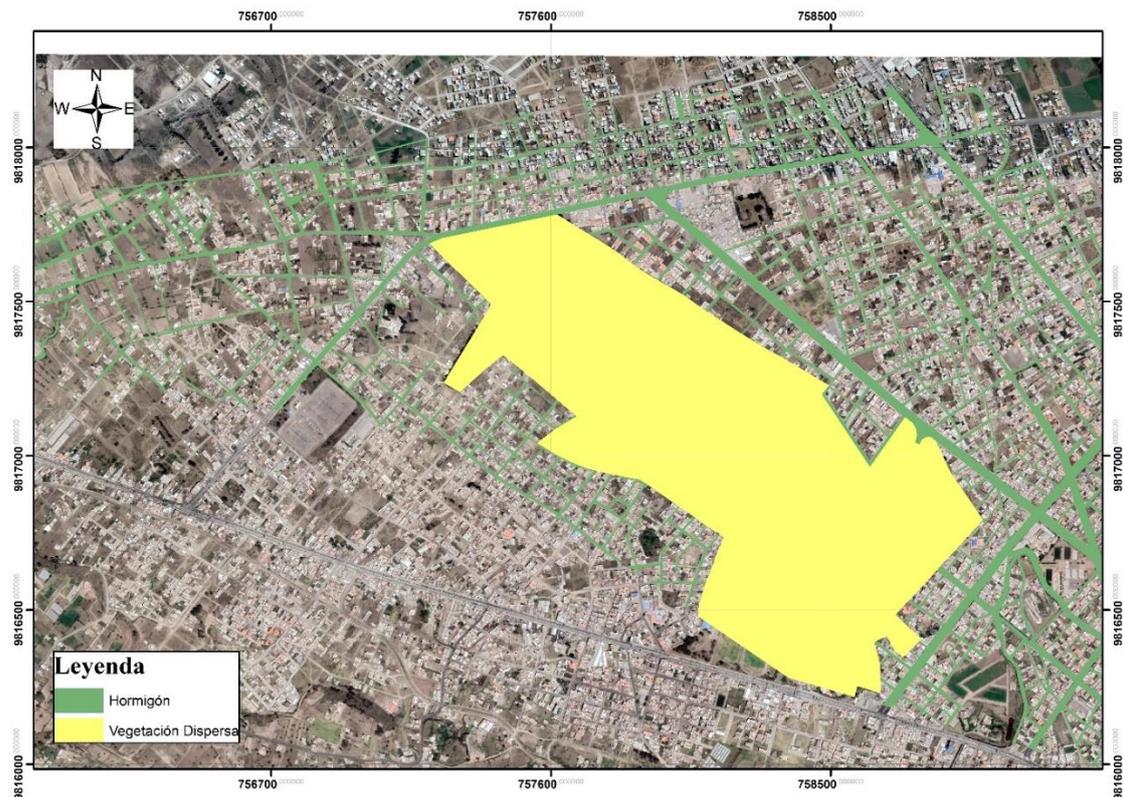
**Figura 7** Geometría de la cuenca y condición de entrada.



**Figura 8** *Ubicación de la condición inicial de salida*

Para la condición de entrada se tiene en cuenta los hietogramas obtenidos en las tormentas de diseño tanto para la situación actual como la situación futura (Anexo 6), así también es necesario colocar como condición inicial el calado que tiene un valor de 0 en toda la cuenca dado que no se inicia con algún nivel de flujo de agua (Anexo 7) para ambas simulaciones.

Así también, es importante definir el uso de suelo, el cual se lo realizó mediante el coeficiente de Manning puesto que es necesario tener en cuenta la fricción utilizada en las ecuaciones hidrodinámicas, por lo que el valor del coeficiente utilizado en este cálculo bidimensional es de  $n=0.018$  para el hormigón utilizado en las calles del área de estudio y  $n=0.025$  para la vegetación dispersa existente en la ESPOCH, tal como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9** *Uso de Suelo*

Posterior a ello se debe asignar la elevación, esto a partir de un archivo tipo ASCII, para que cada punto tenga una coordenada y se pueda representar las profundidades de todos los puntos de este sector (Anexo 8).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

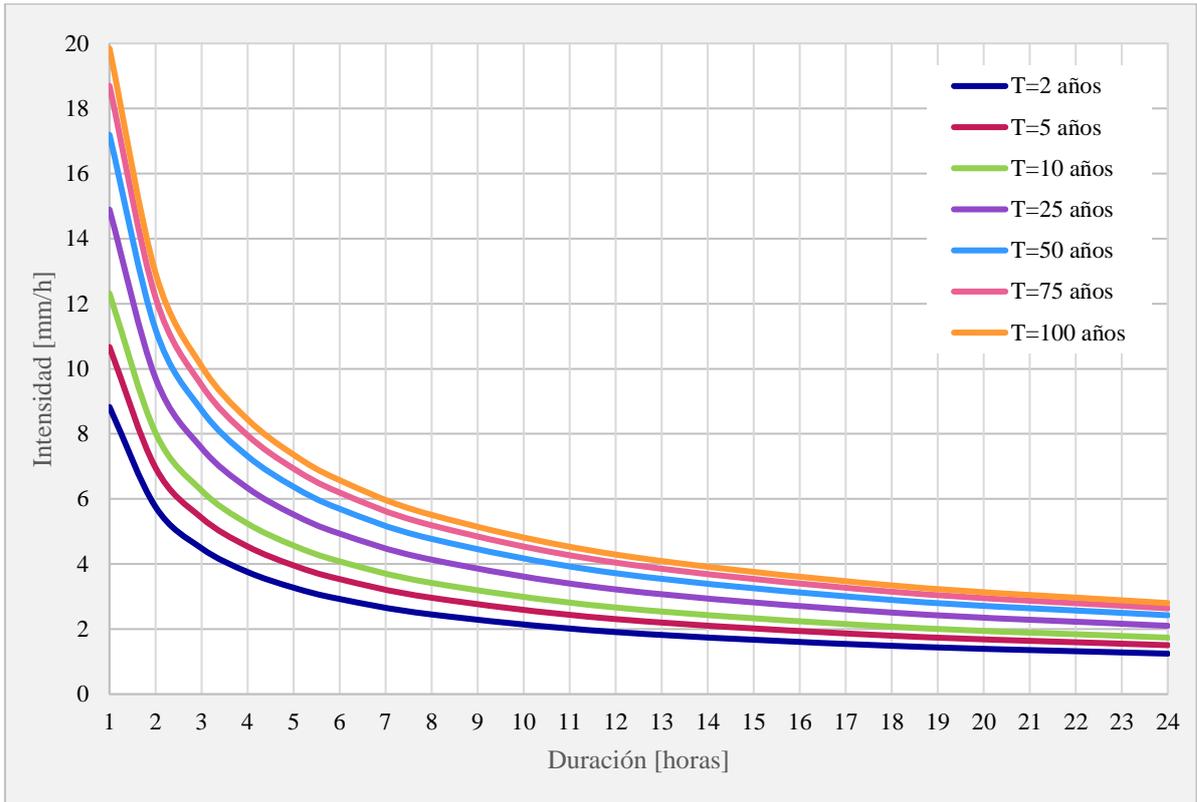
### *Curvas IDF*

Las curvas IDF pueden expresarse en términos de intensidad como se indica en la Tabla 2 por otro lado, gráficamente las curvas IDF las podemos identificar en la Figura 10 y Figura 11, cada uno para su caso respectivo para un tiempo de retorno de 100 años, como se muestra a continuación:

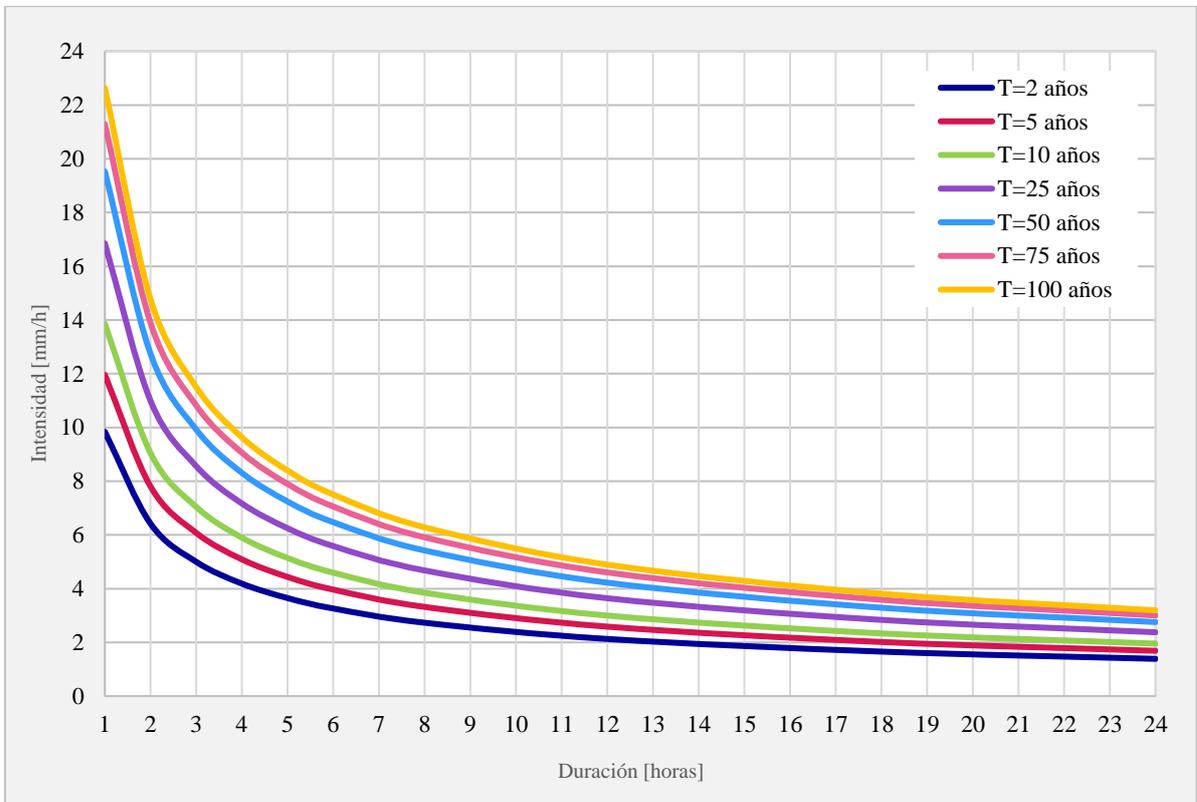
**Tabla 2** Ecuaciones de Intensidad

Condición	Ecuación
Sin CC	$i = \frac{7.64488 * T^{0.20714}}{t^{0.6163}} \quad (16)$
Con CC	$i = \frac{8.48799 * T^{0.21295}}{t^{0.6163}} \quad (17)$

En la Figura 10 y Figura 11 resulta complicado identificar visualmente la diferencia entre curvas IDF con y sin CC, por lo que se plantea a tipo de ejemplo, encontrar las intensidades para una duración de 30 min y un tiempo de retorno de 50 años, en la Tabla 3 podemos verificar los valores obtenidos para cada apartado.



**Figura 10** Curvas IDF sin Cambio Climático



**Figura 11** Curvas IDF con Cambio Climático

**Tabla 3** Intensidades, ejemplo: T= 50 años, t=30 min

<b>Condición</b>	<b>Intensidad [mm/h]</b>
Sin CC	2.113223785
Con CC	2.400687554

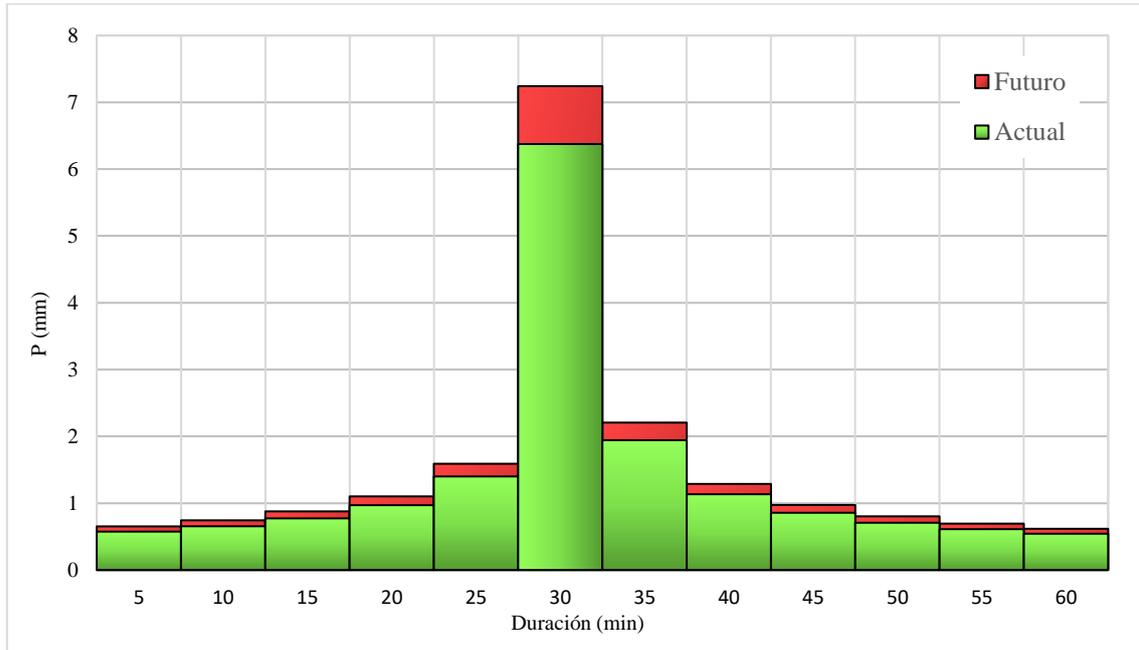
Para el caso que presenta Cambio Climático, se reafirma que existe una variación con respecto a la otra situación, evidenciando que existirá un incremento en el volumen de precipitación por efecto e influencia del cambio del clima.

### ***Tormentas de Diseño***

Las proyecciones climáticas asociadas a las precipitaciones extremas indican un incremento de fenómenos extremos, donde se espera que en algunas partes del planeta la frecuencia, la intensidad y las precipitaciones intensas aumenten. Así pues, una forma de representar el Cambio Climático en las tormentas de diseño es a través de hietogramas con escenarios futuros que muestran la influencia del Cambio Climático (Olivares-cerpa et al., 2022).

Sabiendo que el tiempo de concentración de la cuenca es 56.35 [min] se tiene un volumen de concentración de 1.43 [mm/h] sin Cambio Climático debido al resultado obtenido de la curva IDF (Ec. 18) mientras que el volumen de precipitación con los efectos del Cambio Climático es de 1.63 [mm/h], lo que evidencia un aumento en el volumen de precipitación.

La Figura 12 representa la precipitación de la situación actual y la precipitación futura donde los incrementos de intensidad están relacionados al Cambio Climático referente al escenario RCP 8.5.



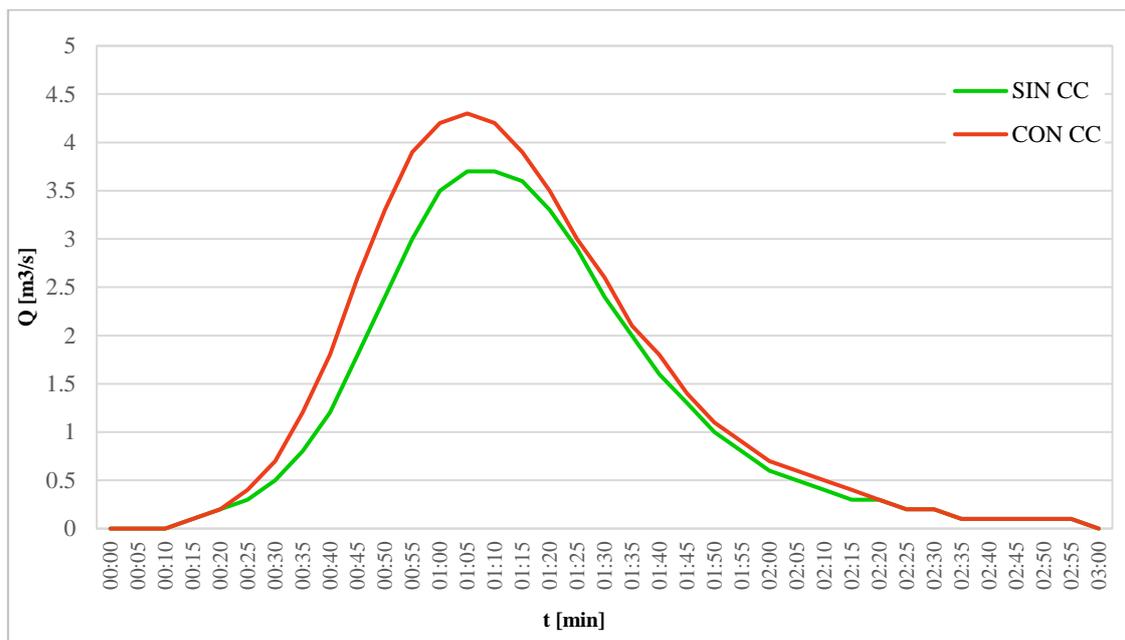
**Figura 12** Comparación de la tormenta de diseño actual y futura considerando CC para un período de retorno de 50 años.

Podemos notar que para un periodo de retorno de 50 años se tiene una intensidad pico de 6.38 [mm/h] para condiciones normales, mientras que se tiene una intensidad pico de 7.24 [mm/h] para condiciones bajo efectos del CC, con lo que se interpreta que existe una variación de apenas 0.86 [mm/h], por lo que el Cambio Climático no afecta de manera considerable a la intensidad de la cuenca.

### ***Modelación Hidrológica***

#### **Sin Cambio Climático**

De la modelación hidrológica en condiciones normales, para un periodo de retorno de 50 años, empleando los Hietogramas de la Figura 12 se obtienen los Hidrogramas mostrados en la Figura 13, mismos que indican una escorrentía superficial con duraciones de 3 [horas] y caudales máximos de 3.7 [m<sup>3</sup> /s] sin CC y 4.3 [m<sup>3</sup> /s] con CC.



**Figura 13** Comparación de hidrogramas (condición normal vs condición con CC).

Analizando los datos de la Figura 13 y Tabla 4 obtenidos en Hec-hms, se evidencia la diferencia de caudales máximos y volúmenes de precipitación, en el caso donde se emplea el escenario más desfavorable (RCP 8.5) que considera las tasas más altas de emisión de gases de efecto invernadero se tienen valores mayores, por ende, este valor indica que podrían producirse tormentas con peores condiciones debido a la presencia del CC.

**Tabla 4** Resumen de caudales máximos, modelación hidrológica.

Condición	Volumen de precipitación [mm]	Caudal [m3/s]
Sin CC	16.53	3.7
Con CC	18.79	4.3

## ***Modelación Hidráulica***

En los resultados de la modelación hidráulica se obtuvieron los valores de calado y velocidad del flujo, en la Figura 14 se muestra el área de estudio y los valores de calado sin Cambio Climático, en donde el tirante máximo de inundación se ubica entre 0 y 2.28 metros según la escala de color, mientras que, el tirante máximo de la tormenta en estudio en la investigación de Jácome (2022) varía entre 0 y 3.93 m siendo este rango superior a los encontrados en esta modelación, mostrando que la máxima profundidad ocurre en el sector la Lolita para ambos casos.

Podemos notar que gran parte de la mancha de inundación se encuentra en el sector de la ESPOCH y la avenida Gonzalo Dávalos principalmente, donde se alcanzan valores de hasta 0.40 metros

Los valores obtenidos en comparación con los mostrados en el análisis de Jácome (2022), indican una variación en cuanto a los calados y las zonas afectadas, por lo que un plan de riesgo debe ser aplicado en este sector, dado que es una zona propensas a inundaciones.

Bajo la influencia del Cambio Climático, se esperaría que el flujo del agua se vea afectado, sin embargo, para un período de retorno de 50 años y teniendo un Escenario de Cambio Climático RCP 8.5 se alcanzan tirantes con valores entre 0 y 2.28 metros como se muestra en la Figura 15, siendo este rango igual al de la situación actual.

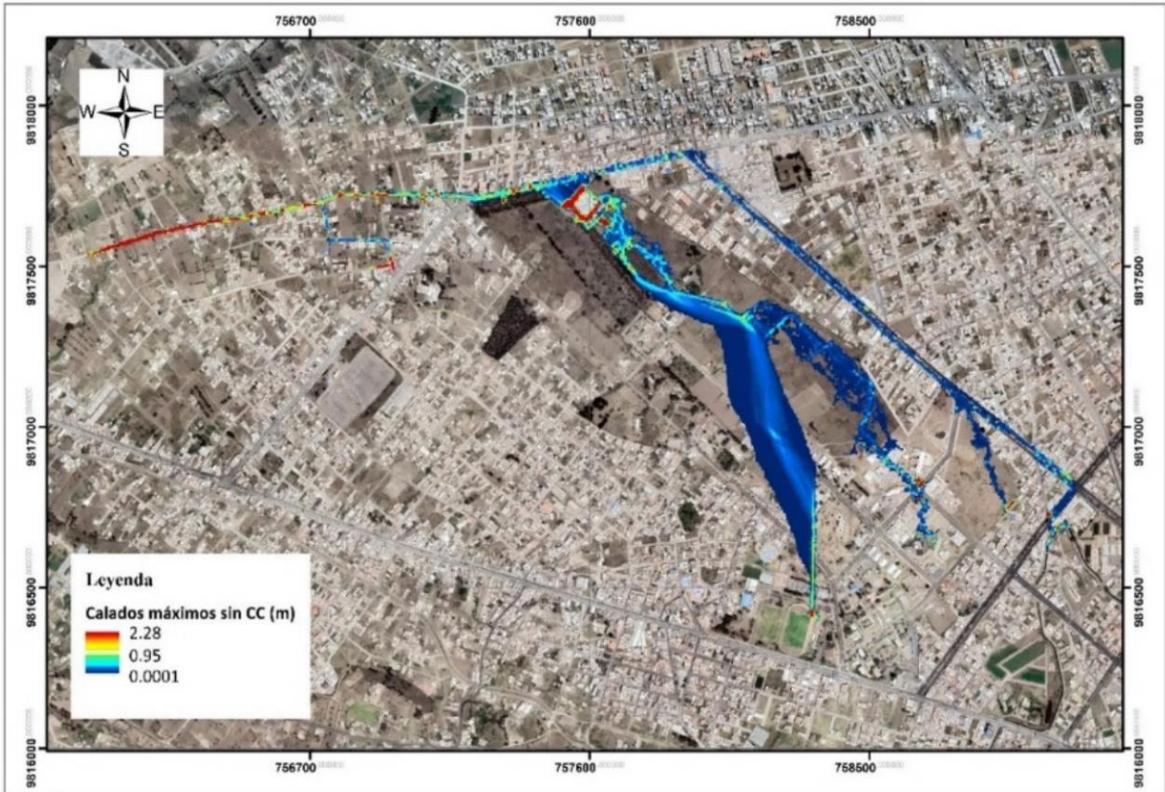


Figura 14 Mapa de tirantes máximos sin Cambio Climático

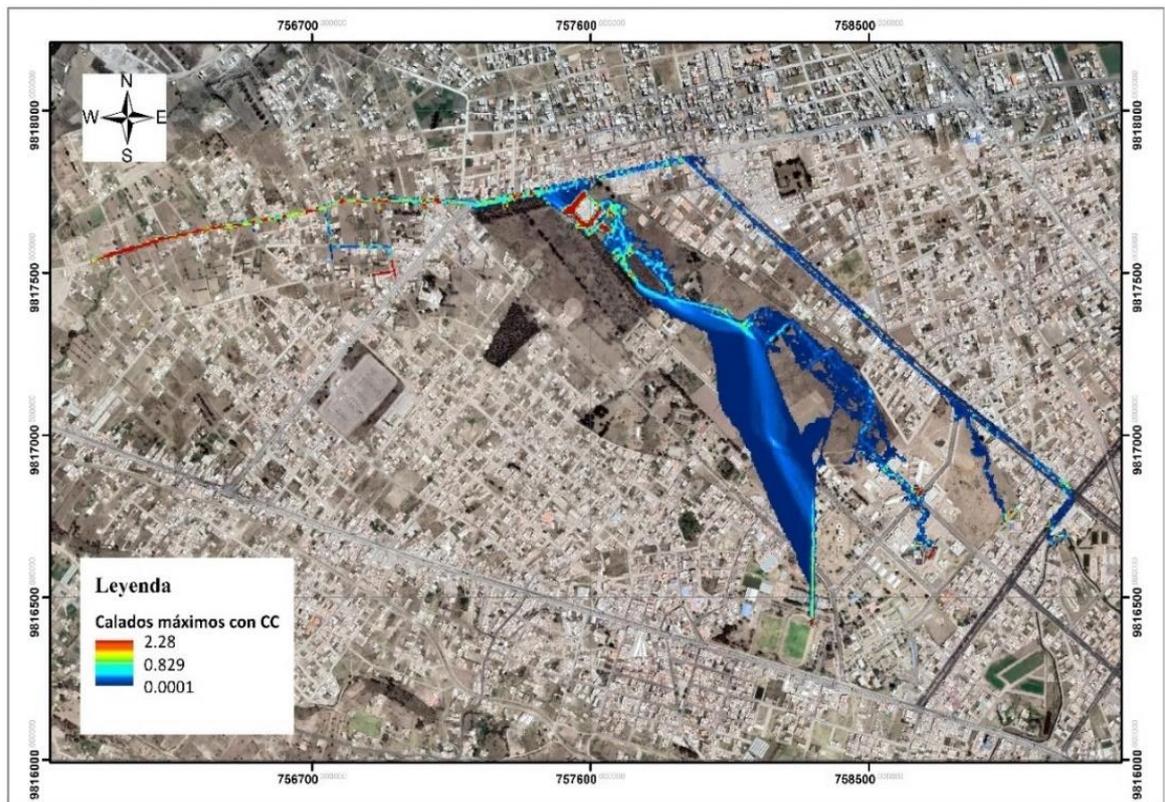


Figura 15 Mapa de tirantes máximos con escenarios RCP 8.5 de Cambio Climático.

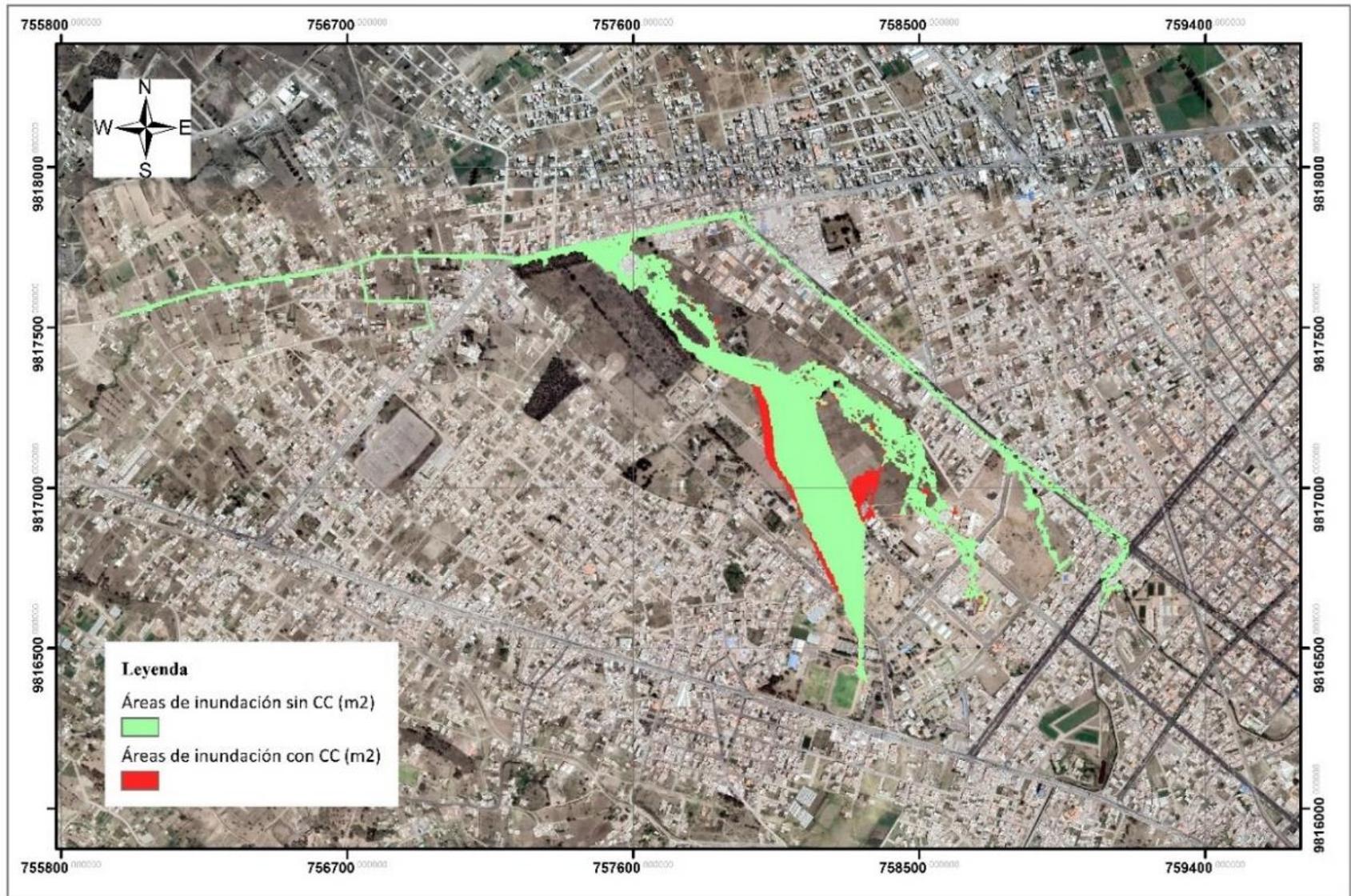
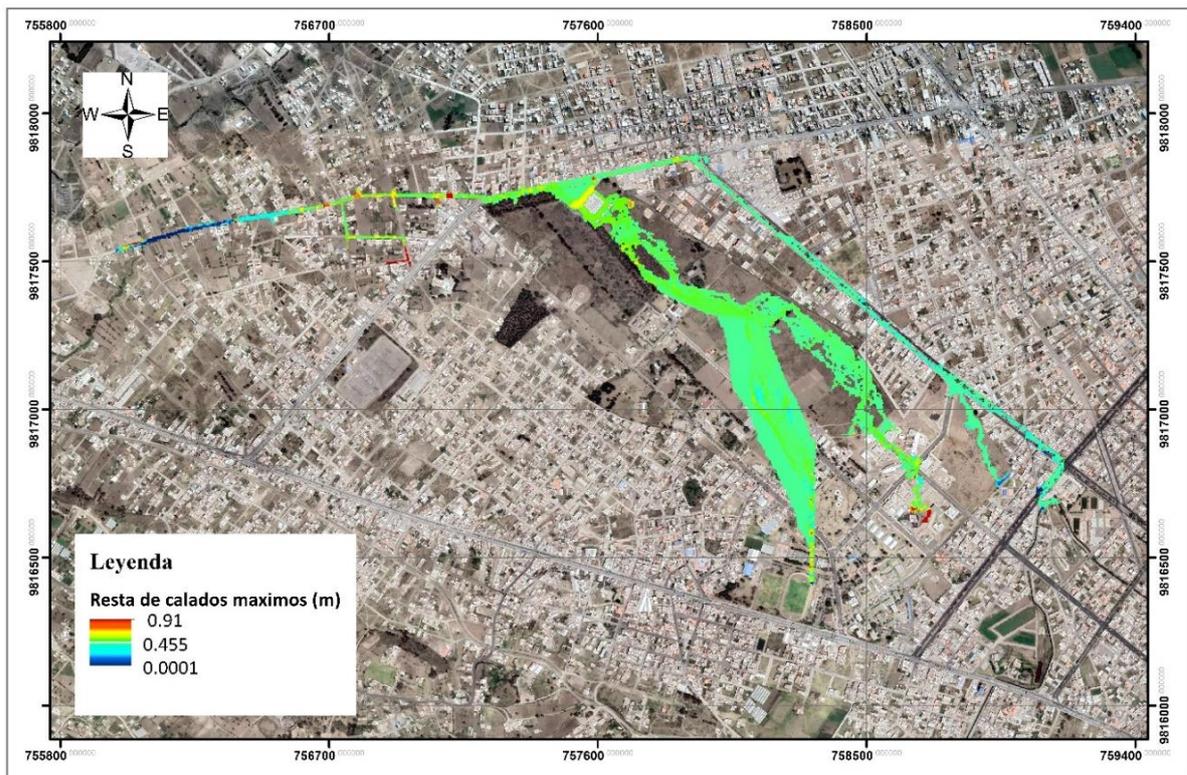


Figura 16 Diferencia de áreas de inundación.

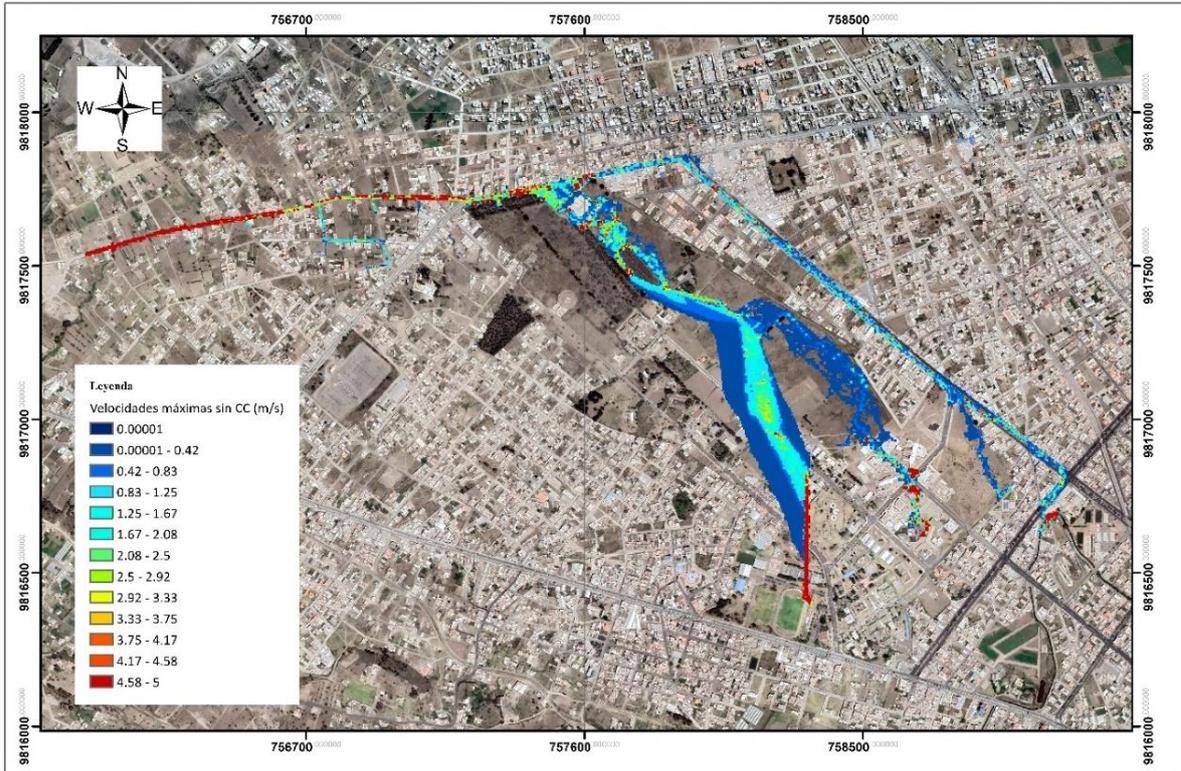
En el caso de la Figura 16 los calados entre la situación actual y futura no varían drásticamente, a pesar de que la franja de inundación debido al Cambio Climático se expande a zonas que no se vieron afectadas anteriormente.

Como observamos en la Figura 17 existen zonas en donde se tendrá una diferencia de calado de 0.90 metros mientras que en la mayoría de los sectores como la ESPOCH y la Avenida Gonzalo Dávalos se tienen valores de hasta 0.40 metros.

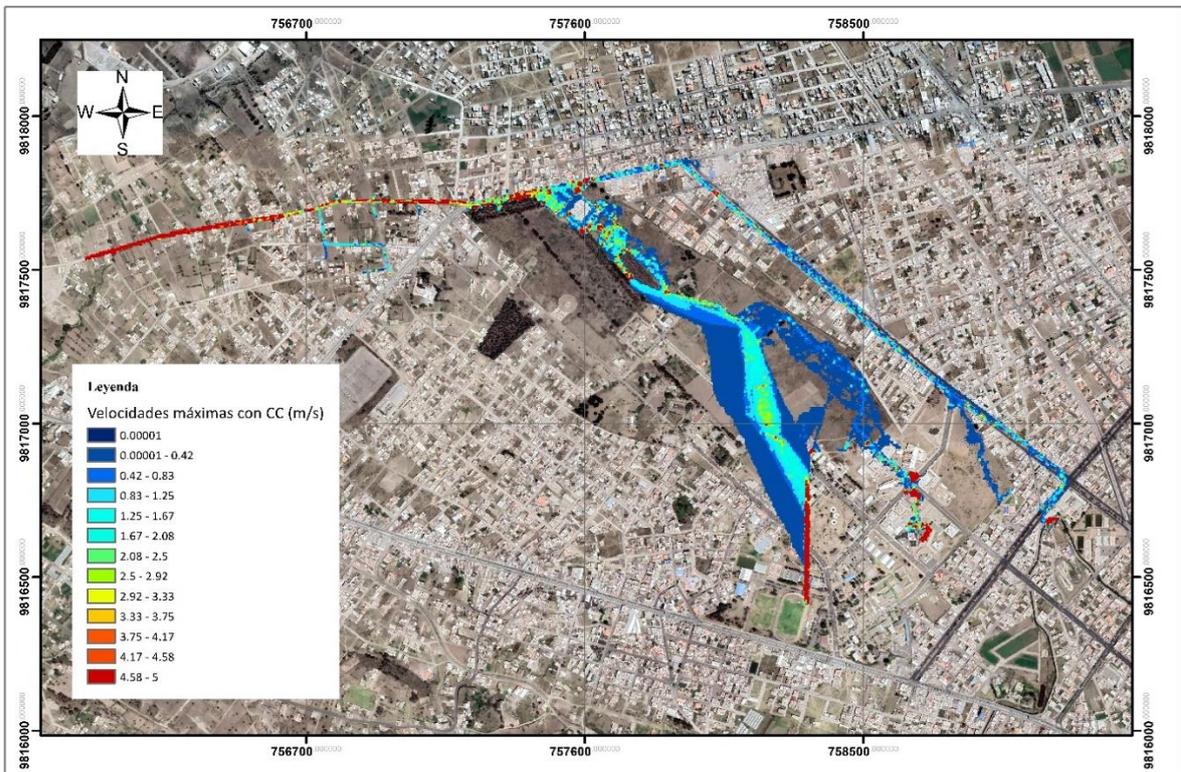


**Figura 17** Diferencia de tirantes entre la situación actual y futura.

En la Figura 18 se encuentra representado la velocidad del área de estudio de la Quebrada de Cundwana para la situación actual, donde los valores varían entre 0 y 1 m/s, teniendo lugares específicos, principalmente como los sectores del barrio La Lolita, el Subcentro de Salud Lizarzaburu, y zonas correspondientes a la Facultad de Medicina y Electrónica de la ESPOCH, donde se alcanzan velocidades máximas de hasta 5 m/s.



**Figura 18** Mapa de velocidades máximas sin Cambio Climático.



**Figura 19** Mapa de velocidades máximas con Cambio Climático Escenario RCP 8.5.

Para las velocidades aplicando el escenario RCP 8.5 de Cambio Climático se obtiene un rango principalmente de valores entre 0 y 1.62 m/s, teniendo un incremento de 0.62 m/s respecto a la situación actual sin CC, así mismo se obtuvieron velocidades que alcanzarían valores de hasta 5 m/s afectando los mismos sectores que en el apartado anterior (condiciones normales).

En base a los resultados obtenidos en la modelación hidráulica en el software bidimensional Iber podemos notar que la situación actual es similar a la tormenta simulada por Jácome (2022), el 02 de marzo del 2021, por lo que en aproximadamente a 2 años de diferencia los valores no varían a más de 1 metro en los tirantes y 1 m/s en velocidad, así mismo al aplicar los escenarios de Cambio Climático en este caso el RCP 8.5 para un período de retorno de 50 años, podemos notar que no existe una diferencia significativa con la situación actual, dado que los tirantes y las velocidades no varían en cuanto a su valor máximo, cabe resaltar que un factor muy importante para la variación entre los resultados con el proyecto de investigación de Jácome (2022), son las curvas IDF, esto debido a que en dicho estudio las curvas implementadas son las propuestas por el INAHMI, mientras que en la presente investigación se optó por construir las curvas IDF a partir de un análisis de datos históricos.

Al observar los mapas de tirantes y velocidades entre la situación actual y futura podemos notar que las áreas de inundación no muestran mayor variación, es decir los sectores que presentan afectación debido a las lluvias son los mismos que se verían afectados en el futuro, sin embargo, principalmente el tramo inicial el cual pertenece al sector de la Lolita se ve afectado con tirantes de hasta 2.28 metros y velocidades de aproximadamente 5 m/s, por lo que se debe tener en cuenta que este sector principal que podría verse afectado por las lluvias dado que presentan un riesgo alto de inundación.

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

El presente trabajo buscó implementar escenarios de Cambio Climático en la cuenca de la quebrada de Cunduana, utilizando herramientas que permiten su modelización hidrológica e hidráulica. Permitiendo evaluar las particularidades de este tipo de cuencas caracterizadas por tener un cauce efímero asociado a su clima, que presenta un régimen estacional de precipitaciones características de los climas de invierno.

Los objetivos específicos de este trabajo fueron usar el modelo implementado para estimar las nuevas fronteras de inundación, modelizando el transporte del agua y los efectos del Cambio Climático en la cuenca.

Tras aplicar la metodología para alcanzar los objetivos, se pudo organizar datos históricos correspondientes a la estación agrometeorológica de la ESPOCH M1036 de 1978 al 2015, con la finalidad de obtener la precipitación máxima de cada año realizando una regresión lineal para un periodo de retorno de 50 años. Para esto se realizó un análisis en dos partes, uno donde se tiene la situación actual y otro donde se consideran los efectos del Cambio Climático, para lo cual se aplicó el Escenario de CC de la Figura 5 misma que se resume en la tabla del Anexo 1, de esta manera se consiguió dos Curvas IDF.

De la modelación hidrológica en el software Hec-hms los caudales pico obtenidos varían de un valor de 3.7 m<sup>3</sup>/s sin CC a 4.3 m<sup>3</sup>/s con CC. Comparando las curvas IDF obtenidas en esta investigación con las establecidas por el INAHMI se obtuvo una variación de 26.1 m<sup>3</sup>/s en el caudal pico para un periodo de retorno de 50 años, esto debido a que no se implementaron las curvas IDF propuestas por el INAHMI a causa de que existe una sobreestimación de valores, por lo que se optó por crear nuevas curvas IDF.

Con los hidrogramas obtenidos de la modelación hidrológica se pudo realizar modelaciones hidrodinámicas bidimensionales que nos permitieron identificar las zonas

donde los caudales y tirantes aumentan para el periodo de retorno establecido, en ambos casos se obtuvieron mapas de inundación donde se pudo apreciar que la zona más afectada se encuentra en la parte superior izquierda de la zona de estudio, esto debido a la elevación del terreno y la pendiente de la misma donde se alcanzan tirantes de hasta 2.28 m y velocidades de hasta 5 m/s para ambos casos, es decir, la influencia del Cambio Climático en el régimen de caudales de la quebrada estudiada no se ve afectada de manera considerable, puesto que con el periodo de retorno de 50 años, los tirantes presentan una variación de 0.91 m en lugares específicos, mientras que en sectores como la ESPOCH y la Av. Gonzalo Dávalos se tiene una variación de 0.40m .

Así pues, la consideración de los efectos del Cambio Climático en este caso tiene un incremento en la intensidad que no supera el 7.20 mm/h dependiendo de la duración de la tormenta según los hietogramas de diseño, a su vez los resultados numéricos muestran que existen ligeras alteraciones en cuanto al tirante mientras que, la velocidad no muestra un cambio significativo manteniendo un valor de hasta 5 m/s. En los mapas de inundación podemos observar que la zona más afectada es el sector la Lolita, en donde inicia el flujo de agua, como también la ESPOCH posee mayor área a ser propensa a inundaciones, esto debido a la vegetación dispersa que posee el terreno que produce que el régimen del caudal siga su cauce.

Finalmente, los escenarios mostrados en esta investigación tras la simulación de los modelos hidrológicos e hidráulicos no dejan de ser preocupantes puesto que las velocidades y los tirantes son altos y representan un riesgo para la población por su capacidad de arrastre tanto de tierra como de objetos que repercutan en la salud, seguridad y calidad de vida de los habitantes.

## **CAPÍTULO VI. PROPUESTA**

### ***Propuestas***

Las autoridades competentes de la ciudad de Riobamba deberían implementar modelaciones hidrológicas e hidráulicas, para tormentas que se han dado en la ciudad como escenarios futuros a través de la aplicación de escenarios de Cambio Climático, mediante softwares que permitan conocer nuevas franjas de inundación, la actualización de los mismos y la creación de modelos pueden evitar riesgos a largo plazo con la finalidad de evitar la expansión y surgimiento de nuevas zonas vulnerables a inundaciones, para contribuir con el beneficio de la sociedad y brindar una mejor calidad de vida.

Las entidades de control deben plantear estrategias que permitan a los moradores y público en general conocer la forma de actuar en caso de que se presente dicho riesgo, así también dar mantenimiento a las alcantarillas de la ciudad puesto que entre una de las zonas afectadas se encuentra el Centro de Salud Lizarzaburu y la ESPOCH, que tienen gran concurrencia de gente como también transporte público y privado.

Del mismo modo se debe llevar un control frente a los asentamientos humanos informales, puesto que estos afectan al cauce natural de la Quebrada, exponiendo nuevas zonas vulnerables a inundaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara Boza, A., & Castro Tenorio, A. (2021). Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 181–187. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852>
- Aragón, F., & Quezada, A. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina*. <http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/2083>
- Ardiclioglu, M., & Kuriqi, A. (2019). Calibration of channel roughness in intermittent rivers using HEC-RAS model: case of Sarimsakli creek, Turkey. *SN Applied Sciences*, 1(9), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1141-9>
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). *Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de Cambio Climático*. 122.
- Arreguín, F., López, M., & Marengo, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5–13. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353549829001.pdf>
- Bates, B., Kundzewicz, Z., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). El Cambio Climático y el Agua. En *Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. <http://216.92.126.55/publicaciones/climate-change-water-sp.pdf>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10.
- Bulti, D. T., & Abebe, B. G. (2020). A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3), 1293–1302.

<https://doi.org/10.1007/s40808-020-00803-z>

- Cárdenas, M., Santillán, L., Brito, M., Orejuela, J., & Rosero, C. (2018). Modelación de base de la distribución temporal de un 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](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/distribucion-temporal-lluvia.html)
- Chow, V. te, Maidment, D., & Ways, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (McGRAW-HIL).
- Duque-Sarango, P., Patiño, D., & López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC- HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362.  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642019000600351&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600351&nrm=iso)
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11, 147–170.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Freitez, C., & Martinez, F. (2017). *Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes*. 17(1), 9–28.
- García, D. (2018). *Factores de riesgo de la quebrada de Cuanduana sobre zonas de expansión urbanas de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Garzón, C., Gonzáles, E., & Mafla, F. (2016). *Vista de Estado del arte de modelos hidrológicos*.  
<https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/1667/1692>
- 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

- Guaman, G. (2020). Modelación Hidrológico Con Hec-Hms y Rs-Minerve De La Cuenca Del Río Casacay-El Oro. *Universidad Técnica de Machala*, 127.
- IPCC. (2013). Glosario. *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 1.
- Jácome, M. (2022). *Determinaión de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulico*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Jha, A., Bloch, R., & Lamond, J. (2012, enero). (PDF) *Cities and Flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century*. [https://www.researchgate.net/publication/272793713\\_Cities\\_and\\_Flooding\\_A\\_guide\\_to\\_integrated\\_urban\\_flood\\_risk\\_management\\_for\\_the\\_21st\\_Century](https://www.researchgate.net/publication/272793713_Cities_and_Flooding_A_guide_to_integrated_urban_flood_risk_management_for_the_21st_Century)
- Loaiza, J. C., & Valentijn, R. (2011). Desarrollo de modelos hidrológicos y modelación de procesos superficiales. *Gestión y Ambiente*, 14(3), 23–31.
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J. V., & Gimena, F. N. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca del río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y Proyectos*, 12, 15–30. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-28132012000200002&script=sci\\_arttext&tlng=p](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-28132012000200002&script=sci_arttext&tlng=p)
- Márquez, C. (2016, marzo 29). En Riobamba temen el colapso de una quebrada. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/riobamba-colapso-quebrada-lluvias-delizamientos.html>
- Mediavilla, E. (2016). *El agua como factor limitante del desarrollo* [Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/8302>

- Mena, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B., & Walz, Y. (2021). *Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador*. 41. <https://ehs.unu.edu>.
- Mendoza, M., Bocco, G., Bravo, M., Siebe, C., & Ortiz, M. (2002). Modelamiento hidrológico espacialmente distribuido: una revisión de sus componentes, niveles de integración e implicaciones en la estimación de procesos hidrológicos en cuencas no instrumentadas. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 1(47), 36–58. <https://doi.org/10.14350/riig.59164>
- Ministerio de Salud Pública. (2016). El Fenómeno El Niño en Ecuador. *Naciones Unidas, Consejo económico y Social Comisión Económica para América Latina CEPAL*, 1–58. <https://www.eird.org/estrategias/pdf/spa/doc12863/doc12863-10.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2018). Inundaciones y Cambio Climático. *Ministerio para la Transición Ecológica*, 106. <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- Montalvo, C. (2017). *Estimación de pérdidas de cauce, modelización de transporte de sedimentos y Cambio Climático de una cuenca mediterráneo (Rambla de la Viuda)* [Universitat Politècnica de Valencia]. <https://zaguan.unizar.es/record/10321/files/TAZ-TFM-2013-144.pdf>
- Naciones Unidas. (2022). *Agua. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., Labaque, M., & Díaz, J. M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba. *CFacultad de ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(2), 1–7.
- Olivares-cerpa, G., Russo, B., Sanz-ramos, M., Martínez-puentes, M., & Bladé, E. (2022). “SUDS-lineales ” para reducir el riesgo de inundación considerando escenarios de Cambio Climático. *Ingeniería del Agua*, 26(2), 77–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/Ia.2022.17058>

- ONU. (2019). Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. En *Onu-Water and Climate Change* (Vol. 1, Número 1).
- Oviedo, B. (2010). Generación de Escenarios de Cambio Climático Regionales y Locales a partir de Modelos Globales - Guía para Tomadores de Decisiones. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*.
- The United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNISDR]. (2015). The human cost of weather related disasters. *The United Nations*, 13(3), 1576–1580.
- Torres Bejarano, F., Ramírez-León, H., Rodríguez Cuevas, C., Tejera González, M. P., & Vásquez Jaraba, M. C. (2015). Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Hidrobiológica*, 25(1), 7–23. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v25n1/v25n1a2.pdf>
- Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M. J., Reyes\_Yunga, D. F., Viera-Torres, M., & Heredia, M. (2020). Cambio Climático según los académicos ecuatorianos - Percepciones versus hechos. En *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* (Vol. 31, pp. 21–46). scielo.

## ANEXOS

### *Anexo 1 Factor de Cambio Climático RCP 8.5*

	Mes	Factor CC ( RCP 8.5)
<b>1</b>	Enero	1.15
<b>2</b>	Febrero	1.15
<b>3</b>	Marzo	1.15
<b>4</b>	Abril	1.15
<b>5</b>	Mayo	1.15
<b>6</b>	Junio	1.15
<b>7</b>	Julio	1.15
<b>8</b>	Agosto	1.15
<b>9</b>	Septiembre	1.05
<b>10</b>	Octubre	1.05
<b>11</b>	Noviembre	1.05
<b>12</b>	Diciembre	1.15

### *Anexo 2 Precipitación máxima por año sin Cambio Climático*

Año	Max Año
<b>1978</b>	18.4
<b>1979</b>	22.4
<b>1982</b>	28.6
<b>1983</b>	29.5
<b>1984</b>	48
<b>1985</b>	29
<b>1986</b>	21.4
<b>1987</b>	52.4
<b>1991</b>	27.9
<b>1992</b>	39
<b>2006</b>	23.6
<b>2007</b>	31.2

<b>2008</b>	27.3
<b>2009</b>	16.6
<b>2010</b>	26.6
<b>2011</b>	28.2
<b>2012</b>	42.1
<b>2013</b>	19.2
<b>2014</b>	37.5
<b>2015</b>	7

**Anexo 3** *Análisis de Gumbel por año sin Cambio Climático*

	Kp	0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.91	
		<b>Pmax (mm)</b>									
<b>Nº</b>	<b>Año</b>	<b>24 [h]</b>	<b>1 [h]</b>	<b>2[h]</b>	<b>3 [h]</b>	<b>4 [h]</b>	<b>5 [h]</b>	<b>6 [h]</b>	<b>8 [h]</b>	<b>12 [h]</b>	<b>18 [h]</b>
1	1978	18.4	5.52	7.176	8.464	9.568	10.488	11.224	12.512	14.72	16.744
2	1979	22.4	6.72	8.736	10.304	11.648	12.768	13.664	15.232	17.92	20.384
3	1982	29.5	8.85	11.505	13.57	15.34	16.815	17.995	20.06	23.6	26.845
4	1983	28.6	8.58	11.154	13.156	14.872	16.302	17.446	19.448	22.88	26.026
5	1984	48	14.4	18.72	22.08	24.96	27.36	29.28	32.64	38.4	43.68
6	1985	29	8.7	11.31	13.34	15.08	16.53	17.69	19.72	23.2	26.39
7	1986	21.4	6.42	8.346	9.844	11.128	12.198	13.054	14.552	17.12	19.474
8	1987	52.4	15.72	20.436	24.104	27.248	29.868	31.964	35.632	41.92	47.684
9	1991	27.9	8.37	10.881	12.834	14.508	15.903	17.019	18.972	22.32	25.389
10	1992	39	11.7	15.21	17.94	20.28	22.23	23.79	26.52	31.2	35.49
11	2006	23.6	7.08	9.204	10.856	12.272	13.452	14.396	16.048	18.88	21.476
12	2007	31.2	9.36	12.168	14.352	16.224	17.784	19.032	21.216	24.96	28.392
13	2008	27.3	8.19	10.647	12.558	14.196	15.561	16.653	18.564	21.84	24.843
14	2009	16.6	4.98	6.474	7.636	8.632	9.462	10.126	11.288	13.28	15.106
15	2010	26.6	7.98	10.374	12.236	13.832	15.162	16.226	18.088	21.28	24.206
16	2011	28.2	8.46	10.998	12.972	14.664	16.074	17.202	19.176	22.56	25.662
17	2012	42.1	12.63	16.419	19.366	21.892	23.997	25.681	28.628	33.68	38.311
18	2013	19.2	5.76	7.488	8.832	9.984	10.944	11.712	13.056	15.36	17.472
19	2014	37.5	11.25	14.625	17.25	19.5	21.375	22.875	25.5	30	34.125
20	2015	7	2.1	2.73	3.22	3.64	3.99	4.27	4.76	5.6	6.37

**Anexo 4** *Precipitación máxima por año con Cambio Climático*

<b>Año</b>	<b>Max Año (mm)</b>
<b>1978</b>	19.32
<b>1979</b>	23.575
<b>1982</b>	32.89
<b>1983</b>	33.925
<b>1984</b>	55.2
<b>1985</b>	33.35
<b>1986</b>	22.47
<b>1987</b>	60.26
<b>1991</b>	29.295
<b>1992</b>	44.85
<b>2006</b>	26.565
<b>2007</b>	35.88
<b>2008</b>	31.395
<b>2009</b>	17.43
<b>2010</b>	30.59
<b>2011</b>	32.43
<b>2012</b>	44.205
<b>2013</b>	20.16
<b>2014</b>	39.375
<b>2015</b>	8.05

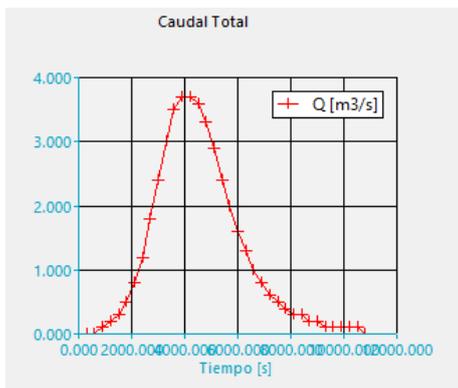
## Anexo 5 Análisis de Gumbel por año con Cambio Climático

		Kp	0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.91
		Pmax (mm)									
Nº	Año	24 [h]	1 [h]	2[h]	3 [h]	4 [h]	5 [h]	6 [h]	8 [h]	12 [h]	18 [h]
1	1978	19.32	5.796	7.5348	8.8872	10.0464	11.0124	11.7852	13.1376	15.456	17.5812
2	1979	23.575	7.0725	9.19425	10.8445	12.259	13.43775	14.38075	16.031	18.86	21.45325
3	1982	33.925	10.1775	13.23075	15.6055	17.641	19.33725	20.69425	23.069	27.14	30.87175
4	1983	32.89	9.867	12.8271	15.1294	17.1028	18.7473	20.0629	22.3652	26.312	29.9299
5	1984	55.2	16.56	21.528	25.392	28.704	31.464	33.672	37.536	44.16	50.232
6	1985	33.35	10.005	13.0065	15.341	17.342	19.0095	20.3435	22.678	26.68	30.3485
7	1986	22.47	6.741	8.7633	10.3362	11.6844	12.8079	13.7067	15.2796	17.976	20.4477
8	1987	60.26	18.078	23.5014	27.7196	31.3352	34.3482	36.7586	40.9768	48.208	54.8366
9	1991	29.295	8.7885	11.42505	13.4757	15.2334	16.69815	17.86995	19.9206	23.436	26.65845
10	1992	44.85	13.455	17.4915	20.631	23.322	25.5645	27.3585	30.498	35.88	40.8135
11	2006	26.565	7.9695	10.36035	12.2199	13.8138	15.14205	16.20465	18.0642	21.252	24.17415
12	2007	35.88	10.764	13.9932	16.5048	18.6576	20.4516	21.8868	24.3984	28.704	32.6508
13	2008	31.395	9.4185	12.24405	14.4417	16.3254	17.89515	19.15095	21.3486	25.116	28.56945
14	2009	17.43	5.229	6.7977	8.0178	9.0636	9.9351	10.6323	11.8524	13.944	15.8613
15	2010	30.59	9.177	11.9301	14.0714	15.9068	17.4363	18.6599	20.8012	24.472	27.8369
16	2011	32.43	9.729	12.6477	14.9178	16.8636	18.4851	19.7823	22.0524	25.944	29.5113
17	2012	44.205	13.2615	17.23995	20.3343	22.9866	25.19685	26.96505	30.0594	35.364	40.22655
18	2013	20.16	6.048	7.8624	9.2736	10.4832	11.4912	12.2976	13.7088	16.128	18.3456
19	2014	39.375	11.8125	15.35625	18.1125	20.475	22.44375	24.01875	26.775	31.5	35.83125
20	2015	8.05	2.415	3.1395	3.703	4.186	4.5885	4.9105	5.474	6.44	7.3255

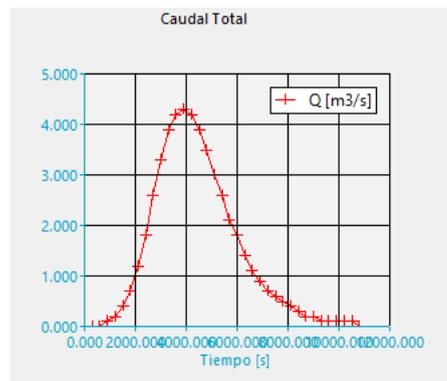
## Anexo 6 Hidrogramas de diseño

### Hidrogramas de diseño

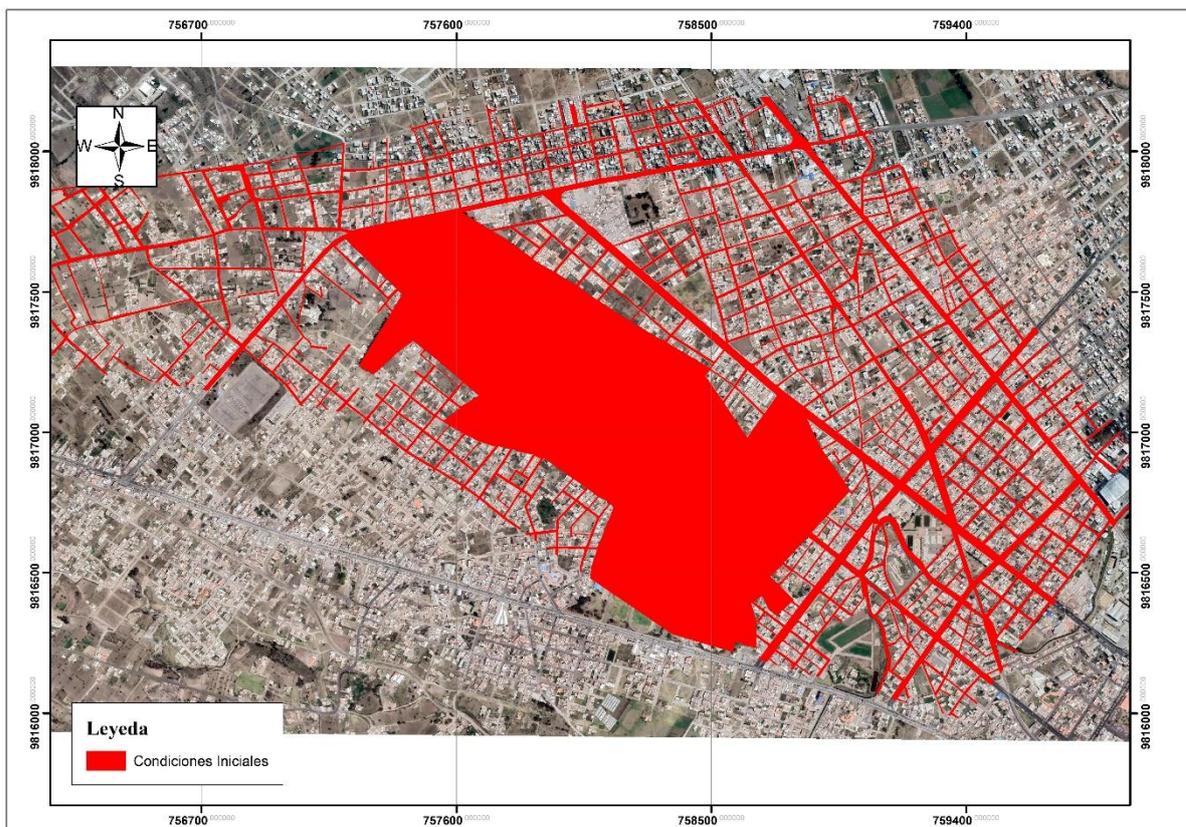
#### Sin Cambio Climático



#### Con Cambio Climático



## Anexo 7 Condiciones Iniciales



## Anexo 8 Modelo Digital del Terreno en Iber

