

# Evaluación de modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para la generación de mapas de inundaciones en un río de montaña

*Evaluation of one-dimensional and two-dimensional hydraulic models for the generation of flood maps in a mountain river*

- <sup>1</sup> María José Navas Muñoz  <https://orcid.org/0000-0002-8818-9412>  
Universidad Católica de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca, Ecuador,  
[maria.navas.13@est.ucacue.edu.ec](mailto:maria.navas.13@est.ucacue.edu.ec)
- <sup>2</sup> Carlos Matovelle Bustos  <https://orcid.org/0000-0003-2267-0323>  
Universidad Católica de Cuenca, Facultad de Ingeniería. Cuenca, Ecuador.  
[cmatovelle@ucacue.edu.ec](mailto:cmatovelle@ucacue.edu.ec)
- <sup>3</sup> Alexandra Vélez Arcentales  <https://orcid.org/0000-0002-8507-8557>  
Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil. Santiago, Chile.  
[alexavelez@uc.cl](mailto:alexavelez@uc.cl)
- <sup>4</sup> Federico Córdova  <https://orcid.org/0000-0001-8999-8249>  
Universidad Católica de Cuenca, Unidad académica de Ingeniería Industria y Construcción, Carrera de Ingeniería Civil. Cuenca, Ecuador.  
[ncordovag@ucacue.edu.ec](mailto:ncordovag@ucacue.edu.ec)



---

## Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 24/12/2021

Revisado: 29/12/2021

Aceptado: 20/01/2022

Publicado: 15/02/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i1.181>

---

Cítese:

Navas Muñoz, M. J., Matovelle Bustos, C., Vélez Arcentales, A., & Córdova, F. (2022). Evaluación de modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para la generación de mapas de inundaciones en un río de montaña. AlfaPublicaciones, 4(1), 163–182. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i1.181>



*CONCIENCIA DIGITAL*, es una Revista Multidisciplinar, Trimestral, que se publicará en soporte electrónico tiene como misión contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>  
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

---

**Palabras  
claves:**  
HEC-RAS,  
IBER;  
inundación,  
comparación,  
caudales.

**Keywords:**  
HEC-RAS;  
IBER; flood;  
comparison,  
flow rates.

### Resumen

**Introducción:** La modelación hidráulica de un río es una herramienta valiosa para efectuar pronósticos de su comportamiento para eventos como lo son las inundaciones. La ciudad de Cuenca en Ecuador se encuentra atravesada por cuatro ríos. El río Tarqui es uno de ellos, sin embargo, este río es considerado vulnerable y con especial interés en la zona del sector Guzho, puesto que presenta grandes inundaciones en época de lluvia. Este artículo presenta un análisis comparativo de la modelación hidráulica del río Tarqui, sector Guzho, efectuada por los modelos unidimensional HEC-RAS y bidimensional IBER. **Objetivo:** Evaluar cuál de los modelos constituye una mejor alternativa para la simulación es el objetivo que persigue esta investigación. **Metodología:** El diseño de la investigación fue de tipo cuantitativo y la evaluación de los modelos se basó en un análisis comparativo de los resultados de las elevaciones de nivel de agua, velocidades y áreas de inundación. **Resultados:** Los resultados muestran que la delimitación de zonas de inundación es muy semejante en los dos softwares; el modelamiento en HEC-RAS es más rápido al momento de ingresar los datos; IBER muestra mejor calidad en las imágenes de flujo y en la simulación de crecida del río. **Conclusión:** Se concluye que el modelo bidimensional IBER representa una mejor alternativa para la modelación, puesto que sus niveles de agua y el área de inundación es mayor respecto a HEC-RAS, resultados que se los considera confiables y que permitirían estar de lado de la seguridad en términos de gestión de inundaciones.

### Abstract

**Introduction:** The hydraulic modeling of a river is a valuable tool for forecasting its behavior for events such as floods. The city of Cuenca in Ecuador is crossed by four rivers. The Tarqui river is one of them, however, this river is considered vulnerable and with special interest in the Guzho sector area, since it presents large floods in the rainy season. This paper presents a comparative analysis of the hydraulic modeling of the Tarqui river, Guzho sector, carried out by the one-dimensional HEC-RAS and two-dimensional IBER models. **Objective:** Evaluating which of the models constitutes a better alternative for simulation is the objective pursued by this research. **Methodology:** The research design was quantitative and the evaluation of the models was based on a

---

comparative analysis of the results of the elevations of the water level, velocities and flood areas. **Results:** The results show that the delimitation of flood zones is very similar in the two software; modeling in HEC-RAS is faster when entering data; IBER shows better quality in the flow images and in the river flood simulation. **Conclusion:** It is concluded that the IBER two-dimensional model represents a better alternative for modeling, since its water levels and the flooding area are greater than HEC-RAS, results that are considered reliable and that would allow to be on the side of safety in terms of flood management.

---

## Introducción

Según Moya et al. (2016) las inundaciones son eventos que se pueden considerar como los fenómenos naturales más comunes en el mundo. Tamiru & Dinka (2021) expresan que estos fenómenos se agravan cuando existen construcciones en las llanuras aluviales. Adicionalmente el crecimiento poblacional, los asentamientos humanos en espacios que carecen de estudios previos; todo esto en conjunto hace que los poblados estén expuestos a amenazas de orden geológico e hidrometeorológico (González et al., 2018). Estas son algunas de las razones por las cuales las inundaciones deben ser analizadas y gestionadas con el fin de disminuir la vulnerabilidad de la población que se encuentra expuesta a este fenómeno. Muñoz et al. (2018) menciona que se espera que durante los próximos años estos eventos naturales se intensifiquen.

Una técnica de la gestión eficiente de las inundaciones es zonificar las áreas expuestas a inundaciones; esta se convierte en una herramienta primordial para elaborar planes de prevención, mitigación y preparación ante desastres (Demoraes & D'ercole, 2001; Pinos & Timbe, 2019). Otra de las técnicas de gestión es el mapeo de inundaciones, este proporciona información valiosa asociada a los niveles del agua y extensión de las inundaciones (Pinos & Timbe, 2019).

Actualmente, existen programas que permiten modelar y pronosticar los diferentes caudales y niveles que puede llegar a tener un río, esto ayuda a tener un mejor entendimiento del comportamiento de un cauce en épocas de lluvia. Para simular inundaciones en llanuras y en ciudades, los investigadores han utilizado modelos hidrodinámicos (Chatterjee et al., 2008), estos modelos pueden ser unidimensionales y bidimensionales.

En los modelos unidimensionales el río es considerado como una línea con una serie de secciones transversales que se interpolan entre sí. En tanto que los modelos

bidimensionales trabajan en base a una malla que representa la topografía del lugar (Pinos & Timbe, 2019).

HEC-RAS es el software de modelación hidráulica unidimensional mayormente utilizado (Moya et al., 2016); para el caso de modelación bidimensional, el software IBER se ha ido abriendo ampliamente campo dentro de la academia e investigación (Collazos, 2015).

Investigaciones basadas en estos softwares, a nivel internacional y local, han sido efectuadas. Se han realizado análisis y comparaciones entre los programas para diferentes elementos hidráulicos como es el caso de puentes (Freitez & Martinez, 2017); pozas disipadoras (Espejo & Zabaleta, 2021); ríos de montaña (Chimborazo, 2019).

En las ciudades del Ecuador las inundaciones azotan periódicamente provocando pérdidas humanas, económicas y problemas de salud (Pinos et al., 2017). Una de estas ciudades es Cuenca, la misma que se encuentra atravesada por cuatro ríos: Yanuncay, Tomebamba, Machángara y Tarqui, este último en épocas de lluvia aumenta su caudal superando la capacidad máxima de transporte. Esta situación provoca que el agua del río se desborde a terrenos cercanos dejando pérdidas económicas, ambientales, sociales y daños psicológicos a la población afectada por este evento. Según informes de revistas locales y periódicos nacionales, históricamente el río Tarqui ha causado estragos en los terrenos aledaños y pérdidas económicas para la población circundante, se menciona: el 15 de marzo de 2017 “En Azuay, desbordamiento del río Tarqui puso en aprietos a agricultores” (El Universo, 2017); el 14 de mayo de 2017 “La tarde del domingo el río Tarqui, en el sur de Cuenca, se desbordó e inundó varios sectores del cantón” (Telégrafo, 2017); el 15 de mayo 2021 “Desbordamiento de ríos y evacuados en Cuenca por las lluvias” (El Comercio, 2021).

En el año 2017, la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos de la ciudad de Cuenca realizó un estudio llamado “Elaboración y actualización del mapa de amenaza por fenómenos de inestabilidad de terrenos e inundaciones en un área de 3.86 km<sup>2</sup> que involucra parte del área de las parroquias Turi, Yanuncay y Huayna Cápac”. Parte de esta investigación consistió en el análisis de la hidrología y el comportamiento hidráulico del río Tarqui, en el sector del Guzho, que abarca 0.159 km<sup>2</sup> (15.9 ha), y que constituye la zona más crítica del área mencionada. Este estudio determinó los caudales máximos instantáneos, para distintos períodos de retorno y elaboró un mapa de inundaciones, utilizando el programa HEC-RAS y HEC GEO-RAS. Este último programa permitió visualizar las manchas de inundación para caudales máximos de diferentes períodos de retorno mediante un mapa, así mismo el estudio recomendó medidas de mitigación que podrían implementarse en el área de estudio.

De acuerdo al conocimiento de los autores, no existe una investigación que evalúe el desempeño de modelos unidimensional y bidimensional en la simulación del

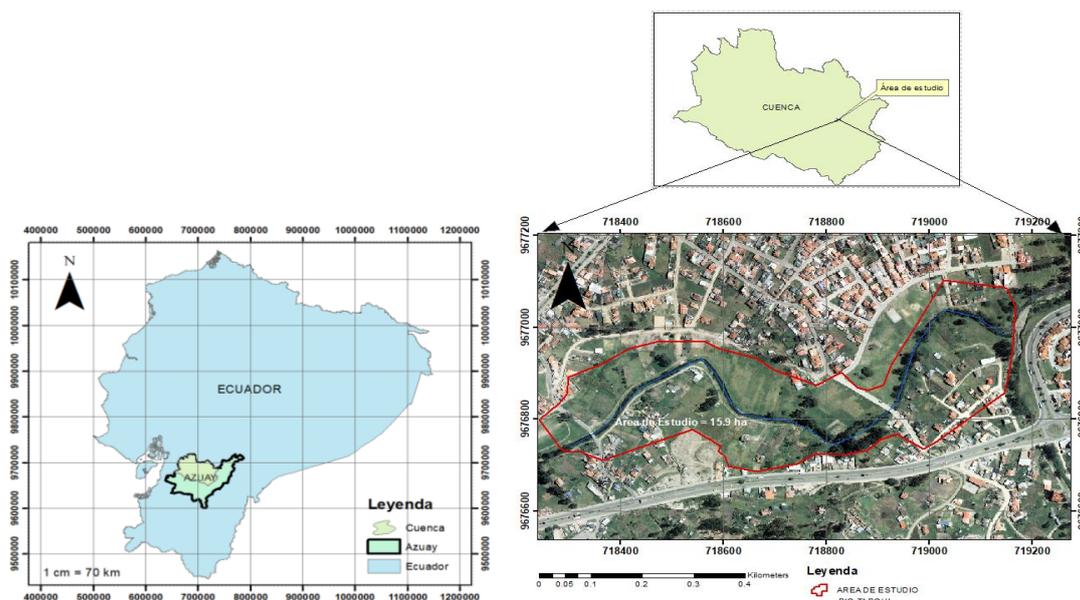
comportamiento hidrodinámico para un río con las características del Tarqui. Es así que, con el fin de contar con un modelo hidráulico actualizado, para la zona del río Tarqui, sector Guzho, con resultados confiables y precisos, el enfoque de esta investigación es realizar la simulación hidráulica en el programa bidimensional IBER y actualizar el estudio hidráulico-hidrológico HEC-RAS realizado en el año 2017 por la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos de la ciudad de Cuenca, con el objetivo de comparar los resultados proporcionados por estos dos modelos y así determinar el aporte de los programas y cuál de los dos representa una mejor alternativa para la modelación.

### Área de estudio

La zona de estudio abarca un área de 15.9 ha. Esta se localiza sobre el río Tarqui, exactamente en el sector del Guzho, con una longitud de río de aproximadamente 1.2 km. Se ubica al sur este de la ciudad de Cuenca, perteneciente a la provincia del Azuay, en el sur del Ecuador como se muestra en la figura 1.

**Figura 1**

*Mapa de ubicación de la zona de estudio en el Ecuador*



**Nota:** Elaboración propia en el software ArcGIS

### *Softwares de modelación*

Los programas HEC-RAS e IBER son utilizados para la modelación hidráulica de ríos, canales, entre otros. Estos facilitan un mejor entendimiento del comportamiento del cauce, utilizando modelos numéricos.

*HEC-RAS*: Es un programa de modelación unidimensional cuyas funciones, entre otras son: visualización de la simulación de ríos, también de canales, determinación de niveles de agua y zonas inundables. Este es un software gratuito que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Civiles de la Armada de Estados Unidos (Freitez & Martínez, 2017).

*IBER*: Es un software gratuito desarrollado en colaboración por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE) (Freitez & Martínez, 2017). Bladé et al. (2014) menciona que este programa combina un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos; y utiliza el método de volúmenes finitos. Este software de tipo bidimensional ayuda a la simulación de ríos delimitando las zonas de riesgos por inundación. Se considera una herramienta muy rentable para profesionales del medio ambiente y del agua, también es capaz de reproducir la hidrodinámica del flujo de un cauce de forma convincente, IBER resuelve ecuaciones bidimensionales de Saint Venant (Martínez et al., 2017).

### **Metodología**

El proceso metodológico de esta investigación comprendió una revisión de la literatura sobre temas de simulación con el uso de modelos unidimensional y bidimensional. La recopilación de información y datos que se utilizaron como parámetros de entrada en los softwares de modelación. La modelación hidráulica a través de los softwares HEC-RAS e IBER. Y un análisis comparativo e interpretación de los resultados obtenidos tras la modelación.

### *Parámetros de entrada*

Para efectos del modelado del tramo del río Tarqui, sector Guzho, tanto en el software HEC-RAS como IBER se requirió de manera inicial contar con parámetros de entrada. Por lo tanto, fue necesario previamente realizar un análisis hidrológico que permitió

determinar los caudales máximos anuales y caudales máximos instantáneos; así como también se definió la topografía del sector y se estableció los coeficientes de rugosidad.

#### *Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno*

Para la obtención de estos se realizó previamente un estudio hidrológico, que asentó sus bases en la recopilación de caudales diarios registrados por una estación cercana a la zona de estudio. Con estos caudales se calcularon los caudales diarios máximos anuales, y luego se aplicó la distribución de probabilidades de Gumbel (Gumbel, 1958). Ver ecuaciones (1)-(5).

$$(1) \quad p = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Donde:

$p$  = Probabilidad de excedencia de un valor  $X$

$e$  = Base de logaritmos naturales = 2.7183

$y$  = Variable reducida

la fórmula general está dada por

$$(2) \quad X = \underline{X} + (0.7797y - 0.45)\sigma_x$$

o bien:

$$(3) \quad X = \underline{X} + K\sigma_x$$

$$(4) \quad K = 0.7797y - 0.45$$

$\underline{X}$  = Promedio aritmético de la serie de datos

$\sigma_x$  = Desviación estándar de la serie de datos

$K$  = Factor de frecuencia

$$(5) \quad y = -\ln[-\ln(1 - p)]$$

#### *Estudio Hidrológico*

Permitió establecer los caudales diarios máximos anuales, y a partir de estos se calcularon los caudales máximos instantáneos. Los caudales para el estudio los facilitó la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), empresa encargada de registrar los caudales mediante estaciones hidrométricas. La estación más cercana al tramo de estudio es la Tarqui AJ Yanuncay que se encuentra a 2km. Esta estación proporcionó un registro de caudales de 23 años consecutivos, desde el año de 1999 hasta el mes de junio del año 2021 (ETAPA EP, 2021). En la tabla 1 se puede observar los resultados del análisis hidrológico.

**Tabla 1**

*Datos para la obtención de caudales máximos instantáneos*

Descripción	Valor
Promedio de caudales máximos diarios anuales registrados	32.01
Desviación estándar	27.54

Por lo tanto, aplicando las ecuaciones (1)-(5) de la distribución de probabilidades Gumbel, en la tabla 2 se muestran los resultados de caudales máximos instantáneos ( $Q_{max\ inst}$ ) que se obtuvieron para 50 y 100 años de periodo de retorno.

**Tabla 2**

*Caudales máximos instantáneos para periodos de retorno de 50 y 100 años*

Período de retorno (años)	$Q_{max\ inst}$ (m <sup>3</sup> /s)
50	103.4
100	118.4

*Coefficiente de rugosidad o n de Manning:* Viene dado por:

$$(6) \quad V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

donde:

$V$  = velocidad de flujo

$Rh$  = Radio hidráulico

$S$  = Pendiente del cauce

$n$  = Coeficiente de rugosidad

Para esta investigación, se determinó emplear un coeficiente de rugosidad para el cauce y otro para las llanuras de inundación. Por lo tanto, los  $n$  de Manning utilizados en la modelación se obtuvieron de referencias bibliográficas como Chow (1994) y son : 0.035 para el cauce y 0.06 para llanuras para el caso de los dos programas de modelación. Para el caso de IBER se realizó un mapa de uso de suelo en el software ARC-GIS.

### *Topografía*

Esta investigación utilizó la topografía disponible del estudio realizado por la Dirección de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del Cantón Cuenca, en el año 2017; de la cual se determinó que el eje del cauce del río, en la zona de estudio, es de aproximadamente 1200 m de longitud, cuyas cotas inicial y final son respectivamente de: 2558.00 msnm y 2552.00 msnm. La pendiente del río se obtuvo entre la diferencia de la cota más alta y la más baja dividido para la longitud horizontal entre estas cotas.

### *Modelación*

En primera instancia se realizó la actualización de la modelación del software HEC-RAS, la misma que se describe a continuación. Previo al uso del programa HEC-RAS se trabajó en el software ARC-GIS con la finalidad de obtener el modelo digital de elevación basado en la información topográfica existente. Posterior a esto, y con la herramienta HEC-GEO RAS del ArcGIS se obtuvieron las secciones transversales que se exportaron al programa HEC-RAS. Se realizaron un total de 39 secciones, cada 30 m a lo largo del río Tarqui, cuyas coordenadas de inicio y fin respectivamente son: 718287.64, 9676732.91 y 719165.03, 9676990.59.

Luego, ya en el HEC-RAS, y con la topografía incorporada en el programa se ingresó los coeficientes de rugosidad ( $n$  de Manning) determinados; 0.06 para llanuras de inundación y 0.035 para el cauce del río. El régimen con el que se modeló corresponde a un régimen de flujo subcrítico. Posteriormente se incorporó los caudales de retorno de 50 y 100 años que fueron calculados de 103.4 m<sup>3</sup>/s y 118.4 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Finalmente se realizó la corrida del programa a la espera de resultados.

Por su parte, la modelación en el software bidimensional IBER, constituyó en los procesos explicados a continuación. Se incorporó la ortofoto y se exportó el modelo digital de terreno. Luego se introdujeron los datos de entrada y salida que son: condiciones de contorno, como el hidrograma triangular que se realizó para una hora de crecida. Posteriormente, se colocó el mapa de rugosidad; este mapa está basado en un mapa de uso de suelo; para su elaboración se tomó en cuenta las tres rugosidades determinadas  $n=0.035$  para el cauce del río,  $n=0.06$  para la vegetación y  $n=0.018$  para las vías de hormigón. Más adelante, la simulación hidráulica permitió asignar un tiempo de cálculo teniendo la opción de “guardar” cada 45 segundos, para esta modelación se asignó un tiempo de 3735 segundos. Finalmente, se realizó la corrida del programa.

### **Resultados**

Los resultados de esta investigación están principalmente orientados a conocer, tras la modelación en los softwares HEC-RAS e IBER, los valores de: elevación de agua, velocidades, manchas de inundación y con estos realizar el análisis comparativo del modelamiento del río Tarqui, sector Guzho. El análisis permitirá determinar que software es el más eficiente para la modelación.

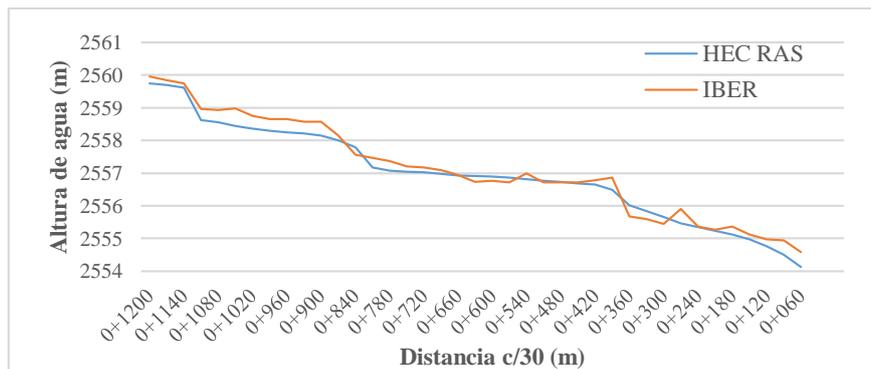
### *Elevaciones*

En la figura 2 se observa las cotas de agua generadas por los softwares de modelación para un periodo de retorno de 50 años. Como se mencionó en el apartado de “Modelación”, el cauce del río fue dividido en 39 secciones transversales espaciadas cada 30 m, siendo la sección 39 (abscisa: 0+060.00) la correspondiente al tramo final de

estudio y la sección 1 (abscisa: 0+1200.00) el tramo inicial de estudio. En la sección 39 existe la mayor diferencia entre las cotas con un valor de 0.45 m, mientras que, a lo largo del cauce las diferencias de los niveles de agua son similares alcanzando un valor promedio de 0.15 m.

**Figura 2**

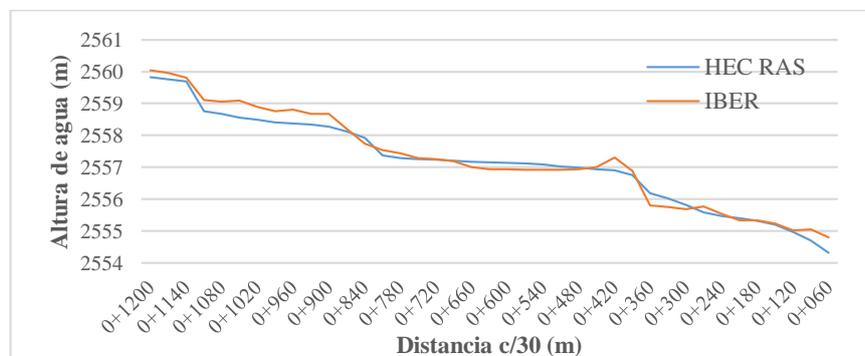
*Cotas de agua para un periodo de retorno de 50 años*



Por su parte, la figura 3 muestra las curvas de elevaciones de agua proporcionadas por los dos softwares para un periodo de retorno de 100 años. La diferencia máxima entre cotas de agua se produce igualmente en la sección 39 (abscisa: 0+060.00) y su valor es de 0.49 m; a lo largo del cauce las alturas de agua son también similares con valor promedio de 0.09 m.

**Figura 3**

*Cotas de agua para un periodo de retorno de 100 años*



*Velocidades*

Las velocidades máximas generadas por los softwares de modelación para un periodo de retorno de 50 años son: 3.81 m/s y 3.70 m/s para los programas HEC-RAS e IBER respectivamente (Ver tabla 3).

**Tabla 3**
*Velocidades para un periodo de retorno de 50 años*

Velocidad (m/s)	HEC-RAS	IBER
Máxima	3.81	3.70
Media	2.26	1.97
Mínima	0.91	1.08

Para un periodo de retorno de 100 años, las velocidades obtenidas se muestran en la Tabla 4. Un valor de 4.55 m/s es la velocidad máxima dada por el programa IBER en la sección correspondiente a la abscisa 0+390.00, frente a una velocidad máxima de 4.46 m/s generada por el software HEC-RAS en el mismo punto.

**Tabla 4**
*Velocidades para un periodo de retorno de 100 años*

Velocidad (m/s)	HEC-RAS	IBER
Máxima	4.46	4.55
Media	2.02	2.13
Mínima	0.68	1.17

En relación al comportamiento de las velocidades de agua en los dos periodos de retorno, a través de la información entregada por la Tabla 3 y Tabla 4, se deduce que para los 50 años de retorno existe una diferencia entre velocidades máximas de 0.11 m/s, siendo mayor la velocidad generada por HEC-RAS. Por su parte, para los 100 años, hay una diferencia de velocidades máximas de 0.09 m/s, siendo en este caso la velocidad generada por IBER.

#### *Áreas de Inundación*

Considerando que uno de los objetivos y resultados de esta investigación es obtener las manchas de inundación, este apartado presenta de forma gráfica las manchas de agua en la zona de estudio para los diferentes periodos de retorno planteados. De esta manera, la tabla 5 muestra un resumen de los valores de las áreas de inundación obtenidos tras la modelación.

**Tabla 5**
*Resumen de áreas de inundación para periodos de retorno de 50 y 100 años*

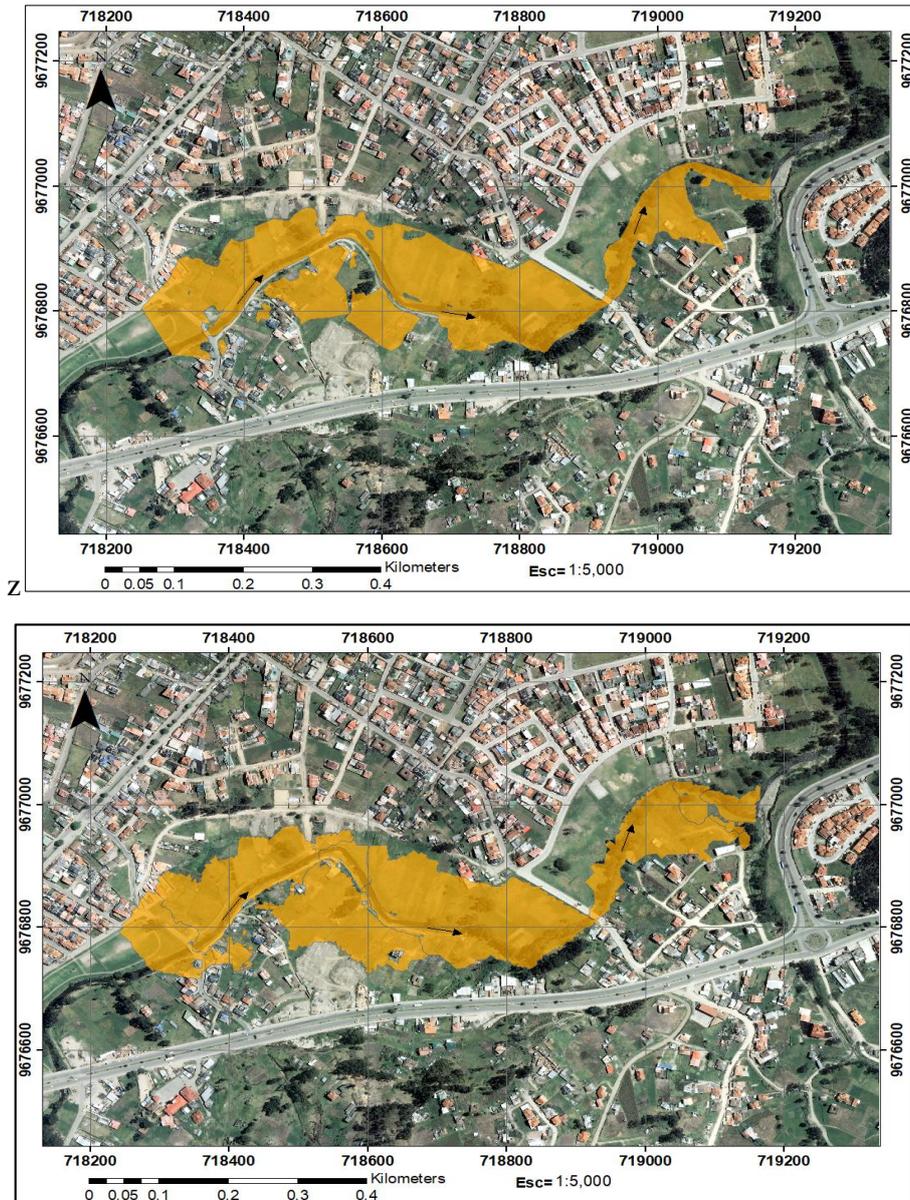
Tipo de software	Área de inundación (ha)	
	50 años	100 años
HEC-RAS	9,52	10,90
IBER	11,73	12,35

La mancha de inundación obtenida del software HEC-RAS tiene un área total de 9,52 ha para un periodo de retorno de 50 años; por su parte la del software IBER presenta un área total de 11,73 ha (Ver figura 4).

**Figura 4**

*Área de inundación. Periodo de retorno de 50 años.*

*Izquierda: HEC-RAS, Derecha: IBER*

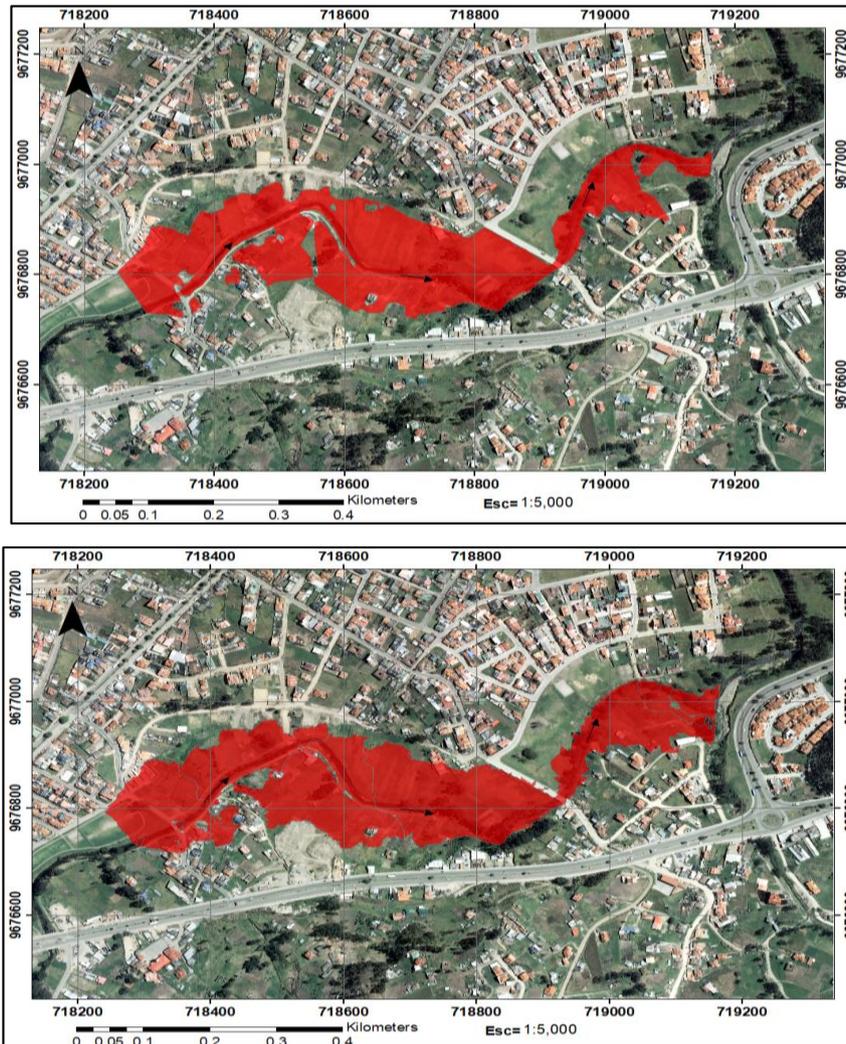


**Nota:** Ortofoto proporcionada por la Dirección de Gestión de Riesgos del Municipio de Cuenca.

La figura 5 presenta las manchas de inundación para el caso del periodo de retorno de 100 años. Un área total de 10.9 ha para el software HEC-RAS, en tanto que para el software IBER se tiene un área de 12,35 ha.

**Figura 5**

*Área de inundación. Periodo de retorno de 100 años. HEC-RAS*



**Nota:** Ortofoto proporcionada por la Dirección de Gestión de Riesgos del Municipio de Cuenca.

En relación a la diferencia resultante entre las áreas correspondientes a los periodos de retorno de 50 años y 100 años, existe una variación de aproximadamente de 1.45 ha en HEC-RAS y 0.62 ha en IBER. El rango de variación en IBER es mucho menor en relación con HEC-RAS, este hecho confirma que al ser una modelación bidimensional se puede tener un mayor alcance en los resultados, minimizando variaciones y acercándose a resultados más precisos

## Discusión

La obtención de mapas de inundación es una herramienta valiosa para la gestión de inundaciones y la toma de decisiones en relación a medidas de prevención y mitigación ante la posible ocurrencia de estos eventos. Lo mencionado es ratificado por estudios de inundaciones en áreas de llanura; Borzi et al. (2020), describe la importancia de la obtención de mapas de riesgos por inundación, puesto que estos permiten disminuir la vulnerabilidad de las personas afectadas por este evento y a tener una mejor planificación de ordenamiento territorial. Así mismo, otra investigación realizada por Hutanu et al. (2020), concluye que el desarrollo de escenarios de inundación es importante para obras de mitigación contra inundaciones. De aquí la necesidad de contar con mapas de inundación actualizados del río Tarqui, sector Guzho, considerada su zona más vulnerable.

Según Bladé (2005) en su tesis doctoral, un modelo unidimensional se puede utilizar cuando la dirección del cauce es predominante, mientras cuando el cauce tiene curvas, cauces compuestos, confluencia de ríos se puede recurrir a una aproximación bidimensional. El tramo de estudio del río Tarqui, fue simulado por los dos modelos, el unidimensional y el bidimensional, dando los resultados más confiables el modelo bidimensional IBER, lo que concuerda con la declaración anterior, pues el Tarqui en este tramo comprende un cauce irregular por las curvas pronunciadas que este presenta.

La visualización de flujo del tramo de estudio en el software IBER es mejor que el programa HEC-RAS, ya que este simula desde la entrada hasta la salida del agua en dos direcciones pedagógicamente es conveniente; esto lo confirma un estudio llamado “*The use of Iber as learning tool for two-dimensional channel flow analysis*” realizado por Huber et al. (2021), donde muestran el beneficio de utilizar IBER y es la visualización clara de fenómenos de flujo con cambios de direcciones.

En relación al comportamiento de las curvas de cotas de agua en los dos periodos de retorno, a través de la figura 2 y la figura 3, se observa que las curvas tienen un comportamiento bastante similar. Además, se puede apreciar que en mayor parte del cauce la resultante de la modelación en IBER presenta cotas de agua ligeramente superiores respecto a HEC-RAS tanto para los 50 como los 100 años de periodo de retorno. Es así que para los niveles de agua alcanzados por HEC-RAS, para 50 años de periodo de retorno, en el punto más alto y más bajo de la zona de estudio son de: 2559.75 msnm y 2554.13 msnm; en tanto que, para IBER son de: 2559.95 msnm y 2554.58 msnm. Por su parte, en el caso de los 100 años de periodo de retorno, la cota más alta y más baja en HEC-RAS está dada por: 2559.83 msnm y 2554.31 msnm; en tanto que, para IBER son de: 2560.04 msnm y 2554.80 msnm. El análisis de estas alturas permite concluir que la diferencia de cotas para los diferentes periodos de retorno no es altamente significativa, es decir, valores de 0.20 m y 0.45 para los 50 años de retorno; en tanto que para los 100

años se tiene 0.21 m y 0.49 m (inicio y fin del área de estudio). Estos resultados son esperados y consecuentes, puesto que la diferencia de los caudales de modelación para los 50 y 100 años de periodo de retorno es de apenas 15 m<sup>3</sup>/s (103.4 m<sup>3</sup>/s y 118.4 m<sup>3</sup>/s). La similitud existente en los niveles de agua entre los dos programas se corrobora con lo expuesto por Pinos & Timbe (2019) en su estudio llamado “*Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins*” efectuado en el río Santa Bárbara, cantón Gualaceo, provincia del Azuay. En esta investigación los autores evaluaron el desempeño de cuatro modelos hidráulicos bidimensionales (HEC-RAS 2D, IBER 2D, FLOOD Modeller 2D y PCSWMM 2D), modelos cuyos resultados fueron comparados con los resultados de HEC-RAS unidimensional, concluyendo que IBER 2D tiene el mejor desempeño en la simulación del nivel de agua para inundaciones en los períodos de retorno de 20 y 50 años.

Por otro lado, en relación a las manchas de inundación la comparación entre sí, de las manchas presentadas tanto en la figura 4 como en la figura 5, lleva a concluir que existe una considerable similitud en las manchas generadas por los softwares para cada uno de los periodos de retorno analizados. Esto es coincidente con lo referido por Freitez & Martínez (2017) en su investigación “Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes”, donde los autores observaron que el comportamiento de ambas modelaciones presentó similitud en las manchas de inundación.

Si bien las manchas de inundación son similares, los resultados muestran que las áreas de inundación generadas por el software IBER son mayores a las proporcionadas por HEC-RAS, tanto para los 50 como 100 años de periodo de retorno. La diferencia entre las áreas de inundación es del 18.8% para los 50 años, en tanto que para los 100 años es del 11.7%. La razón de la diferencia radica en que al final del cauce, IBER, genera una mayor área de inundación. Esto se debe generalmente a que el modelo en este programa realiza la simulación en dos direcciones es decir bidimensional y tiene un comportamiento más real. Que el modelo IBER presente mayor área de inundación es confirmado por un estudio realizado también en un río de montaña el cual se denomina “Evaluación hidrológica e hidráulica del río Tomebamba tramo Balzay – Monay mediante modelación matemática del flujo en uni y bidimensional” (Chimborazo, 2019). Esta investigación utiliza los softwares HEC-RAS e IBER, para realizar modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales con diferentes períodos de inundación 25, 50 y 100 años, concluyendo que el modelo IBER tiene más área de inundación con respecto a HEC-RAS.

Finalmente, en relación al tiempo de simulación, en esta investigación el tiempo de simulación de los dos softwares es similar, sin embargo, HEC-RAS realiza la corrida en un menor tiempo. Esto es acorde a lo presentado en una investigación desarrollada en Perú, la cual efectuó la comparación entre HEC-RAS e IBER en el modelamiento

hidráulico de una poza disipadora inclinada; los resultados muestran que el tiempo de simulación del programa HEC-RAS es menor que el del programa IBER (Espejo & Zabaleta, 2021).

### Conclusiones

- En este estudio se ha realizado una evaluación de la modelación hidráulica del río Tarqui, sector Guzho, para ello se ha empleado el programa unidimensional HEC-RAS y bidimensional IBER. La evaluación se basó en un análisis comparativo de las resultantes de niveles de agua, velocidades y áreas de inundación.
- En términos de niveles de superficie de agua, el comportamiento de los perfiles en ambas modelaciones presentó gran similitud e IBER muestra valores superiores a HEC-RAS para los eventos de inundación de 50 y 100 años. Se observa el mismo patrón para las áreas de inundación. Para el caso de las velocidades y el periodo de retorno de 100 años IBER presenta velocidades superiores.
- Acorde al análisis comparativo se puede concluir que el modelo bidimensional IBER representa una mejor alternativa para la modelación, puesto que sus niveles de agua y el área de inundación es mayor respecto a HEC-RAS, resultados que se los considera confiables y que permitirían estar de lado de la seguridad en términos de gestión de inundaciones y en el diseño y la construcción de posibles obras de prevención y mitigación. Además, el software IBER muestra la simulación del cauce para diferentes tiempos, desde el tiempo de inicio de la inundación hasta el término de esta, lo que ayudaría a una mejor toma de decisiones.
- Por otro lado, en relación a la actualización del modelo HEC-RAS realizado en el año 2017, esta investigación determinó un área mayor de inundación. Esto es producto de que los caudales de modelación para los períodos de retorno de 50 años se vieron incrementados en 31.00 m<sup>3</sup>/s. Este incremento se debe al evento que se produjo el mes de mayo de 2021, en el que se registraron los caudales máximos horarios.
- Considerando la actualización del modelo HEC-RAS a la presente fecha y los resultados obtenidos tras la modelación en IBER, este estudio recomienda actualizar la información que reposa en la base de datos de las instituciones encargadas del manejo de estos datos, con el objetivo de tener registros actuales para una mejor toma de decisiones.
- Finalmente, con respecto a los programas se concluye que las imágenes generadas en IBER, son mejores que las de HEC-RAS, ya que IBER trabaja en diferentes direcciones. Los resultados generados en el software HEC-RAS como altura de agua, velocidades se pueden desplegar directamente en el programa y por lo tanto visualizar mediante hojas. Los tiempos de simulación para esta investigación son

similares. Además, los dos softwares son de libre acceso es decir no tienen costo (dominio público), lo que es ventajoso para los investigadores, académicos, profesionales, instituciones, pues permite el rápido acceso a elaborar estudios de modelación hidráulica.

### *Referencias bibliográficas*

- Bladé, E. (2005). Modelación del flujo en lamina libre sobre cauces naturales análisis integrado con esquemas en volúmenes finitos en una y dos dimensiones [UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA]. In *Tesis Doctoral*. <http://hdl.handle.net/10803/6394>
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & 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>
- Borzi, G. E., Cellone, F., Tanjal, C., Melendi, E., & Carol, E. (2020). Propuesta metodológica para el estudio de inundaciones en áreas de llanura con escasez de información. *Dyna*, 87(215), 221–228. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.85140>
- Chatterjee, C., Förster, S., & Bronstert, A. (2008). Comparison of hydrodynamic models of different complexities to model floods with emergency storage areas. *Hydrological Processes*, 22(24), 4695–4709. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.7079>
- Chimborazo Ochoa, J. E. (2019). *Evaluación hidrológica e hidráulica del Río Tomebamba tramo Balzay-Monay mediante modelación matemática del flujo en uni y bidimensional* [Tesis de grado. Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33568>
- Chow, V. Te. (1994). Desarrollo del Flujo Uniforme y de sus Ecuaciones. In M. E. Suárez (Ed.), *Hidráulica de Canales Abiertos* (McGrawHill, pp. 108–111).
- Collazos, G. (2015). *Uso del modelo IBER en un problema de flujo bidimensional* (pp. 1–8). Instituto de Hidrología de Llanuras. [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2281/bitstream\\_5590.pdf-PDFA.pdf;jsessionid=5B776DF76B9284DCDC1FED56785C98ED?sequence=1](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/2281/bitstream_5590.pdf-PDFA.pdf;jsessionid=5B776DF76B9284DCDC1FED56785C98ED?sequence=1)
- Demoraes, F., & D'ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en Ecuador* (pp. 3–65). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01292338>
- El Comercio. (2021). *Desbordamiento de ríos y evacuados en Cuenca por las lluvias*.

<https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/desbordamiento-rios-evacuados-cuenca-lluvias.html>

El Universo. (2017). *En Azuay, desbordamiento del río Tarqui puso en aprietos a agricultores.*

<https://www.eluniverso.com/noticias/2017/03/15/nota/6091222/azuay-desbordamiento-rio-tarqui-puso-aprietos-agricultores/>

Espejo, O., & Zabaleta, Y. (2021). *Comparación del modelamiento hidráulico de una poza disipadora inclinada mediante el uso de los modelos IBER y HEC-RAS* [Tesis de Grado Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/655184>

ETAPA EP. (2021). *Registro de Caudales. Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* [lalvarez@etapa.net.ec](mailto:lalvarez@etapa.net.ec)

Freitez, C., & Martínez, F. (2017). Análisis Comparativo Entre Los Modelos Hec-Ras E Iber En La Evaluación Hidráulica De Puentes. *Gaceta Técnica*, 17(1), 9–28. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18178.68809>

González, M., Cabrera, J., Marín, R., DGI. & DAR. (2018). *Atlas de espacios geográficos expuestos a amenazas naturales y antrópicas.pdf* (p. 144). <https://nube.gestionderiesgos.gob.ec/index.php/s/posFfNmWXfHPna7#pdfviewer>

Gumbel, E. (1958). Exact Distribution of Extremes. In Columbia University Press (Ed.), *Statistics of extremes* (Dover). Columbia University Press.

Huber, M., Portal, C., Eduardo, J., Barriga, C., & Cea, L. (2021). The use of Iber as learning tool for two-dimensional channel flow analysis. *Educación en Ingeniería*, 16(31), 72–78. <https://doi.org/10.26507/rei.v16n31.1126>

Hutanu, E., Miha-Pintilie, A., Urzica, A., Paveluc, L. E., Stoleriu, C. C., & Grozavu, A. (2020). Using 1D HEC-RAS modeling and LiDAR data to improve flood hazard maps accuracy: A case study from Jijia Floodplain (NE Romania). *Water (Switzerland)*, 12(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12061624>

Martínez, R., Martínez, A., & Hidalgo, A. (2017). Modelo bidimensional para flujo en aguas poco profundas: tratamiento con iber . *Congreso de Métodos Numéricos En Ingeniería*, Julio, 2–9. [https://www.researchgate.net/publication/318317258\\_Modelo\\_bidimensional\\_para\\_flujo\\_en\\_aguas\\_poco\\_profundas\\_tratamiento\\_con\\_iber%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Raquel\\_Martinez\\_Canto/publication/318317258\\_Modelo\\_bidimensional\\_para\\_flujo\\_en\\_aguas\\_poco\\_](https://www.researchgate.net/publication/318317258_Modelo_bidimensional_para_flujo_en_aguas_poco_profundas_tratamiento_con_iber%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Raquel_Martinez_Canto/publication/318317258_Modelo_bidimensional_para_flujo_en_aguas_poco_)

- Moya, V., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Muñoz, P., Orellana-Alvear, J., Willems, P., & Célleri, R. (2018). Flash-Flood Forecasting in an Andean Mountain Catchment—Development of a Step-Wise Methodology Based on the Random Forest Algorithm. *Water*, 10(11), 2–18. <https://doi.org/10.3390/w10111519>
- Pinos, J., & Timbe, L. (2019). Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. *Water Science and Engineering*, 12(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.03.001>
- Pinos, J., Timbe, L., & Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *Maskana*, 8(2), 147–162. <https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.11>
- Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology; Regional Studies*, 36, 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855>
- Telégrafo. (2017). *Lluvia del domingo fue la más fuerte de los últimos 8 años en Azuay y Cañar*. <https://www2.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/lluvia-del-domingo-fue-la-mas-fuerte-de-los-ultimos-8-anos-en-azuay-y-canar>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



#### Indexaciones

