



**NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:  
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**13 - 16**  
DE SEPTIEMBRE

**2022**

CARTAGENA DE INDIAS,  
COLOMBIA



Encontro Internacional de  
Educação em Engenharia ACOFI

# **Evaluación de la vulnerabilidad física ante inundaciones bajo escenarios de cambio del uso del suelo**

**Yelena Hernández  
Atencia**

**Universidad Coopera-  
tiva de Colombia  
Ibagué, Tolima**

**Luis Eduardo Peña  
Rojas**

**Universidad de Ibagué  
Ibagué, Tolima**

**Jader Muñoz Ramos**

**Universidad del Tolima  
Ibagué, Tolima**

## **Resumen**

Debido al cambio climático y a inadecuados cambios en el uso del suelo, en muchas regiones del planeta se han incrementado en intensidad y frecuencia las inundaciones y crecidas, lo cual ha derivado en un aumento en la vulnerabilidad de la infraestructura física cercana a fuentes hídricas superficiales. Sin embargo, los métodos para determinar este tipo de vulnerabilidad en zonas en las que ha cambiado el uso del suelo son ineficaces. Se presenta el trabajo de investigación realizado en la cuenca del río Combeima en Colombia (América del Sur), en el cual se evaluó el efecto de la evolución del uso del suelo sobre el régimen de inundaciones y la vulnerabilidad física en el período 1976-2017 mediante modelación hidrológica e hidráulica y la implementación de metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad a inundaciones. Esto permitió ratificar informes relacionados con la afirmación de que los cambios en el uso del suelo producen efectos en el comportamiento de la escorrentía directa en las cuencas hidrográficas y su relación con la vulnerabilidad de las estructuras cercanas a los cursos de agua superficiales. Este trabajo modificó y aplicó dos métodos para evaluar la vulnerabilidad física en la cuenca del Río Combeima, Tolima, Colombia. Para lo cual se utilizaron datos de registros de caudales diarios provenientes de dos estaciones ubicadas dentro de la cuenca, y se recurrió a datos de teledetección y sistemas de información geográfica, cuyo procesamiento proporcionó información sobre factores ambientales como, altitud, pendiente, uso del suelo, clase de suelo, adicionalmente se realizó una modelación hidráulica e hidrológica para la determinación de caudales y escorrentía superficial. La importancia de cada factor se evaluó a través de un análisis multicriterio convencional (MCA). Los resultados mostraron como escenarios de mayor vulnerabilidad los años 1976, 1987, 2002, donde el principal uso del

suelo eran los cultivos y pastos; los escenarios de menor vulnerabilidad los años 2007 y 2017, debido al incremento del uso del suelo bosque. Los resultados evidencian una fuerte relación entre la vulnerabilidad de la infraestructura y el uso del suelo en los diferentes escenarios; lo cual apoyará a los tomadores de decisiones en la formulación de estrategias que permitan una mejor manera de invertir los recursos públicos en esta zona del país.

**Palabras clave:** vulnerabilidad física; cambio del uso del suelo; evaluación de inundaciones

### **Abstract**

*Due to climate change and inadequate changes in land use, floods and floods have increased in intensity and frequency in many regions of the planet, which has led to an increase in the vulnerability of physical infrastructure close to surface water sources. However, methods to determine this type of vulnerability in areas where land use has changed are ineffective. The research work carried out in the Combeima river basin in Colombia (South America) is presented, in which the effect of the evolution of land use on the flood regime and physical vulnerability in the period 1976-2017 was evaluated. Through hydrological and hydraulic modeling and the implementation of methodologies for the evaluation of vulnerability to floods. This allowed ratifying reports related to the statement that changes in land use produce effects on the behavior of direct runoff in hydrographic basins and its relationship with the vulnerability of structures near surface watercourses. This work modified and applied two methods to assess physical vulnerability in the Combeima River basin, Tolima, Colombia. For which data from daily flow records from two stations located within the basin were used, and remote sensing data and geographic information systems were used, whose processing provided information on environmental factors such as altitude, slope, land use, soil class, additionally a hydraulic and hydrological modeling was carried out to determine flows and surface runoff. The importance of each factor was evaluated through conventional multicriteria analysis (MCA). The results showed as scenarios of greater vulnerability the years 1976, 1987, 2002, where the main use of the land was crops and pastures; the scenarios of less vulnerability were the years 2007 and 2017, due to the increase in the use of forest land. The results show a strong relationship between the vulnerability of infrastructure and land use in the different scenarios; which will support decision makers in the formulation of strategies that allow a better way to invest public resources in this area of the country.*

**Keywords:** physical vulnerability; land use change; flood assessment

## **1. Introducción**

Las inundaciones son un proceso natural potencialmente peligroso, de amplísima distribución geográfica cuya ocurrencia da lugar a daños reales (Dong et al., 2020), como consecuencia de la interacción con actividades humanas de forma directa o indirecta (IPCC, 2012). De ahí la importancia que tiene el desarrollo de modelos y herramientas que faciliten el análisis de la vulnerabilidad con precisión y confiabilidad para describir el comportamiento de eventos como crecidas e inundaciones y sus efectos sobre la infraestructura y las comunidades en zonas expuestas.



Registros históricos a nivel global permiten identificar incremento en el número de eventos catastróficos y daños físicos debido a procesos naturales (European Commission, 2020) y daños ocasionados a infraestructura principalmente en Asia, América y África (CRED & UNISDR, 2016). En este contexto, la gestión del riesgo de inundación es un desafío importante en muchos países, debido a la creciente urbanización, el aumento de la población, y sus relaciones con los cambios de uso del suelo, el desarrollo económico y el cambio climático, los cuales influyen sobre la magnitud de crecidas e inundaciones (Ye et al., 2021).

Adicionalmente es importante precisar que las crecidas e inundaciones son de los fenómenos naturales más comunes a nivel global (Asian Development Bank, 2015), que afectan a la mayoría de países del planeta y que de acuerdo con el informe presentado por el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento y el Banco Mundial (2012), el 28% de la población colombiana se encuentra ubicada en las zonas con mayor potencial a este tipo de eventos, lo cual es ratificado con el hecho de que para Colombia entre los años 2003 y 2013 se presentaron 23.219 eventos tipificados como desastres, entre los cuales las crecidas e inundaciones ocuparon un primer lugar en cuanto ocurrencia con un 39% (Flórez & Bejarano, 2016).

Por lo tanto, es imperioso la realización de investigaciones que evalúen los efectos del cambio de uso del suelo sobre la vulnerabilidad física de la infraestructura cercana a corrientes de agua superficial en cuencas hidrográficas y de los cambios en la hidráulica de la corriente evaluada a partir de la de variación de la cobertura vegetal relacionada con transiciones o cambios en los usos del suelo. En este contexto La cuenca del Río Combeima presenta escenarios críticos por la ocurrencia de fenómenos naturales, como inundaciones, avalanchas, deslizamientos y represamientos, asociados al régimen hidroclimatológico, material litológico aflorante, altas pendientes y procesos de desequilibrio adicional resultado de factores antrópicos (DNP, 2009).

Bajo este contexto este artículo modifica y aplica dos metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura física cercana a corrientes de agua superficial en la Cuenca del Río Combeima, bajo escenarios de cambio de uso del suelo que dieron origen a la realización de mapas de vulnerabilidad de la corriente hídrica superficial, en las que se evidencia las áreas con vulnerabilidad alta, media y baja que identifican las estructuras que requieren de acciones prioritarias relacionadas con la prevención del impacto de las crecidas e inundaciones.

El trabajo de investigación se realizó a partir de un modelo hidrológico distribuido y se describió el efecto de los cambios de uso del suelo en la vulnerabilidad de la infraestructura física cercana a corrientes de agua superficial durante los años 1976, 1987, 1991, 2002, 2007 y 2017. Los resultados finales de esta investigación evidenciaron que es posible predecir los efectos en el cambio del uso del suelo en los valores de la vulnerabilidad de la infraestructura física, lo cual representa un relevante aporte para la ingeniería en la región, particularmente en el campo de la gestión del riesgo relacionado con las inundaciones y crecidas, aportando una valiosa herramienta de planificación que favorece a los tomadores de decisión encargados de la inversión de recursos públicos orientados a la formulación de proyectos para el desarrollo de medidas preventivas y/o correctivas que minimicen el impacto de este tipo de eventos.



## 2. Área de estudio

Este trabajo de investigación fue realizado en la cuenca del Río Combeima, ubicada entre las coordenadas 4°19'30" N; 75°10'11" W; y 04°39'57"N; 75°23'23" W. Sobre el flanco oriental de la cordillera central de los Andes Colombianos (Sur América) Figura 1. La cuenca tiene una superficie aproximada de 274 Km<sup>2</sup>. Su cauce principal nace en el volcán nevado del Tolima a los 5200 m.s.n.m., cuenta con una longitud de 57.0 Km y desemboca en el Río Coello a los 700 m.s.n.m.

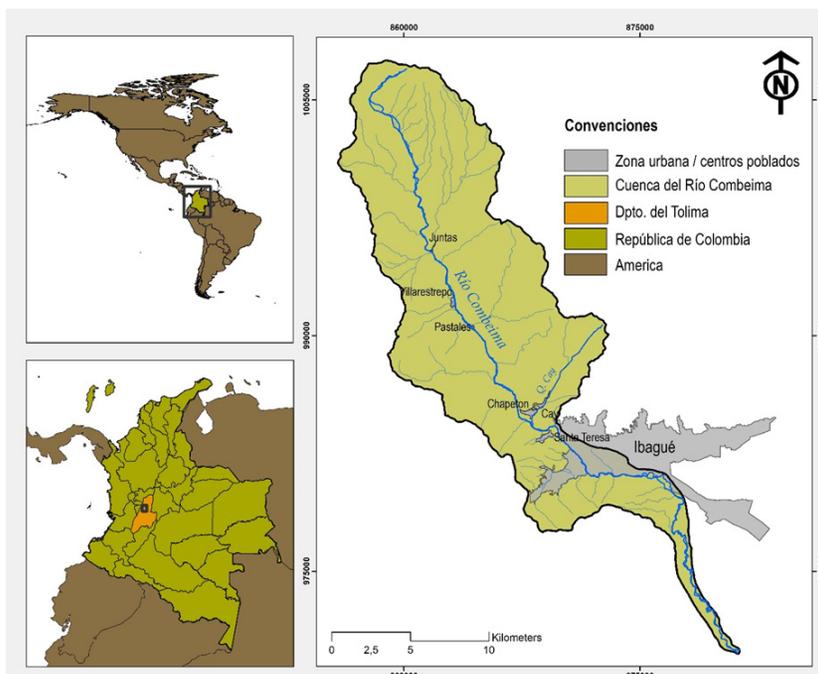


Figura 1. Área de estudio

## 3. Método

### 3.1. Modelo hidráulico e hidrológico

Se implementó el modelo hidrológico TETIS (Francés et al., 2007), debido a su habilidad para representar el proceso lluvia-escorrentía en entorno de cambios de uso del suelo (Siswanto & Francés, 2019). Se dispuso de los mapas de coberturas vegetales de los años 1976, 1981, 1991, 2000, 2007 y 2017 provenientes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Cortolima en escala 1:25,000. Así mismo, se contó con las series temporales de siete estaciones de precipitación con resolución temporal diaria. Fueron analizados 41 años de cambios en el uso del suelo.

Para describir el comportamiento del flujo en el cauce se implementó el one-dimensional HEC-RAS model (Reference of Army Corps of Engineers). El tramo analizado tiene una longitud de 20 Km entre Villa-Restrepo y la ciudad de Ibagué. Se obtuvieron 148 secciones transversales de la corriente, de las cuales se encuentran: dos estructuras de captación, nueve muros para la contención

de crecidas y 13 puentes, las cuales fueron objeto de evaluación de vulnerabilidad física ante crecidas en este artículo.

### 3.2. Evaluación de la vulnerabilidad física

En la presente investigación se considera la vulnerabilidad como la condición de vulnerable, referida a la propensión de un sistema a verse afectado negativamente por su interacción con un proceso, en este caso, natural (Cardona, 2003) y se define la vulnerabilidad física como el nivel de susceptibilidad ( $S$ ) que sufre una estructura  $i$ , según su grado de exposición ( $E$ ) al riesgo en la sección  $j$ , debido a la ocurrencia de un evento de crecida, lo cual se representa como:  $V_{ij} = E_{ij} \times S_{ij}$

En este trabajo, la vulnerabilidad física fue evaluada en 26 estructuras localizadas en las riberas del Río Combeima en entorno de cambios de uso del suelo mediante la aplicación de dos métodos, los cuales se describen en los numerales 3.2.1 y 3.2.2.

**3.2.1. Medición y mapeo de las inundaciones basado en patrones de uso del suelo** (vulnerability and mapping of floods based on land use patterns) **-MFLUP-** propuesto por Liu et al. (2016). En este caso, se relaciona la exposición y la susceptibilidad para la evaluación de la vulnerabilidad (Eq. 1):

$$V_{ij} = E_{ij} \times S_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

donde la exposición está dada por  $E_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ ; siendo  $d_{ij}$  la distancia de la estructura al centro de la zona inundable.  $S_i$  indica la susceptibilidad de cada elemento estructura expuesta a la crecida, descrita como  $S_{ij} = \frac{h_{ij}}{H_{ij}}$ ; de manera que el término  $h_i$  representa la profundidad máxima de la lámina de agua durante el evento de crecida; y la variable  $H_{ij}$ ; es la altura de la estructura  $i$  expuesta en la sección  $j$ .

**3.2.2. Evaluación de la vulnerabilidad en escenarios de cambio de uso del suelo** (vulnerability in land use change scenarios) **-VLUCS-** propuesto por Monteiro et al. (2018) y se estima mediante la aplicación de la Ecuación 2, en donde los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  corresponden a los pesos de cada atributo.

$$V_{it} = a * S_t + b * A + c * S + d * Lu \quad (\text{Eq. 2})$$

En este caso,  $S_t$  es el tipo de suelo;  $A$  la elevación a la que se encuentra la estructura expuesta;  $S$  la pendiente de la cuenca aguas arriba de la estructura;  $Lu$  corresponde al uso del suelo y los pesos de cada atributo están representados por los coeficientes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

Los niveles de vulnerabilidad son presentados en la Tabla 1. Considerando tres niveles de vulnerabilidad; baja, para la infraestructura expuesta al menor nivel potencial de crecida e inundación, media infraestructura expuestas a un nivel potencial moderado y alta, infraestructura expuesta al mayor potencial de crecida o inundación.



todo Nivel de vulnerabilidad	Mé-	MFLUP	VLUCS
		$V \cdot 10^{-1}$	$V \cdot 10^{16}$
Bajo		$V \leq 10$	$V \leq 3$
Medio		$10 < V < 30$	$3 < V < 6$
Alto		$V \geq 30$	$V \geq 6$

Tabla 1. Niveles de vulnerabilidad física

#### 4. Resultados

Con base en los resultados de la modelación hidrológica e hidráulica se evaluó la vulnerabilidad física de las estructuras expuestas a crecidas en el Río Combeima en entorno de cambio de uso del suelo mediante la aplicación de métodos MFLUP; VLUCS; de manera que se identifica la relación entre la variación en áreas debida a la evolución del uso del suelo y la vulnerabilidad física de estructuras expuestas a la corriente (Tabla 2). En este caso, cambios en el nivel de vulnerabilidad física debida a la evolución del uso del suelo en secciones transversales permiten identificar que el método VLUCS presentan mayor sensibilidad a los cambios de uso del suelo en la cuenca, al considerar diferentes variables relacionadas con el área de los diferentes usos.

Sec cio- nes	1976		1987		1991		2002		2007		2017	
	MFLU P	VLUC S										
14 7	0	4	1	4	2	3	2	3	2	3	1	3
53	0	4	0	4	0	3	0	4	0	3	0	3
52	33	4	38	4	24	4	33	4	17	3	15	3
51	40	4	46	4	21	4	17	4	46	3	43	3
49	46	6	60	5	52	5	58	5	59	4	52	5
48	69	5	89	4	78	4	89	4	88	3	78	3
42	0	4	0	4	0	4	0	4	0	3	0	3

Tabla 2. Variación de la vulnerabilidad física en escenarios de cambios de uso del suelo en la cuenca baja del Río Combeima, Ibagué, Tolima.

#### 4.1 Medición y mapeo de las inundaciones basado en patrones de uso del suelo (MFLUP)

El resultado obtenido demuestra como la distancia del centro del área inundable a la unidad comprometida es inversamente proporcional a la exposición a las crecidas. Por tanto, si solo se considerara la exposición, este método demostraría que los elementos expuestos más cercanos al centro del área propensa a las crecidas están más predispuestos a ser afectados por los efectos del evento. Los valores de la vulnerabilidad fueron agrupados en rangos de alto, medio y bajo (Tabla 1) y son presentados en los mapas de la Figura 4, realizados con el software ArcGIS; al etiquetar los puntajes de vulnerabilidad a las crecidas (Tabla 2) para los escenarios estudiados, que en el presente artículo corresponden a la cuenca baja. El análisis de los resultados determinó la distribución y las características estadísticas de los niveles de vulnerabilidad en la zona inundable del Río Combeima. Se observa que el mayor porcentaje de las estructuras (40-60%) tienen vulnerabilidad de media a alta y los resultados más críticos los representados por los años 1987, 2007 y el escenario de pastos. El mayor porcentaje de estructuras que presentan vulnerabilidad alta se encuentran en los escenarios pastos (31.8%) y 1987 (31.8%).

Al comparar los escenarios de uso del suelo del año 1976 con predominio de cultivos y el año 2002 con predominio de pastos, se evidencia un incremento en la lámina de agua en la cuenca alta del 5% y en la cuenca baja del 7.5%, si se realiza la comparación con el escenario hipotético de la cuenca cubierta de solo pastos, el incremento es de alrededor del 67%, lo cual ratifica la estrecha relación entre el cambio del uso del suelo y el incremento o decrecimiento de la altura de la lámina de agua (Jobe et al., 2018).

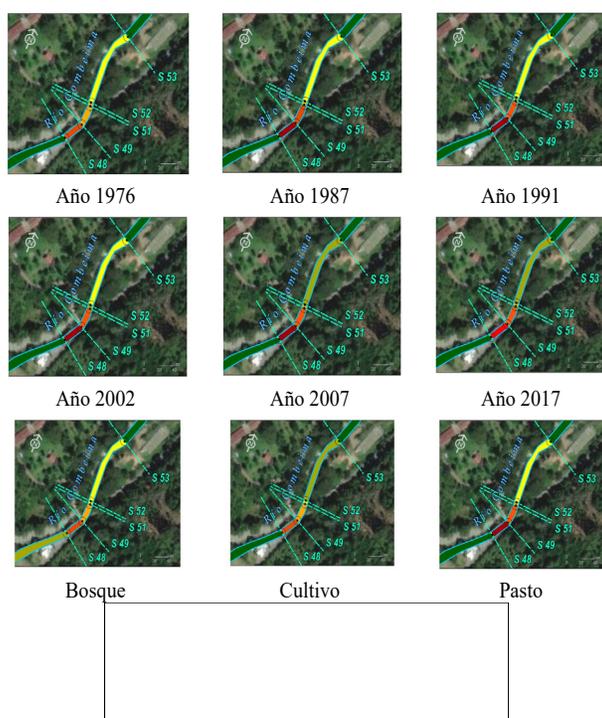


Figura 4. Vulnerabilidad física zona baja (MFLUP) modificado de (J Liu & Shi, 2017)

## 4.2 Evaluación de la vulnerabilidad en escenarios de cambio de uso del suelo (VLUCS)

La vulnerabilidad de la infraestructura física, por este método está representada en el mapa de la Figura 6, las áreas asociadas establecidas en la Tabla 2. La Figura mencionada muestra como el método presenta como escenarios de mayor vulnerabilidad (media-alta) los años 1976, 1987, 2002 y los escenarios hipotéticos de cultivos y pastos y como escenarios de menor vulnerabilidad, el año 2007, 2017 y el escenario hipotético de bosques.

El método evidencia la fuerte relación que existe entre la vulnerabilidad de la infraestructura y el uso del suelo en los diferentes escenarios. El escenario con mayor porcentaje de estructuras con vulnerabilidad alta frente a las crecidas es el año 1976, correspondiente a un 27% y con vulnerabilidad media el 68%, en este año predominaron los cultivos sobre los otros usos del suelo. Por otro lado, el año 2017 fue el año donde hubo un menor porcentaje de las estructuras con vulnerabilidad alta frente a crecidas, correspondiente a un 4%. De otro lado el año con mayor porcentaje de las estructuras con vulnerabilidad baja frente a crecidas fue el año 2007, lo cual estuvo relacionado con una mayor cobertura de bosque. Estos resultados muestran la sensibilidad del método frente a los cambios en el uso del suelo.

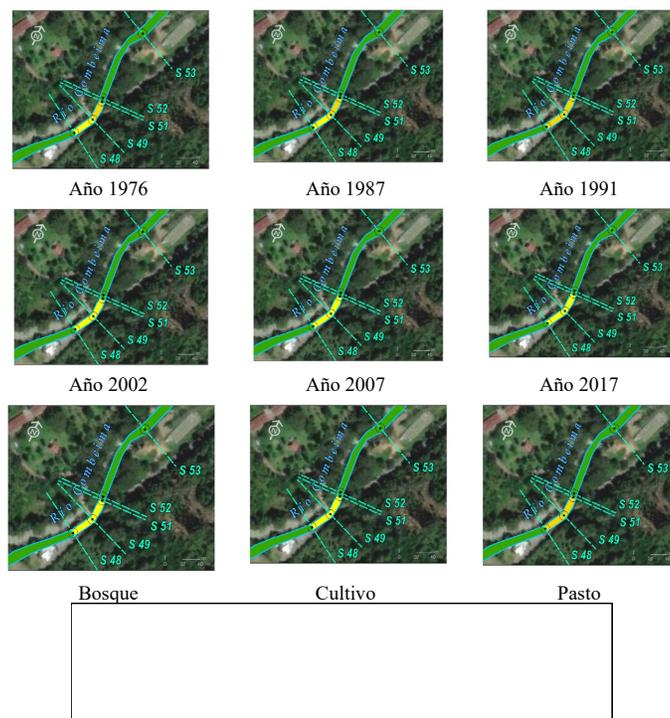


Figura 6. Valores de vulnerabilidad método (VLUCS). Cuenca baja.

## Conclusiones

Los cambios en el uso del suelo acompañados de una inadecuada planificación rural, que va de lo ineficiente a lo inexistente, han incrementado la vulnerabilidad física a nivel de cuenca. Estos cambios, acompañados de condiciones climáticas variantes resultado del cambio climático (Cardona et al., 2020), aumentan las áreas propensas a ser impactadas por este tipo de eventos y por tanto la vulnerabilidad de la infraestructura presente. Es así como este trabajo corrobora el hecho de que cambios en el uso del suelo tienen un impacto directo en las condiciones del suelo y la naturaleza de la escorrentía que alimenta las crecidas.

A partir de esta investigación se evidencia que el aumento en la zona de cultivos y pastos, incrementa la escorrentía superficial y reduce la infiltración lo cual contribuye a una rápida generación de crecidas. La distribución espacial y temporal de la escorrentía causada por cambios en el uso del suelo, ocasiona una mayor magnitud y menores tiempos de concentración de los picos de las inundaciones en la cuenca. Las pequeñas crecidas pueden aumentar hasta en diez veces y las crecidas más importantes con periodos de retorno de 100 años, podrían duplicarse (Hollis GE, 1975), lo cual es corroborado con los resultados de este trabajo.

Este trabajo muestra la relevancia de la utilización de los sistemas de información geográfica SIG, para cartografiar la vulnerabilidad de la infraestructura física de las zonas propensas a las crecidas en diferentes escenarios. Especialmente puede ser una guía para ayudar a los responsables de las inversiones públicas a precisar estrategias eficaces de prevención del riesgo y formular políticas de mitigación equitativas que reduzcan las posibles consecuencias que puedan generar sobre la infraestructura futuros eventos de crecidas.

## 5. Referencias

- Asian Development Bank. (2015). *Global Increase in Climate-Related Disasters Evaluation*. 45.
- Cardona et al. (2020). Inestabilidad de laderas- deslizamientos. En: Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 2, Issue 9, pp. 419–458). McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cardona, O. D. (2003). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo "Una crítica y una visión necesaria para la gestión."*
- CRED, & UNISDR. (2016). *Impacto de los Desastres en América Latina y El Caribe 1990-2013*. 70. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/48578>
- DNP. (2009). Estrategias de mitigación del riesgo en la cuenca del río Combeima para garantizar el abastecimiento de agua en la ciudad de Ibagué. *Documento Conpes*, 3570, 54. <https://doi.org/http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dong, S., Esmalian, A., Farahmand, H., & Mostafavi, A. (2020). An integrated physical-social analysis of disrupted access to critical facilities and community service-loss tolerance in urban flooding. *Computers, Environment and Urban Systems*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.101443>
- European Commission. (2020). Overview of natural and man-made disaster risks the European Union may face. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Issue 2020). <https://ec.eu>



- ropa.eu/echo/sites/default/files/overview\_of\_natural\_and\_man-made\_disaster\_risks\_the\_european\_union\_may\_face.pdf
- Flórez, A., & Bejarano, M. S. (2016). *GÉNESIS Y MANIFESTACIÓN DE LAS*. [http://repository.la-salle.edu.co/bitstream/handle/10185/20648/10081214\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.la-salle.edu.co/bitstream/handle/10185/20648/10081214_2016.pdf?sequence=1)
  - Francés, F., Vélez, J. I., & Vélez, J. J. (2007). Split-parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models. *Journal of Hydrology*, 332(1–2), 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.032>
  - Hollis GE. (1975). The effect of urbanization on flood of different recurrence interval. *Water Resour Research*, 11(3), 431–435. <https://doi.org/10.1029/WR011i003p00431>
  - IPCC. (2012). National systems for managing the risks from climate extremes and disasters. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Vol. 9781107025). <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.009>
  - IPCC. (2014). *Informe de síntesis*. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
  - Jobe, A., Kalra, A., & Ibendahl, E. (2018). Conservation Reserve Program effects on floodplain land cover management. *Journal of Environmental Management*, 214, 305–314. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.016>
  - Liu, Jie, Shi, Z., & Wang, D. (2016). Measuring and mapping the flood vulnerability based on land-use patterns: a case study of Beijing, China. *Natural Hazards*, 83(3), 1545–1565. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2375-0>
  - Monteiro, A., Tarlé, T., Araújo, R., Rolim, F., Zanata, M., Viagem, R. da B., Sanchez, L., & Leal, F. A. L. (2018). Flood vulnerability, environmental land use conflicts, and conservation of soil and water: A study in the Batatais SP municipality, Brazil. *Water (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/w10101357>
  - Siswanto & Francés. (2019). How land use/land cover changes can affect water, flooding and sedimentation in a tropical watershed: a case study using distributed modeling in the Upper Citarum watershed, Indonesia. *Environmental Earth Sciences Volume*. <https://doi.org/https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2160/10.1007/s12665-019-8561-0>
  - index. *Ecological Indicators*, June, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.050>
  - Ye, B., Jiang, J., Liu, J., Zheng, Y., & Zhou, N. (2021). Research on quantitative assessment of climate change risk at an urban scale: Review of recent progress and outlook of future direction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110415. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110415>

## Sobre los autores

- **Yelena Hernández Atencia:** Ingeniera civil, MsC. Planificación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas. Profesora tiempo completo. Email: [yelena.hernandez@campusucc.edu.co](mailto:yelena.hernandez@campusucc.edu.co)
- **Luis Eduardo Peña Rojas:** Ingeniero Civil, PhD. Planificación y manejo ambiental de cuencas hidrográficas. PhD. Ingeniería del agua y medioambiental. MsC. Ingeniería sanitaria y ambiental. Profesor tiempo completo. Email [luis.pena@unibague.edu.co](mailto:luis.pena@unibague.edu.co)
- **Jader Muñoz Ramos:** Geólogo. PhD. Ciencias Agrícolas. MsC. Geoquímica ambiental. Profesor tiempo completo. Email: [jmunozr@ut.edu.co](mailto:jmunozr@ut.edu.co)



Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

