

Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador

Identification of areas at risk of flooding through in a segment hydraulic simulation Pescadillo River, Manabi, Ecuador

Scarlet Cartaya ^{(1), (2) y (3)}
scarletcartaya@gmail.com

Roddy Mantuano-Eduarte⁽¹⁾
rody.scout@gmail.com

(1)Departamento Central de Investigación / Facultad de Ciencias Agropecuarias
de Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

(2)Prometeo SENESCYT, Ecuador

(3)Universidad Pedagógica Experimental Libertador / Instituto Pedagógico de
Caracas /Centro de Investigaciones Estudios del Medio Físico Venezolano, Venezuela

Artículo recibido en junio de 2016 y publicado en septiembre de 2016

RESUMEN

El objetivo fue identificar manchas de inundación mediante simulación de crecidas anuales en un segmento de la cuenca baja del río Pescadillo, que se ubica dentro de una matriz agrícola homogénea, en la provincia de Manabí de Ecuador. Se empleó para la simulación hidráulica el programa HEC-RAS y para levantar la geometría del canal la extensión HEC-GeoRAS. Los datos geométricos se extrajeron de un TIN obtenido de un modelo de elevación digital (DEM/SRTM) de 50 metros de resolución. En la simulación hidráulica se trazaron 28 secciones transversales separadas a 800 metros, un caudal simulado de 61,4 m³/seg, y una pendiente aguas debajo de 0.0025. Resultó que la posible área a ser afectada abarca 18.72 Km². Las manchas simuladas de inundaciones anuales del río, brindan información sobre la ubicación de las zonas de desbordamiento y los posibles terrenos agrícolas que están en riesgo.

Palabras clave: Simulación hidráulica; HEC-RAS; HEC-GeoRAS; manchas de inundación

ABSTRACT

The aim of this research is to identify flooding by annual flooding simulation in a segment of the lower basin of the river Pescadillo, located within a homogeneous matrix farm in the province of Manabí in Ecuador. It was used for the hydraulic simulation program HEC-RAS and raise the channel geometry HEC-GeoRAS. The geometric data were extracted from a TIN of a digital elevation model (DEM / SRTM) 50 meter resolution. In the hydraulic simulation 28 cross sections spaced at 800 meters, a simulated flow rate of 61.4 m³ / sec, and a slope below 0.0025 waters they were drawn. It turned out that the possible area to be affected covers 18.72 km². Simulated annual flooding of the river, provide information on the location of the overflow areas and potential agricultural land at risk.

Key words: *Hydraulic simulation, HEC-RAS, HEC-GeoRAS, flooding*

INTRODUCCIÓN

La problemática asociada a las inundaciones es compleja ya que implica la intervención de múltiples factores, entre los que destacan los relacionados con la fisiografía y morfología de la cuenca de drenaje, así como la respuesta hídrica a las características climáticas de la región. La identificación en campo de los sectores inundables anualmente requiere de tener alguna orientación previa a su ejecución, más aún si se trata de zonas muy intervenidas donde las evidencias físicas son borradas por la acción del hombre. Es aquí donde cobra importancia la simulación hidráulica mediante el uso de software especializados y los Sistema de Información Geográfica. Estos facilitan el manejo de la data espacial y su representación, brindando una visión más integrada y detallada de la región en estudio. También permiten representar la información generada por la corrida de modelos matemáticos en forma de mapas, lo cual constituye un soporte importante para el trabajo en Hidrología y Geomorfología (Renyi y Nan, 2002; Garrido et al, 2013).

La ubicación geográfica del río Pescadillo, favorece las crecidas del caudal durante el periodo lluvioso de la región (enero-abril) en algunos sectores, por lo que es necesario tomar medidas de control a las inundaciones, más si se considera que es una zona agrícola. Es por

ello que el presente estudio tiene como objetivo identificar manchas de inundación anual mediante simulación en un segmento de la cuenca baja del río Pescadillo en la provincia de Manabí de Ecuador, para representar zonas de riesgo por inundación y así tomar medidas de mitigación. Esta es una corriente de régimen permanente y escasa información hidrológica (Erazo y Ortiz, 2015), para ello se emplearon los programas especializados HEC-RAS y la extensión para el Sistema de Información Geográfica ArcGIS, HEC-GeoRAS. Estas herramientas comprenden un conjunto de requisitos entre los que se encuentran: las operaciones básicas del trabajo con mapas, el preprocesamiento de la información hidrológica, el procesamiento, postprocesamiento de la información hidráulica, la visualización de la información y la administración de la base de datos geográfica (Alho et al, 2005; Baky et al, 2012; Garrido et al, 2013).

MÉTODO

Área de estudio

La zona de estudio comprende un segmento de la cuenca baja del río Pescadillo, que va desde el sur del centro poblado Flavio Alfaro hasta la confluencia con el río Oro, en el cantón Flavio Alfaro de la provincia de Manabí.

Se localiza entre las coordenadas geoastronómicas: punto noroccidental: 0°24'29" S 79°52'2" W; punto nororiental: 0°28'53" S 79°42'36" W; punto suroccidental: 0°24'41" S 79°52'13" W; punto suroriental: 0°29'2" S 79°42'42" W (ver figura 1).

La cuenca baja tiene una morfología donde el fondo del valle en algunos sectores es estrecho y en otra desarrolla una planicie de inundación, baja pendiente 0.0025 (0.25%), está dentro de una cuenca que recibe un promedio anual de precipitación de 1939,5 mm y se ubica en el eje de actividades agrícolas.

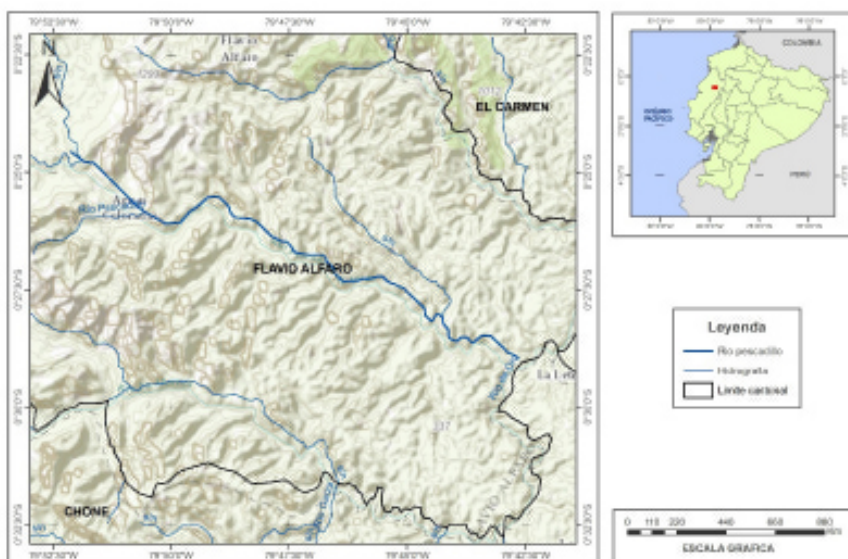


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente cartográfica: Mapa base del Instituto Geográfico Militar (2010) y Mapas temáticos del Ministerio del Ambiente de Ecuador (2014). Elaborado por Departamento Central de Investigación de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” (2016).

Programas

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System). Paquete integrado de análisis hidráulico unidimensional. El programa es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme y variado, transporte de sedimentos, modelización de flujo en régimen permanente y no permanente, modelización del transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas.

HEC-GeoRAS fue desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS. En este caso se empleó para obtener datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río y secciones transversales. Estos luego fueron exportados a HEC-RAS para introducirle los datos del flujo.

Simulación con HEC-GeoRAS y HEC-RAS

Consta de:

- (a) determinación de la geometría del canal con ArcGis y HEC-GeoRAS, para generar un archivo de importación para HEC-RAS que contiene la información geométrica de las secciones transversales;
- (b) modelización del flujo con HEC-RAS y generación del archivo de exportación para ArcGis, y
- (c) elaboración de cartografía final (Xiong, 2011; Timbadiya et al, 2011; Perozo y Marrero, 2011).

Determinación de la geometría del canal

Se usó un DEM-SRTM (Modelo Digital del Terreno) de 50 metros de resolución en formato vectorial TIN (Trianguled Irregular Network), se generaron las curvas de nivel con interlineado a cada 10 metros. Este modelo se logró con la extensión 3D Analyst. De este TIN se extrajeron los datos geométricos de las secciones transversales. Para ello se descargó la extensión HEC-GeoRAS, esta se utiliza como una barra de herramientas dentro de ArcMap. Adicionalmente, son necesarias las extensiones: 3D Analyst, Spatial Analyst. Luego se crea las capas (RAS Layers), estas son archivos shape, que se almacenan dentro de una base de datos Geodatabase.

La geometría básica necesaria para los cálculos posteriores en HEC-RAS, se define a través de las RAS Layers. Estas capas se clasifican como:

- (a) Línea del Cauce (Stream Centerline);
- (b) Líneas de Banco (Bank Lines);
- (c) Línea de Centro Sobre Flujo (Flow Path Centerlines);
- (d) Líneas de Corte de las Secciones Transversales (XS CutLines) (ver figura 2).

La línea del cauce (Stream Centerline Layer), para definir el eje del canal natural, su trazado se realizó desde aguas arriba hasta aguas abajo siguiendo el lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad. Se le asignó el nombre del río y al tramo en estudio. Esta línea es utilizada para

trazar las secciones transversales. Luego ingresó al menú RAS Geometry / Stream Centerline. Attributes, para agregar los atributos.

Las líneas de banco (Bank Lines Layer), sirven para delimitar el cauce principal de un río. Las abscisas de cada sección transversal, se calculan a partir de la intersección de las líneas de banco con las secciones transversales, para ella se ingresó al menú RAS Geometry -Create RAS Layer / Bank Lines.

Las líneas del flujo en la planicie aluvial (Flow Paths) representa la extensión máxima de los desbordes y son perpendiculares a las secciones de flujo. También esta línea se utilizó para definir el banco izquierdo, cauce principal y banco derecho, esto permite identificar el centro de masas del flujo en la llanura de inundación.

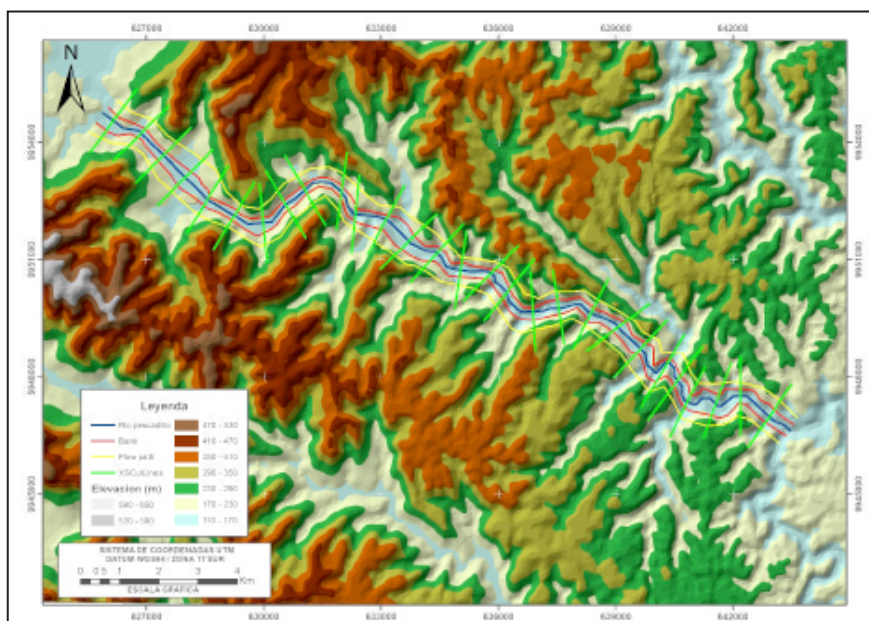


Figura 2. TIN con la línea del cauce (Stream Centerline Layer), líneas de banco (Bank Lines Layer), líneas del flujo en la planicie aluvial (Flow Paths) y secciones transversales (XS Culines).

Las secciones transversales (XS Culines), son líneas de corte que se trazan perpendiculares a la dirección del flujo. Estas se trazaron desde el banco izquierdo hacia el banco derecho y avanzando hacia aguas abajo, sin interceptarse, cruzando la línea del cauce (Stream Centerline) solo una vez, se extendieron por encima de los límites de las líneas del flujo (Flow Paths). En total se trazaron 28 secciones transversales, de 3000 metros de ancho y separadas equidistantemente de 800 metros.

Datos del Flujo

Luego que la geometría del cauce está bien definida, se procedió a ingresar algunos datos de flujo en el programa HEC-RAS. Para realizar la edición de estos datos se seleccionó el menú Edit / Steady Flow Data. Se ingresó el valor del caudal 61.4 m³/seg, que fue calculado para la cuenca a partir de los datos de precipitación y corregido con el coeficiente de escorrentía de 0.45, ya que no se cuenta con datos de intensidad de lluvias ni láminas de agua. También se ingresaron los datos de correspondiente al coeficiente de Manning y la pendiente aguas abajo. El coeficiente de rugosidad empleado fue el calculado para las corrientes naturales para las orillas de 0.027 y para el fondo del canal 0.040, la pendiente aguas abajo fue de 0.0025 (0.025%).

Generación de perfiles transversales, longitudinales y zonas de desbordamiento

Una vez cargada la información del flujo se importa la data generada en HEC-GeoRAS, para ello, se abre el archivo en Geometry Data. Este posee los datos geométricos del canal y los bancos. Luego el HEC-RAS filtró y corrigió los errores originados en el proceso anterior, mediante la herramienta Cross Section Point Filter.

RESULTADOS

El tramo terminal del río Pescadillo, que comprende desde la llanada donde se ubica el pueblo de Flavio Alfaro hasta la confluencia con el río Oro, transcurre por un valle fluvial con llanuras aluviales de desarrollo limitado. Este río de régimen permanente tiene un caudal de 61.4 m³/seg y escasa pendiente (0.0025), por lo que según la simulación del flujo

la zona con riesgo a desbordamientos anuales está precisamente donde es más amplia la planicie aluvial (secciones transversales 4, 5, 9 y 23) y ocupando aproximadamente 18.79 Km².

Después de las zonas de los desbordamientos el caudal se canaliza, esto puede deberse a la configuración del relieve, el ancho y profundidad del canal. No debe descartarse la intervención de la velocidad de infiltración, para ello es necesario, tomar muestra de suelos en campo para realizar análisis granulométrico, para así completar la información (ver figura 3).

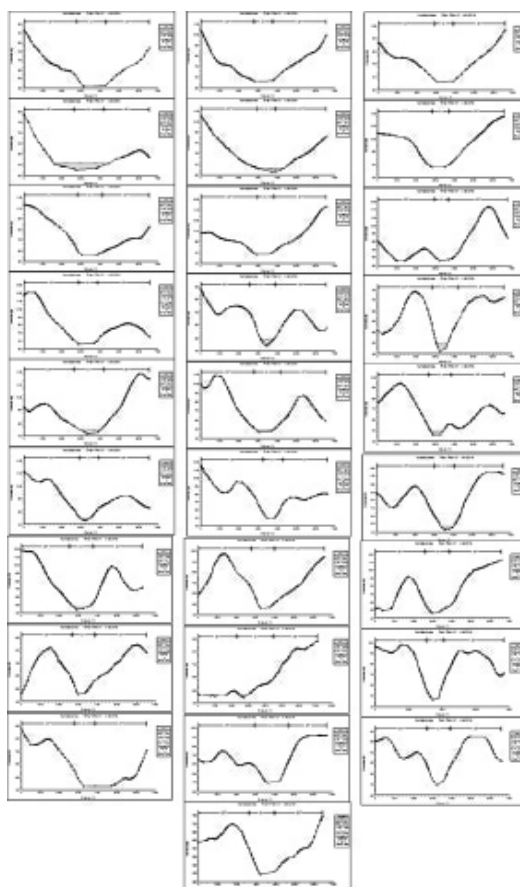


Figura 3. Perfiles transversales y manchas de inundación anual del río Pescadillo.

En la figura 4, se aprecia en las abscisas de los 10.000, 16.000 y 50.000, la altura crítica de la lámina de agua está sobre el valor normal. En la figura 5, la sección 4 se desbordan en ambas márgenes del río, en cambio las secciones 5, 9 y 23, sólo ocurre la inundación hacia el borde izquierdo.

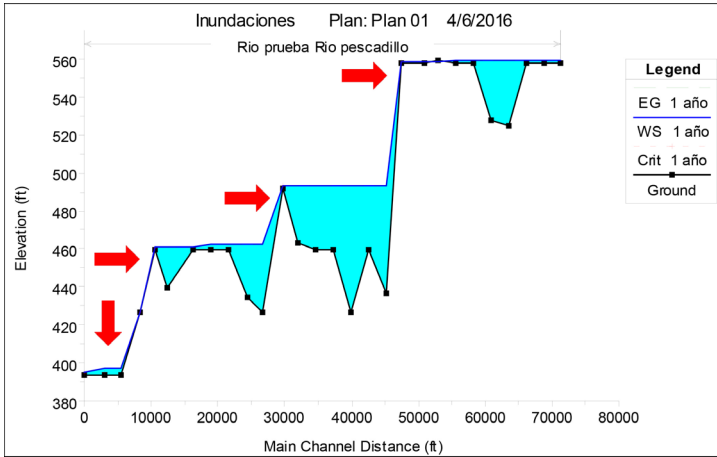


Figura 4. Altura crítica y normal de la lámina de agua en un año del río Pescadillo. Las fechas rojas indican las cuatros zonas de desbordamiento anual.

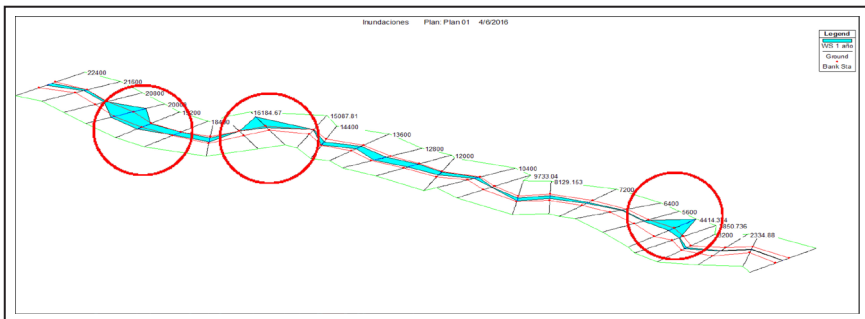


Figura 5. Flujo y manchas de inundación anual a lo largo de las secciones transversales del río Pescadillo. En círculos rojos se destaca las zonas de desbordes.

La modelación se considera parte integrante de la gestión de las inundaciones, porque emplea modelos tanto para la planeación y el diseño,

como para la predicción de las mismas. Existe un número elevado de estudios reportados en la bibliografía que utilizan los modelos HEC-RAS y HEC-GeoRAS obteniendo resultados satisfactorios en la simulación de inundaciones y flujos, a la vez porque tienen vinculan armónica con los SIG (Carson, 2006; Aggetty Wilson, 2009; Cook y Merwade, 2009; Armas et. al, 2012; Howard et al, 2012; Yerramilli, 2010; Gichamo et. al, 2010; Garrido et al, 2013).

En la actualidad, estos programas, son ampliamente usados por su versatilidad y precisión en estudios de toda naturaleza, como:

- (a) en el enfoque de análisis de sensibilidad con modelos numéricos para predecir la movilidad de los meandros y sus etapas de inundación (Buffin-Bélanger et al, 2015; Dimitriadis et. al, 2016);
- (b) para examinar la velocidad y la profundidad del canal dentro de una sección de un banco de arena (Vaughny Davis, 2015);
- (c) simular inundaciones por rotura de una morrena glacial (Wang et al, 2015);
- (d) identificar procesos de erosión y sedimentación en el canal y en la llanura de inundación (Song et al, 2015);
- (e) en la evaluación del potencial energético de la desembocadura de ríos (Fernández-Suárez et al, 2015), principalmente, predicción y cartografía del área inundable, la incidencia del peligro de erosión y de movimientos gravitacionales en el proceso de avenida e inundación (Lorenzo y García, 2011; Quiñones, y Dal Pozzo, 2012; Salem, 2013; Mohammadi, et al, 2014; Punys et al, 2015).

CONCLUSIONES

Los datos generados son de utilidad porque brindan información sobre la extensión, profundidad y ubicación de las machas de inundación, con muy buena precisión, a pesar de la carencia de datos hidrológicos. La información obtenida se puede validar con los datos in situs.

La utilización de la extensión HEC-GeoRAS representa una herramienta es de considerable valor, puesto que permite la automatización del proceso de extracción de datos geométricos para ser exportados al HEC-RAS facilitando la realización de los cálculos hidráulicos y obtener mapas temáticos que muestran las zonas vulnerables a riesgos por inundación.

Resulta un buen entrenamiento didáctico en el proceso de enseñanza en el manejo de estos programas informáticos en las carreras de Ciencias Ambientales, Ciencias de la Tierra y Geografía.

Se recomienda, una vez, efectuadas las visitas al campo, retomar el modelo preliminar para ajustarlo y calibrarlo. De esta manera se podrá proponer, con precisión, la construcción de obras hidráulicas en los lugares de desborde.

Agradecimiento

Al Proyecto PROMETEO de la SENESCYT de Ecuador, por financiar esta investigación.

REFERENCIAS

- Aggett, G. R., y Wilson, J. P. (2009). Creating and coupling a high-resolution DTM with a 1-D hydraulic model in a GIS for scenario-based assessment of avulsion hazard in a gravel-bed river. *Geomorphology*, 113(1), 21-3
- Alho, P., Russell, A. J., Carrivick, J. L., y Käyhkö, J. (2005). Reconstruction of the largest Holocene jökulhlaup within Jökulsá á Fjöllum, NE Iceland. *Quaternary Science Reviews*, 24(22), 2319-2334
- Armas, I., Nistoran, D. E. G., Osaci-Costache, G., y Brasoveanu, L. (2013). Morpho-dynamic evolution patterns of sub Carpathian Prahova River (Romania). *Catena*, 100, 83-99
- Baky, A. A., Zaman, A. M., y Khan, A. U. (2012). Managing flood flows for crop production risk management with hydraulic and gis modeling: case study of agricultural areas in Shariatpur. *APCBEE Procedia*, 1, 318-324
- Buffin-Bélanger, T., Biron, P. M., Larocque, M., Demers, S., Olsen, T., Choné, G., y Eyquem, J. (2015). Freedom space for rivers: an economically viable river management concept in a changing climate. *Geomorphology*, 251, 137-148

- Carson, E. C. (2006). Hydrologic modeling of flood conveyance and impacts of historic overbank sedimentation on West Fork Black's Fork, Uinta Mountains, northeastern Utah, USA. *Geomorphology*, 75(3), 368-383
- Cook, A., y Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1), 131-142
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., y Efstratiadis, A. (2016). Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. *Journal of Hydrology*
- Erazo, W. R. S., y Ortiz, E. P. A. (2015). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Revista Ciencia Unemi*, 7(12), 100-110
- Howard, D. A., Luzzadder-Beach, S., y Beach, T. (2012). Field evidence and hydraulic modeling of a large Holocene Jökulhlaup at Jökulsá á Fjöllum channel, Iceland. *Geomorphology*, 147, 73-85
- Lorenzo, R. G., y García, C. C. (2011). Estimación de caudales de avenida y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas SIG, estudio aplicado al litoral sur de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía*, (53-54), 107-123
- Garrido Monagas, M., Gómez Crespo, M. R., y León Méndez, A. (2013). Sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(3), 30-43
- Gichamo, T. Z., Popescu, I., Jonoski, A., y Solomatine, D. (2012). River cross-section extraction from the ASTER global DEM for flood modeling. *Environmental Modelling Software*, 31, 37-46
- Mohammadi, S. A., Nazariha, M., y Mehrdadi, N. (2014). Flood damage estimate (quantity), using HEC-FDA model. Case study: the Nekariver. *Procedia Engineering*, 70, 1173-1182
- PerozoY nestroza, M. Á., y Marrero de León, N. V. (2011). Estimación del riesgo de inundación en urbanismos y zonas agrícolas ubicadas en la planicie del Río Coro, Estado Falcón, Venezuela. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 05-11

- Punys, P., Adamonyte, I., Kvaraciejus, A., Martinaitis, E., Vyciene, G., yKasiulis, E. (2015). Riverine hydrokinetic resource assessment. A case study of a lowland river in Lithuania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 643-652
- Quiñones, E., y Dal Pozzo, F. (2012). Visualización de zonas de desborde usando HEC-GeoRAS. Microcuenca del río la Pedregosa, estado Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1), 77-91
- Renyi, L., y Nan, L. (2002). Flood area and damage estimation in Zhejiang, China. *Journal of environmental management*, 66(1), 1-8
- Salem, M. (2013). Investigating the filling scenarios to adapt with clima techange impacts (case study: Qattara Depression, Egypt). *Energy Procedia*, 36, 200-210
- Song, S., Schmalz, B., yFohrer, N. (2015). Simulation, quantification and comparison of in-channel and floodplain sediment processes in a lowland area—A case study of the Upper Stör catchment in northern Germany. *Ecological Indicators*, 57, 118-127
- Timbadiya, P. V., Patel, P. L., y Porey, P. D. (2011). Calibration of HEC-RAS model on prediction of flood for lower Tapi River, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(11), 805
- Xiong, Y. (2011). A dam break analysis using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(06), 370
- Yerramilli, S. (2012). A hybrid approach of integrating HEC-RAS and GIS towards the identification and assessment of flood risk vulnerability in the city of Jackson, MS. *American Journal of Geographic Information System*, 1(1), 7-16
- Vaughn, R. S., y Davis, L. (2015). Abiotic controls of emergent macrophyte density in a bedrock channel - The Cahaba River, AL (USA). *Geomorphology*, 246, 146-155
- Wang, W., Gao, Y., Anacona, P. I., Lei, Y., Xiang, Y., Zhang, G., y Lu, A. (2015). *Integrated hazard assessment of Cirenmaco glacial lake in Zhangzangbo valley, Central Himalayas*. *Geomorphology*