

---

# APLICACIÓN DE HEC-HMS PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO LA VILLA

**Concepción, Erick**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Panamá, Panamá  
erick.concepcion@utp.ac.pa

**Hooper, Mauricio**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Panamá, Panamá  
mauricio.hooper@utp.ac.pa

## Abstract

Flood events are natural events that consist of the overflow of water from its natural channel. Throughout its history, Rio La Villa basin has witnessed continuous flooding events that mainly affect the cities of Chitre and La Villa de Los Santos, and for which no hydrological information is available. In order to evaluate flood events in Rio La Villa basin, HEC-HMS model was adopted for the development of an event-based hydrological model of the basin. The evaluation of the model focused on the Nash Sutcliffe and  $R^2$  efficiency statistical parameters. The hydrological model developed was used for the forecast of flood events based on synthetic rainfall designed based on intensity-duration-frequency curves for return periods of 10, 20, 50 and 100 years. It was found that the maximum magnitudes of the flood hydrographs were 1050.40 m<sup>3</sup>/s, 1222.60 m<sup>3</sup>/s, 1454.10 m<sup>3</sup>/s y 1627.10 m<sup>3</sup>/s, respectively. The results found in this research can be used for studies of the hydraulic behavior of the river during flood events and the projection of the extensions of such events.

**Keywords:** Hydrologic model, HEC-HMS, flood, precipitation, flood forecasting.

## Resumen

Los eventos de inundación son eventos naturales que consisten en el desbordamiento de las aguas de su encauzamiento natural. A lo largo de la historia, la cuenca del Río La Villa ha sido testigo de continuos eventos de inundación cuya afectación principal se encuentra entre las ciudades de Chitré y La Villa de Los Santos, y para los cuales no se cuenta con información hidrológica. Con el objetivo de evaluar los eventos de inundación en la cuenca del Río La Villa, se adoptó el modelo HEC-HMS para el desarrollo de un modelo hidrológico basado en eventos de la cuenca. La evaluación del modelo se enfocó en los parámetros

estadísticos de eficiencia Nash Sutcliffe y  $R^2$ . El modelo hidrológico desarrollado fue utilizado para la predicción de eventos de inundación basado en lluvias sintéticas diseñadas en base a curvas de intensidad-duración-frecuencia para periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Se encontró que las magnitudes máximas de los hidrogramas de inundación fueron de 1050.40 m<sup>3</sup>/s, 1222.60 m<sup>3</sup>/s, 1454.10 m<sup>3</sup>/s y 1627.10 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Los resultados encontrados en esta investigación pueden ser utilizados para estudios del comportamiento hidráulico del río durante eventos de inundación y la proyección de las extensiones de dichos eventos.

**Palabras claves:** Modelo hidrológico, HEC-HMS, inundación, precipitación, predicción de inundación.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río La Villa, identificada como la cuenca 128 en la República de Panamá. Se ubica en la Península de Azuero entre las provincias de Herrera y Los Santos; entre las coordenadas 8° 30' y 8° 00' de latitud norte, y 80° 12' y 80° 50' de latitud oeste. La precipitación media anual registrada es de 1751.68 mm, de acuerdo con los registros del periodo comprendido entre 1972 y 2008; donde se identifica febrero como el mes de menor lluvia y octubre como el mes más lluvioso. Dentro de la cuenca encontramos una topografía con una elevación media de 135 msnm. Su punto de mayor elevación es el cerro Cacarañado, que se encuentra en el distrito de las minas con una elevación de 982 msnm [1].

Los eventos de inundación son eventos naturales que consisten en el desbordamiento de las aguas de su encauzamiento natural. Son reconocidos a nivel mundial por ser la causa de una gran cantidad de pérdidas de carácter social y económico. Además, son considerados como uno de los eventos naturales de mayor frecuencia e impacto [2]. A lo largo de la historia, la cuenca del Río La Villa ha sido testigo de continuos eventos de inundación los cuales se presentan en la cuenca baja entre las Ciudades de Chitré y La Villa de Los Santos, siendo esta la zona más vulnerable ante los efectos de este desastre natural.

Actualmente se carece de información relacionada con el comportamiento hidrológico de la cuenca ante eventos de inundación, como caudales máximos o hidrogramas de inundación. Por lo tanto, es imperante evaluar el comportamiento de la cuenca ante los eventos de inundación y buscar la posibilidad de poder predecirlos. A través de esta investigación se evaluó el comportamiento hidrológico de la cuenca ante los eventos de inundación utilizando un modelo matemático. Se adoptó el modelo hydrologic engineering center – hydrologic modeling system (HEC-HMS, por sus siglas en inglés), desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos, para el desarrollo de un modelo hidrológico basado en eventos. Dicho modelo se utilizó para predecir los hidrogramas de

inundación para periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, para la cuenca baja del Río La Villa.

## 2. MÉTODO

### A. Datos Meteorológicos e hidrológicos

El desarrollo de un modelo hidrológico requiere del procesamiento previo de datos meteorológicos e hidrológicos. Durante este proceso se realiza la validación y relleno de los datos. Para el desarrollo del modelo hidrológico se obtuvieron datos del Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá (IMHPA) e Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Los datos obtenidos están distribuidos espacialmente como se observa en (Figura 1, A).

Se obtuvieron nueve estaciones con datos de precipitación dentro y fuera de la cuenca del Río La Villa; además de datos hidrológicos de dos estaciones ubicadas en el Río La Villa, correspondientes a las estaciones de Macaracas y Atalayita. Estos datos fueron suministrados por el IMHPA en una resolución diaria para un periodo de 12 años que abarcaba desde 1997 hasta 2012. Por otro lado, se obtuvieron datos de precipitación de diez estaciones meteorológicas del IDIAP. Estos datos fueron suministrados del año 2016 hasta el año 2022. Los datos que se obtuvieron cuentan con una resolución de 10 y 15 minutos. Para determinar la influencia de cada una de las estaciones consideradas se utilizó la metodología de polígonos de Thiessen, de manera que se seleccionaron solo aquellas estaciones que tuvieran influencia sobre el área de la cuenca del Río La Villa en estudio.

### B. Datos de Suelo

Para determinar los parámetros dentro de la modelación hidrológica fue necesario tomar en consideración información de suelo del área de estudio. Se utilizó el mapa de uso de suelo del Ministerio de Ambiente del año 2021 y el mapa de capacidad hidrológica del suelo derivado del conjunto de datos mallado de grupos hidrológicos del suelo globales para la modelación de la escorrentía por el método de número de curva (HYSOGs250m) [3]. Este producto fue desarrollado por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) como apoyo para la modelación de la escorrentía por medio del método de número de curva. Dicho producto tiene una extensión global a una resolución de celdas de 250 metros.

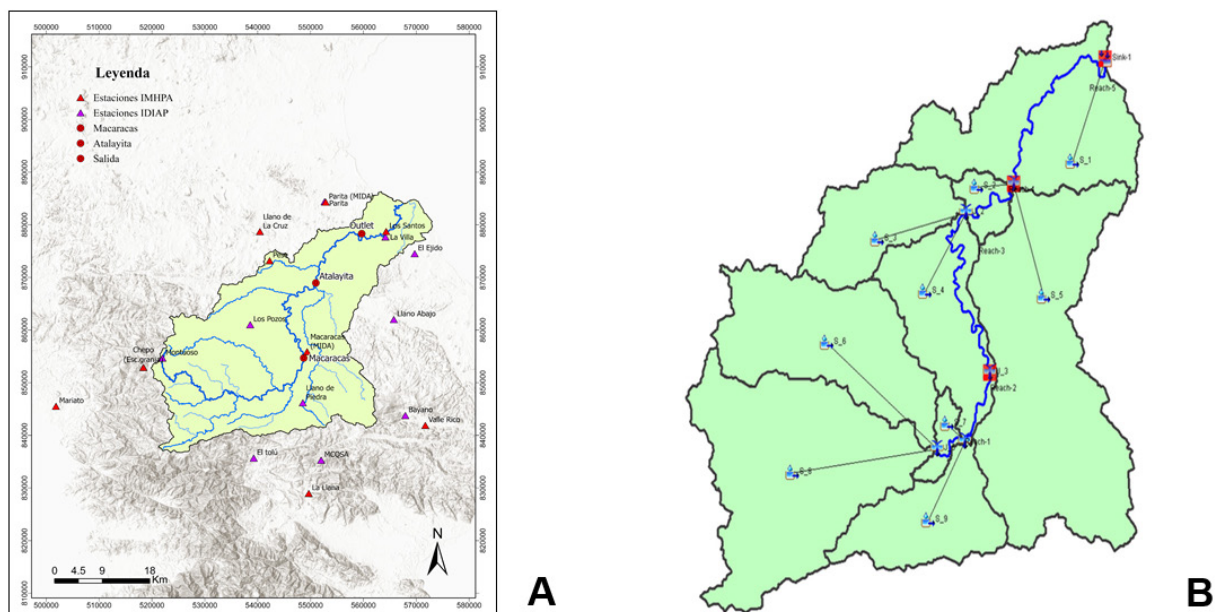
Por otro lado, fue utilizado un Modelo Digital de Terreno (DEM, por sus siglas en inglés) con resolución de 5m del Instituto Geográfico Tommy Guardia; este fue necesario para la definición geomorfológica de la cuenca y el preprocesamiento de la cuenca.

### C. Modelo HEC-HMS

Se desarrolló el modelo hidrológico en base a la representación de eventos de inundación. Inicialmente, se seleccionaron los eventos que serían tomados en consideración en base a un umbral. Este fue definido como el promedio de los eventos máximos de cada uno de los años con datos. El procedimiento se llevó a cabo para la estación hidrológica de Macaracas y Atalayita. De esta manera fueron seleccionados cinco eventos de inundación para el proceso de desarrollo, donde tres eventos fueron utilizados para el proceso de calibración y dos eventos para el proceso de validación.

Se utilizó el modelo matemático HEC-HMS, con el cual se desarrolló un modelo hidrológico conceptual de precipitación-escorrentía. El proceso de creación inició con el delineamiento de la cuenca utilizando las herramientas de sistemas de información geográfico (SIG) de delineamiento dentro de HEC-HMS. Esta herramienta consiste en una serie de procesos fundamentados en el procesamiento del DEM para la generación del delineamiento y configuración del modelo de la cuenca en estudio. Se desarrolló un modelo compuesto de nueve subcuencas y cinco tramos de río como se aprecia en (Figura 1, B).

Dentro del desarrollo del modelo hidrológico de la cuenca se tomaron en consideración los siguientes procesos para la representación del ciclo hidrológico. Método de pérdidas se utilizó el número de curva, método de caudal base se utilizó el método de recesión, método de transformación se utilizó el diagrama unitario de Clark y como método de tránsito de caudal se utilizó Muskingum. El proceso de desarrollo culminó con los procesos calibración y validación de cada uno de los parámetros de los procesos considerados dentro del modelo.



**Figura 1. Metodología de desarrollo de modelo hidrológico. A) Distribución espacial de estaciones meteorológicas e hidrológicas. B) Modelo hidrológico HEC-HMS de la cuenca del Río La Villa.**

## D. Predicción de eventos de inundación

La predicción de los eventos de inundación para los periodos de retorno de interés se realizó confeccionando hietogramas sintéticos para cada uno de estos. Se adoptó la metodología de bloques alternos de Chow con una distribución temporal media. Los datos de profundidad de precipitación fueron extraídos de la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de la cuenca de los ríos entre Antón y Caimito en base a la reglamentación nacional. Cada uno de estos hietogramas fue confeccionado dentro del modelo HEC-HMS utilizando la herramienta de tormenta de frecuencia. Esta herramienta permite definir un evento de precipitación para un tiempo de retorno definido. La tormenta generada tendrá una duración y un punto máximo en el hietograma especificado por el usuario. La duración podrá ser de 1, 2, 3, 6, 12 horas, 1, 2, 4, 7 y 10 días y la ubicación del punto máximo se especifica en base al inicio de la tormenta y puede ser a 25, 33, 50, 67 o 75% [4]. Para nuestra investigación utilizamos la herramienta para definir los hietogramas de 10, 20, 50 y 100 años, para una duración de 1 día y con un punto máximo del hietograma de 50%.

# 4. RESULTADOS

## A. Calibración

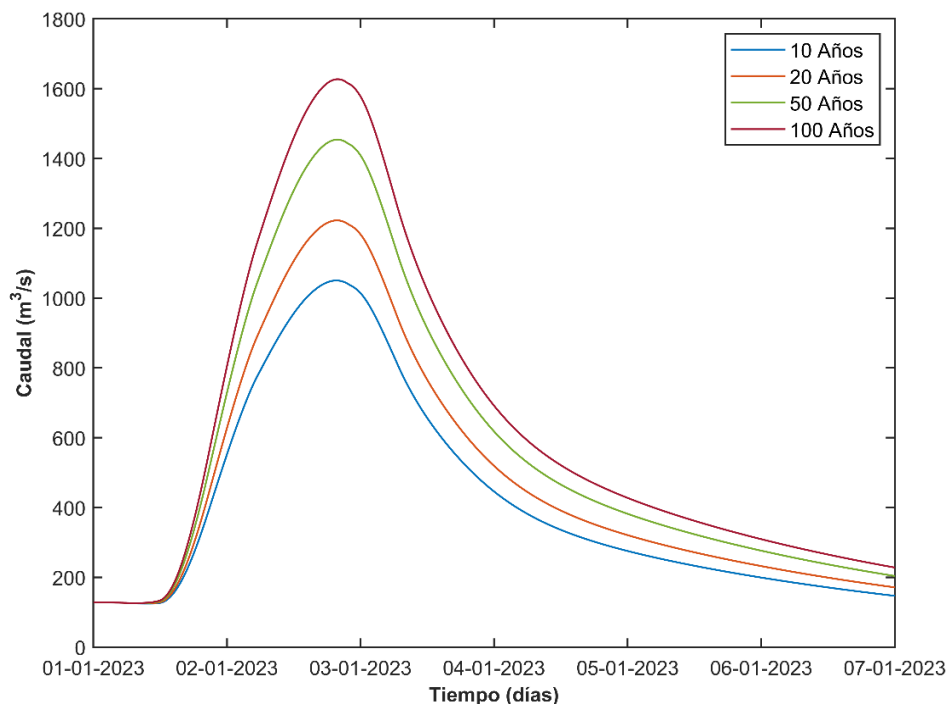
El objetivo de este proceso fue ajustar los valores simulados del modelo a los valores observados en las estaciones hidrológicas de la cuenca. Fueron utilizados tres puntos de calibración. Estación de Macaracas para cuenca alta, estación de Atalayita para cuenca media y la salida del modelo para la cuenca baja. Los datos observados para la salida del modelo fueron extrapolados de la estación de Atalayita utilizando el método de relación área-precipitación-caudal. Este proceso se realizó considerando que no se contaba con estaciones hidrológicas en el Río La Villa aguas abajo de la estación de Atalayita del IMHPA. El proceso de calibración inició por los parámetros de número de curva del método de pérdidas y el coeficiente de almacenamiento del método de transformación, ya que estos parámetros fueron identificados como los de mayor sensibilidad. El proceso culminó de manera satisfactoria mediante la utilización de la herramienta de optimización del HEC-HMS, la cual permite evaluar el comportamiento del modelo y determinar los parámetros óptimos. La evaluación del modelo se realizó considerando los estadísticos de eficiencia Nash Sutcliffe,  $R^2$ , PBIAS y RSR, haciendo mayor énfasis en los dos primeros y considerando las recomendaciones de Moriasi et al [5]. Una vez finalizado este procedimiento, cada uno de los parámetros de los procesos tomados en consideración estaban ajustados para representar la respuesta hidrológica de la cuenca con estadísticos de eficiencia Nash Sutcliffe y  $R^2$  promedio de 0.793 y 0.902, respectivamente.

## B. Validación

La validación consistió en la verificación de los parámetros seleccionados para cada uno de los procesos considerados dentro del modelo. Este proceso se realizó utilizando los dos eventos de inundación restantes. La evaluación se realizó considerando los mismos estadísticos que fueron considerados durante el proceso de calibración. Los resultados de la modelación hidrológica fueron satisfactorios, con estadísticos de eficiencia Nash Sutcliffe y  $R^2$  promedio de 0.769 y 0.865, respectivamente. Estos valores fueron tomados como aceptables para el objetivo de la investigación.

### Hidrogramas de inundación

Una vez calibrado y validado el modelo hidrológico, se realizó la predicción de eventos de inundación. Se obtuvieron los resultados a partir de la simulación de los hietogramas diseñados para los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años. Se generaron los hidrogramas correspondientes a la respuesta hidrológica de la cuenca baja para estos eventos extremos como se aprecia en (Figura 2). De esta manera se generaron cuatro hidrogramas de inundación. Se determinó que las magnitudes máximas de estos eventos fueron de 1050.40 m<sup>3</sup>/s, 1222.60 m<sup>3</sup>/s, 1454.10 m<sup>3</sup>/s y 1627.10 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 2. Predicción de eventos de inundación para periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años en la cuenca del Río La Villa.**

## 4. CONCLUSIONES

El desarrollo de este modelo hidrológico de la cuenca del Río La Villa permitió conocer las condiciones meteorológicas, uso de suelo y topografía que toman acción al momento de estudiar el ciclo hidrológico de la cuenca. A través del proceso de desarrollo del modelo hidrológico basado en eventos, utilizando HEC-HMS, se determinó el comportamiento hidrológico de la cuenca del Río La Villa mediante los procesos de calibración y validación. Se determinaron los hidrogramas correspondientes a los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años para la cuenca del Río La Villa, los cuales tuvieron una magnitud máxima de 1050.40 m<sup>3</sup>/s, 1222.60 m<sup>3</sup>/s, 1454.10 m<sup>3</sup>/s y 1627.10 m<sup>3</sup>/s. Los resultados encontrados en esta investigación pueden ser utilizados para estudios del comportamiento hidráulico del río durante eventos de inundación y la proyección de las extensiones de dichos eventos mediante un estudio hidráulico de planicies de inundación.

## REFERENCIAS

- [1] CATHALAC, & Mi Ambiente. (2018). Estado Actual de la Disponibilidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas del los Río La Villa (128), Santa María (132) y Grande (134).
- [2] Teng, J., Jakeman, A. J., Vaze, J., Croke, B. F. W., Dutta, D., & Kim, S. (2017). Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling & Software*, 90, 201–216. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>
- [3] Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J., Kumar, S., Ji, W., & Hanan, N. P. (2018). HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. *Scientific Data*, 5(1), 180091. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.91>
- [4] Bartles, M. (2022). HEC-HMS Hydrologic Modeling System - User's Manual Version 4.10.
- [5] Moriasi, D. N., Zeckoski, R. W., Arnold, J. G., Baffaut, C., Malone, R. W., Daggupati, P., Guzman, J. A., Saraswat, D., Yuan, Y., Wilson, B. N., Shirmohammadi, A., & Douglas-Mankin, K. R. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Key Calibration and Validation Topics. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1609–1618. <https://doi.org/10.13031/trans.58.11075>

## AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.