

**ESTADO DEL ARTE SOBRE METODOLOGÍAS EL ACOTAMIENTO DE
RONDAS HÍDRICAS**

JESSICA ALEJANDRA TORRES ALBARRACIN

Universidad Santo Tomás.
Facultad de Ingeniería Ambiental.
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2022

1. ESTADO DEL ARTE

Por medio del artículo 206 (rondas hídricas) de la Ley 1450 de 2011, se dispone que: “Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional.”

Para el año 2018 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, presenta la Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y por medio de la Resolución 957 de 2018, se establece el criterio para definir el orden de prioridades para el acotamiento de las rondas hídricas, el cual debe ser cumplido las Autoridades Ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018b).

La Guía para el Acotamiento de las Rondas hídricas de los Cuerpos Agua de acuerdo a lo establecido en el Decreto 2245 de 2017 define una ronda hídrica como: "zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua"(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). El manejo de la ronda depende de la ocupación del territorio. Por esta razón, es importante ubicar las áreas urbanas y en expansión, así como las áreas rurales y sus tendencias de desarrollo, esto con el objetivo de definir los posibles problemáticas o conflictos que puedan ocasionarse dentro del límite funcional de la ronda y de esta forma incorporar acciones que permitan transformarlos con medidas de compromiso para el desarrollo sostenible.

El acotamiento de las rondas hídricas es de vital importancia, ya que asegura la funcionalidad ecosistémica de las cuencas y permite disminuir la vulnerabilidad del territorio, ante los fenómenos climáticos que se puedan presentar en el país y establece medidas guiadas a la prevención de amenazas y riesgos naturales. En Colombia la Política Nacional de Gestión Integral de Recurso Hídrico (PNGIRH), promover la articulación de los planes de ordenamiento territorial a los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, esto con el fin de que se garantice el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico, pero garantizando su conservación para las generaciones futuras y la supervivencia de los ecosistemas que dependen de él (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a).

El objetivo de este estado del arte es presentar de manera resumida la importancia y metodologías más utilizadas para el acotamiento de rondas hídricas de manera global y local, por medio de la consulta bibliográfica de las diferentes herramientas de investigación. A lo largo de la historia, se han realizado diferentes estudios sobre el acotamiento de la ronda hídrica de las cuencas hidrográficas; en la literatura científica encontramos diferentes metodologías sobre modelos

numéricos, estadísticos, hidrológicos o modelos que solo usan información del Modelo Digital de Terreno (MDT), estos buscan delimitar las zonas con mayor factor de inundación y con ello tomar diferentes medidas para la prevención de desastres naturales.

Una de las metodologías es el mapeo de inundaciones por modelos hidrológicos, en donde se tienen en cuenta los diferentes factores ambientales, siendo uno de ellos el más importante el modelo de elevación digital (Bhuiyan & Baky, 2014). En India se han desarrollado diferentes proyectos en función del mapeo de zonas de inundación, uno de ellos es en la cuenca del río Raidak, ubicada en los distritos de Alipurduar y Cooch Behar de Bengala Occidental, los modelos utilizados fueron: random forest (RF), support vector machine (SVM) y extreme gradient boosting (XGBoost); estos arrojan como resultado que la zona oriental de la cuenca, presenta mayores índices de inundación debido al cambio continuo y rápido de su estructura natural (Ghosh et al., 2022). El segundo proyecto fue desarrollado en la cuenca del río Alto Krishna, mediante un análisis morfológico a partir del DEM Cartosat, en donde arroja como resultado la zona media de la cuenca con más probabilidad de inundación (Bhatt & Ahmed, 2014).

En India, se han desarrollado metodologías para la determinación de zonas inundables a partir del análisis morfométrico detallado de las cuencas, un estudio realizado en el 2019 para las cuencas de los ríos Karnaphuli y Sangu de Bangladesh, representa que a partir del Sistema de Información Geográfica (SIG) en combinación con la disponibilidad de datos espaciales precisos e incluidos los datos de teledetección, se realiza una determinación de zonas con alta probabilidad de inundación, para este caso el área del subdistrito de Raozan, es susceptible a una inundación de gravedad alta (Adnan et al., 2019).

Existen diferentes metodologías a partir de modelos de estadística espacial, en donde se ha determinado que la entrada directa de los parámetros examinados y el análisis de la variación espacial de la cuenca mejoran los resultados del modelo (Bin & Ali, n.d.). Esto fue sustentado en Malasia a través de un estudio de la cuenca del río Kemaman ubicada en la costa este este, por medio del modelo de regresión ponderada geográficamente (GWR), para ello se utilizaron los datos de elevación digital de Shuttle Radar Topographic Mission y el mapa de inundaciones de 2000 de Kemaman de DID Terengganu, Malasia (Lin & Billa, 2021). En Alemania se han utilizado modelos hidrológicos estadísticos mediante la herramienta de evaluación ecohidrológica de suelos y aguas (SWAT), para ello se requiere de un modelo de elevación digital (DEM), con resolución espacial de 10m (Eingrüber & Korres, 2022).

La utilización de los modelos de elevación DEM, son muy importantes para la establecer las zonas de inundación de una cuenca hidrología, es a partir de ello que en Italia, se desarrolló una herramienta como complemento de QGIS, para la delimitación por mapeo de áreas en peligro y riesgos de inundación, cuando no se tienen los suficientes datos de la cuenca de estudio, esta herramienta con el nombre de área de inundación geomórfica (GFA) (Samela et al., 2018), permite un mapeo de inundación eficaz mediante la realización de una clasificación binaria lineal basado en el índice de inundaciones geomórficas (GFI) (Samela et al., 2017).

La metodología de los modelos de aprendizaje automático (machine learning ML), ha llevado a la determinación de estas zonas con alta probabilidad de inundación (Costache et al., 2020). En países como Rumanía e Irán se han realizado diferentes estudios hidrológicos, en donde se aplican los modelos de bosque aleatorio (RF) y un modelo lineal generalizado bayesiano (GLMbayes) inundaciones (Avand et al., 2021a). En la ciudad de Sari, Irán, se realizó un estudio sobre cuatro modelos de aprendizaje automático, en esta investigación se abordan los parámetros del cambio y uso del suelo de la cuenca hidrográfica de Tajan; se establece el método de Radial Basis Function Neural Network (RBFNN), como el más adecuado para la simulación, ya que presenta el cambio severo en el uso de la tierra, la menor pendiente y la mayor cantidad de lluvia (Avand et al., 2021b). En el año 2020 para la cuenca del río Gorganroud, se realizó un modelo (ML) de lluvias repentinas con el fin de evaluar las áreas de mayor susceptibilidad a inundaciones, el modelo da como resultado que el 9,21% al 18,67% de la cuenca presenta una susceptibilidad muy alta a inundaciones (Hosseini et al., 2020).

En China, se ha utilizado la combinación de los análisis de probabilidad de inundación, los modelos hidrodinámicos y el uso de los Sistemas de Información Geográfica – SIG, con el objetivo de determinar las zonas de inundación de las cuencas hidrográficas (Semaw et al., 2022); fue sustentado por un estudio realizado en la cuenca del río Huangpu, en donde se evidencia que las inundaciones de desbordamiento ocurren principalmente dentro de 1 a 2 km de las orillas del río (Yin et al., 2013). En paralelo se han desarrollado diferentes metodologías de inundación para zonas urbanas que están cercas a la periferia de los ríos, algunos de estos modelos son GARP y QUEST (Darabi et al., 2019); estas simulaciones de inundaciones, combinan las precipitaciones históricas, con respecto a diferentes escenarios y un modelo detallado de elevación digital, son fundamentales para los planes en la gestión urbana sostenible (Wang et al., 2021).

En Francia, se determina mediante el estudio de la cuenca del río Meurthe que la metodología de modelos numéricos de llanuras aluviales (NFM) para la determinación de zonas de inundación en áreas rurales, solo permite una simple visualización de la extensión de inundación extrema en el terreno, ignorando las áreas en donde se encuentran algunas infraestructuras (Montané et al., 2017). Sin embargo, el uso de la metodología que combina la utilización de un ráster jerárquico con los modelos hidráulicos (SIG y HEC-RAS), presenta como resultado el riesgo alto de las zonas de inundación y como esto afecta las estructuras urbanas (Haile et al., 2016), esto fue sustentado en la parte occidental de la metrópolis de Ibadan, Nigeria, mediante el estudio de la cuenca del río Ona (Nkeki et al., 2022). Un estudio investigativo realizado en Bolivia, para la cuenca del río Mamore, mediante la utilización de modelos de la simulación numérica bidimensional (2D), ha podido establecer los lugares específicos donde el agua comienza a desbordarse, las áreas de la ciudad de Trinidad que pueden verse afectadas, esto durante el transcurso de inundación de doce días una vez el río este desbordado (Quiroga et al., 2016).

El pronóstico de inundaciones mediante modelos hidrológicos para la determinación de zonas con alta probabilidad de inundación, se han desarrollado en países como Canadá, mediante los modelos de Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA) y modèle du Génie Rural à 4 paramètres

Journalier (GR4J), para ello se escogió la cuenca del río Waterford en la ciudad de St. John's, con los datos climatológicos diarios de cuatro estaciones meteorológicas en el periodo de 2006 hasta 2015 (Wijayarathne & Coulibaly, 2020).

En Estados Unidos se han realizado diferentes estudios para la determinación de zonas de inundación extrema, por medio del modelo the Distributed Hydrology Soil and Vegetation Model (DHSVM) (Li et al., 2021), en donde se ha desarrollado un enfoque que incluye el comportamiento de la cuenca en presencia de fenómenos climatológicos como El Niño o La Niña y para fenómenos naturales como huracanes (Berghuijs et al., 2016); con el desarrollo de estas metodologías se ha establecido un mejor ajuste en los acondicionamientos de los límites de los ríos, esto fue sustentado en el proyecto de zonas de inundación de la cuenca del río San Jacinto en Texas (Alipour et al., 2022), mediante la simulación hidrológica de los programas LISFLOOD-FP y HEC-RAS 2D (Jafarzadegan et al., 2021) y el acondicionamiento de los flujos laterales y flujos verticales.

En Latinoamérica se ha trabajado bajo la técnica de superposición ponderada en un sistema de información geográfica para generar mapas de susceptibilidad a inundaciones, por medio de la cartografía morfológica del terreno o la utilización de DEMs (González-Arqueros et al., 2018), en México, mediante el estudio detallado de la cuenca del río Nexpa en Michoacán y la cuenca del río Atemajac en Jalisco, y la utilización de modelos hidrológicos como HEC-RAS, permitiendo el mapeo de zonas de inundación para cuencas con poca información hidrológica (Ernesto Hernández-Uribe et al., 2017).

En Colombia existe una guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas, en donde se define la metodología en fases para realizar la delimitación de la ronda hídrica, por lo general esta guía debe ser implementada por las Corporaciones Autónomas Regionales, con el fin de prevenir posibles afectaciones a la comunidad y la preservación de los recursos naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018a). Paralelamente se han desarrollado diferentes metodologías para determinar zonas con alto grado de inundación, por medio de los modelos hidrológicos con el uso de herramientas de SIG (Werner et al., 2016), sin embargo, para determinar las zonas de inundación en presencia o ausencia de los fenómenos de El Niño o La Niña, se han establecido diferentes herramientas, una de ellas es la técnica de inteligencia artificial Redes Neuronales Artificiales, la cual fue utilizada en la simulación de zonas con alta probabilidad de inundación para la cuenca del río Magdalena (Moreno et al., 2020). Se ha utilizado también la metodología a base de la combinación de un modelado estadístico (Gumbel y GRADEX), un modelo hidráulico con HEC-RAS y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Rodríguez, 2016), con el fin de generar mapas de amenaza de inundación para los diferentes periodos de retorno, varios estudios se han realizado entorno a ello, como es el caso de la cuenca del río Atrato, en donde el modelo establece que la parte oeste de la cuenca presenta zonas con alta probabilidad de inundación. (Mosquera-Machado & Ahmad, 2007).

Con respecto a los proyectos elaborados, para la determinación de zonas con probabilidad de inundación, la Universidad Militar Nueva Granada, desarrollo un proyecto en la sede del campus ubicado en el municipio de Cajicá, a partir de modelos hidrológicos, este estudio da como resultado

que las condiciones en las que se encuentra el Jarillón no permiten que el agua llegue a los terrenos de la Universidad, donde únicamente se inundaría el humedal y el meandro (Alexander & Mendivelso, 2020). Otro de los estudios de caso, para la cuenca del río de Bogotá fue realizada en el municipio de Villapinzón, Cundinamarca; mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica de Cundinamarca, esta metodología estableció 56 zonas susceptibles a inundación con un área aproximada de 22472 Ha, equivalente al 90.25% del territorio (Contreras & Contreras, 2021).

2. REFERENCIAS

- Adnan, M. S. G., Dewan, A., Zannat, K. E., & Abdullah, A. Y. M. (2019). The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: a case study of the Karnaphuli and Sangu River basins of Bangladesh. *Natural Hazards*, 99(1), 425–448. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03749-3>
- Alexander, G., & Mendivelso, R. (2020). *Determinación de la superficie de inundación del río Bogotá en el sector de la Universidad Militar Nueva Granada - sede campus Cajicá*.
- Alipour, A., Jafarzaghan, K., & Moradkhani, H. (2022). Global sensitivity analysis in hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, 152, 105398. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2022.105398>
- Avand, M., Moradi, H., & lasboyee, M. R. (2021a). Using machine learning models, remote sensing, and GIS to investigate the effects of changing climates and land uses on flood probability. *Journal of Hydrology*, 595, 125663. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2020.125663>
- Avand, M., Moradi, H., & lasboyee, M. R. (2021b). Spatial modeling of flood probability using geo-environmental variables and machine learning models, case study: Tajan watershed, Iran. *Advances in Space Research*, 67(10), 3169–3186. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2021.02.011>
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., & Sivapalan, M. (2016). Dominant flood generating mechanisms across the United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9), 4382–4390. <https://doi.org/10.1002/2016GL068070>
- Bhatt, S., & Ahmed, S. A. (2014). Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM. *Geocarto International*, 29(8), 878–894. <https://doi.org/10.1080/10106049.2013.868042>
- Bhuiyan, S. R., & Baky, A. al. (2014). Digital elevation based flood hazard and vulnerability study at various return periods in Sirajganj Sadar Upazila, Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, 48–58. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2014.06.001>
- Bin, A., & Ali, M. D. (n.d.). *Flood Inundation Modeling and Hazard Mapping under Uncertainty in the Sungai Johor Basin, Malaysia*.

- Contreras, J. L., & Contreras, Y. K. (2021). *Determinación De Zonas Susceptibles A Inundación En El Municipio De Villapinzón – Cundinamarca, Mediante El Uso Del Sistema De Información Geográfica (SIG)*.
<http://www.cundinamarca.gov.co:10039/wcm/connect/9e96b703-852d-470f-9b64-3c8e601b3805/3.+Anexo+3.3+->
- Costache, R., Pham, Q. B., Sharifi, E., Linh, N. T. T., Abba, S. I., Vojtek, M., Vojteková, J., Nhi, P. T. T., & Khoi, D. N. (2020). Flash-Flood Susceptibility Assessment Using Multi-Criteria Decision Making and Machine Learning Supported by Remote Sensing and GIS Techniques. *Remote Sensing*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/rs12010106>
- Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Torabi Haghighi, A., Pradhan, B., & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques. *Journal of Hydrology*, 569, 142–154. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2018.12.002>
- Eingrüber, N., & Korres, W. (2022). Climate change simulation and trend analysis of extreme precipitation and floods in the mesoscale Rur catchment in western Germany until 2099 using Statistical Downscaling Model (SDSM) and the Soil & Water Assessment Tool (SWAT model). *Science of The Total Environment*, 838, 155775. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155775>
- Ernesto Hernández-Uribe, R., Barrios-Piña, H., Ramírez, A. I., & para correspondencia Resumen Hernández-Uribe, A. (2017). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1316>
- Ghosh, S., Saha, S., & Bera, B. (2022). Flood susceptibility zonation using advanced ensemble machine learning models within Himalayan foreland basin. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/J.NHRES.2022.06.003>
- González-Arqueros, M. L., Mendoza, M. E., Bocco, G., & Solís Castillo, B. (2018). Flood susceptibility in rural settlements in remote zones: The case of a mountainous basin in the Sierra-Costa region of Michoacán, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 223, 685–693. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.06.075>
- Haile, A. T., Tefera, F. T., & Rientjes, T. (2016). Flood forecasting in Niger-Benue basin using satellite and quantitative precipitation forecast data. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED EARTH OBSERVATION AND GEOINFORMATION*, 52, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.021>
- Hosseini, F. S., Choubin, B., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Darabi, H., & Haghighi, A. T. (2020). Flash-flood hazard assessment using ensembles and Bayesian-based machine learning models: Application of the simulated annealing feature selection method. *Science of The Total Environment*, 711, 135161. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.135161>

- Jafarzadegan, K., Alipour, A., Gavahi, K., Moftakhari, H., & Moradkhani, H. (2021). Toward improved river boundary conditioning for simulation of extreme floods. *Advances in Water Resources*, 158, 104059. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2021.104059>
- Li, X., Rankin, C., Gangrade, S., Zhao, G., Lander, K., Voisin, N., Shao, M., Morales-Hernández, M., Kao, S. C., & Gao, H. (2021). Evaluating precipitation, streamflow, and inundation forecasting skills during extreme weather events: A case study for an urban watershed. *Journal of Hydrology*, 603, 127126. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.127126>
- Lin, J. M., & Billa, L. (2021). Spatial prediction of flood-prone areas using geographically weighted regression. *Environmental Advances*, 6, 100118. <https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2021.100118>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Decreto 2245 de 2017, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas*. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_2245_2017.htm
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018a). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*. <http://www.mdba.gov.au/>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018b). *Res. 957 de 2018*. <http://www.andi.com.co/Uploads/Res.%20957%20de%202018.pdf>
- Montané, A., Buffin-Bélanger, T., Vinet, F., & Vento, O. (2017). Mappings extreme floods with numerical floodplain models (NFM) in France. *Applied Geography*, 80, 15–22. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2017.01.002>
- Moreno, J. M., Sánchez, J. M., & Espitia, H. E. (2020). Use of computational intelligence techniques to predict flooding in places adjacent to the Magdalena River. *Heliyon*, 6(9), e04872. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04872>
- Mosquera-Machado, S., & Ahmad, S. (2007). Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. *Water Resources Management*, 21(3), 591–609. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9032-4>
- Nkeki, F. N., Bello, E. I., & Agbaje, I. G. (2022). Flood risk mapping and urban infrastructural susceptibility assessment using a GIS and analytic hierarchical raster fusion approach in the Ona River Basin, Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103097. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2022.103097>
- Quirogaa, V. M., 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>

- Rodríguez, E. (2016). *Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa*.
- Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S. (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, 70, 43–52. <https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2018.01.013>
- Samela, C., Troy, T. J., & Manfreda, S. (2017). Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments. *Advances in Water Resources*, 102, 13–28. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2017.01.007>
- Semaw, F., Zeleke, G., & Balew, A. (2022). Evaluating flood risk management practices and vulnerability mapping in Alawuha watershed (North Wollo Zone, Ethiopia) using GIS and remote sensing. *Applied Geomatics*, 14(2), 347–367. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00429-z>
- Wang, P., Li, Y., Yu, P., & Zhang, Y. (2021). The analysis of urban flood risk propagation based on the modified susceptible infected recovered model. *Journal of Hydrology*, 603, 127121. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.127121>
- Werner, M., Loaiza, J. C., Rosero Mesa, M. C., Faneca Sánchez, M., de Keizer, O., & Sandoval, M. C. (2016). Developing Flood Forecasting Capabilities in Colombia (South America). *Flood Forecasting: A Global Perspective*, 349–368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801884-2.00012-8>
- Wijayarathne, D. B., & Coulibaly, P. (2020). Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's, Newfoundland, Canada. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100646. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2019.100646>
- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2013). Multiple scenario analyses of Huangpu River flooding using a 1D/2D coupled flood inundation model. *Natural Hazards*, 66(2), 577–589. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0501-1>