

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EMPLEANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELAMIENTO HIDRÁULICO APLICADOS AL RÍO LA LECHE LAMBAYEQUE

ASSESSMENT OF FLOOD RISK BASED ON GEOGRAPHIC SYSTEM INFORMATION AND HYDRAULIC MODELING APPLIED TO LA LECHE RIVER LAMBAYEQUE

Guillermo Gustavo Arriola Carrasco¹
Omar Coronado Zuloeta²
Gioconda del Socorro Sotomayor Nunura³
Deybi Vander Villegas Villegas⁵
Rubén Darío Caballero Talledo⁴
Wilson Arturo Olaya Aguilar⁶



Fecha de recepción: 21/09/2021

Fecha de aprobación: 25/03/2022

DOI: <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2132>

Resumen

El riesgo ante inundaciones hoy en día es necesario estudiarlo sobre todo cuando se sabe que cada vez es más probable que se produzca una variación de las lluvias y el desborde de los ríos, que se han visto influenciados por eventos naturales como el Fenómeno El Niño y el cambio climático, el objetivo fue evaluar el riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río La Leche con fines de prevención a corto plazo. Se desarrolló en el tramo de 18200 metros aguas abajo de la cuenca La Leche, que es la zona más propensa a inundaciones. La metodología fue del tipo aplicada y de diseño descriptivo. Los resultados obtenidos indican que la zona estudiada es muy susceptible a inundaciones, según el análisis de extremos de los caudales máximos y la simulación hidráulica para períodos de retorno de 200 y 500 años, con una probabilidad del 95%. Se concluye que la evaluación de riesgo por inundación es de nivel alto para una velocidad máxima de 4,91 m/s y nivel de agua máximo de 4,96 metros, por lo que se sugieren algunas intervenciones como la rectificación del cauce y obras de defensa ribereñas en ambas márgenes del río La Leche aguas abajo.

Palabras clave: *Cuenca, modelamiento hidráulico, riesgo de inundación, sistema de información geográfica*

Abstract

The risk of flooding today needs to be studied especially when it is known that it is increasingly likely that there will be a variation in rainfall and the overflowing of rivers, which have been influenced by natural events such as the El Niño Phenomenon and climate change, the objective

¹ Ingeniero Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, gariola@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-2861-1415>

² Doctor en Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú. anlugreda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7757-4649>

³ Doctora en Ciencias de la Educación, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, giocondasn@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0001-6082-0893>

⁴ Ingeniero Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, ctalledoruben@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-0889-7305>

⁵ Ingeniero Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, deibyvv@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0003-0258-7098>

⁶ Técnico Laboratorista, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, wilsonolayaguilar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1958-6518>

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

was to assess the risk of flooding using a geographic information system and hydraulic modeling applied to the La Leche river for short-term prevention purposes. It was developed in the 18,200-meter section downstream of the La Leche basin, which is the area most prone to flooding. The methodology was of the applied type and descriptive design. The results obtained indicate that the studied area is very susceptible to flooding, according to the analysis of extremes of maximum flows and the hydraulic simulation for return periods of 200 and 500 years, with a probability of 95%. It is concluded that the risk assessment for flooding is high level for a maximum speed of 4.91 m/s and a maximum water level of 4.96 meters, for which some interventions are suggested, such as the rectification of the channel and defense works. riparian on both banks of the La Leche River downstream.

Keywords: Basin, hydraulic modeling, flood risk, geographic system information

1. Introducción

El estudio de las inundaciones ha sido siempre un problema en diferentes partes del mundo, el cual ha sido abordado desde diversos puntos de vista, cuyo fin es el de avanzar hacia el desarrollo sostenible tanto de la infraestructura como de la sociedad (Albano *et al.*, 2017). Investigaciones relacionadas al tema afirman que, durante estos últimos años, los desastres naturales han venido ocasionando muchos daños y la acción del cambio climático ha provocado una amplia periodicidad de eventos (Malakeel *et al.*, 2021). Dentro de estos eventos, las inundaciones son las que destacan como potentes peligros naturales, siendo estos las más comunes y frecuentes en el mundo que han causado daños a la infraestructura, a la agricultura, a las vías de transporte y la vida humana (Razavi-Termeh *et al.*, 2018; Ali *et al.*, 2019).

Contrastando la problemática mundial en Latinoamérica, se puede decir que también varios países de la región se han visto afectados ante inundaciones y el Perú es uno de ellos, principalmente sus ciudades que se encuentran en la costa norte como Tumbes, Piura y Lambayeque; en relación con eso Arriola *et al.* (2020) sostienen que es debido al cambio constante de los elementos hidrológicos, hidráulicos, geológicos y geotécnicos de las cuencas hidrográficas de esta zona del país, por lo que es entonces necesario su evaluación ante posibles inundaciones.

Vista entonces la problemática, se planteó como objetivo evaluar el riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río La Leche con fines de prevención a corto plazo. La justificación de la investigación se centra en que, al conocer el nivel de peligro de las inundaciones por medio de la evaluación en esta zona de la cuenca, se podrán tomar algunas medidas correctivas y preventivas ante las probables inundaciones. Otro aspecto relevante es que con los resultados de la investigación se conocerán los sectores más vulnerables de la Región Lambayeque, específicamente aguas abajo del río La Leche.

Los antecedentes de estudio a nivel internacional mencionan la importancia del uso de las herramientas tecnológicas basadas en los sistemas de referencia geográficos y el análisis multicriterio para evaluar inundaciones (Shivaprasad-Sharma *et al.*, 2018; Luu & Von-Meding, 2018); en tanto los modelos que se han venido desarrollando para dicha evaluación con el paso del tiempo se han convertido en una gran ayuda para la reducción de la incertidumbre en el análisis de inundaciones (Carisi *et al.*, 2018); por ende se han propuesto diversas metodologías para la evaluación de inundaciones con indicadores del tipo cualitativo (Weerasinghe *et al.*, 2018), cuantitativo (Duo *et al.*, 2018) y los que agrupan ambos métodos (Arrighi *et al.*, 2018);

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. Rev. Epistemia, Vol. 6(2)

Luego se procedió con la secuencia de la investigación según se muestra en la figura 2, el cual inició con la aplicación del sistema de información geográfica, después se realizó el análisis de extremos de caudales máximos y finalmente el modelamiento hidráulico para generar los mapas de potenciales inundaciones, tal y como lo sugieren en sus investigaciones Meng *et al.* (2019) y Zandiba-Siregar *et al.* (2019).

2.1 Aplicación del sistema de información geográfica

El sistema de información geográfica (SIG) comprendió la georreferenciación de la zona de estudio a través de un modelo digital del terreno aplicando el programa ArcMap v.10.6, y usando imágenes satelitales tipo raster y llevadas al tipo shapefile para su exportación a formato dwg y edición del alineamiento y trazo (figura 3). Además de la ayuda en la georreferenciación, el SIG también permite la interpolación de datos espaciales para predecir patrones de inundación y áreas de riesgo potencial (Majumder *et al.*, 2019; Waghwal, R & Agnihotri, 2019).

2.2 Análisis de extremos de caudales máximos

Para el análisis de extremos se usó el ajuste gráfico para diferentes períodos de retorno, los cuales estuvieron en función del registro histórico disponible de la estación hidrométrica Puchaca (tabla 1). En total se seleccionaron 15 distribuciones teóricas, que están incluidas en la librería de análisis estadístico del programa Hydrognomon v.4.1.0 (.26) para el tratamiento de datos. El criterio de elección de la mejor distribución radica en que las colas de distribución de probabilidad se deben asociar al registro histórico y mantengan esa tendencia (Guillén-Oviedo *et al.*, 2020).

Tabla 1

Información de la estación hidrométrica Puchaca

Coordenadas UTM		Tipo de estación	Nombre	Altitud (m.s.n.m.)	Período de registro	Cuenca a la que pertenece
Este	Norte					
669560.30	9295292.60	Hidrométrica	Puchaca	345	1930-2019	La Leche

Nota: Autoridad Nacional del Agua.

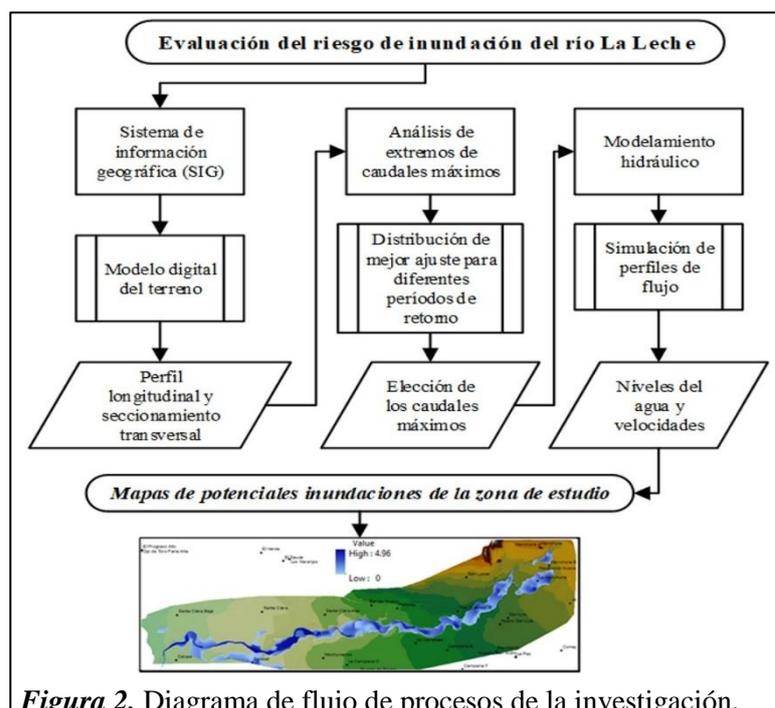


Figura 2. Diagrama de flujo de procesos de la investigación.

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. Rev. Epistemia, Vol. 6(2)

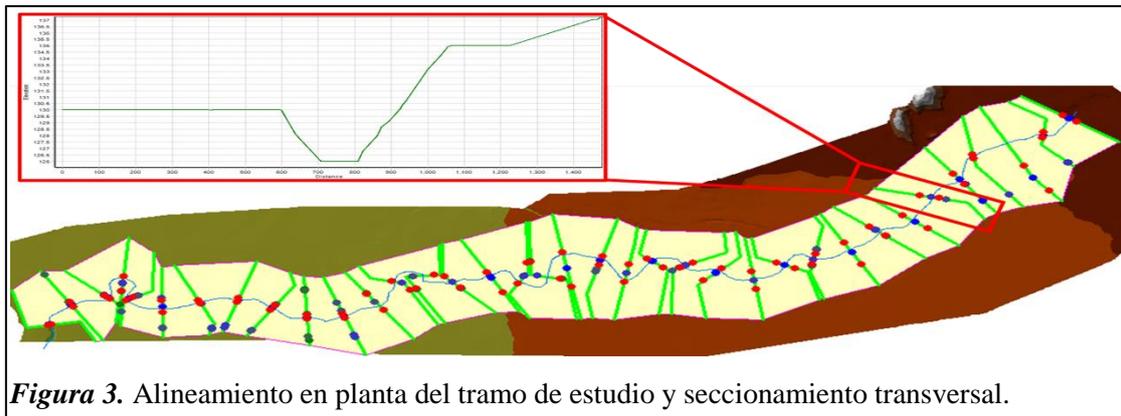


Figura 3. Alineamiento en planta del tramo de estudio y seccionamiento transversal.

2.3 Modelamiento hidráulico

Esta etapa comprendió la generación de un modelo hidráulico unidimensional del tramo en estudio aguas abajo del río La Leche con el programa HEC-GeoRAS v.10.2, cuya finalidad es simular los perfiles de flujo, niveles de agua y velocidades, pero considerando previamente la delimitación marginal del río y los caudales máximos para los diferentes períodos de retorno. Así mismo, para la evaluación final del riesgo de inundación a partir del modelamiento hidráulico se consideró el método del FEMA (Federal Emergency Management Agency), que permite determinar los niveles de peligro que relacionan el tirante del agua y la velocidad (Alcocer-Yamanaka *et al.*, 2016), a partir de las curvas de la figura 4.

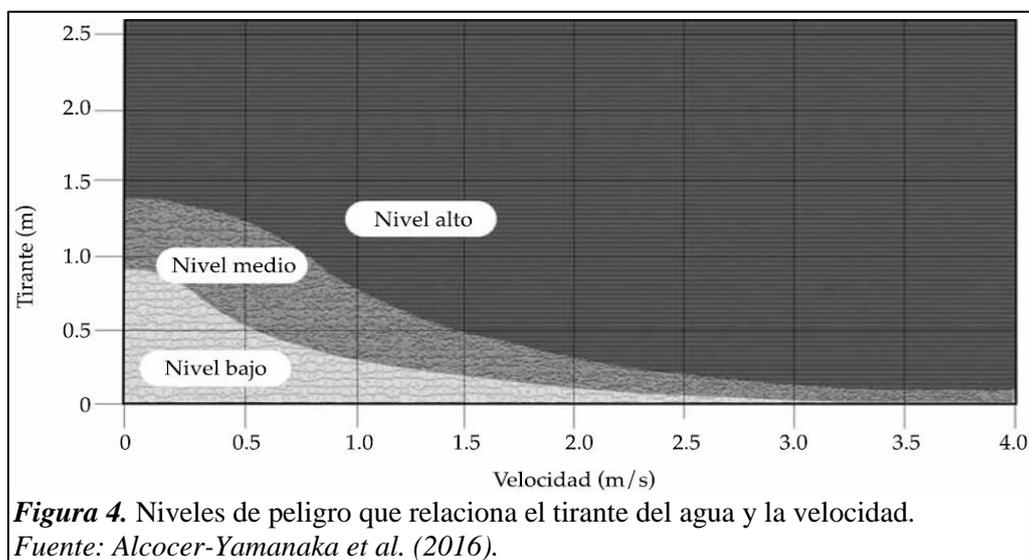


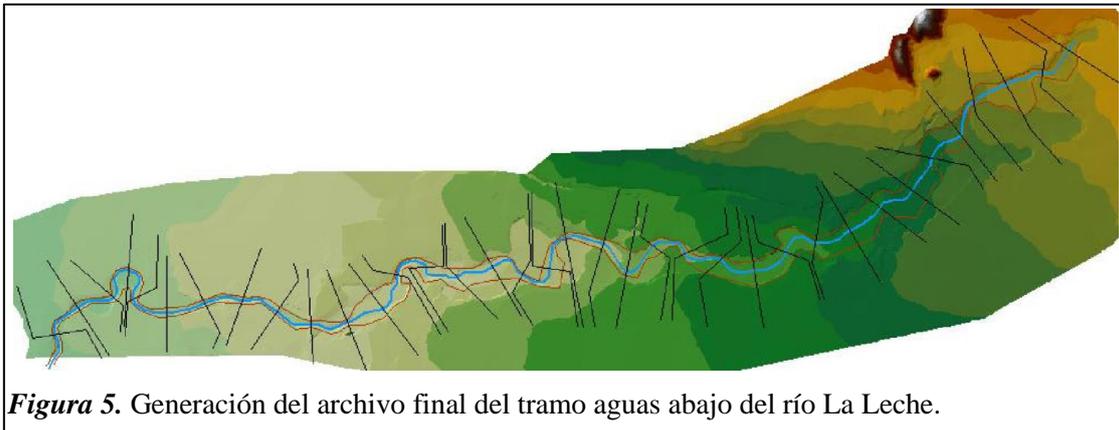
Figura 4. Niveles de peligro que relaciona el tirante del agua y la velocidad.
Fuente: Alcocer-Yamanaka et al. (2016).

Con base en estas relaciones se pueden establecer tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, amenaza media o moderada y alto nivel de amenaza, dentro de los cuales se espera que, durante un suceso de inundación, este no represente algún peligro para la población y la infraestructura (Alcocer-Yamanaka *et al.*, 2016).

3. Resultados

3.1 De la aplicación del sistema de información geográfica

Se generó la base de datos completa del alineamiento del tramo de estudio, elevaciones y seccionamiento transversal (figura 5), con lo que se pudo desarrollar el perfil longitudinal del terreno de 18200 metros lineales y el seccionamiento transversal cada 500 metros, cuyo ancho superficial llegó hasta cubrir una llanura de 1000 metros y en otros puntos hasta los 1500 metros.



3.2. Del análisis de extremos de caudales máximos

Los resultados del análisis de extremos establecieron que la distribución de mejor ajuste gráfico respecto al registro histórico es la distribución teórica de Frechet (figura 6), cuyos valores obtenidos para cada período de retorno se muestran en la tabla 2.

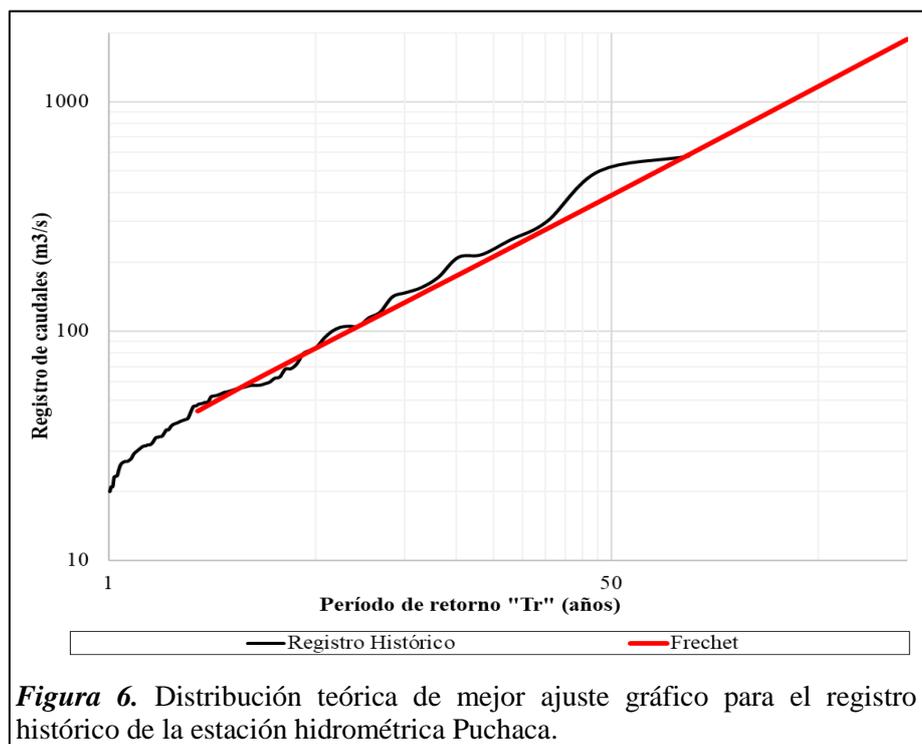


Tabla 2

Caudales máximos obtenidos para cada período de retorno según la distribución teórica de Frechet

Período de retorno (Tr) en años	Caudales máximos según la distribución teórica de Frechet (m ³ /s)	Probabilidad del ajuste
2	44,66	95%
3	59,48	
5	83,90	
10	132,89	
20	210,76	
50	389,93	
100	623,46	
200	999,34	
500	1869,49	

Nota: Hydrognomon v.4.1.0 (.26).

3.3 Del modelamiento hidráulico

Se realizó el modelamiento hidráulico para los diferentes períodos de retorno con la finalidad de conocer a partir de cuál valor se genera inundación, mayores niveles de agua y velocidades, siendo en este caso para el caudal de 999,34 m³/s para el período de retorno de 200 años (figura 7) y 1869,49 m³/s para 500 años (figura 8).

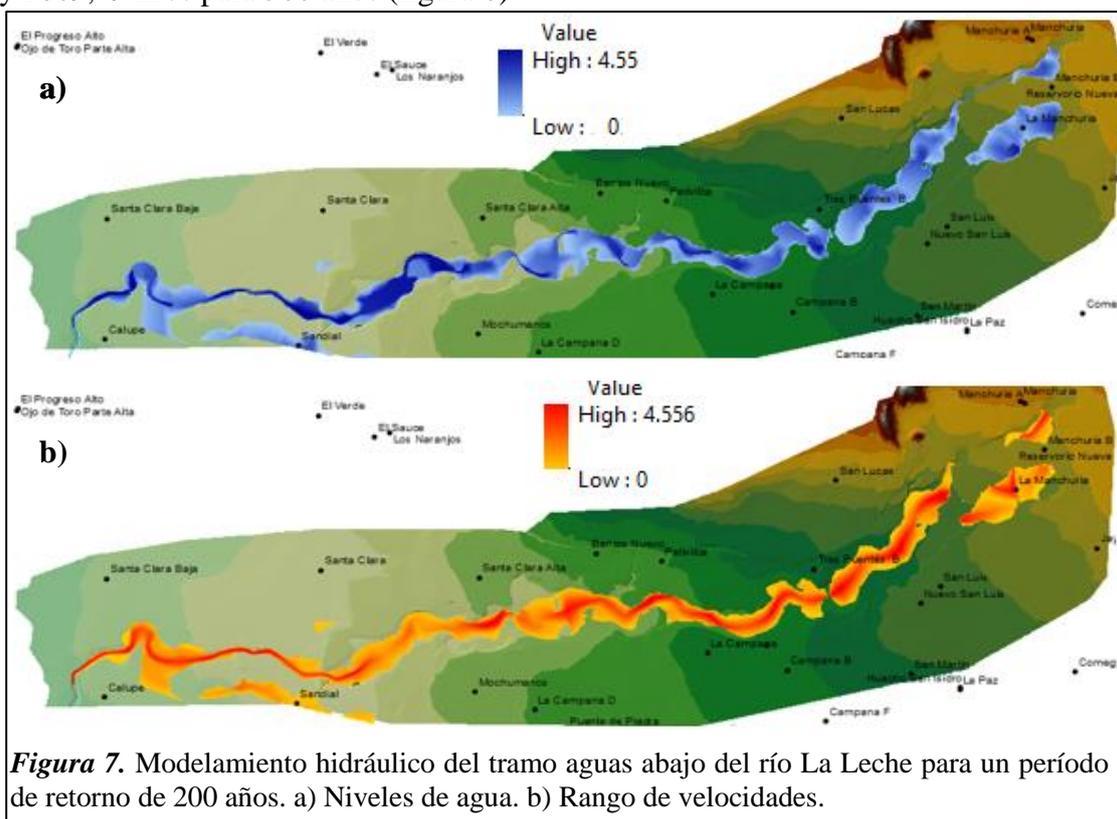
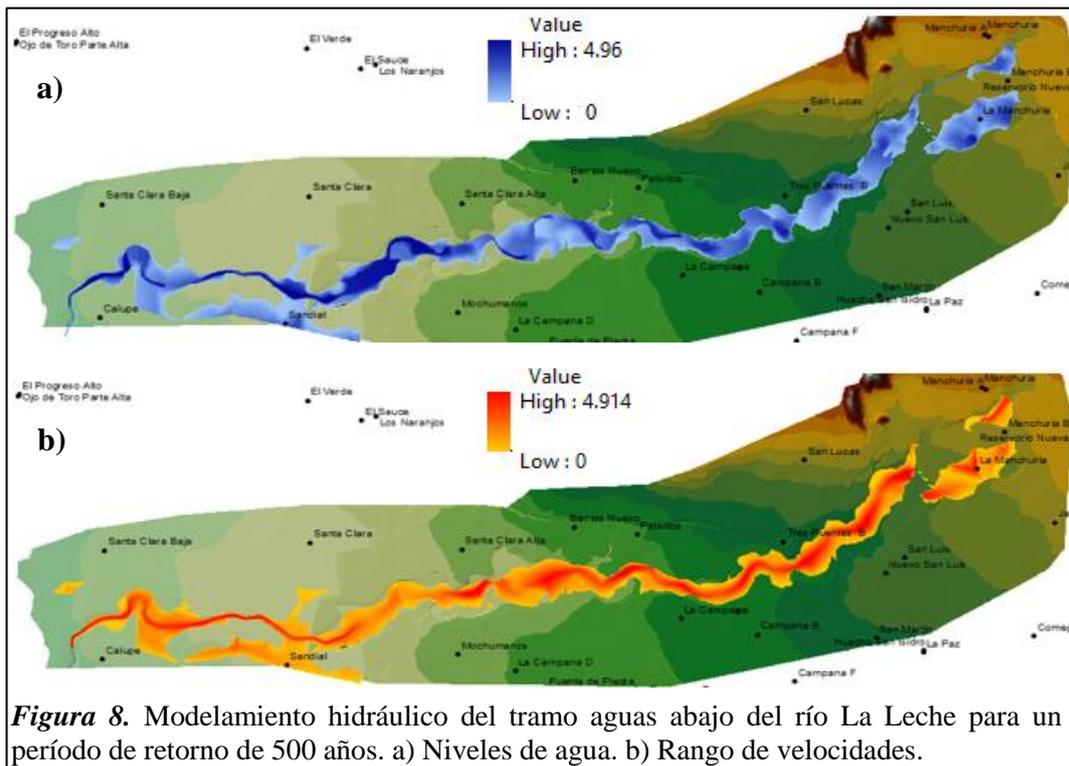


Figura 7. Modelamiento hidráulico del tramo aguas abajo del río La Leche para un período de retorno de 200 años. a) Niveles de agua. b) Rango de velocidades.



Según la figura 7a se obtuvo un nivel de agua máximo de 4.55 metros y a partir de la figura 7b una velocidad máxima de 4.56 m/s, ambos valores para el caudal de 999, 34 m³/s; mientras que para el caudal de 1869,49 m³/s y según las figuras 8a y 8b el nivel de agua máximo alcanzado fue de 4,96 y la velocidad máxima fue 4,91 m/s respectivamente. Luego se elaboraron los mapas de las potenciales inundaciones (figura 9), a partir de los procedimientos aplicados en la presente investigación (figura 2).



Figura 9. Mapa de potenciales inundaciones del tramo aguas abajo del río La Leche. a) Niveles de agua para período de retorno de 200 años. b) Niveles de agua para período de retorno de 500 años.

Según los mapas de inundaciones de la figura 7a y 7b en ambos períodos de retorno los sectores más afectados son los que se encuentran en la zona más baja (Sandial, Calupe, Tres puentes A, Tres puentes B, La Campana y parte del sector Mochumanos), es decir los que se encuentran más cerca de la provincia de Lambayeque y la provincia de Ferreñafe, Región Lambayeque, excepto por el sector Manchuria que está ubicado aguas arriba pues presenta secciones transversales muy abiertas y anchos superficiales muy planos, que sí se verían afectados ante estos posibles escenarios. Finalmente se pudo cuantificar el nivel de peligro según la metodología del FEMA (tabla 3), el cual indica que la zona de estudio se encuentra expuesta a un nivel de peligro alto.

Tabla 3

Niveles de peligro según método FEMA según los parámetros de la zona de influencia

Período de retorno (años)	Caudal máximo (m³/s)	Nivel de agua máximo (metros)	Velocidad máxima (m/s)	Nivel de peligro según método FEMA
200	999,34	4,55	4,56	Alto
500	1869,49	4,96	4,91	Alto

4. Discusión

La evaluación del riesgo de inundaciones hoy en día es todo un desafío, debido a la falta de información meteorológica e hidrométrica in situ, sin embargo, los sistemas de información geográfica han cubierto gran parte de esta brecha facilitando todo tipo de evaluación a partir de la georreferenciación satelital (Albano *et al.*, 2018; Arrighi *et al.*, 2018; Jamali *et al.*, 2018; Chakraborty & Mukhopadhyay, 2019); en ese contexto las investigaciones citadas concuerdan con el caso estudiado en esta investigación.

Mojaddadi *et al.* (2017) manifiestan que se puede utilizar un sistema de información geográfica para el análisis de inundaciones, ya que su metodología aplicada en la cuenca del río Damansara de Malasia demostró muy buena eficiencia en el modelado de inundaciones, la generación de mapa de peligros y probabilidad de inundaciones; así mismo, el estudio de Hu *et al.* (2017) pudieron evaluar las zonas suburbanas de la actual urbanización de China, donde destacaron según sus resultados que estas áreas son propensas a un alto riesgo de inundación, por lo que la ayuda de la georreferenciación es vital en el pronóstico de desastres; por lo expuesto, las investigaciones concuerdan con nuestros resultados ya que la disponibilidad de imágenes satelitales a diversas escalas y diferentes fuentes primarias de información se han acoplado convenientemente al pronóstico de eventos extremos a partir de la georreferenciación de una zona vulnerable como lo es el tramo aguas abajo del río La Leche.

Según lo señalado por Tanaka *et al.* (2017) el análisis de frecuencias de inundaciones es fundamental para determinar la probabilidad de peligro a partir de la evaluación del riesgo de inundación; por otro lado Arriola *et al.* (2020) recomiendan también el análisis de extremos empleando distribuciones teóricas para establecer la distribución de mejor ajuste; también como

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

sugieren Samantaray & Sahoo (2020) y Sahoo & Ghose (2021) que el método más utilizado para estimar la magnitud de las inundaciones es el análisis de frecuencia de inundaciones; estos aspectos concuerdan con la metodología aplicada a la zona de estudio de esta parte de la cuenca La Leche, pues a partir del análisis de extremos de los caudales máximos se determinó cuáles son los caudales que producen un nivel alto de riesgo de inundación en función a los períodos de retorno de la distribución elegida.

En cuanto al modelamiento hidráulico diversas investigaciones recomiendan la aplicación de modelos del tipo unidimensionales debido a su simplicidad y la facilidad de manejo de los datos, pues como sostienen Löwe *et al.* (2017), estas simulaciones permiten proponer estrategias de adaptación al riesgo de inundaciones considerando una variedad de escenarios climáticos y de desarrollo urbano; en tanto Ben-Khalfallah & Saidi (2018) indican que los programas HEC-RAS y HEC-GeoRAS son los adecuados para la estimación de inundaciones según su caso de estudio en la cuenca de Medjerda de Turquía; además Devanand & Kundapura (2021) muestran la facilidad con que estos programas se pueden integrar con el SIG, facilitado de esta manera su uso en todo el mundo; en ese sentido la aplicación de estos programas en la zona de potencial inundación del río La Leche nos dio buenos resultados y permitió conocer el nivel de peligro a la que se encuentra expuesto el tramo aguas abajo de la cuenca La Leche, sin embargo, como recomiendan Rangari *et al.* (2019), es importante posteriores evaluaciones a nivel bidimensional que permitan mejorar los resultados obtenidos en la presente investigación.

Otra consideración importante es la falta de planes de gestión de riesgo de inundaciones que en la actualidad no incorporan medidas de colaboración de los gobiernos locales, regionales y nacional para contrarrestar y mitigar en gran medida las posibles inundaciones que se puedan dar en el corto y mediano plazo, tal y como lo señala Roos *et al.* (2017); mientras que para Rincón *et al.* (2018) la inclusión de la vulnerabilidad social y económica deben ser los factores más importantes a tener en cuenta en las inundaciones, pues generalmente se ignoran cuando se tratan de poner en práctica. Ante esto Komolafe *et al.* (2019) y Nazeer & Bork (2019) manifiestan que es necesario realizar análisis comparativos que vayan más allá de la estimación de peligro, es decir comparaciones cualitativas que permita tomar decisiones más asertivas con un enfoque más práctico y menos teórico.

5. Conclusiones

Se concluye que la evaluación de riesgo por inundación a partir del sistema de información geográfica, análisis de caudales máximos y modelamiento hidráulico, es de nivel alto para el período de retorno de 500 años, correspondiéndole un caudal máximo de 1869,49 m³/s, una velocidad máxima de 4,91 m/s y nivel de agua máximo de 4,96 metros, por lo que se sugieren algunas intervenciones a corto plazo como la rectificación del cauce y obras de defensa ribereñas en ambos márgenes del río La Leche aguas abajo, aproximadamente en 18200 metros lineales respecto al eje del cauce, que permitan proteger los siete sectores más vulnerables de la Región Lambayeque ante potenciales inundaciones.

Financiamiento:

Esta investigación formó parte del proyecto de investigación titulado “Evaluación de riesgos de inundaciones basado sobre GIS y modelamiento hidráulico (HEC-GEORAS) aplicado al río La Leche en el departamento de Lambayeque 2018” aprobado y ratificado mediante resolución de directorio N° 027-2018/PD-USS y fue financiado en su totalidad por la Universidad Señor de Sipán.

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

Conflicto de intereses:

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés de ninguna índole.

6. Referencias

- Albano, R., Mancusi, L., Sole, A., & Adamowski, J. (2017). FloodRisk: a collaborative, free and open-source software for flood risk analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1812-1832. doi:10.1080 / 19475705.2017.1388854
- Albano, R., Sole, A., Adamowski, J., Perrone, A., & Inam, A. (2018). Using FloodRisk GIS freeware for uncertainty analysis of direct economic flood damages in Italy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 220-229. doi:10.1016/j.jag.2018.06.019
- Alcocer-Yamanaka, V., Rodríguez-Varela, J., Bourguett-Ortiz, V., Llaguno-Guilberto, O., Alborno-Góngora, P. (2016). Methodology for generating flood risk maps in urban areas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 33-55. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033&lng=es&tlng=es
- Ali, S., Khatun, R., Ahmad, A., & Ahmad, S. (2019). Application of GIS-based analytic hierarchy process and frequency ratio model to flood vulnerable mapping and risk area estimation at Sundarban region, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3), 1083-1102. doi:10.1007/s40808-019-00593-z
- Arrighi, C., Rossi, L., Trasforini, E., Rudari, R., Ferraris, L. B., Franceschini, S., & Castelli, F. (2018). Quantification of flood risk mitigation benefits: A building-scale damage assessment through the RASOR platform. *Journal of Environmental Management*, 207, 92-104. doi:10.1016/j.jenvman.2017.11.017
- Arriola, G., Villegas, L., & Sotomayor, G. (2020). Análisis de las curvas de infiltración para determinar caudales máximos en zonas de escasa información ante eventos extremos. *Revista Científica Ingeniería: Ciencia Tecnología e Innovación*, 7(1). doi:10.26495/icti.v7i1.1352
- Ben-Khalfallah, C., & Saidi, S. (2018). Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS-GIS tools: Case of the Mejerda river, Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 142, 44-51. doi:10.1016/j.jafrearsci.2018.03.004
- Carisi, F., Schröter, K., Domeneghetti, A., Kreibich, H., & Castellarin, A. (2018). Development and assessment of uni- and multivariable flood loss models for Emilia-Romagna (Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(7), 2057-2079. doi:10.5194/nhess-18-2057-2018
- Chakraborty, S., & Mukhopadhyay, S. (2019). Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 99(1), 247-274. doi:10.1007/s11069-019-03737-7
- Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7(1). doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05865

- Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)
- Devanand, M., & Kundapura, S. (2021). Flood inundation mapping of Harangi river basin, Kodagu, using GIS techniques and HEC-RAS model. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 99, 665-678. doi:10.1007/978-981-15-6828-2_50
- Duo, X., Song, J., Wang, L., Tang, B., Xu, S., Kong, F., & Jiang, X. (2018). Flood risk assessment and mapping based on a modified multi-parameter flood hazard index model in the Guanzhong Urban Area, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(4), 1131-1146. doi:10.1007/s00477-017-1429-5
- Guillén-Oviedo, H., Cid-Serrano, L., & Alfaro-Martínez, E. (2020). Comparison of parameters of the generalized extreme value distribution associated with extreme rainfall events in Central America. *Uniciencia*, 34(1), 111-128. doi:10.15359/ru.34-1.7
- Hu, S., Cheng, X., Zhou, D., & Zhang, H. (2017). GIS-based flood risk assessment in suburban areas: a case study of the Fangshan district, Beijing. *Natural Hazards*, 87(3), 1525-1543. doi:10.1007/s11069-017-2828-0
- Jamali, B., Löwe, R., Bach, P., Urich, C., Arnbjerg-Nielsen, K., & Deletic, A. (2018). A rapid urban flood inundation and damage assessment model. *Journal of Hydrology*, 564, 1085-1098. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.07.064
- Komolafe, A., Herath, S., Avtar, R., & Vuillaume, J. (2019). Comparative analyses of flood damage models in three Asian countries: towards a regional flood risk modelling. *Environment Systems and Decisions*, 39(2), 229-246. doi:10.1007/s10669-018-9716-3
- Löwe, R., Urich, C., Santo Domingo, N., Mark, O., Deletic, A., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). Assessment of urban pluvial flood risk and efficiency of adaptation options through simulations-A new generation of urban planning tools. *Journal of Hydrology*, 550, 355-367. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.05.009
- Luu, C., & Von-Meding, J. (2018). A flood risk assessment of Quang Nam, Vietnam using spatial multicriteria decision analysis. *Water (Switzerland)*, 10(4). doi:10.3390/w10040461
- Majumder, R., Bhunia, G., Patra, P., Mandal, A., Ghosh, D., & Shit, P. (2019). Assessment of flood hotspot at a village level using GIS-based spatial statistical techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(13). doi:10.1007/s12517-019-4558-y
- Malakeel, G., Abdu, R., & Vishnudas, S. (2021). Flood risk assessment methods-A review. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 104, 197-208. doi:10.1007/978-981-15-8151-9_19
- Meng, X., Zhang, M., Wen, J., Du, S., Xu, H., Wang, L., & Yang, Y. (2019). A simple GIS-based model for urban rainstorm inundation simulation. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10). doi:10.3390/su11102830
- Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080-1102. doi:10.1080/19475705.2017.1294113

- Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)
- Nazeer, M., & Bork, H. (2019). Flood vulnerability assessment through different methodological approaches in the context of North-West Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23). doi:10.3390/su11236695
- Rangari, V., Umamahesh, N., & Bhatt, C. (2019). Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1839-1851. doi:10.1007/s40808-019-00641-8
- Razavi-Termeh, S., Kornejady, A., Pourghasemi, H., & Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*, 615, 438-451. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.262
- Rincón, D., Khan, U., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences (Switzerland)*, 8(8). doi:10.3390/geosciences8080275
- Roos, M., Hartmann, T., Spit, T., & Johann, G. (2017). Constructing risks-Internalisation of flood risks in the flood risk management plan. *Environmental Science and Policy*, 74, 23-29. doi:10.1016/j.envsci.2017.04.007
- Sahoo, A., & Ghose, D. (2021). Flood frequency analysis for Menace Gauging station of Mahanadi River, India. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 102(3), 737-748. doi:10.1007/s40030-021-00544-x
- Samantaray, S., & Sahoo, A. (2020). Estimation of flood frequency using statistical method: Mahanadi river basin, India. *H2Open Journal*, 3(1), 189-207. doi:10.2166/h2oj.2020.004
- Shivaprasad-Sharma, S., Roy, P., Chakravarthi, V., & Srinivasa-Rao, G. (2018). Flood risk assessment using multi-criteria analysis: A case study from Kopili river basin, Assam, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 79-93. doi:10.1080/19475705.2017.1408705
- Swain, K., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12). doi:10.3390/ijgi9120720
- Tanaka, T., Tachikawa, Y., Iachikawa, Y., & Yoroze, K. (2017). Impact assessment of upstream flooding on extreme flood frequency analysis by incorporating a flood-inundation model for flood risk assessment. *Journal of Hydrology*, 554, 370-382. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.09.012
- Van-Ginkel, K., Dottori, F., Alfieri, L., Feyen, L., & Koks, E. (2021). Flood risk assessment of the European road network. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(3), 1011-1027. doi:10.5194/nhess-21-1011-2021
- Waghwal, R., & Agnihotri, P. (2019). Flood risk assessment and resilience strategies for flood risk management: A case study of Surat city. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40. doi:10.1016/j.ijdr.2019.101155

Arriola, G., Coronado, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R. y Olaya, W. (2020). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicado al río La Leche, Lambayeque. *Rev. Epistemia*, Vol. 6(2)

Weerasinghe, K., Gehrels, H., Arambepola, N., Vajja, H., Herath, J., & Atapattu, K. (2018). Qualitative flood risk assessment for the western province of Sri Lanka. *Procedia Engineering*, 212, 503-510. doi:10.1016/j.proeng.2018.01.065