



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con
HEC-HMS*

*Precipitation - runoff simulation in the Chiquiurcu river sub-basin with HEC-
HMS*

*Precipitação - simulação de escoamento na sub-bacia do rio Chiquiurcu com HEC-
HMS*

Juan Pablo Pérez Salinas ^I
juan.perez@tungurahua.gob.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2811-1012>

Claudia Prehn Garcés ^{II}
cprehn@pucesm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2191-7742>

Correspondencia: juan.perez@tungurahua.gob.ec

***Recibido:** 29 de enero de 2023 ***Aceptado:** 24 de febrero de 2023 * **Publicado:** 03 de marzo de 2023

- I. Investigador Independiente, Ingeniero Civil, Maestrante en Hidráulica, mención Gestión de Recursos Hídricos del área de Postgrado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) sede Manabí, Ecuador.
- II. Docente Investigadora, Magíster en Ingeniería Hidráulica y Gestión de Recursos Hídricos, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) sede Manabí, Ecuador.

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

Resumen

La subcuenca del río Chiquiurcu se ubica al noroccidente de la ciudad de Ambato, en la parroquia San Fernando del Cantón Ambato – Tungurahua, en el río Calamaca. La presa del río Chiquiurcu descarga un aproximado de mil litros de agua por segundo como aporte de la cuenca para la plantas potabilizadoras de la ciudad y para el riego, siendo de vital importancia la evaluación progresiva de crecidas para los diferentes períodos de retorno. La investigación que se presenta tuvo como objetivo general determinar el máximo caudal de crecida del río Chiquiurcu en base a datos meteorológicos reales aplicando el software HEC-HMS para el modelamiento precipitación – escorrentía. Se utilizaron los datos de la medición de precipitación del INHAMI y aforos en el campo. Se tuvo como resultado los parámetros morfométricos de la cuenca y finalmente el evento del caudal máximo de crecida para cada período de retorno (TR). Los caudales pico para los TR obtenidos fueron para 5 años: 0.3 m³/s, 10 años: 0.3 m³/s, 25 años: 0.3 m³/s, 50 años: 0.5 m³/s, 100 años: 0.7 m³/s, 500 años: 4.3 m³/s y 1000 años: 12.7 m³/s. El modelo fue calibrado de tal manera que permitió proponer un manejo eficiente del recurso hídrico y evitar la subutilización o sobreutilización de las estructuras.

Palabras Claves: Precipitación; Escorrentía; Embalse; Simulación; Software.

Abstract

The sub-basin of the Chiquiurcu river is located to the northwest of the city of Ambato, in the parish of San Fernando del Cantón Ambato - Tungurahua, on the Calamaca river. The Chiquiurcu river dam discharges approximately one thousand liters of water per second as a contribution from the basin for the city's water treatment plants and for irrigation, the progressive evaluation of floods being of vital importance for the different return periods. The research presented had the general objective of determining the maximum flood flow of the Chiquiurcu River based on real meteorological data applying the HEC-HMS software for precipitation-runoff modeling. Data from the INHAMI precipitation measurement and gauging in the field were used. The morphometric parameters of the basin and finally the event of the maximum flood flow for each return period (TR) were obtained as a result. The peak flows for the TR obtained were for 5 years: 0.3 m³/s, 10 years: 0.3 m³/s, 25 years: 0.3 m³/s, 50 years: 0.5 m³/s, 100 years: 0.7 m³/s, 500 years: 4.3 m³/s and 1000 years: 12.7 m³/s. The model was calibrated in such a way that it allowed proposing an efficient management of the water resource and avoiding the underutilization or overuse of the structures.

Keywords: Precipitation; runoff; Reservoir; Simulation; Software.

Resumo

A sub-bacia do rio Chiquiurcu está localizada a noroeste da cidade de Ambato, na freguesia de San Fernando del Cantón Ambato - Tungurahua, no rio Calamaca. A barragem do rio Chiquiurcu descarrega aproximadamente mil litros de água por segundo como contribuição da bacia para as estações de tratamento de água da cidade e para irrigação, sendo de vital importância a avaliação progressiva das cheias para os diferentes períodos de retorno. A pesquisa apresentada teve como objetivo geral determinar a vazão máxima de cheia do rio Chiquiurcu com base em dados meteorológicos reais aplicando o software HEC-HMS para modelagem de precipitação-vazão. Foram utilizados dados da medição de precipitação do INHAMI e aferição em campo. Como resultado foram obtidos os parâmetros morfométricos da bacia e por fim o evento da vazão máxima de cheia para cada período de retorno (TR). Os fluxos de pico para o TR obtidos foram para 5 anos: 0,3 m³/s, 10 anos: 0,3 m³/s, 25 anos: 0,3 m³/s, 50 anos: 0,5 m³/s, 100 anos: 0,7 m³/s, 500 anos: 4,3 m³/s e 1000 anos: 12,7 m³/s. O modelo foi calibrado de forma a permitir propor uma gestão eficiente do recurso hídrico e evitar a subutilização ou sobreutilização das estruturas.

Palavras-chave: Precipitação; escoamento; Reservatório; Simulação; Programas.

Introducción

Los recursos hídricos forman parte de un balance natural e indispensable para la sobrevivencia humana y del planeta, sin embargo, en la actualidad con el impacto de la explotación humana, la presión antropogénica, el uso irracional, pérdida de ecosistemas acuáticos, el extractivismo, la emergencia del cambio climático y la degradación de los recursos naturales que le proveen su equilibrio, reflejan severos cambios en sus patrones hídricos, incrementando de esta forma su vulnerabilidad.

Según el informe especial entregado al Consejo de Derechos Humanos (Naciones Unidas de México, 2022) tres cuartas partes de los desastres naturales ocurridos en el mundo en los últimos 20 años, estuvieron relacionados con el agua, entre ellos inundaciones, deslizamientos de tierra y fuertes eventos climáticos extremos, en muchos casos provocados por las precipitaciones.

Es por ello que, cada vez cobra más importancia distinguir los factores y tener metodologías para medirlas con respecto a su cantidad y distribución temporal, las cuales son un factor determinante para distinguir las zonas húmedas (>1800mm), de las húmedas – secas (700-1800 mm) y las secas (<700 mm) (Duque *et al.*, 2019). Por ser la evapotranspiración un determinante del balance hídrico

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

por el vínculo existente entre el agua y la cantidad de energía disponible en superficies heterogéneas (Méllo *et al.*, 2022).

Uno de los principales desafíos existentes en el Ecuador, ubicado en zona ecuatorial, es que recibe una intensa radiación solar, las masas de aire húmedo ascienden, generando lluvia al enfriarse, también una alta precipitación y baja presión atmosférica (Varela y Ron, 2022). También posee heterogeneidad climática y topográfica, siendo la Sierra, la región que contiene las mayores precipitaciones en el año, por encima de 800mm y 1500mm, y 163 días de lluvia aproximadamente. En este sentido, el río Chiquiurcu, ubicado en el páramo de la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia San Fernando a 3900 msnm, aun con los esfuerzos por conocer este importante recursos de la zona, no se tiene suficiente información de datos que reflejen la realidad de la cuenca y su potencial (Salinas, 2020).

La cuenca cuenta con una represa que posee una capacidad de almacenamiento de 3.000.000 de m³, con núcleo de tierra de 41 m de altura y 275 m de longitud, en su corona descarga entre 400 y 600 l/s, caudal que sirve para la dotación de agua potable a los cantones de Ambato y Pelileo en 200 l/s, además aporta a la toma de trasvase del proyecto Ambato-Huachi-Pelileo y caudal ecológico (Salinas, 2020).

Uno de los problemas que se ha evidenciado, son las crecidas, mucho mayores a las consideradas en el diseño de la represa, obligando al equipo técnico a tomar decisiones de mantener la cota del espejo de agua por debajo del nivel óptimo de funcionamiento, restándole un 30% de capacidad para preservar la obra y evitar un colapso, por una crecida inesperada que puede superar el nivel de la corona de la represa.

Por lo tanto, es necesario disponer de mecanismos, herramientas y dispositivos que puedan contribuir a monitorear el balance hídrico a varios niveles, y que permitan el análisis de las relaciones precipitación - escorrentía para planificar proyectos y obras de ingeniería fundamentadas en el control de riesgos por inundación, sequía, contaminación y emergencia climática, entre otros (Cruz *et al.*, 2015). Estas herramientas pueden significar una importante ayuda en la planificación, monitoreo y manejo más eficiente de las cuencas hidrográficas.

Sin embargo, la base de datos hidrológicos y climatológicos son escasos y su información deficiente, lo que puede conducir a la interpretación de resultados erróneos. Por ello, es necesario estandarizar protocolos para extracción de datos accesibles que servirían de aporte a la geoestadística para estudios

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

de carácter científico (Li *et al.*, 2014), esto también ayudaría a mitigar las controversias derivadas de estimaciones erróneas.

En vista de la necesidad de contar con recursos, modelos, técnicas y herramientas que permitan ampliar el monitoreo de la subcuenca Chiquiurcu, el presente estudio tuvo como objetivo determinar el máximo caudal de crecida del río Chiquiurcu en base a datos meteorológicos medidos en el software HEC-HMS para el modelamiento precipitación – escorrentía. Los resultados obtenidos en la investigación servirán de base para la toma de decisiones en el rediseño de un vertedero de excesos que permita alcanzar el máximo de capacidad del embalse.

Materiales y métodos

La comprobación de los límites de la unidad hidrológica subcuenca Chiquiurcu, en río Calamaca se ejecutó mediante el Software de código abierto QGIS with Grass 7.8.5. El Modelo Digital del Terreno (MDT), tuvo una precisión de 3 x 3 m proporcionados por el departamento geográfico del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, el cual permitió obtener los parámetros morfométricos de la cuenca mediante las herramientas del QGIS como: Flow direction, Flow accumulation, r. watershed.

Para obtener la información y los datos de las precipitaciones, fue requerida la consulta de la base de datos de las estaciones meteorológicas del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua. Asimismo, se realizó una revisión bibliográfica de investigaciones en los últimos diez años para conocer avances, métodos y modelos usados en los casos de simulación precipitación - escorrentía.

Se utilizó el Software Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)¹ que es un sistema de modelado hidrológico diseñado para simular procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas (Aguilar y Díaz, 2016). El software incluye procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, hidrogramas unitarios y enrumbamiento hidrológico; además incluye procedimientos necesarios para modelación continua (Torres *et al.*, 2018).

También se proporciona capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía en cuadrícula utilizando la transformación de escorrentía lineal cuasi distribuida (ModClark). Se proporcionan herramientas de análisis suplementarias para la optimización del modelo, pronosticar el caudal, la reducción del área de profundidad, evaluar la incertidumbre del modelo, la erosión y el transporte de sedimentos y la calidad del agua.

¹ Proporcionado por el departamento geográfico del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

De igual forma se utilizó el software Quantum GIS, más conocido como QGIS, Este sistema de información geográfica de uso libre, es uno de los más empleados en el mundo. Concibe librerías de funciones propias de él y de otros SIG libres muy potentes como GRASS, SAGA, GDAL, además de contar con capacidades para incluir scripts de Python, R etc. Todo esto lo hace un instrumento útil para estudios hidrológicos donde se requiere un amplio grupo de herramientas para obtener los parámetros morfométricos de la cuenca.

Asimismo, fueron de gran utilidad los Software Microsoft Office 2016, por un lado, Microsoft Excel 2016 que permitió la elaboración de registros, tablas y procesamiento de la base de datos, por otro lado, Microsoft Word 2016 que permitió la redacción y edición del documento final.

Resultados y Discusión

Dentro de los resultados obtenidos, se evidenció el área km², perímetro km, longitud axial km, ancho promedio de la cuenca en kilómetros y se obtuvo la relación entre el área de la cuenca para la longitud axial, factor de forma de Horton, coeficiente de compacidad o de Gravelius, coeficiente de circularidad de Miler C_C , tomando en consideración que si el índice tiende a la unidad sería una cuenca ensanchada, si tiende a cero la cuenca sería alargada, ya que esta diferencia condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y un comportamiento diferente dependiendo de la forma.

Se calcularon los parámetros de relieve de la curva hipsométrica que indicó el potencial evolutivo de la cuenca y permitió definir la relación existente entre la altura relativa y el área en función de los intervalos de las curvas de nivel que se fijó. La pendiente media de la cuenca es uno de los factores influyentes en la degradación de la cuenca, de igual manera el caudal máximo y su poder erosivo en función al grado de pendiente que presenta la cuenca. Mientras que el coeficiente de rugosidad es el que relaciona el desnivel de la cuenca y su densidad de drenaje (Méllo *et al*, 2022). Otro parámetro importante a tomar en cuenta es la orientación de la ladera que indica la dirección geográfica con respecto al norte e indica la dirección del escurrimiento (Huamaní y Lazo, 2020).

Morfometría

Entre los parámetros morfométricos generales de la cuenca se tiene que, según el factor de forma de Horton la cuenca es alargada, asimismo en referencia al índice de compacidad se tiene una cuenca oval oblonga a rectangular oblonga y en cuanto al Coeficiente de circularidad de Miller se trata de una cuenca alargada (*Ver Tabla 1*).

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

Tabla 1

Resultados morfométricos cuenca total del río Chiquiurcu

Nombre	CH_Total	Descripción
Área_Km2	31.73	
Perímetro_Km	37.45	
Lc_Km	11.83	Longitud Axial de la cuenca
Rf	0.22	Factor de forma de Horton
Kc	1.86	Índice de Compacidad
Cc	0.28	Coefficiente de Circularidad de Miller
Tc	0.81	Tiempo de concentración

Nota: Se confirmó a través del índice de compacidad, los factores de forma de Horton y de circularidad de Miller la forma de una cuenca alargada

Este tipo de cuenca alargada tiene menor probabilidad de recibir precipitaciones intensas y progresivas sobre la totalidad de su superficie, por lo cual se encontrará sujeta a crecientes de menor magnitud en comparación a un área de similar tamaño con un factor mayor (Camino *et al*, 2018). En los parámetros morfométricos, el río Chiquiurcu tiene un factor de Horton de 0,22, que implica una mayor cercanía a 0, lo que sugiere que posee de picos medios a bajos respecto a las crecientes (*Ver Figura 1*).

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

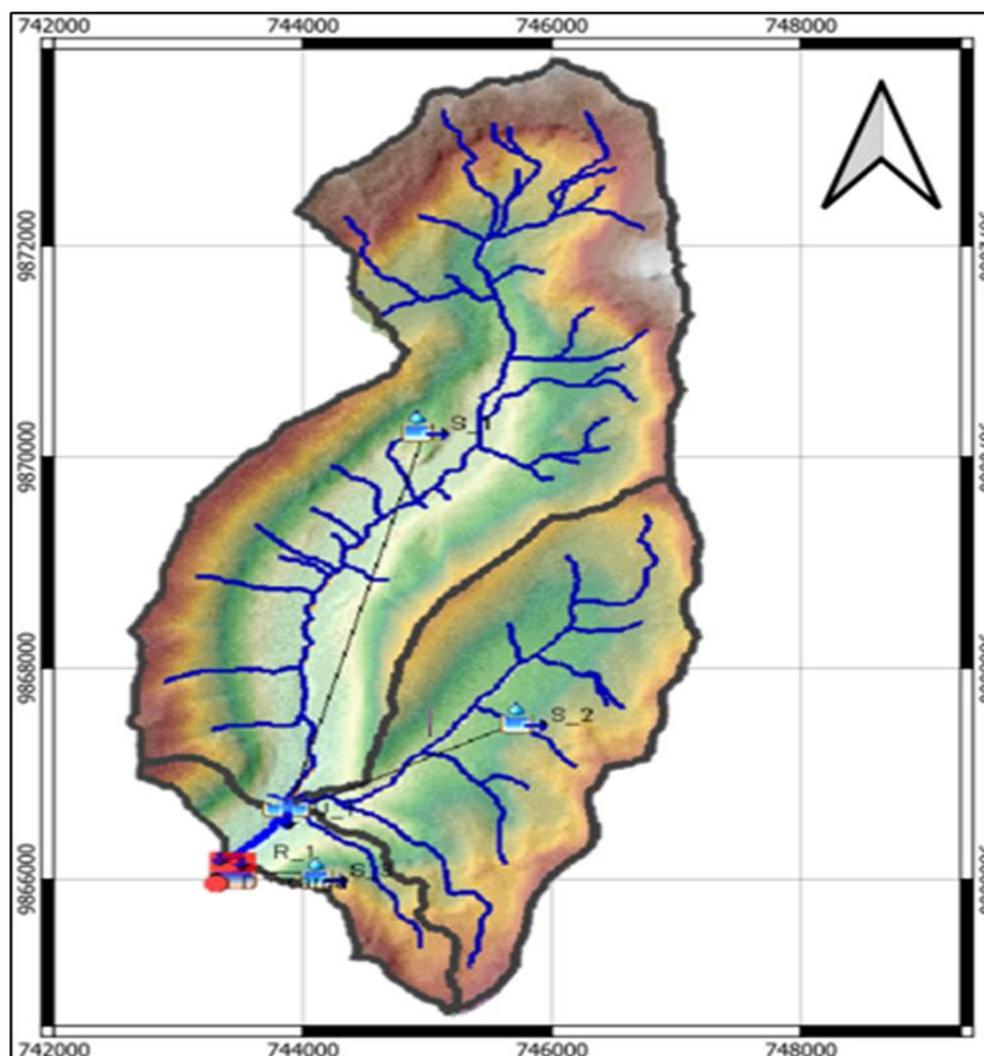


Figura 1. Forma oval del río Chiquiurcu y las subcuencas definidas dentro de la cuenca

Fuente: Pérez (2022), a través del Software HEC-HMS

Respecto al índice de compacidad del río Chiquiurcu, K_c 1,86, cuando este valor se acerca progresivamente hasta K_c 1,75, se trata de una cuenca alargada, mientras los valores ascienden por encima de este factor indican cuencas irregulares y con menor riesgo de crecidas, en la medida que el tiempo de concentración es mayor, la respuesta de la cuenca a determinada precipitación tendera a ser menor, pero cuando la concentración es menor la respuesta tiende a mayor (Camino *et al.*, 2018). Previo al proceso del ráster (*Ver Figura 2*), se realizó un preproceso en el mismo para obtener información visual y topográfica de la cuenca.

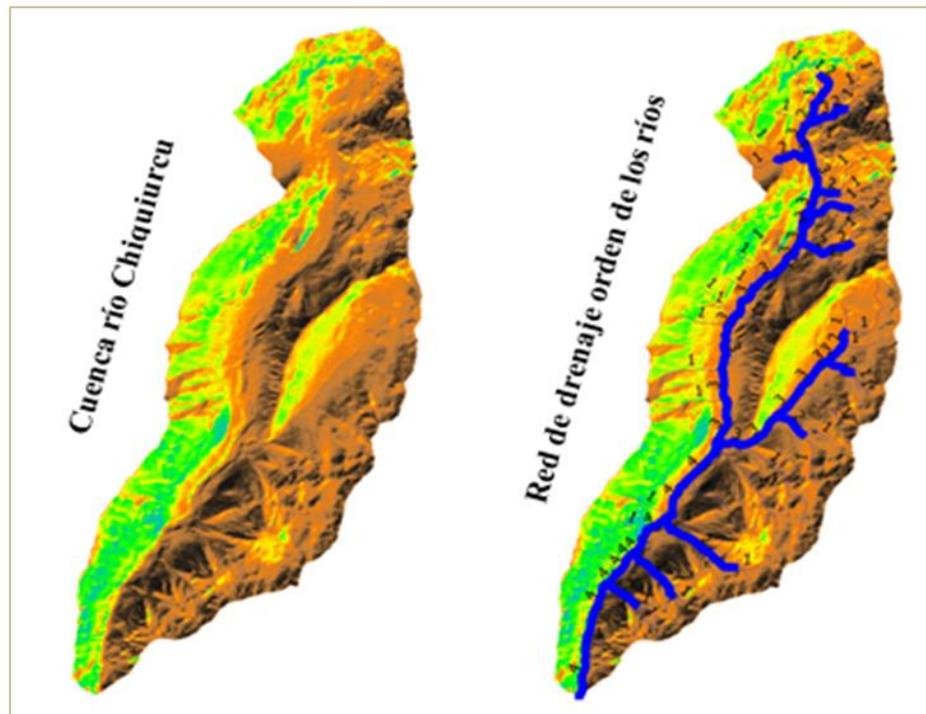


Figura 2. Preproceso en el DEM de la cuenca del río Chiquiurcu

Fuente: Pérez (2022), a través del Software HEC-HMS

Precipitación

Asimismo, utilizando los parámetros morfométricos indicados de la cuenca, se realizó la calibración en base a una lluvia de alta intensidad el día 21 de junio 2016 (*Ver Figura 3*), que tuvo caudales de hasta $12 \text{ m}^3/\text{s}$, con variaciones en los valores de abstracciones iniciales y CN hasta llegar a tener dicho valor en el caudal simulado en la cuenca.

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

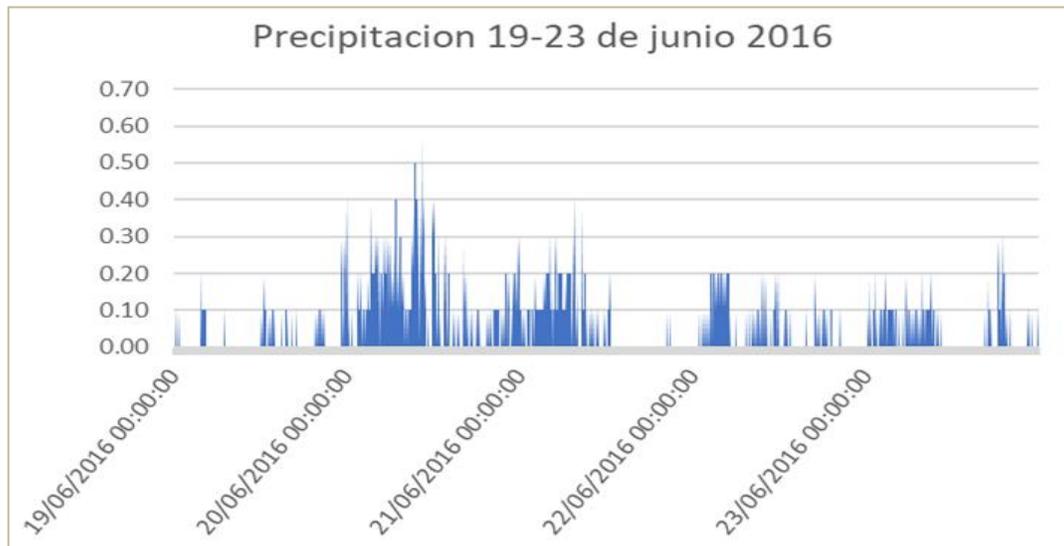


Figura 3. Faja pluviográfica del 19 al 23 de junio 2016 en la estación Chiquiurcu

Fuente: Pérez (2022), a través del Software HEC-HMS

De igual manera, se calcularon las curvas IDF desde el estudio de lluvias intensas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI) (Guachamín *et al.*, 2015), mismas que son computadas en términos de 24 horas (*Ver Figura 4*), se consideró un período igual al tiempo de concentración de la cuenca, es decir 0,8 horas, por lo que fue necesario transformar los datos en horas, minutos y multiplicar por 48 minutos.

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

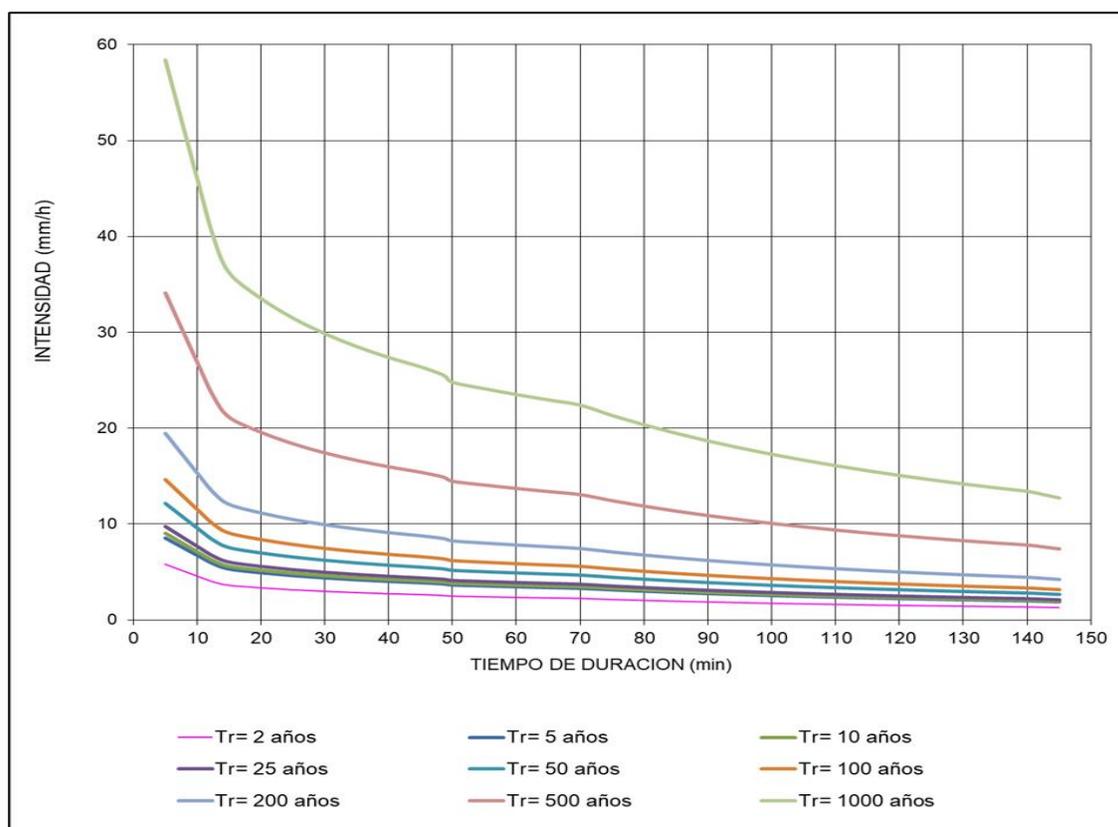


Figura 4. Curvas IDF de la cuenca del río Calamaca

Fuente: Pérez (2022), desde la estación _AMBATO AEROPUERTO M0066_

Los datos de intensidad transformados a precipitación se representan en la Figura 5 de acuerdo con los diferentes períodos de retorno, siendo el más crítico el de 1000 años. (Guachamín et al., 2015) establecen los valores de las curvas IDF son válidos hasta 100 años, sin embargo, se han extrapolado los valores superiores a estos para realizar los cálculos (*Ver Figura 5*).

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

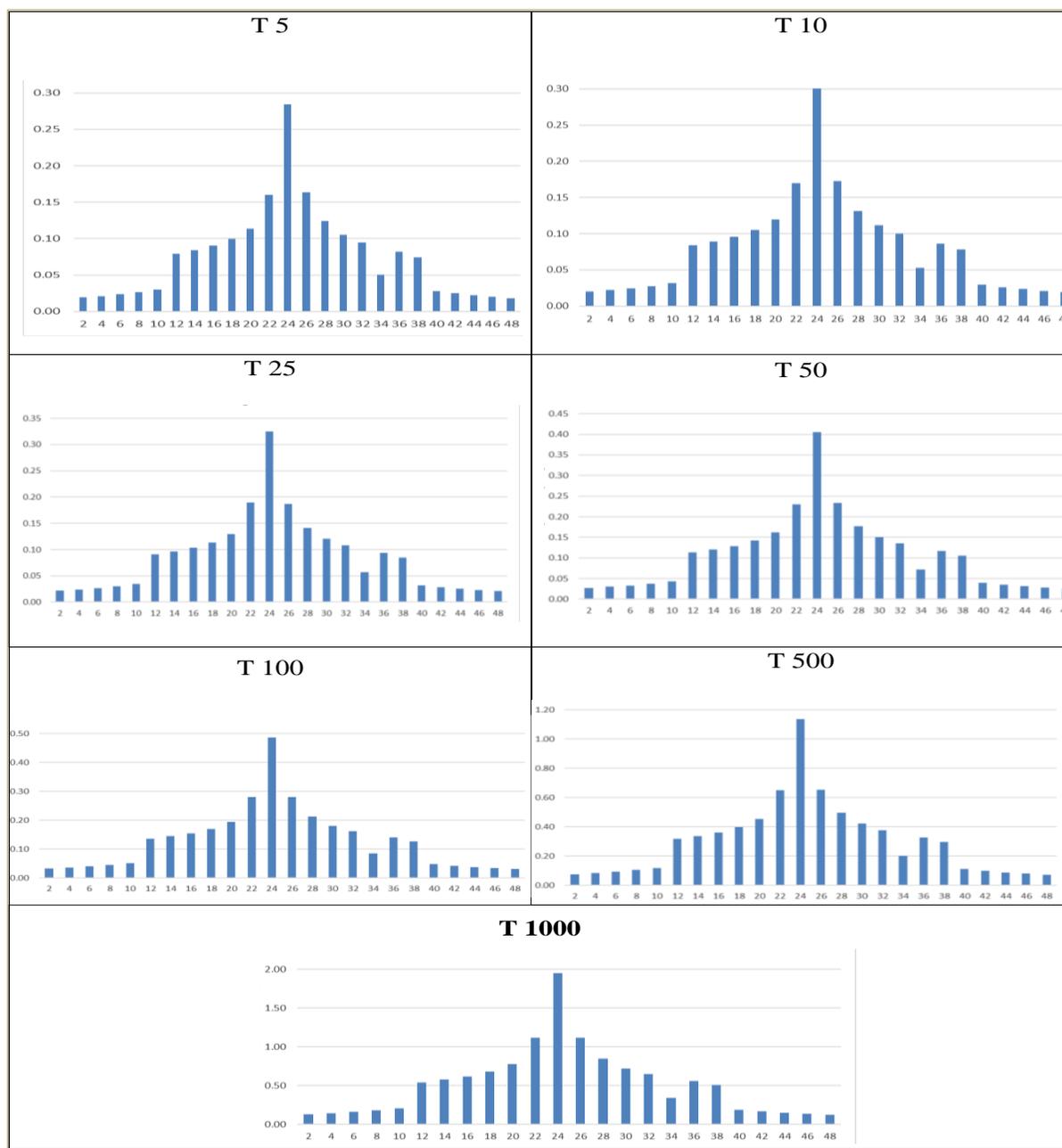


Figura 5. Hietogramas definidos para diferentes períodos de retorno

Fuente: Pérez (2022), desde la estación _AMBATO AEROPUERTO M0066_

Escorrentía

Una vez calculada la precipitación y definidas las características físicas de la cuenca se calculó la escorrentía mediante el programa HEC-HMS obteniendo los hidrogramas de crecida para los períodos de retorno establecidos en la Figura 5. Se obtuvieron los resultados expuestos en la Figura 6.

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

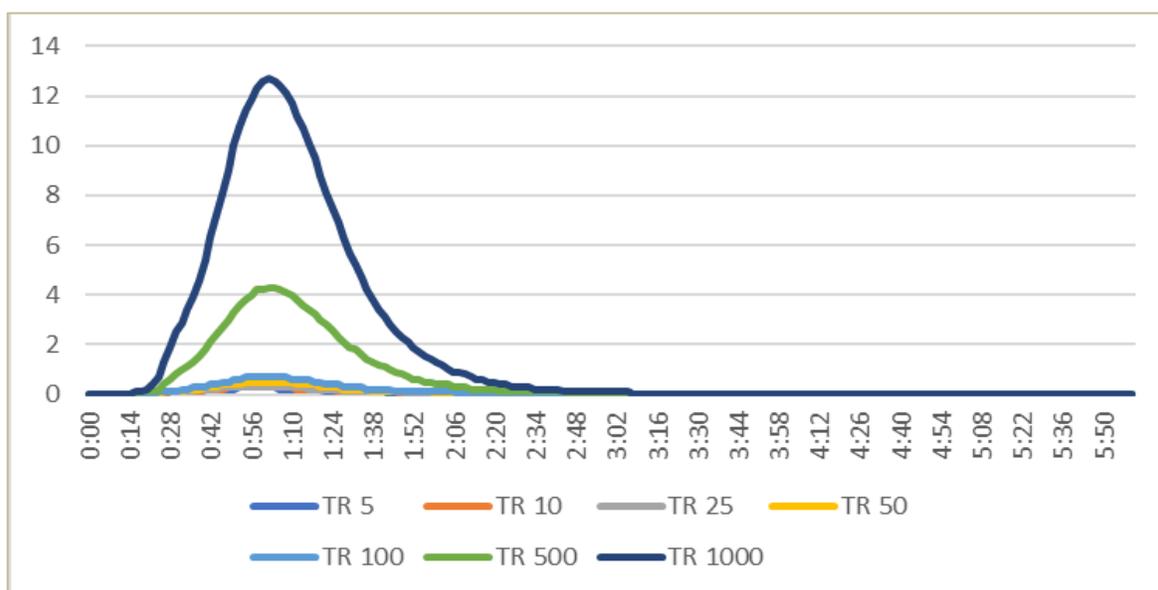


Figura 6. Hidrogramas de los diferentes períodos de retorno en el río Chiquiurcu

Fuente: Pérez (2022), a través del Software HEC-HMS

De acuerdo con la simulación se pudo evidenciar que existe un incremento representativo en los caudales de un período de retorno de 5 años respecto a 1000 años, lo cual responde a los hidrogramas calculados previamente. Con estos resultados además se puede añadir que el 21 de junio 2016 existió una precipitación de alta intensidad, pues el caudal llegó a un período de retorno superior a 500 años ($7.4 \text{ m}^3/\text{s}$) por lo que se hace hincapié en que las obras hidráulicas deben tener estudios muy minuciosos de las crecidas.

Conclusiones

El cambio climático global actual ha cambiado la situación del ciclo del agua, lo que provoca una serie de problemas sobre los recursos hídricos. La variación temporal - espacial de la escorrentía es una parte importante del ciclo hidrológico, la precipitación define en cierta forma la escorrentía. El estudio de la variación de la escorrentía y su respuesta a la precipitación tiene un significado práctico para la utilización sostenible de los recursos hídricos y para definir su respuesta antes los diversos factores que mantiene el balance de un río, cuenca o subcuenca.

Determinar el máximo caudal de crecida del río Chiquiurcu en base a datos meteorológicos reales aplicando el software HEC-HMS para el modelamiento precipitación – escorrentía, fue una investigación que permitió evidenciar y comprobar la importancia de establecer niveles de simulación

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

con datos reales y proyectados para observar la respuesta que una determinada cuenca puede tener con reales, diferentes y probables factores influyentes. Esto cobra vital importancia con el cambio climático y los riesgos de cambios en las estructuras de la antroposfera con el impacto de la actividad humana.

En el caso particular estudiado, referente al río Chiquiurcu a partir de los datos de precipitación calculadas por el INHAMI, los aforos en el campo, y la simulación a través del software HEC-HMS. Se tuvo como resultado los caudales pico para los TR; para 5 años: 0.3 m³/s, 10 años: 0.3 m³/s, 25 años: 0.3 m³/s, 50 años: 0.5 m³/s, 100 años: 0.7 m³/s, 500 años: 4.3 m³/s y 1000 años: 12.7 m³/s. Esto implicó la calibración del modelo para proponer un manejo adecuado del recurso hídrico y evitar la subutilización o sobreutilización de las estructuras.

Para lo cual, se considera que estas herramientas tecnológicas pueden ser de gran utilidad en la planeación y diseños de ingeniería para la conservación de estos recursos. Así como mitigar los efectos devastadores del uso inadecuado de los recursos hídricos. Finalmente, se recomienda que para obras hidráulicas se realicen estudios a detalle de las crecidas de los ríos, pues al existir crecidas abruptas en períodos de tiempo muy cortos las obras podrían fallar y provocar inundaciones que pongan en peligro vidas humanas e infraestructura esencial.

Referencias

1. Aguilar, P. J., y Díaz Martín, M. (2016). Guía Práctica sobre la Modelización Hidrológica y el Modelo HEC-HMS. In Información tecnológica (Vol. 29, Issue 4).
2. Camino, M., Bó, M., Cionchi., Del Río, J., López, A., y De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1). <https://acortar.link/O1yMWK>
3. Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., y Téllez, J. (2015). Morphometric analysis of the Cuale river watershed, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 64, 26–34. <https://acortar.link/ffIk0B>
4. Duque, P., Patiño, D. M., y López, X. E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600351>

Simulación precipitación - escorrentía en la subcuenca del río Chiquiurcu con HEC-HMS

5. Huamaní, F. L., y Lazo, F. N. (2020). Caracterización geomorfológica de una cuenca hidrográfica utilizando un modelo de elevación digital (DEM) y el software QGIS 3.10.0. Dirección General de Investigación, 1–93.
https://drive.google.com/file/d/1_IR8G2xOKhcG-2YVMyc1XXEeJ99GQQ2s/view
6. Guachamín, W., García, F., Arteaga, M., Cadena, J., (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://acortar.link/o0bTXU>
7. Li, E., Mu, X., Zhao, G., Gao, P., y Shao, H. (2014). Variation of Runoff and Precipitation in the Hekou-Longmen Region of the Yellow River Based on Elasticity Analysis. PubMed Central. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4052620/>
8. Méllo, A., Osorio, L., Billerbeck, C., Marcellini, S., Dantas, W., Pasetti, D., . . . Dos Santos, G. (2022). Rainfall Runoff Balance Enhanced Model Applied to Tropical Hydrology. MDPI, 14(12). <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/12/1958>
9. Naciones Unidas de México. (2022). Experto de la ONU: La crisis del agua está empeorando, se necesita una respuesta urgente. <https://acortar.link/7vM2Qz>
10. Salinas, D. (2020). Viabilidad Técnica para la implementación de la una microcentral hidroeléctrica en el embalse de Chiquiurcu. Tesis de Maestría en Ecoeficiencia Industrial con mención en Eficiencia Energética, Universidad Internacional SEK, Ecuador.
<https://acortar.link/ozvHjh>
11. Torres, M. A., Nikolskii, I., Martínez-Miranda, M. E., y Martínez, M. R. (2018). Hydrological assessment of the Teapa River basin, using the MIKE SHE models. Tecnología y Ciencias Del Agua, 9(4), 130–146. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-06>
12. Varela, A., y Ron, S. (2022). Geografía y Clima del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/GeografiaClima/Sa>