

Generar un mapa del índice de riesgo por inundación con análisis multicriterio en el municipio de Bolívar, Cauca

Roland Steven Moreno Portela; rsmorenop@unadvirtual.edu.co

Evangelina, Parra Pérez; evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El municipio de Bolívar, ubicado en el departamento del Cauca, presenta una alta vulnerabilidad al riesgo de inundación debido a sus características geográficas, climáticas y de uso del suelo. Este estudio aplicó un enfoque de análisis multicriterio (AMC) en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar un mapa de índice de riesgo por inundación, integrando factores clave como pendiente, modelo digital de elevación (MDE), distancia a la red de drenaje, cobertura del suelo y precipitaciones. Cada factor fue evaluado y reclasificado en una escala de 2 a 10, donde 10 representó el nivel más alto de riesgo. El análisis reveló que el 32,27% del área total del municipio se encuentra en riesgo muy alto, convirtiéndose en la categoría más extensa, seguido por un 20,51% en riesgo alto. En conjunto, más de la mitad del territorio (52,78%) está significativamente expuesta a inundaciones, mientras que el riesgo medio abarca un 17,89%, el bajo un 24,14% y el muy bajo un 5,18%. Estos resultados destacan la urgente necesidad de medidas de mitigación y planificación territorial. La metodología empleada, basada en el AMC, resultó ser idónea y pertinente, ya que permitió integrar diversas variables con criterios ponderados para generar un mapa preciso. Este mapa fue convertido a formato vectorial para calcular las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo, proporcionando datos claros para la toma de decisiones orientadas a la reducción de riesgos.

Palabras claves: Riesgo, Vulnerabilidad, análisis, multicriterio

Introducción

Las inundaciones son uno de los fenómenos naturales más recurrentes en Colombia, causando significativos impactos económicos, sociales y ambientales, particularmente en regiones vulnerables como el municipio de Bolívar, en el departamento del Cauca.

Este tipo de desastres está asociado principalmente a factores como el cambio climático, la deforestación, la ocupación desordenada del territorio y el mal manejo de las cuencas hidrográficas (IDEAM, 2015).

En este contexto, el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinado con el análisis multicriterio (AMC) se ha convertido en una estrategia clave para la identificación y gestión de áreas de riesgo.

El análisis multicriterio en SIG permite integrar y ponderar diversas variables como la topografía, el uso del suelo, la cercanía a cuerpos de agua y la intensidad de lluvias, para determinar las zonas más propensas a inundaciones (Chaves y Alvarado, 2020). En el

caso de Bolívar, Cauca, las condiciones geográficas y climáticas del territorio lo hacen susceptible a este tipo de desastres. Este municipio ha enfrentado desafíos significativos debido a la creciente presión sobre sus recursos hídricos y la expansión de actividades agrícolas y urbanas hacia áreas inundables, aumentando así la vulnerabilidad de la población (Alcaldía de Bolívar, 2020).

A nivel nacional, Colombia ha implementado diversas estrategias para reducir el riesgo de inundaciones, incluyendo la formulación de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y el fortalecimiento del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2022). Sin embargo, la efectividad de estas medidas depende en gran medida de la adecuada identificación de áreas de riesgo y de la toma de decisiones basadas en datos, donde herramientas como el SIG y el AMC pueden aportar un enfoque más técnico y preciso.

Objetivos

General

Generarse un mapa del índice de riesgo por inundación con análisis multicriterio en el municipio de Bolívar, Cauca.

Objetivos Específicos

Clasificar los factores determinantes del riesgo

de inundación mediante pendiente, modelo digital de elevación, distancia a la red de drenaje, cobertura del suelo y precipitaciones.

Integrar los factores evaluados mediante análisis multicriterio en un entorno SIG, utilizando ponderaciones asignadas con base en su influencia relativa sobre el riesgo de inundación, en el municipio de Bolívar.

Realizar mapa final del índice de riesgo a formato vectorial para calcular las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo (bajo, moderado, alto y muy alto).

Identificación del caso de estudio

El municipio de Bolívar, ubicado en el suroccidente del departamento del Cauca, presenta condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas que lo hacen vulnerable a fenómenos de inundación. Este territorio cuenta con una extensión aproximada de 829 km² y está caracterizado por un paisaje montañoso, con altitudes que oscilan entre los 1,000 y 3,500 metros sobre el nivel del mar. El municipio es atravesado por múltiples cuerpos de agua, siendo la cuenca del río Páez la principal red de drenaje, lo cual aumenta su exposición a eventos extremos relacionados con las lluvias (Alcaldía de Bolívar, 2020).

Desde el punto de vista climático, Bolívar presenta un régimen bimodal de lluvias, caracterizado por dos períodos lluviosos al año. Según los datos del IDEAM, el mes más lluvioso es abril, con precipitaciones promedio que superan los 200 mm en algunas zonas del municipio, lo que se relaciona con la influencia de la zona de convergencia intertropical (IDEAM, 2022). Este periodo se ha utilizado como referencia en este estudio debido a su relevancia en la generación de eventos de inundación.

La vulnerabilidad al riesgo de inundación en Bolívar se ve acentuada por varios factores. Entre ellos, el uso inadecuado del suelo, con actividades agrícolas en áreas cercanas a los cauces, la deforestación en laderas y la falta de infraestructura adecuada para el manejo de aguas. Estas condiciones incrementan la probabilidad de que eventos de lluvias intensas desencadenen inundaciones, afectando tanto la infraestructura como a las comunidades locales, que en su mayoría dependen de actividades agrícolas y ganaderas (Chaves & Alvarado, 2020).

Metodología

La metodología empleada para generar el mapa de índice de riesgo por inundación en el municipio de Bolívar, Cauca, se estructuró en

tres etapas principales: evaluación y reclasificación de factores determinantes, integración de factores mediante análisis multicriterio (AMC) en un entorno SIG, y conversión de los resultados a formato vectorial para el análisis de áreas de riesgo (Gómez et al; 2015). El proceso se llevó a cabo de forma cronológica, siguiendo estos pasos:

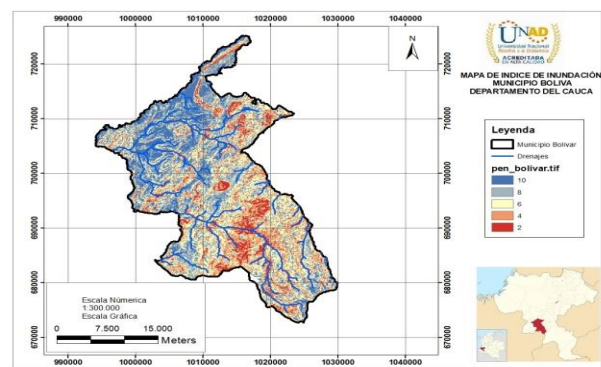
1. Evaluación y reclasificación de factores determinantes del riesgo de inundación

Se seleccionaron cinco factores clave que influyen en el riesgo de inundación:

1. Pendiente:

Se derivó de un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución de 30 metros. Se reclasificaron las pendientes en categorías de riesgo: áreas planas (bajo riesgo) recibieron valores bajos (2), mientras que áreas con pendientes moderadas y altas (favorecedoras de acumulación de escorrentías) recibieron valores progresivamente mayores hasta 10.

Figura 1. Pendiente.



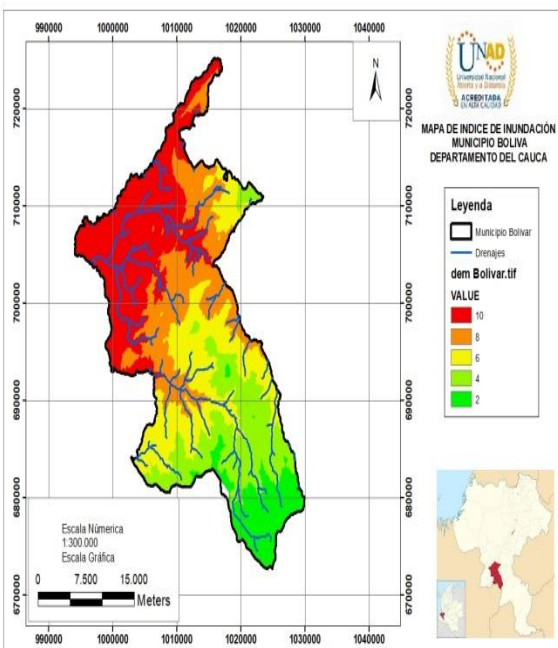
Fuente: Autoría propia, 2024

2. Modelo Digital de Elevación (MDE):

Se utilizó para identificar áreas bajas susceptibles a inundación.

Se reclasificó según las altitudes, asignando valores altos de riesgo (10) a las zonas más bajas y valores bajos (2) a las más elevadas.

Figura 2. Mapa de altitud.



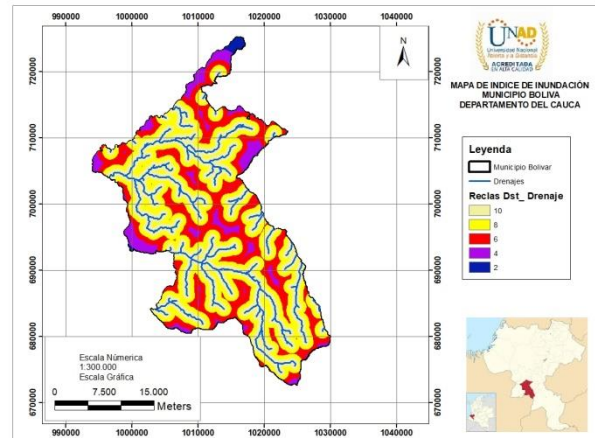
Fuente: Autoría propia, 2024

3. Distancia a la red de drenaje:

A partir de la red hidrográfica del municipio, se calcularon las distancias mediante análisis de proximidad.

Las áreas cercanas a los cauces recibieron los valores de mayor riesgo (10), mientras que las áreas alejadas se clasificaron con valores menores (2).

Figura 3. Mapa distancia drenajes.



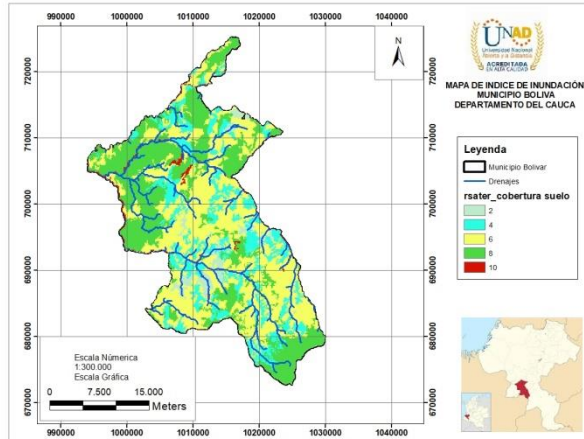
Fuente: Autoría propia, 2024

4. Cobertura del suelo:

Se utilizó una clasificación de cobertura terrestre disponible, considerando el impacto del uso del suelo en la retención de agua.

Áreas con vegetación densa (bajo riesgo) obtuvieron valores bajos (2), mientras que áreas agrícolas o urbanizadas (alto riesgo) se asignaron valores más altos.

Figura 4. Mapa Cobertura del Suelo.



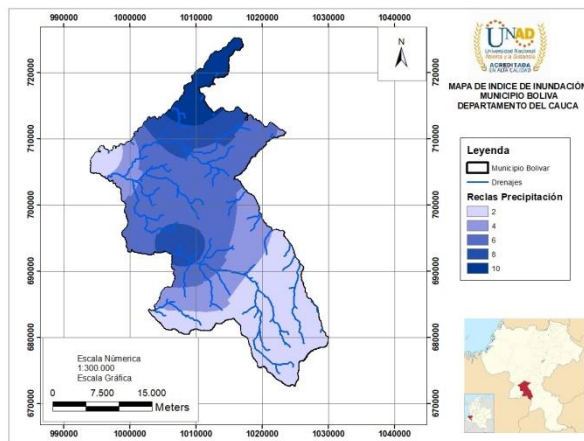
Fuente: Autoría propia, 2024.

5. Precipitaciones:

Se trabajó con datos históricos del mes de abril, el más lluvioso del año.

Las zonas con mayor acumulación de precipitación recibieron valores altos de riesgo (10), mientras que las áreas menos lluviosas recibieron valores bajos (2).

Figura 5. Precipitación.



Fuente: Autoría propia, 2024

2. Integración de factores mediante análisis multicriterio en SIG

- Los factores previamente reclasificados se integraron en un entorno SIG utilizando herramientas de análisis ráster.
- Se asignaron ponderaciones a cada factor según su influencia relativa sobre el riesgo de inundación, basada en estudios previos y juicio experto (García et al;2019).
- Por ejemplo:
 - Pendiente: 15%
 - MDE: 10%
 - Distancia a la red de drenaje: 30%
 - Cobertura del suelo: 10%
 - Precipitaciones: 35%
 - La combinación de los factores se realizó mediante la fórmula ponderada:

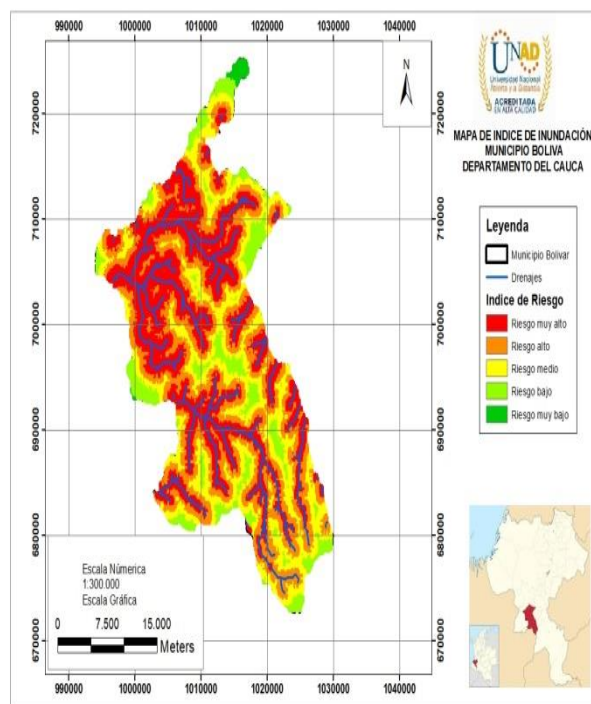
3. Conversión a formato vectorial y cálculo de áreas

- El mapa resultante del índice de riesgo fue clasificado en cinco categorías: bajo, moderado, alto y muy alto riesgo, según los valores obtenidos.
- Se aplicó una conversión a formato vectorial para facilitar el cálculo de las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo. Esto permitió obtener métricas precisas sobre la extensión territorial de cada nivel de riesgo y proporcionar datos útiles para la toma de decisiones en planificación y mitigación de desastres (Olcina, 2012).

Resultados

Basado en los resultados obtenidos del mapa de índice de riesgo para el municipio de Bolívar en el departamento del Cauca, se puede realizar el siguiente análisis de resultados partiendo del mapa final de índice de riesgo.

Figura 6. Índice de Riesgo por inundación Municipio Bolívar.



Fuente: Autoría propia, 2024

Análisis de Áreas Críticas y Distribución del Riesgo:

Áreas de Mayor Riesgo:

El riesgo muy alto abarca el 32,27% del área total del municipio, representando la categoría más extensa.

El riesgo alto cubre un 20,51% adicional.

En conjunto, las zonas de alto y muy alto riesgo suman el 52,78% del territorio, lo que indica que más de la mitad del municipio está expuesta a un riesgo significativo de inundación.

Áreas de Riesgo Intermedio:

El riesgo medio ocupa un 17,89% del área municipal, actuando como una zona de transición entre las áreas de alto y bajo riesgo.

Áreas de Menor Riesgo:

El riesgo bajo cubre el 24,14% del municipio.

El riesgo muy bajo solo representa el 5,18% del área total. Las zonas de bajo y muy bajo riesgo suman el 29,32% del territorio, lo que sugiere que menos de un tercio del municipio se considera relativamente seguro frente a inundaciones.

Interpretación y Potenciales Impactos:

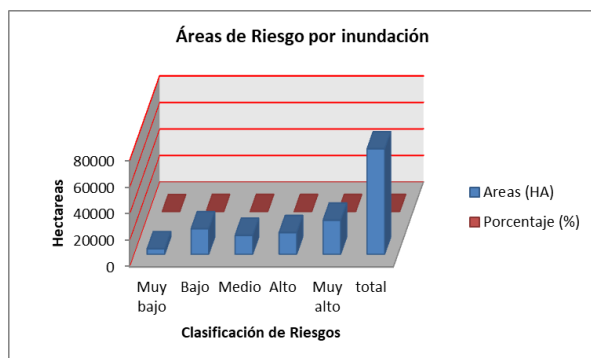
Tabla 1. Datos de áreas totales

RIESGOS	Áreas (HA)	%
Muy bajo	4123,22	5,18
Bajo	19213,18	24,14
Medio	14234,23	17,89

Alto	16325,14	20,51
Muy alto	25683,45	32,27
Total municipio	79579,22	100

Nota: Muestra las áreas en hectáreas y porcentajes de los riesgos por inundación.

Grafica 1. Distribución espacial de los riesgos de inundación contrastando con el área total del municipio.



Fuente: Autoría propia, 2024

Comunidades:

Más de la mitad de la población podría estar viviendo en zonas de alto o muy alto riesgo, lo que implica una necesidad urgente de planes de evacuación y medidas de mitigación.

Es crucial identificar si los centros poblados más importantes están en las zonas de mayor

riesgo para priorizar acciones de protección y reubicación si fuera necesario.

Infraestructuras:

La alta proporción de áreas en riesgo sugiere que infraestructuras críticas como carreteras, puentes, escuelas y centros de salud podrían estar en zonas vulnerables.

Se requiere una evaluación detallada de la ubicación de infraestructuras esenciales en relación con las zonas de riesgo para planificar refuerzos o reubicaciones.

Sistemas Agropecuarios:

Con más del 50% del territorio en riesgo alto o muy alto, es probable que una parte significativa de las tierras agrícolas y ganaderas esté en peligro.

Esto podría tener un impacto severo en la economía local y la seguridad alimentaria, requiriendo la implementación de prácticas agrícolas resistentes a inundaciones o la diversificación económica (García et al; 2016)..

Ecosistemas:

Las áreas naturales en zonas de alto riesgo podrían sufrir alteraciones significativas debido a inundaciones frecuentes.

Sin embargo, algunas de estas áreas podrían ser cruciales como zonas de amortiguamiento natural contra inundaciones, lo que sugiere la necesidad de estrategias de conservación y manejo sostenible (Vásquez, 2020).

Planificación y Gestión del Riesgo:

La distribución del riesgo indica la necesidad de un enfoque integral en la planificación territorial.

Se deben priorizar medidas de mitigación y adaptación en las áreas de alto y muy alto riesgo, que constituyen más de la mitad del municipio (Narváez et al; 2009).

Las zonas de riesgo medio (17,89%) podrían ser áreas clave para implementar medidas preventivas que eviten que se conviertan en zonas de alto riesgo en el futuro. El municipio de Bolívar enfrenta un desafío significativo en términos de riesgo de inundación, con la mayoría de su territorio clasificado en las categorías de riesgo más altas. Esto subraya la urgente necesidad de implementar estrategias integrales de gestión del riesgo.

Conclusiones

El análisis multicriterio integrado en un entorno SIG demostró ser un método idóneo y pertinente para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Bolívar, Cauca. Su capacidad para combinar múltiples variables relevantes pendiente, modelo digital de elevación, distancia a la red de drenaje, cobertura del suelo y precipitaciones permitió obtener un mapa detallado y preciso que refleja las condiciones de vulnerabilidad del territorio. Los resultados muestran que el riesgo muy alto abarca el 32,27% del área total del municipio, siendo la categoría más extensa, seguida del riesgo alto, con un 20,51%. En conjunto, más de la mitad del territorio (52,78%) está expuesto a niveles significativos de riesgo de inundación. Estas cifras evidencian la vulnerabilidad crítica de Bolívar frente a este tipo de fenómenos, especialmente en áreas bajas y cercanas a cuerpos de agua, lo que resalta la necesidad de implementar medidas urgentes de mitigación y planificación territorial.

Por otro lado, el riesgo medio, que ocupa el 17,89% del área, funciona como una zona de transición hacia regiones menos expuestas. Las áreas de bajo riesgo abarcan el 24,14%, mientras que las de muy bajo riesgo representan solo el 5,18%, indicando que estas últimas son

limitadas y están asociadas a zonas de mayor altitud o alejadas de las fuentes hídricas.

En términos de la veracidad de los resultados, la metodología empleada asegura consistencia al basarse en criterios objetivos y parámetros ampliamente aceptados en la evaluación de riesgos por inundación. La reclasificación de variables, el uso de ponderaciones basadas en su influencia relativa y la validación mediante datos geográficos precisos permitieron identificar las áreas críticas del municipio (Fernández et al; 2018).

Este enfoque no solo es útil para identificar zonas de riesgo, sino también para priorizar acciones en términos de mitigación, adaptación y planificación territorial. La gran proporción de áreas clasificadas en riesgo alto y muy alto sugiere que es crucial fortalecer las estrategias de manejo de cuencas, mejorar las prácticas de uso del suelo y garantizar infraestructura adecuada para la reducción del riesgo, contribuyendo así a una gestión sostenible del territorio (Banco Mundial, 2012).

Recomendaciones

1. Establecimiento de Áreas de Protección y Restauración Ecológica

Delimitar y restaurar áreas críticas identificadas como de muy alto riesgo de inundación mediante la reforestación con especies nativas

que ayuden a estabilizar el suelo y a regular el flujo hídrico (Chaves & Alvarado, 2020).

Implementar franjas forestales de amortiguación a lo largo de los cauces hídricos, como lo recomienda el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022), para mitigar el impacto de las crecidas y mejorar la retención de agua.

2. Planificación del Uso del Suelo Basada en Riesgos

Incorporar los resultados del análisis multicriterio en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), limitando el desarrollo de actividades agrícolas intensivas o urbanización en áreas clasificadas como de alto y muy alto riesgo (Alcaldía de Bolívar, 2020).

Promover prácticas agroecológicas sostenibles en zonas de riesgo medio y bajo, como el uso de sistemas agroforestales que aumenten la resiliencia frente a eventos climáticos extremos (Chaves & Alvarado, 2020).

3. Manejo Integrado del Agua

Diseñar y promover la construcción de sistemas de drenaje sostenible, especialmente en áreas agrícolas con alto riesgo de acumulación de agua, garantizando una mejor distribución y control del recurso hídrico (IDEAM, 2022).

Incentivar la creación de reservorios y zanjas de infiltración para capturar aguas lluvias durante los periodos de mayor precipitación, reduciendo el riesgo de inundación y asegurando el abastecimiento en temporadas secas.

4. Fortalecimiento de Capacidades Locales

Desarrollar programas de educación ambiental que capaciten a las comunidades sobre el manejo sostenible del territorio, enfatizando en la mitigación del riesgo de inundaciones y la conservación de recursos naturales (IDEAM, 2022).

Promover la participación comunitaria en el monitoreo y gestión de las áreas críticas de riesgo, integrando saberes locales con enfoques técnicos y científicos (Chaves & Alvarado, 2020).

5. Incentivos para la Conservación y el Uso Sostenible del Suelo

Implementar esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA) para agricultores que mantengan o restauren la cobertura vegetal en áreas de importancia hídrica.

Diseñar políticas locales de incentivos económicos que promuevan la adopción de prácticas agroambientales, tales como sistemas de agricultura regenerativa o cultivos con menor demanda hídrica.

6. Monitoreo y Actualización del Análisis de Riesgo

Actualizar periódicamente los mapas de riesgo mediante el uso de herramientas SIG y nuevos datos climáticos, considerando los efectos del cambio climático y la dinámica del uso del suelo (IDEAM, 2022).

Vincular el análisis de riesgo con modelos predictivos que permitan anticipar escenarios de vulnerabilidad y orientar la toma de decisiones a largo plazo (Chaves & Alvarado, 2020).

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Bolívar. (2020). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Alcaldía Municipal.

Banco Mundial. (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco Mundial.

Chaves, J., y Alvarado, A. (2020). Aplicación de análisis multicriterio y SIG para la gestión del riesgo de inundaciones. Revista Colombiana de Geografía, 29(2), 45-58.

Fernández, D. S., y Lutz, M. A. (2018). Zonificación del riesgo de inundaciones

- urbanas en la provincia de Tucumán, Argentina, utilizando SIG y análisis de decisiones multicriterio. *Ingeniería Geológica*, 111(1-4), 90-98.
- García-Abad, J. J., Gómez-Delgado, M., y Rodríguez-Espinosa, V. M. (2019). Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por inundaciones en pequeñas cuencas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (49), 109-134.
- García Sánchez, E., y Corredor Camargo, A. (2016). Impacto socioeconómico de los fenómenos El Niño y La Niña en la Sabana de Bogotá durante el siglo XX. *Revista Colombiana de Geografía*, 25(2), 217-232. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v25n2.52850>
- Gómez Delgado, M., y Barredo Cano, J. I. (2015). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. RA-MA Editorial.
- IDEAM. (2015). Escenarios de riesgo asociados a eventos extremos en Colombia. IDEAM.
- IDEAM. (2022). Datos históricos de precipitación y clima en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Narváez, L., Lavell, A., y Pérez Ortega, G. (2009). La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos. Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Olcina Cantos, J. (2012). De los mapas de zonas afectadas a las cartografías de riesgo de inundación en España. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 32(1), 91-131. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39310
- UNGRD. (2022). Informe Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
- Vázquez-González, C., Pérez-Campana, R., Valenzuela-Montes, L. M., y Matarán-Ruiz, A. (2020). Servicios ecosistémicos y planificación de la zona de interfaz urbano-forestal en contextos mediterráneos. *Cuadernos Geográficos*, 59(1), 189-208. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8225>
- Enlace del video de sustentación

UNAD

ECAPMA

https://youtu.be/d-4iIULa_VU