

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0151>

INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RÉGIMEN DE CRECIDAS EN LA QUEBRADA DE CUNDUANA

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE FLOOD REGIME IN THE CUNDUANA RAVINE

Zúñiga-Rodríguez María Gabriela ¹; Montalvo-Montenegro Carlos Israel²;
Zarate-Villacres Andrea Natali ³; Andrade-Valle Alexis Iván ⁴

¹ Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
Correo: mariag.zuniga@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1459-2361>

² Universidade da Coruña. Coruña, España.
Correo: carlos.montalvo@udc.es. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7452-5008>

³ Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
Correo: andrea.zarate@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7183-2862>

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
Correo: alexis.andrade@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1543-4381>

Resumen

La quebrada de Cunduana en la parroquia Licán, Riobamba, Chimborazo, ha sufrido impactos debido a condiciones climáticas intensas y la alteración de su curso natural. Esta situación podría agravarse con los efectos del Cambio Climático en el régimen de crecidas. Dada la escasa investigación sobre el Cambio Climático en Ecuador y las dificultades para obtener datos meteorológicos, el estudio implementó modelos hidrológicos e hidráulicos. Se utilizaron escenarios de Cambio Climático para analizar futuras condiciones en la quebrada y se generaron curvas Intensidad-Duración-Frecuencia con datos de la estación M1036 y escenarios del Ministerio del Ambiente. La modelación hidrológica e hidráulica con Hec-hms e Iber bajo el escenario RCP 8.5 y un retorno de 50 años produjo mapas de nuevas zonas inundables. Los resultados mostraron variaciones de hasta 0.60 m³/s en caudal y 0.90 m en el nivel del agua entre las situaciones actual y futura. Aunque las áreas propensas a inundaciones apenas cambiaron, los ligeros incrementos presentan riesgos adicionales para vidas humanas y bienes materiales. Se insta a las autoridades a proponer planes de acción para reducir los peligros asociados a estas situaciones.

Palabras clave: Cambio Climático, Modelación Hidrológica, Modelación Hidráulica, Inundaciones.

Abstract

The Cunduana ravine, located in the Licán parish of Riobamba city, Chimborazo province, has been impacted by severe weather conditions and alterations to its natural watercourse. This situation could worsen considering the effects of Climate Change on the flood regime in the Cunduana ravine. Due to limited studies on Climate Change in Ecuador and challenges in accessing meteorological data, this study employed hydrological and hydraulic models to simulate local conditions. Climate Change scenarios were implemented to analyze potential future conditions in the ravine, aiming to identify climate effects and forecast future flood zones. Intensity-Duration-Frequency curves were generated using historical data from the M1036 agrometeorological station and climate scenarios from the Ministry of Environment, Water, and Ecological Transition. Hydrological and hydraulic modeling was performed using Hec-hms and Iber models, incorporating the RCP 8.5 climate scenario over a 50-year return period, resulting in maps of new flood zones. The findings indicated variations of up to 0.60 m³/s in flow and 0.90 m

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación: 19 de diciembre de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2024.

in observed water levels between the current and future situations. Although flood-prone areas did not change significantly, the slight increases in values could elevate the current risks to human lives and property during flood events. It is crucial for regulatory authorities to propose action plans to mitigate hazards associated with such situations.

Keywords: Climate change, hydrological modeling, hydrauic modeling, floods.

1. Introducción

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).

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, Villa, & Jácome, 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, Scheffczyk, Urrutia, Huerta, & Walz, 2021).

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).

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 Cundwana 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 Cundwana 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, 2022).

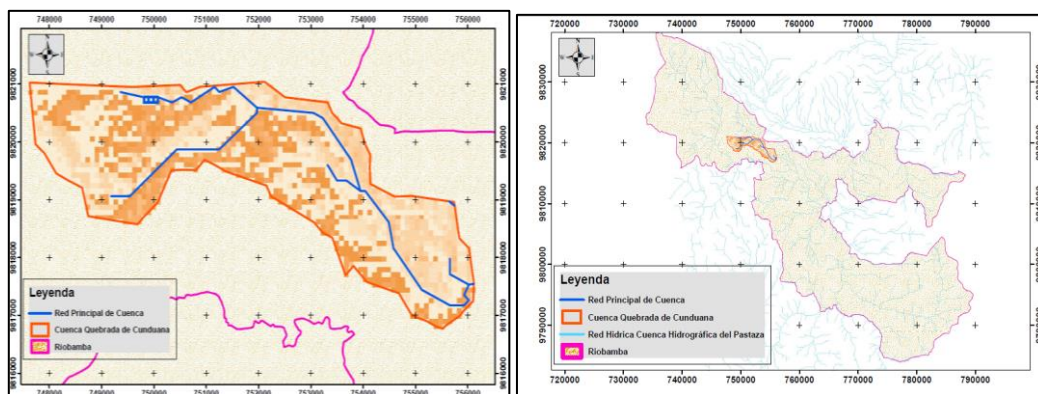
Si bajo las condiciones históricas del clima en la zona, las fuertes precipitaciones que provocan inundaciones son un problema constante, se debe considerar la manera en la que el calentamiento global afecta los patrones del clima local, ya que las consecuencias en la quebrada podrían empeorar, afectando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

Por esta razón, se buscó 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, por ello que se hace relevante la importancia de identificar los posibles efectos del Cambio Climático sobre el régimen de crecidas en la Quebrada de Cunduana en Riobamba, implementando un modelo hidrológico y un modelo hidráulico.

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, Santillán, Brito, Orejuela, & Rosero, 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/km², con una torrencialidad baja de 0.00038 ríos/km², por lo que su tiempo de concentración es 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

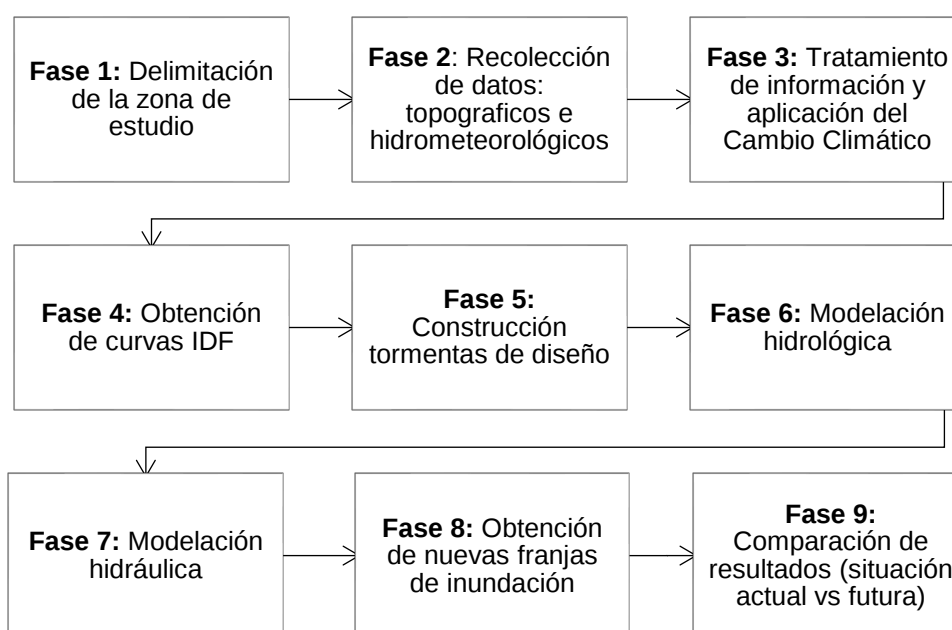
deslizamientos y acumulación de agua. Según Márquez (2016), la quebrada mide tres metros de ancho y un metro y medio de profundidad en su tramo inicial, pero a medida que desciende su tamaño se reduce al punto de lucir como una especie de canaleta y se cierra en la carretera Panamericana Sur, afectando principalmente la avenida Monseñor Leónidas Proaño.

2. Materiales y métodos

Se presenta a la investigación con un alcance exploratorio, dado que se debe recolectar información, para luego ser procesada y modelada

mediante softwares como Hec-hms e lber 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 2 se muestra un diagrama de flujo con las actividades a realizar en el desarrollo de la metodología.

Figura 2 Metodología de la investigación



Se tiene en cuenta la información espacial y temporal de la Quebrada

de Cundwana, 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.

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.

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.

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, Te, & Ways, 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, Te, & Ways, 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.

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 Cundwana, el valor del número de la curva con un promedio ponderado es de 74.89 (-).

A través del método SCS 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, obteniendo un shapefile únicamente de las calles dado que es el recorrido que realiza el agua frente a una tormenta.

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 compuesta por puntos, líneas y superficies en forma de triángulos rectángulos.

lber 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.

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, 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 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.

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.

3. 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 3 y Figura 4, cada uno para su caso respectivo para un tiempo de retorno de 100 años, como se muestra a continuación:

Tabla 1 Ecuaciones de Intensidad

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

En la Figura 3 y Figura 4 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 2 podemos verificar los valores obtenidos para cada apartado.

Figura 3 Curvas IDF sin Cambio Climático

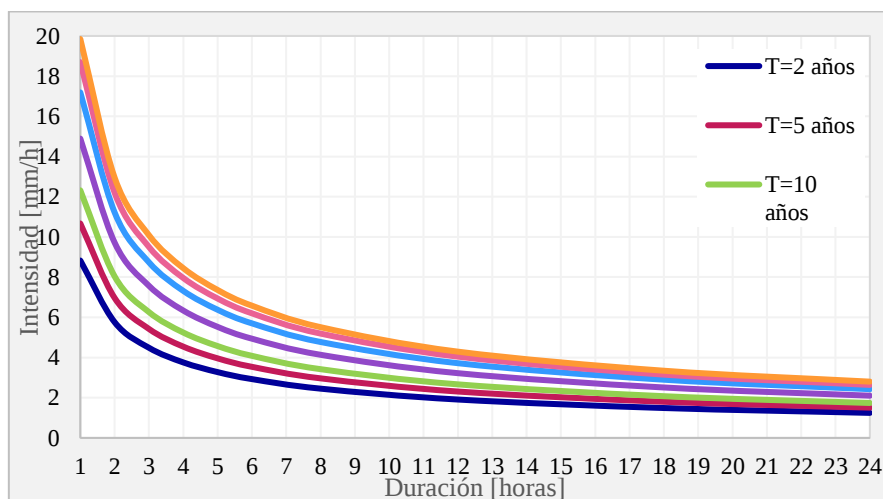


Figura 4 Curvas IDF con Cambio Climático

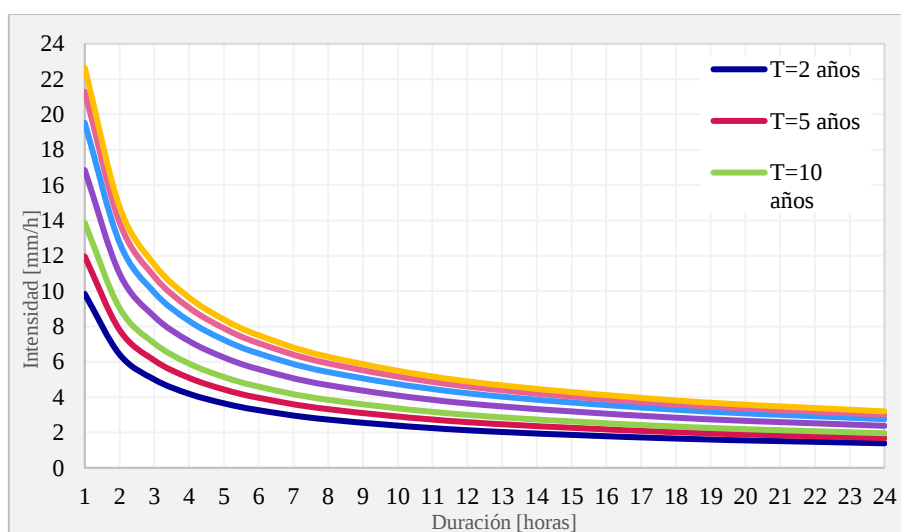


Tabla 2 Intensidades, ejemplo: $T=50$ años, $t=30$ min

Condición	Intensidad [mm/h]
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.

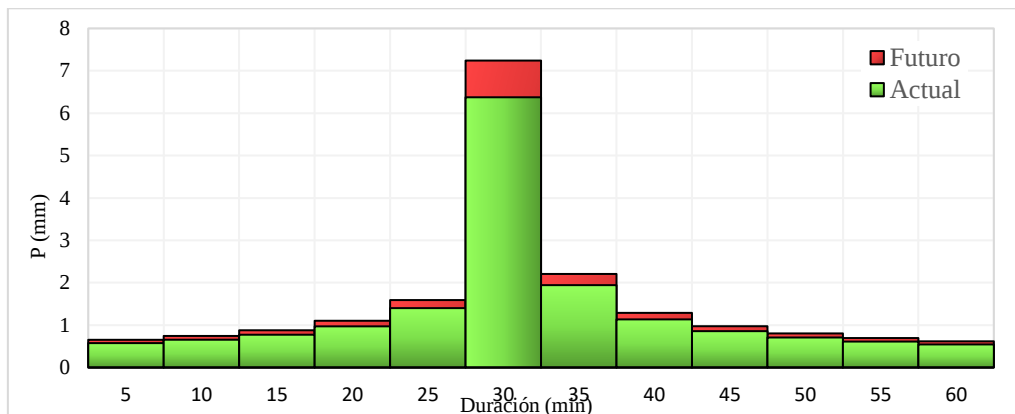
Tormentas de Diseño

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, Russo, Sanz-ramos, Martínez-puentes, & Bladé, 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, 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.

Figura 5 Comparación de la tormenta de diseño actual y futura considerando CC para un período de retorno de 50 años.



Así pues, la Figura 5 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. 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.

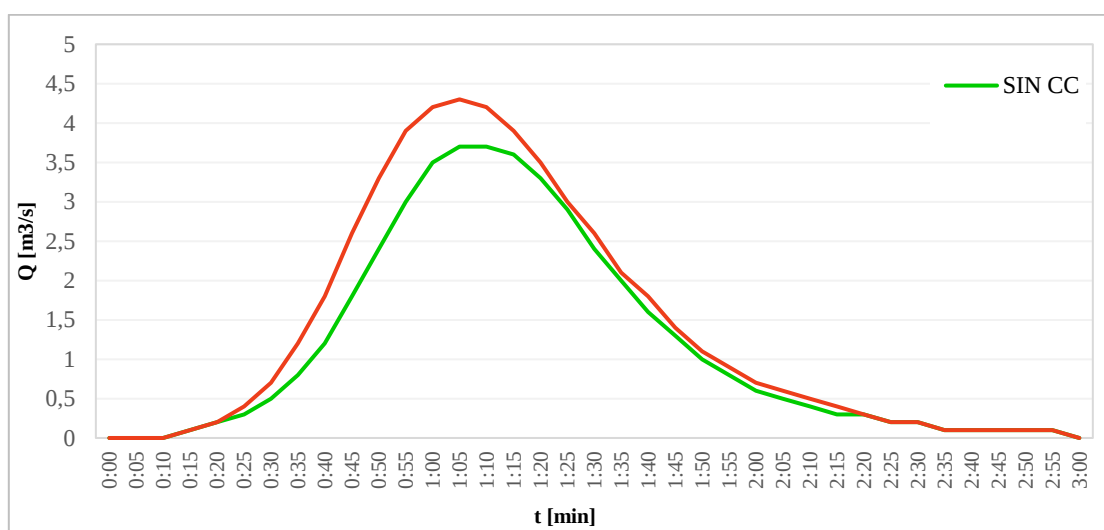
Modelación Hidrológica

Sin Cambio Climático

De la modelación hidrológica en condiciones normales, para un periodo de retorno de 50 años,

empleando los Hietogramas de la Figura 5 se obtienen los Hidrogramas mostrados en la Figura 6, mismos que indican una escorrentía superficial con duraciones de 3 [horas] y caudales máximos de 3.7 [m³/s] sin CC y 4.3 [m³/s] con CC.

Figura 6 Comparación de hidrogramas (condición normal vs condición con CC).



Analizando los datos de la Figura 6 y Tabla 3 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.

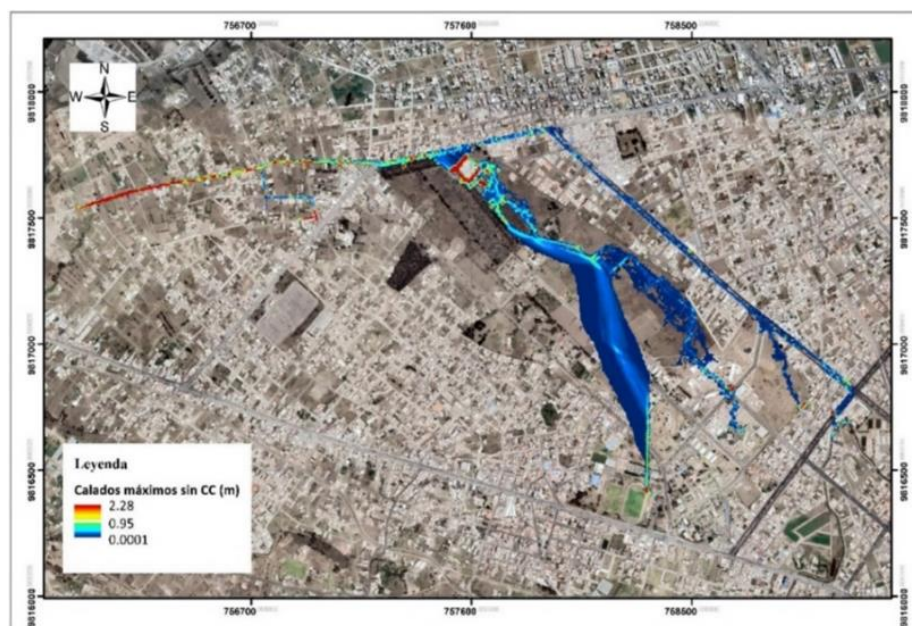
Condición	Volumen de precipitación [mm]	Caudal [m ³ /s]
Sin CC	16.53	3.7
Con CC	18.79	4.3

Modelación Hidráulica

En los resultados de la modelación hidráulica se obtuvieron los valores de calado y velocidad del flujo, en la Figura 7 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.

Figura 7 Mapa de tirantes máximos sin Cambio Climático

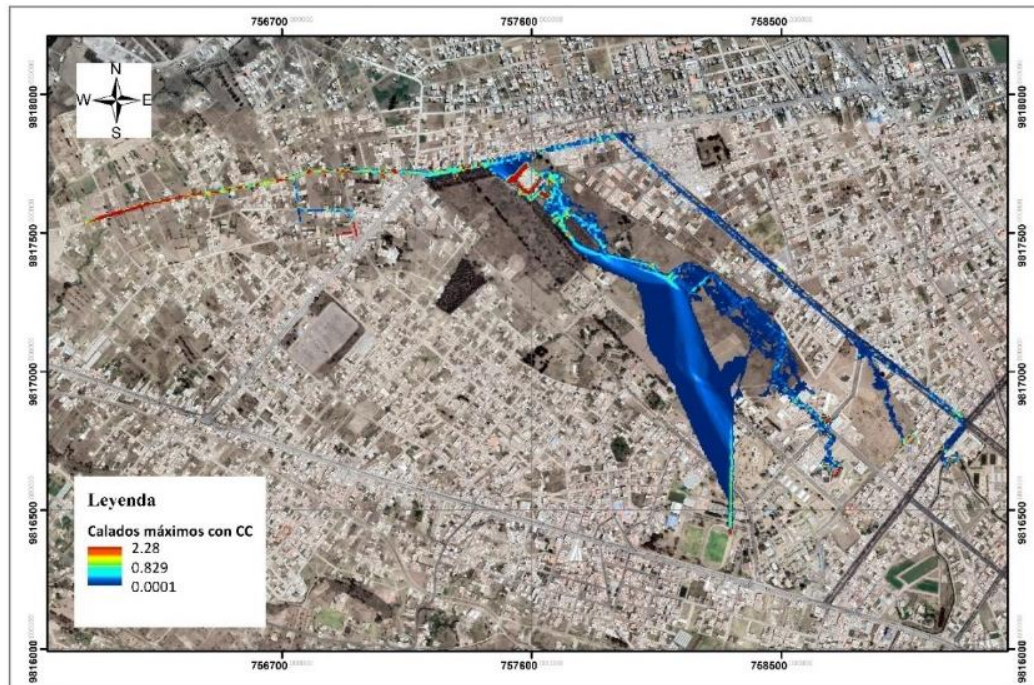


Los valores obtenidos en comparación con los mostrados en el análisis de Jácome (2022), indican una variación en cuanto a los calados y las zonas afectadas, por lo que un plan de riesgo debe ser aplicado en este sector, dado que es una zona propensa a inundaciones.

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 8, siendo este rango igual al de la situación actual.

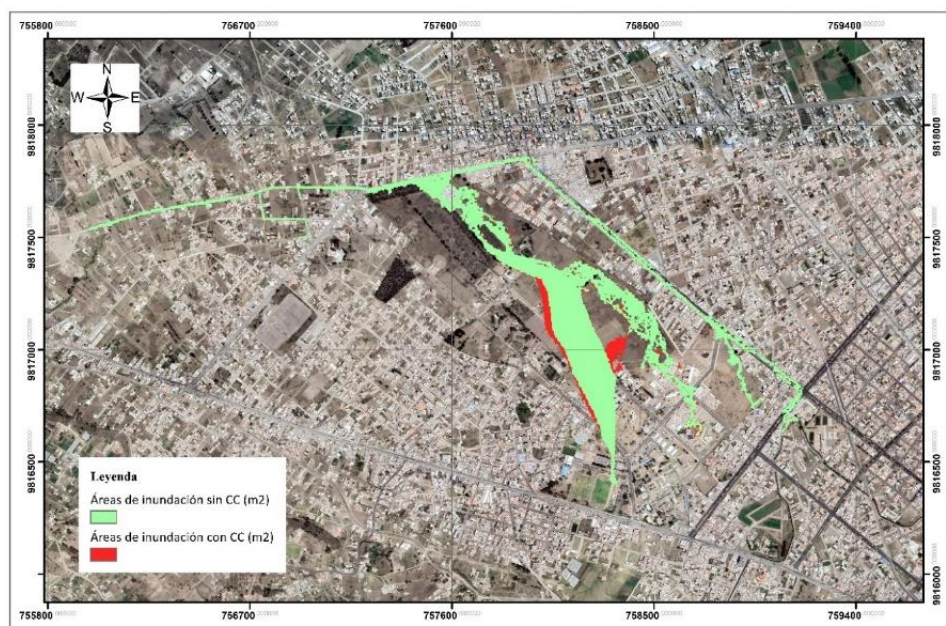
Figura 8 Mapa de tirantes máximos con escenarios RCP 8.5 de Cambio Climático.



En el caso de la Figura 9 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.

Figura 9 Diferencia de áreas de inundación.



Como observamos en la Figura 10 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 10 Diferencia de tirantes entre la situación actual y futura.

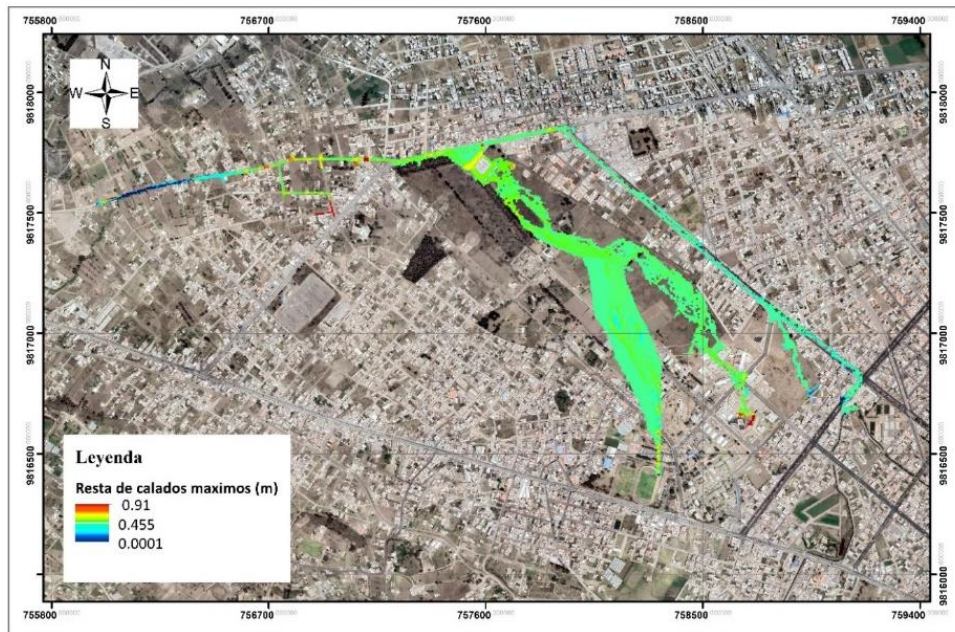
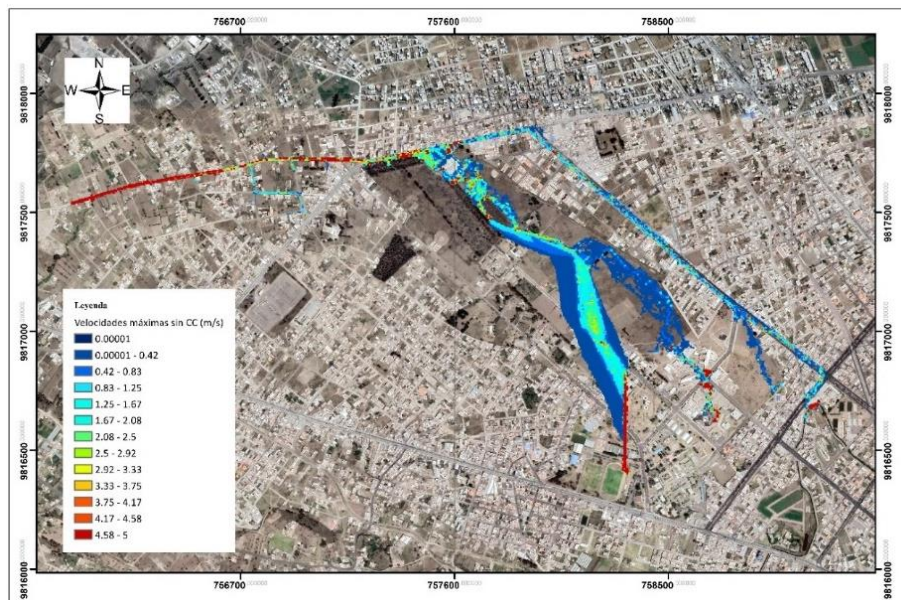


Figura 11 Mapa de velocidades máximas sin Cambio Climático.



En la Figura 11 se encuentra representado la velocidad del área de estudio de la Quebrada de

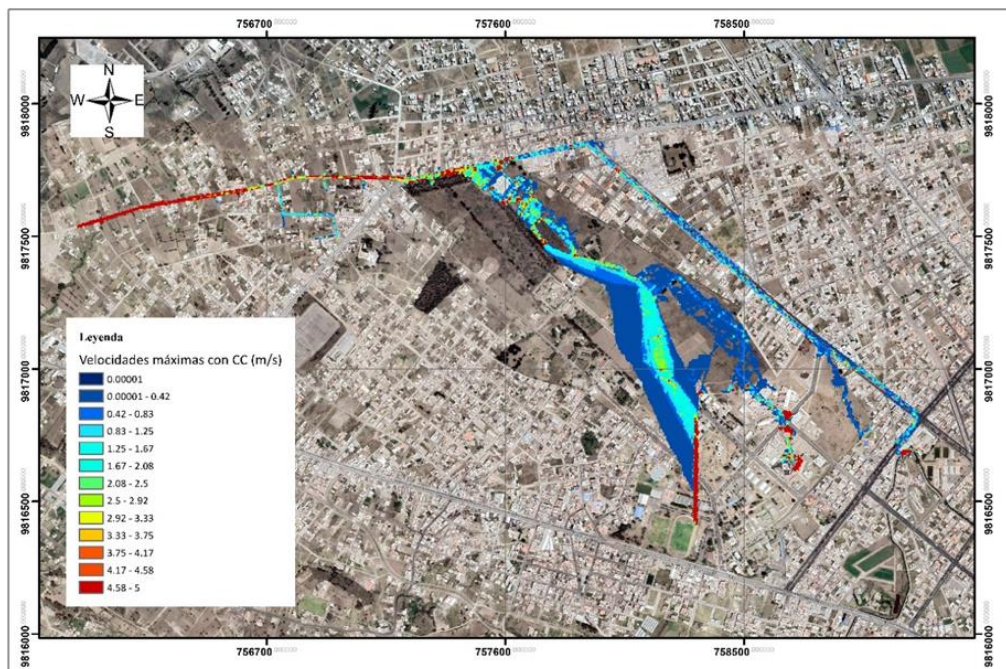
Cundwana para la situación actual, donde los valores varían entre 0 y 1 m/s, teniendo lugares específicos,

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.

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).

Figura 12 Mapa de velocidades máximas con Cambio Climático Escenario RCP 8.5.



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.

4. Conclusiones

La implementación de escenarios de Cambio Climático en la cuenca de la quebrada de Cunduana, se realizó 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.

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 se aplicó el Escenario de CC, de esta manera se consiguió dos Curvas IDF de las cuales se pudo deducir que con la creación de estas con datos históricos y la modelación

hidrológica en el software Hec-hms, los caudales pico varía de un valor de 3.7 m³/s sin CC a 4.3 m³/s con CC. Comparando las curvas IDF obtenidas en esta investigación con las establecidas por el INAHMI se obtuvo una variación de 26.1 m³/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 0.40 m en lugares específicos, siendo algunos de estos la ESPOCH y la Av. Gonzalo Dávalos.

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 y calidad de vida de los habitantes.

Bibliografía

- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de Cambio Climático.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-cendón, E., . . . 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.
- 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](https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/distribucion-temporal-lluvia.html)
- Chow, V., Te, M., & Ways, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (McGRAW-HIL).
- García, D. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulico. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Jácome, M. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones de la quebrada Cunduana mediante el uso de modelos hidrológicos e hidráulico. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Márquez, C. (2016, 03 29). En Riobamba temen el colapso de una quebrada. *El Comercio*: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/riobamba-colapso-quebrada-lluvias-delizamientos.html>
- Mena, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B., & Walz, Y. (2021). Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador. 41. <https://ehs.unu.edu>.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2018). *Inundaciones y Cambio Climático*. Ministerio para la Transición Ecológica, 106.:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Naciones Unidas. (2022). Agua, Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Retrieved from <https://www.un.org/es/global-issues/water>

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/la.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.