

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0150>

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ZONAS URBANAS ALEDAÑAS A LAS QUEBRADAS "SAN SEBASTIÁN" Y "EL ROSARIO" DEL CANTÓN GUANO

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS SURROUNDING THE "SAN SEBASTIÁN" AND "EL ROSARIO" STREAMS OF THE GUANO CANTON

Zúñiga-Rodríguez María Gabriela ¹; Montalvo-Montenegro Carlos Israel²;
Marcillo-Zapata Cristian Andrés ³; Guerra-Valladares Marcelo David 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: cristian.marcillo@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2552-903X>

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Correo: marcelo.guerra@unach.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4119-4959>

Resumen

En las quebradas "San Sebastián" y "El Rosario" en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador, se han observado impactos preocupantes de eventos climáticos extremos, como precipitaciones intensas, aluviones e inundaciones. Estos problemas podrían agravarse debido al Cambio Climático y su influencia en el régimen de crecida de caudales. La falta de información sobre los efectos específicos del Cambio Climático en Ecuador limita la investigación a datos meteorológicos del INAHMI y escenarios de cambio del MAATE. El objetivo del estudio fue identificar zonas propensas a inundaciones bajo condiciones desfavorables de Cambio Climático. Se utilizaron registros anuales de una estación hidrometeorológica para construir curvas IDF y se realizaron modelaciones hidrológicas e hidráulicas con escenario RCP 8.5 y periodo de retorno de 50 años. Los resultados revelaron un aumento significativo en velocidades de flujo y niveles de agua, con incrementos de hasta 1.75 [m/s] y 3.31 [m] respectivamente. Aunque las áreas susceptibles también experimentaron un ligero aumento, representan un riesgo para la vida cotidiana de los residentes del cantón Guano. Se insta a las autoridades a tomar medidas en gestión de riesgos, planificación urbana y prevención a largo plazo frente a desastres naturales por eventos climáticos extremos.

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

Abstract

The "San Sebastián" and "El Rosario" water ravines in the Guano canton, Chimborazo province, Ecuador, alarming impacts of extreme weather events such as intense precipitation, landslides, and floods have been observed. These issues could worsen due to Climate Change and its influence on the flow regime of the ravines. The lack of specific information on the effects of Climate Change in Ecuador constrains the research to meteorological data from INAHMI and change scenarios from MAATE. The study aimed to identify flood-prone areas under unfavorable Climate Change conditions. Annual records from a hydrometeorological station were used to construct IDF curves, and hydrological and hydraulic modeling was conducted with an RCP 8.5

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.



scenario and a 50-year return period. The results revealed a significant increase in flow velocities and water levels, with increments of up to 1.75 [m/s] and 3.31 [m] respectively. Although susceptible areas also experienced a slight increase, they pose a risk to the daily lives of residents in the Guano canton. Authorities are urged to take measures in risk management, urban planning, and long-term prevention regarding natural disasters caused by extreme weather events.

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

1. Introducción

El agua ocupa un lugar central en el desarrollo sostenible, siendo esencial para el progreso socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y la supervivencia humana. A medida que la población mundial crece, las necesidades de vivienda e infraestructura urbana demandan una inminente expansión, lo cual afecta de manera directa a los ecosistemas, el Ciclo Hidrológico, zonas aledañas a los cuerpos de agua y sus sistemas climáticos. En adición a ello, hay que tener en cuenta que Ecuador posee un perfil productivo dependiente en gran parte del sector agroexportador primario y a las industrias manufactureras ligadas directamente con el uso del recurso hídrico. Es por eso que los efectos derivados del Cambio Climático influenciarán de manera directa la senda de desarrollo del país (Ludeña & Wilk, 2013).

El riesgo de inundaciones en Ecuador está asociado a factores como el régimen de crecida de los cuerpos de agua producto de las precipitaciones durante el periodo invernal, así como al efecto producido por el evento climático mundial denominado “fenómeno del niño”. Aunado a esto, la incidencia que tendría el Cambio Climático sobre estos factores daría como resultado precipitaciones de mayor intensidad y un aumento al riesgo de inundaciones en zonas aledañas a los cuerpos de agua. Puesto que Benito Ferrández et al (2018) señalan que las proyecciones realizadas por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) indican un incremento del efecto del Cambio Climático, lo cual desencadenaría en un aumento del riesgo a inundaciones en zonas vulnerables.

Producto de los cambios drásticos de temperatura se puede estimar cambios en la calidad del recurso

hídrico (Boix-Fayos, et al., 2020). Si bien no afecta de la misma manera a todos, es importante considerar las repercusiones ante la variación de disponibilidad hídrica producto del CC, que influirían principalmente a las zonas productivas como la agricultura, pesca e incluso minería de los sectores afectados (Serna & Cañón, 2020), pero también debería analizarse la forma de afectación de estas condiciones sobre las urbes, haciendo especial énfasis en aquellas que se encuentran en zonas aledañas a fuentes o pasos naturales de agua.

El cantón Guano, en la provincia de Chimborazo, enfrenta una problemática relacionada con el desbordamiento de las quebradas y la gran probabilidad de ocurrencia de aluviones. Esta área geográfica es especialmente vulnerable debido a su topografía montañosa y su ubicación en la región andina. El desbordamiento de las quebradas a menudo resulta en la erosión del suelo y el arrastre de sedimentos y rocas hacia las zonas bajas del cantón provocando aluviones que destruyen viviendas, infraestructura vial, cultivos y amenazan la vida de las personas. A esto se añaden

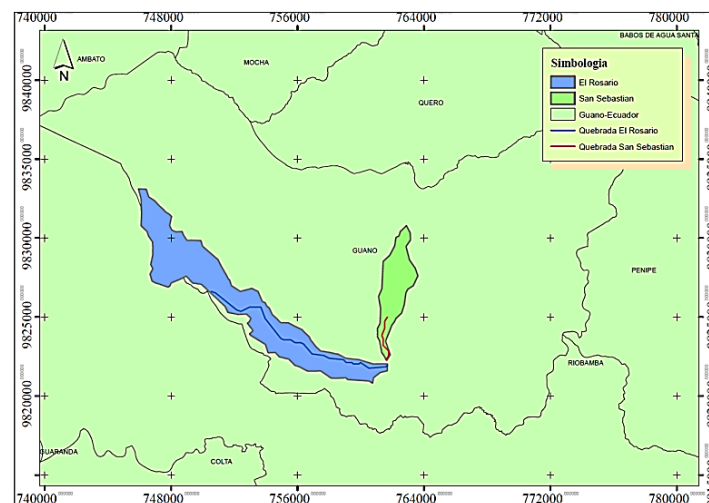
factores como la urbanización no regulada, la deforestación, la falta de educación pública sobre la gestión de riesgo, la escasez de sistemas de alerta que ayuden a reducir la vulnerabilidad a los desbordamientos de las quebradas y los aluviones (Noroña, 2021).

Por todo lo mencionado, es importante aportar con información sobre las estimaciones de los efectos del CC sobre las zonas vulnerables a inundaciones del cantón Guano, mediante la implementación de escenarios de CC en modelos hidrológicos e hidráulicos en la zona de estudio; y de esta manera contribuir con información que podría resultar de utilidad para la planificación controlada de las nuevas urbes y planes de contingencia ante desastres naturales relacionados con el recurso hídrico y por ellos se busca estimar los efectos del Cambio Climático sobre las zonas vulnerables a inundaciones aledañas a las quebradas "San Sebastián" y "El Rosario" del cantón Guano, mediante la modelación hidráulica e hidrológica de escenarios de Cambio Climático.

Las quebradas de “San Sebastián” y “El Rosario” se localizan dentro de la zona urbana del cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo Figura 1. La cuenca de la quebrada “San Sebastián” se clasifica como muy pequeña cuyo perfil longitudinal muestra cotas entre los 2721 msnm hasta los 2948 msnm; mientras que la cuenca de la quebrada “El Rosario” se clasifica como pequeña, cuyo perfil longitudinal muestra cotas entre los 2716 msnm hasta los 3250 msnm. Ambas se definen como cuencas alargadas e irregulares (Alarcón & Basantes, 2022).

Las características de la red de drenaje de las quebradas presentadas por (Alarcón & Basantes, 2022) indican para “San Sebastián” un valor de escurrimiento superficial de 0.81 Km, pendiente del cauce de 17.37% y un tiempo de concentración de 40.71 minutos. Mientras que para la quebrada “El Rosario” determinan un escurrimiento superficial de 0.65 Km, pendiente del cauce de 8.12% y un tiempo de concentración de 101.82 minutos.

Figura 1. Ubicación de las cuencas hidrográficas de las quebradas San Sebastián y El Rosario.



Fuente: (Alarcón & Basantes, 2022)

2. Materiales y métodos

Este trabajo de investigación es de carácter cuantitativo por el hecho de que se efectúan cálculos para

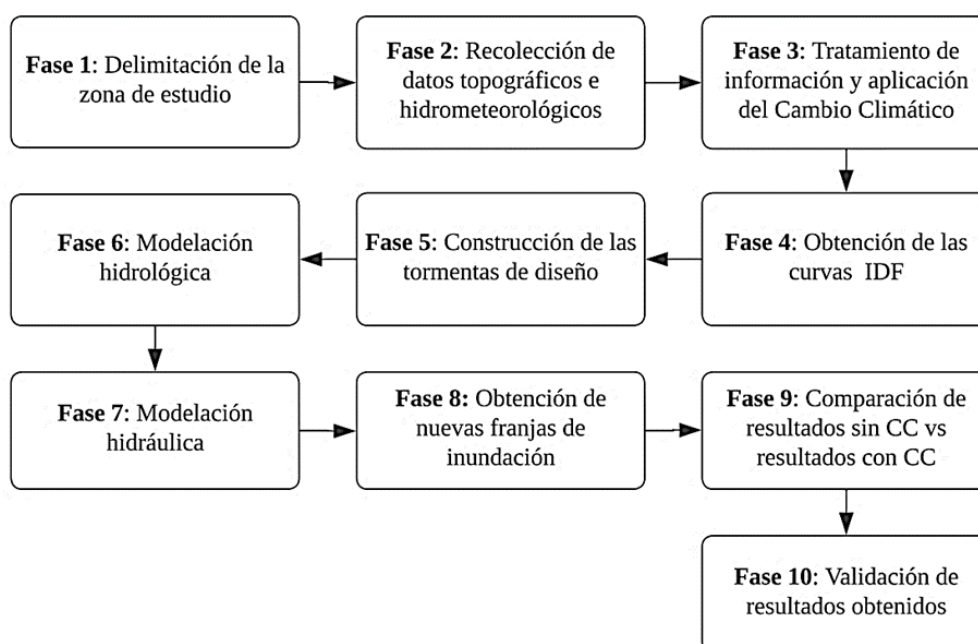
evaluar las variables estudiadas, como la precipitación con relación al tiempo de duración del evento. Esto se debe a que estos cálculos se fundamentan en ecuaciones que

simplifican la interpretación de los resultados, tanto del evento de precipitación, como de los efectos producidos por el CC para un periodo de retorno de 50 años. Puesto que se debe realizar una recolección de datos y un procesamiento de estos, previo a la modelación en los softwares Hec-hms e Iber, el presente trabajo de

investigación exhibe un alcance exploratorio que permite formular alternativas en base a los resultados obtenidos.

Para llevar a cabo los objetivos planteados, la Figura 2 muestra el diagrama de flujo de las actividades a desarrollarse en el presente trabajo de investigación.

Figura 2. Metodología de la investigación



La recolección de datos se centrará tanto en la información espacial y temporal de las quebradas "San Sebastián" y "El Rosario", así como en el registro histórico de las variables correspondientes a precipitaciones y áreas susceptibles en las zonas aledañas a los cuerpos de agua, para de esta manera determinar la influencia del CC sobre

las mismas. Cabe recalcar que el presente trabajo de investigación se realizará partiendo de la tesis de (Alarcón & Basantes, 2022)

Construcción de Curvas IDF

Una curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) es una representación gráfica o en forma de ecuación que describe la variación

de intensidad de lluvia, generalmente expresada en [mm/h], en relación con la duración de ésta, generalmente expresada en [h]; y a su vez con la probabilidad de ocurrencia que tiene, generalmente conocido como periodo de retorno y expresada en [h].

Construcción de Tormentas de Diseño

Las tormentas de diseño construidas para cada una de las quebradas en cuestión sirvieron como dato de entrada, que mediante el uso de procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales, dan como resultado los caudales que recorren las quebradas (Chow, Te, & Mays, 1994). Las tormentas de diseño se basan en la información histórica del registro de precipitaciones proporcionadas por el INAMHI en la estación más cercana a la zona de estudio, específicamente de la estación hidrometeorológica M1036.

El método de bloques alternos es la una forma simple de desarrollar los hietogramas de diseño, basándose en las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF). Mediante esta metodología se define la cantidad de precipitación que ocurre en un número n de intervalos de

tiempo de manera sucesiva (Granados, 2017), generalmente conocido como periodo de retorno y expresada en [h].

Modelación Hidrológica

Los modelos hidrológicos se realizaron empleando el software HEC-HMS. Se efectuaron modelos individuales para cada quebrada, una para “San Sebastián” y otras para “El Rosario”, de manera que se pueda colocar como datos de entrada la información; personalizando los tiempos de concentración según amerite las condiciones resultantes de la tormenta diseñada para cada quebrada (Jorquera, Weber, & Reyna, 2012).

Modelación Hidráulica

Para la simulación en el software bidimensional Iber, previamente se realizó una delimitación del área de estudio en el software ArcGIS, tomando en cuenta el total del área afectada por las inundaciones. En la capa creada se procede a diferenciar entre edificaciones y calles, de manera que se obtenga un shapefile cuya área esté conformada únicamente por las calles que permitan el flujo de agua. Para el

presente trabajo, el parque central de Guano se tomará en cuenta dentro del área de recorrido de agua durante los eventos de precipitación, puesto que su infraestructura de baja altura y sus múltiples accesos, no representarían un obstáculo en el flujo de la escorrentía proveniente de las calles (Bladé, et al., 2014).

3. Resultados y discusión

Curvas IDF

En un principio, se realizó el análisis de los valores de precipitación máxima anual que no consideran el escenario de CC resultantes del análisis de Gumbel por año. De la misma manera, una vez aplicado los factores que influyen en las precipitaciones máximas mensuales y que están relacionados al escenario de Cambio Climático (RCP 8.5), se realiza el análisis de Gumbel por año, obteniendo los

nuevos valores de precipitación máxima anual, los cuales están influenciados por el efecto del escenario de Cambio Climático (RCP 8.5). Tras esto, se procede a realizar la regresión lineal para obtener los coeficientes numéricos de las ecuaciones con las que se construyen las curvas IDF en función de un periodo de retorno y una duración.

Las curvas IDF se pueden representar en función de la intensidad, como muestra la Tabla 1. Además, visualmente podemos observar las curvas IDF construidas para diferentes periodos de retorno, donde la Figura 3 corresponde a las curvas IDF en donde no se considera el escenario de CC; mientras que la Figura 4 muestra las curvas IDF donde se ha considerado el efecto producido para un escenario de CC RCP 8.5.

Tabla 1 Ecuaciones de Intensidad

Condición	Ecuación	
Sin CC	$i = \frac{8.638717 * T^{0.207142}}{t^{0.6163}}$	(1)
Con CC	$i = \frac{9.591433 * T^{0.212958}}{t^{0.6163}}$	(2)

Figura 3. Curva IDF construida, sin considerar efectos del Cambio Climático.

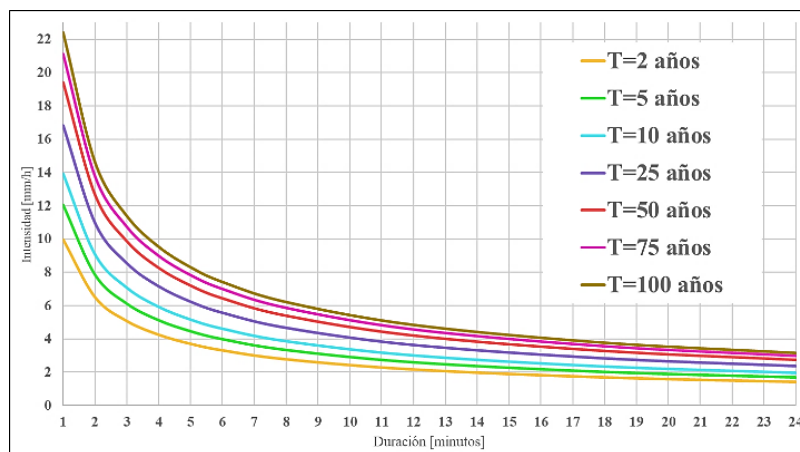
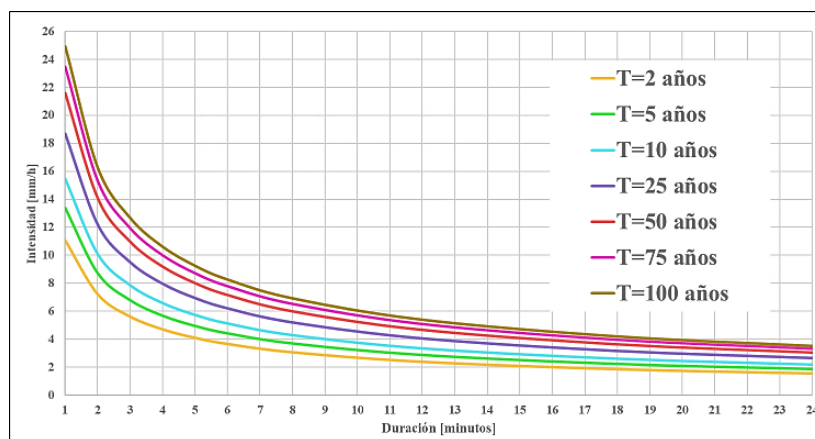


Figura 4. Curva IDF construida, considerando efectos del Cambio Climático.



Puesto que resulta complejo realizar una distinción visual de las diferencias entre los valores correspondientes a las curvas IDF con CC y sin CC, a forma de

ejemplificación, se determinará las intensidades correspondientes a una duración de 30 minutos y un periodo de retorno de 50 años.

Tabla 2 Valores de intensidades, $T=50$ años, $t=30$ minutos, de las curvas IDF con y sin Cambio Climático

Condición	Intensidad [mm/h]
Sin CC	2.38796228
Con CC	2.71233246

En la Tabla 2 se muestra los valores resultantes del ejercicio de ejemplo. El valor de intensidad para el escenario donde se plantea la

ocurrencia de los efectos del CC es mayor al que no considera dicho efecto, probando la hipótesis de que existiría un incremento en el volumen

de precipitaciones en el sector, producto de la influencia del CC.

Tormentas de Diseño

Las proyecciones relacionadas al clima y precipitaciones extremas señalan un aumento en eventos de gran magnitud. Se prevé que, en determinadas regiones del mundo, la frecuencia y la fuerza de eventos extremos de precipitaciones intensas aumenten. Por lo tanto, la forma de incorporar esta condición de CC en las tormentas de diseño consiste en utilizar hietogramas que representen escenarios futuros y reflejen su influencia (Olivares-Cerpa, 2022).

Se consideran 2 tormentas de diseño para las condiciones específicas en cada quebrada. Se obtuvieron 2 gráficas en las que se comparan los valores de precipitación actuales y futuros; cuyo incremento se relaciona de manera directa con el efecto del escenario de CC (RCP 8.5).

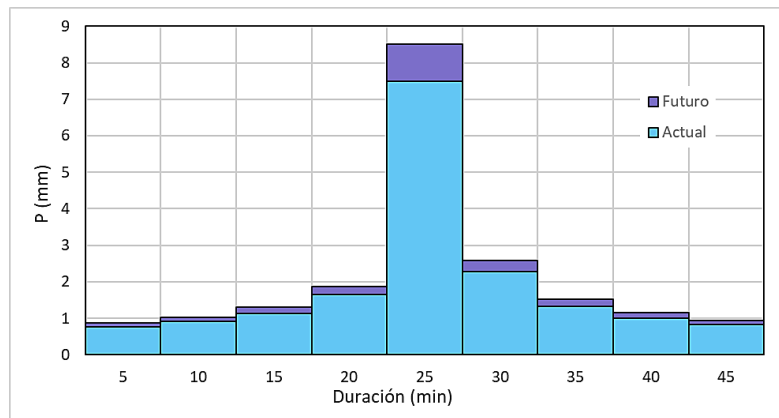
Para la quebrada de "San Sebastián", considerando el tiempo de concentración que es de 40.71 [minutos], se tiene una intensidad de

precipitación de 24.67 [mm/h] para el escenario actual en donde no se considera el efecto del CC; mientras que, en el escenario que, si lo incluye, se evidencia un aumento en el valor de la intensidad de precipitación a 28.02 [mm/h].

Para la quebrada de "El Rosario", considerando el tiempo de concentración de 101.82 [minutos], se tiene una intensidad de precipitación de 14.02 [mm/h] para el escenario actual en donde no se considera el efecto del CC; mientras que, en el escenario que, si lo incluye, se evidencia un aumento en el valor de la intensidad de precipitación a 15.93 [mm/h].

En el caso de la quebrada "San Sebastián", en la Figura 5 se obtuvo que para un periodo de retorno de 50 años se tiene una intensidad pico de 7.49 [mm/h] bajo condiciones normales; mientras que la intensidad pico llega a 8.50 [mm/h] bajo condiciones del CC. Lo cual resulta en un aumento de 1.01 [mm/h], indicando que el CC afecta de manera moderada la intensidad de precipitaciones en la cuenca.

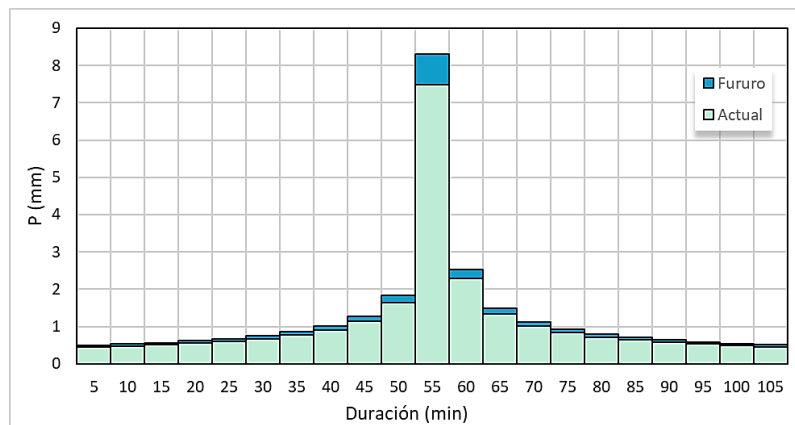
Figura 5 Quebrada “San Sebastián” - Comparación de la tormenta de diseño actual vs la futura considerando el escenario de Cambio Climático RCP 8.5.



Para el caso de la quebrada “El Rosario”, en la Figura 6 se obtuvo que, para un periodo de retorno de 50 años se tiene una intensidad pico de 7.49 [mm/h] bajo condiciones normales; mientras que la intensidad

pico llega a 8.31 [mm/h] bajo condiciones del CC. Lo cual resulta en un aumento de 0.82 [mm/h], indicando que el CC afecta de manera moderada la intensidad de precipitaciones en la cuenca.

Figura 6 Quebrada “El Rosario” - Comparación de la tormenta de diseño actual vs la futura considerando el escenario de Cambio Climático RCP 8.5.



Modelación Hidrológica

A partir de los hietogramas del apartado anterior, se construyeron los hidrogramas para cada quebrada. Es así como se observa en la Figura 7 que para la quebrada “San Sebastián” se tiene una

escorrentía superficial de duración de 2:10 [horas] y caudales máximos de 4.24 [m³/s] para el escenario actual bajo condiciones normales, y de 6.14 [m³/s] para el escenario futuro influenciado por las condiciones de CC.

Mientras que, en la Figura 8 se observa que para la quebrada "El Rosario" se tiene una escorrentía superficial de duración de 5:35 [horas] y caudales máximos de 9.54

[m³/s] para el escenario actual bajo condiciones normales, y de 12.90 [m³/s] para el escenario futuro influenciado por las condiciones de CC.

Figura 7 Quebrada "San Sebastián" - Hidrogramas comparando condiciones normales vs condiciones futuras con CC.

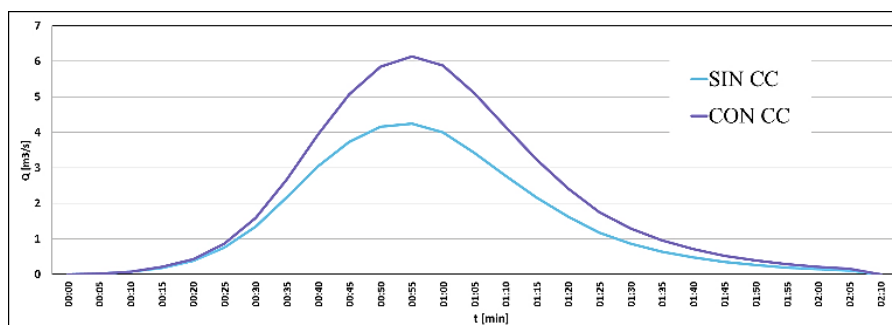
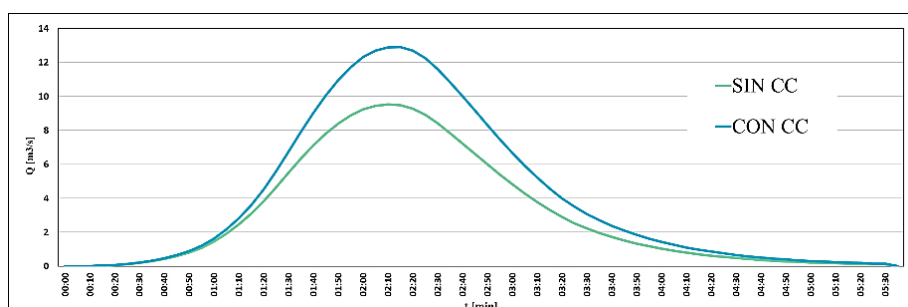


Figura 8 Quebrada "El Rosario" - Hidrogramas comparando condiciones normales vs condiciones futuras con CC.



Tras examinar los datos presentados en los hidrogramas de la Figura 6 y de la Figura 7, así como los hietogramas de la Figura 5 y de la Figura 6 generados con ayuda del software HEC-HMS, se puede observar una marcada disparidad entre los caudales máximos y los volúmenes de precipitación, cuyos valores se encuentran resumidos en la Tabla 3. Esto es especialmente notable al analizar los valores,

significativamente superiores, obtenidos cuando se aplica los efectos adversos del escenario de CC RCP 8.5. Por consecuencia, esto sugiere que existe la posibilidad de que se produzcan eventos extremos de precipitaciones que afecten a la zona de estudio.

Tabla 3 Resumen de resultados de la modelación hidrológica.

Quebrada	Volumen de precipitación [mm]		Caudal [m ³ /s]	
	Sin CC	Con CC	Sin CC	Con CC
San Sebastián	24.67	28.02	4.24	6.14
El Rosario	14.02	15.93	9.54	12.90

Modelación Hidráulica

La modelación en el software Iber nos arrojó los datos correspondientes al tirante y la velocidad de flujo, como se visualiza en la Figura 9, donde se muestra el área de estudio conjuntamente con los valores de calado máximo antes de considerar el CC. En estos resultados se puede observar que el nivel máximo de inundación se sitúa entre 0 y 4.99 metros según la escala de colores. En contraste, el nivel máximo de la tormenta analizada en la investigación de Alarcón y Basantes (2022) varía entre 0 y 7.71 metros, lo cual supera los valores obtenidos en nuestra modelación, más aun así, se constata que las zonas con mayor calado se encuentran en las quebradas “San Sebastián” y “El Rosario”, que resultan ser las mismas zonas afectadas en la investigación de Alarcón y Basantes (2022). En adición a ello, en la modelación realizada para la presente investigación, la zona urbana que

muestra mayor afectación se presenta a lo largo de la Av. 20 de Diciembre, donde se registran niveles de agua de hasta 1.19 metros. Tras la comparativa realizada entre los datos presentados en la investigación de Alarcón y Basantes (2022) con los datos obtenidos en el presente trabajo, se hallan diferencias en los calados y las áreas afectadas.

Al considerarse un escenario de CC se prevé que el caudal de agua se vea modificado en gran escala. Es así como para un periodo de retorno de 50 años bajo las condiciones del escenario de Cambio Climático RCP 8.5 el nivel del tirante alcanza valores entre 0 y 5.42 metros, como se muestra en la Figura 10, este rango tiene una variación de 8.61% mayor al rango de valores mostrados en la Figura 9 que representa la situación actual sin considerar el Escenario de CC.

Figura 9 Mapa de tirantes máximos sin CC.

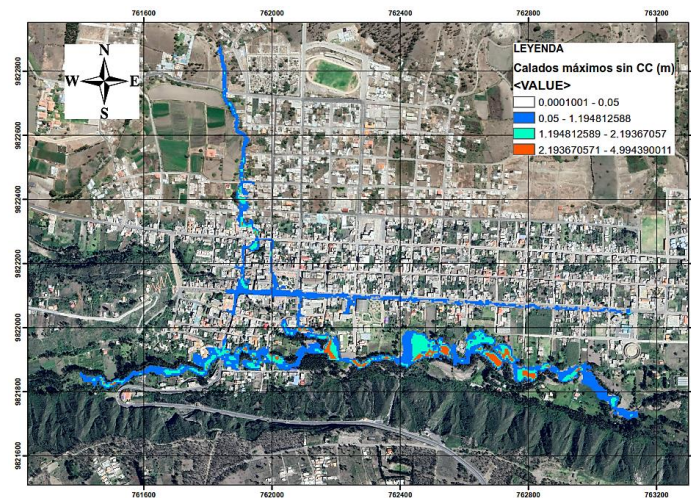


Figura 10 Mapa de tirantes máximos con escenarios RCP 8.5 de CC.

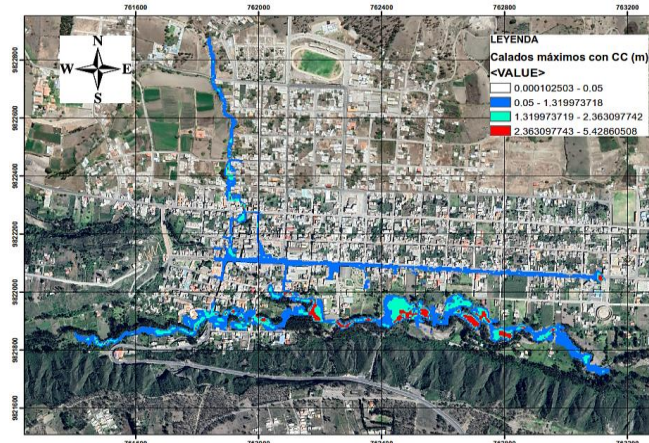
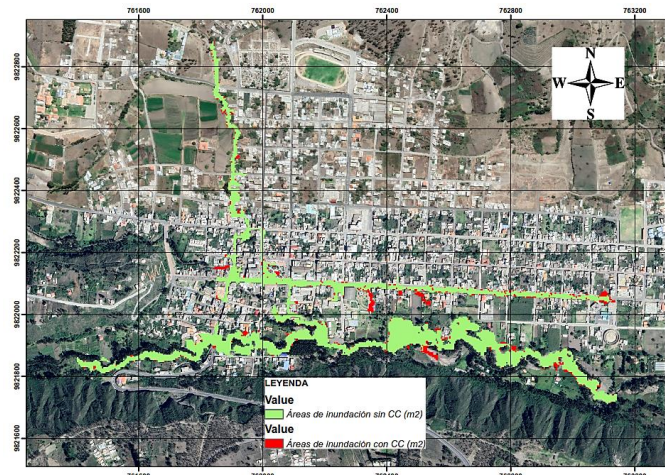


Figura 11 Diferencia de áreas de inundación.



En la Figura 11 se puede observar los calados del área de inundación presente y futura, donde se visualiza

un aumento en los niveles de calados de inundación que se expande hacia áreas previamente no

afectadas a consecuencia del escenario de CC. En la Figura 14 se identifica la mayor diferencia de calado de 3.31 metros dentro del cauce natural de la quebrada “El Rosario”; mientras que en gran parte de la zona de estudio se puede visualizar que existe una diferencia de calados entre 0.13 y 0.33 metros, afectando en su gran mayoría la Av. 20 de Diciembre y la Calle León Hidalgo.

La velocidad en la zona de estudio, que no considera el efecto del escenario de CC oscila entre 0.0027 y 11.06 metros por segundo, como se muestra en la Figura 13; con puntos particulares que destacan extensas longitudes en donde la velocidad en las quebradas “San Sebastián”, “El Rosario”, y algunos puntos aislados la Av. 20 de Diciembre, es la máxima.

Figura 12 Diferencia de tirantes entre la situación actual y futura.

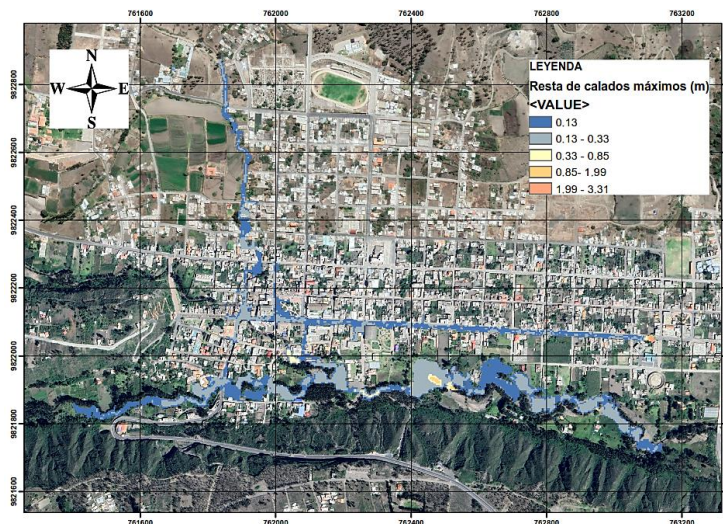


Figura 13 Mapa de velocidades máximas sin CC.

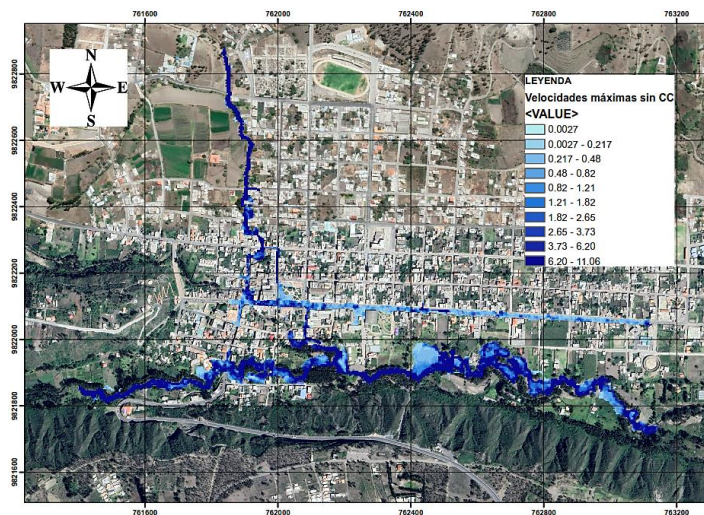
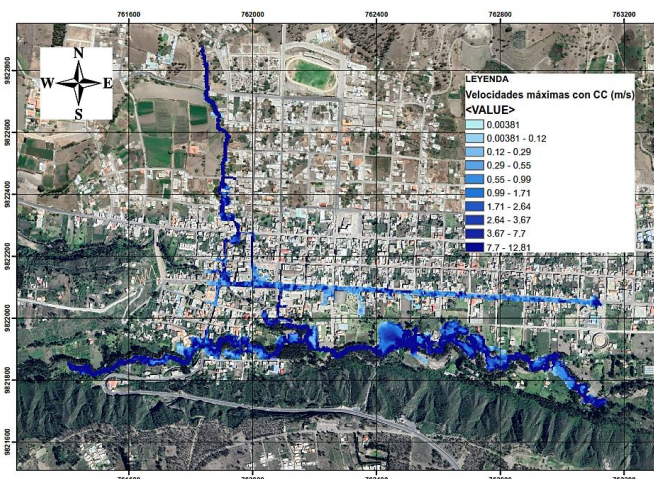


Figura 14 Mapa de velocidades máximas con Cambio Climático Escenario RCP 8.5.



La velocidad bajo el escenario del CC (RCP 8.5) varía entre 0.00381 y 12.81 metros por segundo, como se observa en la Figura 14, esto representa un aumento de 0.00111 metros por segundo en velocidades iniciales y de 1.75 metros por segundo en las velocidades máximas detectadas en la quebrada "El Rosario", "San Sebastián" y a lo largo de la Av. 20 de Diciembre.

A partir de los resultados obtenidos en el simulador Iber se puede observar que los datos obtenidos guardan similitud con la tormenta simulada por Alarcón & Basantes (2022) el 2 de marzo del 2021. La diferencia temporal entre ambas situaciones es aproximadamente 2 años, en este lapso los valores han experimentado variaciones de 1.01 metros en los tirantes y de 3.94

metros por segundo en las velocidades. Tomando en cuenta los datos para el escenario de CC, específicamente el RCP 8.5 para un periodo de retorno de 50 años, se puede visualizar que no se producen altas diferencias a comparación de la situación actual sin CC tanto en los tirantes y las velocidades. Esto se debe a que estos autores emplearon las curvas IDF propuestas por el INAHMI; mientras que en la investigación actual se construyeron las curvas IDF a partir de los análisis de datos históricos de la estación hidrometeorológica M1036.

Al analizar los mapas correspondientes al tirante y la velocidad entre la situación actual (sin CC) y la posible situación futura (con CC), se observa que las zonas propensas a inundaciones no

experimentan grandes cambios. En otras palabras, las zonas afectadas por las inundaciones, sin considerar el escenario de CC, serán las mismas afectadas para la posible situación futura. Sin embargo, es importante destacar que la zona de la Av. 20 de Diciembre, sector el redondel, muestra un aumento en el tirante de hasta 0.33 metros y velocidades de aproximadamente de 3.67 a 7.7 metros por segundo. Estos valores son importantes para considerar el sector como una zona alta en riesgo a inundaciones debido a las precipitaciones.

Comparación de resultados obtenidos con hechos recientes

El hecho reciente que ha tenido mayor notoriedad y repercusiones es el aluvión que data del 12 de diciembre de 2021. Los bienes afectados incluyeron viviendas, calles, locales comerciales, red de agua potable, alcantarillado y saneamiento, planta de tratamiento de aguas servidas, parque acuático, red eléctrica, dos puentes y bienes privados. Producto de los eventos de precipitaciones extremos registrados por más de 4 horas en la parte alta del cantón, se generó un aluvión que ingresó en sentido norte-sur por

medio del cauce natural de las quebradas que atraviesan la cabecera cantonal, provocando su desbordamiento (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2021). Los sectores afectados fueron: La Merced, La Dolorosa del Cementerio, La Magdalena, Santa Anita, San Pedro, La Inmaculada, La Dolorosa (Centro), Santa Teresita (Balneario Los Elenes), entre otros (Noroña, 2021).

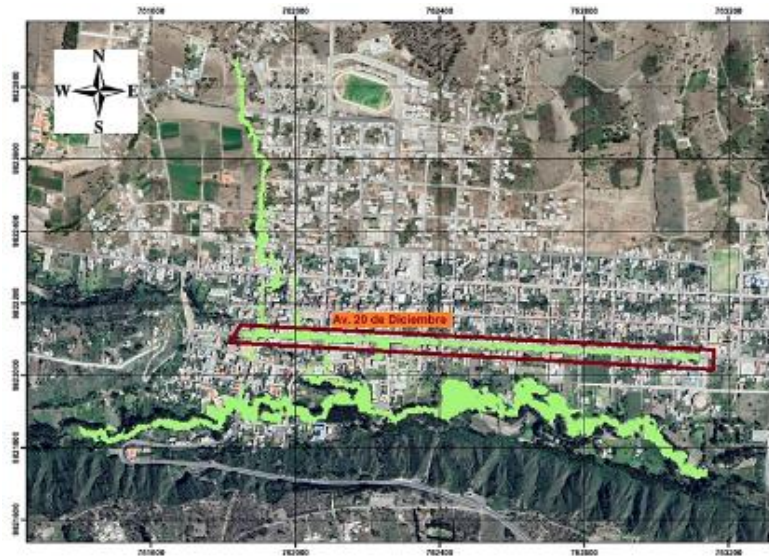
Al realizar un análisis más detallado se puede notar que la Av. 20 de Diciembre, durante gran parte de su longitud, fue la vía que se vio mayormente afectada por el aluvión, puesto que gran parte del caudal se descargó por esta ruta.

Podemos denotar una alarmante tendencia a que la Av. 20 de Diciembre, una de las arterias principales del cantón, se vea afectada por las inundaciones producto de eventos inusuales de precipitaciones extremas. A lo largo de la calle Asunción, sus intersecciones con las calles Agustín Dávalos, calle García Moreno y Av. 20 de Diciembre, son focos críticos, debido a la cantidad de edificaciones, locales comerciales, bienes públicos y automotores que

transitan por el sector que pueden verse afectados al reiterarse un evento extremo de similares

características al del 12 de Diciembre de 2021.

Figura 15 Resultados de la modelación de zonas propensas a inundaciones.



Es evidente que las inundaciones son, y serán a futuro, un tema de especial interés para este cantón. Se debería precautelar la seguridad de la ciudadanía, los bienes privados y públicos, mediante el constante mantenimiento y limpieza de las quebradas aledañas a la urbe, el mejoramiento de la red de alcantarillado, control de desarrollo urbano y la implementación de un plan de gestión de riesgos que considere eventualidades climáticas extremas, en especial los eventos extremos de precipitaciones.

4. Conclusiones

Los efectos que produciría el Cambio Climático sobre las zonas vulnerables a inundaciones que son aledañas a las quebradas "San Sebastián" y "El Rosario" del cantón Guano son la razón principal para realizar investigaciones de esta índole, que se dio mediante la elaboración de modelos hidráulicos e hidrológicos influenciados por el escenario de Cambio Climático.

No se implementaron las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) proporcionadas por el INAHMI, puesto que consideramos que existe una sobrestimación de valores. Por

ello se establecieron nuevas curvas IDF mediante una regresión lineal de los datos obtenidos del registro de precipitaciones máximas anuales de la estación hidrometeorológica M1036 de la ESPOCH.

Los factores usados para el escenario futuro influenciado por el efecto del CC pertenecen al escenario RCP 8.5, los cuales suponen el peor escenario posible. Al aplicar dichos factores, el valor de las precipitaciones máximas anuales incrementa y esto repercute de manera directa sobre el régimen de caudales de las quebradas denotando un aumento de 1.90 [m³/s] para “San Sebastián” y un aumento de 3.36 [m³/s] para el caudal de “El Rosario”.

Se ejecutaron los modelos hidrológicos de lluvia-escorrentía en el software HEC-HMS. Estos modelos proyectan, para ambas quebradas, un incremento respecto a la intensidad de precipitación en el modelo que implementa el escenario futuro que considera el efecto de CC. En cuanto a la quebrada “San Sebastián”, el incremento es moderado ya que pasa de 24.67 [mm/h] a 28.02 [mm/h]; mientras que para la quebrada “El Rosario” se

denota un incremento poco considerable ya que pasa de 14.02 [mm/h] a 15.93 [mm/h].

Mediante la modelación hidrodinámica realizada en el software Iber se identificaron las nuevas áreas de inundación que, si bien éstas no comprenden una gran extensión, se relacionan de manera directa con el alarmante aumento en el nivel de calados máximos de hasta 3.31 [m] en puntos específicos del mapa de zonas inundadas. En cuanto a la velocidad máxima del flujo en estas áreas, se registra un aumento que va de 11.06 [m/s] a 12.81 [m/s] que, si bien la velocidad máxima en condiciones normales ya era preocupante, este posible aumento causa especial preocupación por las consecuencias que tendría el arrastre de escombros en la corriente con esta velocidad de flujo sobre las estructuras.

Las simulaciones de los modelos hidrológicos e hidráulicos, plantean un estado de alarma e inquietud. Debido a que existen incrementos en los valores de tirantes de agua, velocidades máximas de flujo y áreas de inundación que, en caso de producirse un evento extremo de precipitación como el que fue

planteado para esta investigación, desencadenarían el desbordamiento de las quebradas aledañas a la urbe, inundaciones y aluviones que arrastrarían con todo a su paso; ocasionando repercusiones directas sobre las condiciones de vida de los habitantes del cantón Guano.

Bibliografía

- Alarcón, S., & Basantes, K. (2022). Determinación de zonas urbanas vulnerables a inundaciones causadas por las principales quebradas de Guano empleando distintos modelos hidrológicos e hidráulicos. Universidad Nacional de Chimborazo: http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/10021/1/Alarcón%2CSebastián_Basantes%2CKatherine%282022%29_DeterminacióndezonasurbanasvulnerablesainundacionescasadasporlasprincipalesquebradasdeGuano.pdf
- Benito Ferrández, G. G. (2018). Estudios y experiencias a nivel europeo en el primer ciclo de la Directiva de Inundaciones. Publicaciones Del Ministerio Para La Transición Ecológicaterio Para La Transición Ecológica, 105. <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- 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 Calculo y diseño En ingeniería, 30(1), 1–10.: <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>
- Boix-Fayos, C., Boerboom, L. G., Janssen, R., Martínez-Mena, M., Almagro, M., Pérez-Cutillas, P., & De Vente, J. (2020). Mountain ecosystem services affected by land use changes and hydrological control works in Mediterranean catchments. Ecosystem services: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212041620300784>
- Chow, V., Te, M., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. In Ma. E. Suárez (Ed.). Hidrologia Aplicada (Issue (13°; McGrawHill, Ed.). Santafé de Bogotá.). McGraw-HILL.
- Granados, R. (2017). Comparación De Los Métodos: Bloques Alternos E Hietograma Histórico Para La Selección De Tormentas De Diseño, Cuenca Del Río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. Agua, Saneamiento & Ambiente, 12(1), 34–42.:

<https://doi.org/10.36829/08asa.v12i1.1427>

- Jorquera, E., Weber, J., & Reyna, S. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. Primer Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos.: https://www.researchgate.net/profile/Juan-Weber/publication/266885248_Revision_del_estado_del_arte_en_la_modelacion_hidrologica_distribuida_e_integrada/links/544564e80cf2f14fb80efc89/Revision-del-estado-del-arte-en-la-modelacion-hidrologica-distribuida-e-
- Ludeña, C., & Wilk, D. (2013). ECUADOR: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2017 del BID en Ecuador. Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Ecuador-Mitigación-y-adaptación-al-cambio-climático.pdf>
- Noroña, K. (12 de 12 de 2021). Estos son los daños que causó el aluvión en Guano, declarado en emergencia. GK City, 1.: <https://gk.city/2021/12/12/danos-aluvion-canton-guano/>
- Olivares-Cerpa, G. R.-P.-R. (2022). “SUDS-lineales” para reducir el riesgo de inundación considerando escenarios de Cambio Climático. Ingeniería Del Agua, 26(2), 77–90. : <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17058>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2021, 12). Informes de Situación – Aluvión Chimborazo – Ciudad de Guano, desde el 11 de diciembre de 2021. Informe de Situación No. 01: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/informes-de-situacion-aluvion-chimborazo-ciudad-de-guano-desde-el-11-de-diciembre-de-2021/>
- Serna, J. P., & Cañón, J. E. (2020). Projecting the future of Ayapel Cienaga: A hydroecologic analysis under climate change scenarios. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43063710008>