VOLUMEN 28
Verano de la Ciencia XXIX
ISSN 2395-9797
www.jóvenesenlaciencia.ugto.mx

Estudio del impacto de las inundaciones urbanas producidas por el desbordamiento del arroyo Las Liebres de León, Guanajuato

Study of the impact of urban flooding caused by the overflow of Las Liebres creek in León, Guanajuato

Isaac Reyes Nuñez[1], Cinthia Casandra Sánchez Quintero[1], Luis Joel Jesús García Pérez[1], Edgar Hafid Guadarrama Guadarrama[1], Oscar Martín Díaz Meza[1], Ismael Orozco Medina[2]

[1]Licenciatura de Ingeniería Hidráulica, División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; i.reyesnunez@ugto.mx, cc.sanchezquintero@ugto.mx, ljj.garciaperez@ugto.mx, eh.guadarramaguadarrama@ugto.mx, om.diazmeza@ugto.mx

[2]Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías del Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av.Juárez 77, Zona Centro, Guanajuato, 36000, México; i.orozco@ugto.mx

Resumen

En este estudio se ha evaluado los impactos de las inundaciones producidas por el desbordamiento del arroyo Las Liebres de la ciudad de León, Guanajuato, mediante el modelado matemático. El estudio se enfoca en eventos extremos de precipitación con diferentes periodos de retorno. La metodología implementada combina el uso de un modelo hidráulico bidimensional, un modelo hidrológico y la técnica del analisis de frecuencias, para definir eventos extremos en diferentes periodos de retorno y determinar las zonas urbanas afectadas por las inundaciones en el área de estudio. Los resultados obtenidos muestran que el cauce del arroyo Las Liebres no tiene la capacidad para transitar hidráulicamente los hidrogramas para las crecidas de todos los periodos de retorno simulados ya que desde el periodo de retorno de dos años causan contingencias de inundaciones en las zonas contiguas al arroyo Las Liebres.

Palabras clave: inundaciones; eventos extremos de precipitación; modelado matemático.

Introducción

Las inundaciones asociadas a eventos extremos en las últimas décadas han afectado a millones de personas, destruyendo casas y edificios y provocaron decenas de muertes (ONU, 2021). En el contexto del cambio climático se proyecta que los eventos extremos de precipitación se intensifiquen debido a los cambios en la termodinámica atmosférica (Huang et al., 2020; O'Gorman & Schneider, 2009; Pendergrass & Hartmann, 2014; Pfahl et al., 2017). Según Schär et al. (2016), cada vez hay más evidencia de que el cambio climático antropogénico conduce a una intensificación del ciclo hidrológico y a eventos de precipitación extremos. Según Visser et al. (2023), es bien sabido que, como consecuencia del cambio climático, el aumento de las temperaturas está provocando que se intensifiquen los eventos extremos de precipitación, lo que provocará mayores inundaciones. Las inundaciones en México son un fenómeno recurrente que afecta diversas regiones del país. Debido a su ubicación geográfica y a la presencia de diversos factores climáticos, como huracanes, frentes fríos y a eventos extremos de precipitación que producen inundaciones (CENAPRED, 2019). Las inundaciones en México pueden tener

múltiples causas, como la intensidad de las precipitaciones, la deforestación, la urbanización desordenada, la obstrucción de los cauces de los ríos, la falta de infraestructuras de drenaje adecuadas y la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, provocando grandes daños y pérdidas económicas (Galbán, 2020). Con base en lo anterior, resulta trascendental estudiar los impactos de las inundaciones fluviales en zonas urbanas vulnerables a este tipo de fenómenos. Lo anterior, es fundamental para la planificación urbana, la gestión de desastres y la protección de vidas y propiedades, ya que permite reducir los impactos negativos de las inundaciones fluviales. Además, de contribuir en el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático y a la mejora de la resiliencia de las comunidades frente a eventos extremos.

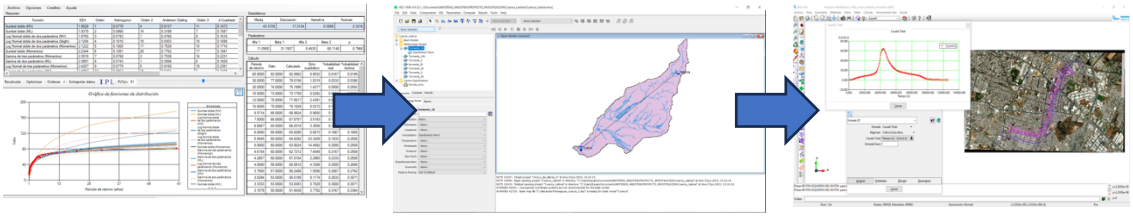
Caso de estudio

El caso de estudio es el arroyo Las Liebres ubicado en la cliudad de León, Guanajuato, y que cada año produce afectaciones en las zonas urbanas cercanas (Figura 1). Además de que los efectos de estas inundaciones han sido poco estudiadas para una mejor gestión del riesgo y evitar pérdidas de vidas y económicas. La longitud del cauce del arroyo Las Liebres modelada ha sido de 20.63 km y su cuenca de aportación ha contado con un área de 54.22 km^2. Es una cuenca urbana, lo cual, incrementa el riesgo de inundaciones fluviales.

Figura 1. Ubicación del arroyo Las Liebres y ejemplos de sus afectaciones derivado de su desbordamiento (a:arroyo Las Liebres; b,c y d: afectaciones [fuente: periódico Correo y sol de León]).

Metodología

La metodología que se ha implementado en este estudio incluye la técnica del anális de frecuencias (etapa 1) y el modelado hidrológico en HEC-HMS (etapa 2) y el modelado hidráulico en IBER (etapa 3) [Figura 2]. El IBER se ha utilizado para el modelado hidráulico bidimensional del flujo en el arroyo Las Liebres. Al ser una modelo eficaz y confiable en el estudio de fenómenos hidráulicos y el análisis de inundaciones fluviales. Además, su interfaz es muy amigable y es de descarga libre. Por otro lado, el análisis de frecuencias se ha usado para proyectar los eventos extremos de precipitación en diferentes períodos de retorno y con ello, evaluar la susceptibilidad a las inundaciones fluviales ante los potenciales eventos extremos de precipitación. Dado que en la cuenca de aportación al arroyo Las Liebres no se dispone de estaciones hidrométricas, se ha usado el modelo hidrológico HEC-HMS para converir las precipitaciones en escurrimiento superficial. El modelo HEC-HMS es de descarga libre y permite realizar análisis hidrológicos y simular el comportamiento de los procesos en cuencas con escaza información hidrometeorológica. El modelo HEC-HMS permite determinar la respuesta hidrológica de una cuenca ante eventos extremos de precipitación. Lo cual, es fundamental para la toma de decisiones en la gestión del riesgo y en el diseño de infraestructuras hidráulicas.



a) Etapa 1 b) Etapa 2 c) Etapa 3

Figura 2. Etapas en la ejecución de la metodología propuesta para el presente estudio (Diaz, 2023).

Resultados

El análisis de frecuencias se llevó a cabo usando el *software* Ax+b, que es de descarga libre desarrollado por Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). El análisis de frecuencias se ha realizado con precipitaciones máximas anuales de la estación meteorológica 11095, ubicada al noroeste de la cuenca de aportación al arroyo Las Liebres. Las precipitaciones máximas de la estación 11095 se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua (SMN-CONAGUA). En el análisis se ha usado una muestra de 48 datos máximos anuales y se probarón 13 funciones de distribución de probalidad, resultando la mejor función la Gumbel Doble. A partír de la cual, se determinaron y proyectaron los eventos extremos de precipitación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Tabla 1).

Tabla 1. *Eventos extremos de precipitación proyectados con la función Gumbel Doble para diferentes periodos de retorno.*

Periodo de retorno (años)	Precipitación (mm)
2	42.00
5	63.81
10	70.19
25	76.75
50	81.59
100	86.66

Estos eventos extremos de precipitación proyectados se transformaron en escurrimientos mediante el hidrograma unitario adimensional implementado en el modelo HEC-HMS (Mockus, 1969). En la figura 3 se pesentan las crecidas generadas a través del modelado en el HEC-HMS usando los eventos extremos de precipitación de la tabla 1.

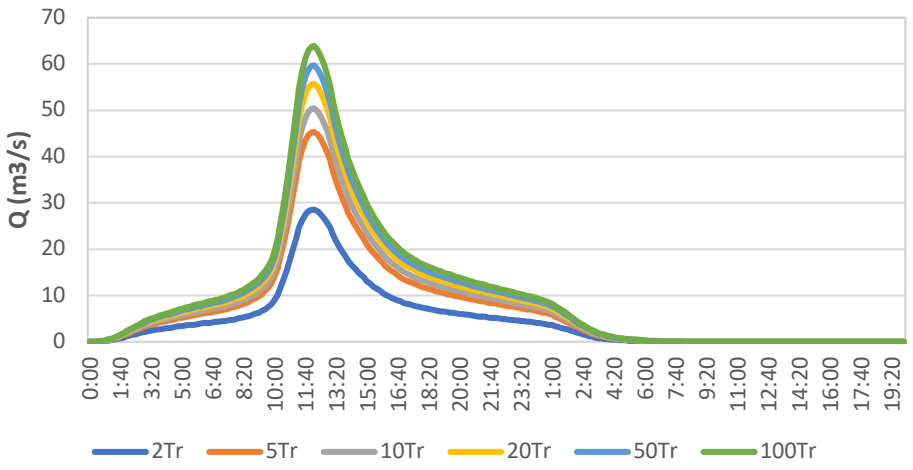


Figura 3. Hidrogramas de las crecidas generadas en el HEC-HMS usando los eventos de precipitación para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Las crecidas generadas en el HEC-HMS se modelaron en IBER y los resultados han mostrados que incluso para eventos de precipitación con periodo de retorno de dos años, existen inundaciones en las zonas urbanas cercanas al arroyo Las Liebres. A pesar de que los impactos no resultan en pérdidas humanas y sólo se pueden asociar daños económicos, se ha observado que algunas vialidades dejan de ser transitables debido a que las profundidades del agua alcanzan o superan los 30 cm. Sin embargo, también se ha observado que para el evento de precipitación con periodo de retorno

de 100 años, una mayor área urbana afectada por la inundación fluvial. En este caso las profundidades en algunas zonas afectadas alcanzan hasta cuatro metros de profundidad (Figura 4). El riesgo bajo está proyección es alto, ya que puede ocasionar pérdida de vidas y daños económicos considerables. Además, de impactos en las infraestructuras críticas que se encuentren en la zona inundada.

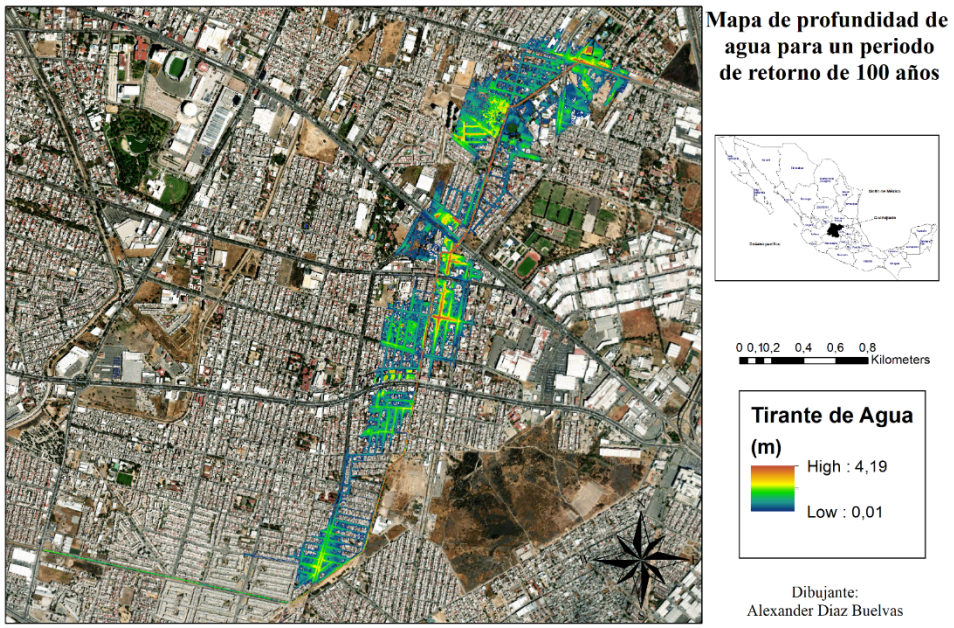


Figura 4. Profundidades y área urbana afectada por la inundación fluvial generada por el evento de precipitación con periodo de retorno de 100 años .

Conclusión

Los resultados obtenidos han mostrado que el cauce del arroyo Las Liebres no tiene la capacidad de transitar las crecidas generadas incluso por los eventos de precipitación con periodo de retorno de dos años. Es decir, los eventos de precipitación de 42 mm producen velocidades y profundidades que generan contingencias en las zonas contiguas al arroyo Las Liebres. A través de la metodología implementada, se ha evaluado que, además de las áreas residenciales, también se ven afectadas las zonas comerciales y las infraestructuras de servicios de salud. Con base en los resultados obtenidos es necesario establecer proyectos urbanos de gestión de las aguas pluviales ya que es una necesidad urgente en el municipio de León Guanajuato por las contingencias causadas por el desbordamiento del cauce del arroyo las Liebres.

Agradecimientos

Al comité organizador de la XXIX edición del Verano de la Ciencia de la Universidad de Guanajuato por el apoyo otorgado a los estudiantes participantes en el presente proyecto (ID 2054).

Bibliografía/Referencias

CENAPRED (2019). Impactos socioeconómicos de los principales desastres ocurridos en México. Secretaría de seguridad y protección ciudadana. Ed. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México, D. F., México. 232 p.

Galbán R. L. (2020). Inundaciones. Desafío de la naturaleza. Elementos teórico metodológicos sobre las inundaciones y su evaluación de riesgos. Serie: Prevención de riesgos y desastres (Núm.2). Ed. Kobo Writing Life. Santiago de Cuba, Cuba.

Huang, X., Stevenson, S., & Hall, A. D. (2020). Future warming and intensification of precipitation extremes: A “double whammy” leading to increasing flood risk in California. Geophysical Research Letters, 47(16), e2020GL088679. https://doi.org/10.1029/2020GL088679

Mockus, V. (1969). National Engineering Handbook, section 4: Hydrology. United States Department of Agriculture (USDA). Soil Conservation Service (SCS), Washington, D.C. Muestra los “impactos de los eventos climáticos extremos y los datos socio-económicos asociados” (p.1) https://germanwatch.org/en/download/10343.pdf. (Consultado febrero, 2022).

ONU (2021) Sequías, tormentas e inundaciones: el agua y el cambio climático dominan la lista de desastres. ONU HABITAT. Consultado 20 de junio de 2023. https://onuhabitat.org.mx

O'Gorman, P. A., & Schneider, T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106(35), 14773– 14777. https://doi.org/10.1073/pnas.0907610106

Pendergrass, A. G., & Hartmann, D. L. (2014). Changes in the distribution of rain frequency and intensity in response to global warming. Journal of Climate, 27(22), 8372– 8383. https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00183.1

Pfahl, S., O'Gorman, P. A., & Fischer, E. M. (2017). Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. Nature Climate Change, 7(6), 423– 427. https://doi.org/10.1038/nclimate3287

Schär, C., Ban, N., Fischer, E.M. et al. (2016) Percentile indices for assessing changes in heavy precipitation events. Climatic Change 137, 201–216. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1669-2

Visser, J. B., Wasko, C., Sharma, A., & Nathan, R. (2023). Changing storm temporal patterns with increasing temperatures across Australia, Journal of Climate (published online ahead of print 2023). doi: https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0694.1