

## **Determinación del Nivel de Riesgo de Inundación en el Municipio de Apartadó, Antioquia**

Juan José Negrete Arteaga, jjnegrete@unadvirtual.edu.co

Kenyi Johana Buitrago Espinosa, kjbuitragoe@unadvirtual.edu.co

Asesor Yetfersson Arley Serrato Velosa, yetfersson.serrato@unad.edu.co

### **Resumen**

El presente trabajo analizó el riesgo de inundación en el municipio de Apartadó, Antioquia, utilizando un enfoque basado en análisis multicriterio y herramientas SIG. Se identificaron áreas críticas mediante la integración de variables como la pendiente, la cobertura del suelo, la precipitación del mes de marzo y la cercanía a drenajes, clasificando el territorio en cinco categorías de riesgo. Los resultados destacaron que la parte occidental, cercana al golfo de Urabá y de menor altitud, presenta un riesgo alto y muy alto, mientras que la región oriental, en la cordillera Occidental, mostró menor susceptibilidad. Estos hallazgos subrayan la necesidad de priorizar intervenciones en las zonas más expuestas, enfocándose en la mitigación de riesgos y la adaptación climática. Desde la agronomía y la ingeniería agroforestal, se proponen estrategias como el manejo de cultivos resilientes, la reforestación estratégica y el diseño de infraestructuras verdes, fundamentales para reducir el impacto de las inundaciones y fomentar la sostenibilidad. Este estudio resalta la importancia de integrar la ciencia y la tecnología para la gestión de riesgos en territorios vulnerables.

**Palabras claves:** Riesgo de inundación, análisis multicriterio, SIG, planificación territorial, sostenibilidad.

### **Introducción**

El análisis del riesgo de inundación es una herramienta fundamental para la gestión sostenible del territorio, especialmente en áreas vulnerables a eventos hidrológicos extremos. Según Montealegre y Matías (2021), un atlas de riesgo permite identificar y clasificar niveles de peligro y vulnerabilidad en los municipios, proporcionando insumos críticos para la planeación urbana y la gestión de desastres. Este tipo de estudios considera factores como topografía, uso del suelo y patrones de precipitación, fundamentales para mitigar impactos socioeconómicos y ambientales. En el

contexto de municipios como Apartadó, Antioquia, la integración de estas metodologías cobra especial relevancia para afrontar retos climáticos y prevenir afectaciones a la población.

Desde una perspectiva educativa, Morote y Pérez (2018) enfatizan la importancia de vincular el aprendizaje sobre riesgos de inundación con el contexto territorial. Este enfoque permite a las comunidades y autoridades comprender mejor las interacciones entre los factores naturales y humanos que aumentan la vulnerabilidad. El territorio, convertido en un laboratorio de análisis, facilita la identificación de soluciones efectivas y

fomenta una mayor conciencia ambiental. Este enfoque se enriquece mediante metodologías participativas y el uso de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que potencian la precisión y aplicabilidad de los análisis.

Finalmente, el Ministerio para la Transición Ecológica (2018) resalta cómo el cambio climático ha exacerbado los riesgos de inundación, incrementando la frecuencia e intensidad de eventos extremos en muchas regiones de Europa y el mundo. La implementación de la Directiva de Inundaciones en España es un ejemplo clave de cómo adaptar políticas a estos nuevos escenarios. Este enfoque abarca la planificación basada en escenarios climáticos futuros, promoviendo medidas estructurales y no estructurales que fortalezcan la resiliencia de las comunidades expuestas a estos riesgos.

## **Objetivos**

### ***General***

Determinar la clasificación del riesgo de inundación por medio del uso de sistemas de información geográfica en Apartadó.

### ***Específicos***

- Recopilar datos geospaciales claves para realizar los análisis y procesos geospaciales en ArcGIS, enfocados en identificar los factores que inciden en el riesgo de inundación en el municipio.
- Aplicar los procedimientos geospaciales adecuados en ArcGIS, utilizando un análisis multicriterio para evaluar y delimitar las zonas de riesgo de inundación.

- Clasificar y representar niveles de riesgo identificados mediante mapas temáticos que faciliten la interpretación y priorización de áreas críticas del municipio

## **Identificación del caso de estudio**

El municipio de Apartadó, ubicado en la región de Urabá, en el departamento de Antioquia, Colombia, es reconocido por su geografía estratégica y su alta productividad agrícola. Su territorio se caracteriza por una altitud promedio de 30 metros sobre el nivel del mar y un relieve predominantemente plano, aunque limitado al este por la Serranía de Abibe, que conecta con la Cordillera Occidental (Municipio de Apartadó, 2019). Esta ubicación genera condiciones propicias para la agricultura, siendo uno de los mayores productores de banano y plátano del país. Además, su cercanía al golfo de Urabá, una extensión del mar Caribe, a menos de 20 kilómetros, le otorga un clima cálido y húmedo, que define tanto sus dinámicas sociales como sus riesgos asociados, incluyendo inundaciones en áreas bajas y planas del municipio.

El clima de Apartadó es tropical monzónico, con una temperatura media anual de 27 °C y una alta humedad relativa, superando el 85 %. Las precipitaciones anuales oscilan entre 2.500 y 3.000 milímetros (Municipio de Apartadó, 2019), distribuidas en dos temporadas húmedas principales y un corto periodo relativamente seco. El mes de marzo, empleado como referencia para el análisis, forma parte de la transición hacia el periodo de lluvias, registrando acumulaciones significativas de precipitación que generan escurrimientos importantes en el terreno plano del municipio. Estas condiciones fueron cruciales para el proceso de reclasificación de factores climáticos, como las precipitaciones y su influencia en las áreas más vulnerables a inundaciones.

Desde el punto de vista de la gestión territorial, Apartadó enfrenta desafíos significativos debido a la interacción de sus características topográficas, climáticas y sociales. El análisis multicriterio permitió identificar las áreas más susceptibles a inundaciones mediante la integración de datos de pendientes, coberturas de suelo, precipitación y distancias a drenajes. En este contexto, el mes de marzo destacó por presentar un patrón crítico de lluvias que incrementa los caudales de los ríos locales, como el León y el Apartadó. La metodología empleada incluyó la reclasificación de estas variables y su ponderación para generar un mapa de riesgo, herramienta fundamental para planificar intervenciones efectivas en el territorio.

En este estudio, se destaca la importancia de trabajar con datos específicos del mes de marzo, ya que permite anticipar las condiciones extremas que podrían presentarse en periodos de lluvia intensa. La alta variabilidad del clima, exacerbada por el cambio climático, requiere de herramientas como los SIG para entender y mitigar los riesgos. Apartadó es un ejemplo paradigmático de cómo los factores naturales y humanos interactúan para determinar la vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos. La generación de mapas de riesgo con esta metodología permite no solo identificar las áreas críticas, sino también priorizar acciones preventivas, fortaleciendo la resiliencia de la comunidad y protegiendo los recursos vitales del municipio

### **Metodología**

El análisis de riesgo por inundaciones en Apartadó, Antioquia, se realizó utilizando el enfoque de Análisis Multicriterio (AMC), una metodología comúnmente empleada en estudios territoriales para integrar variables de distinta naturaleza y ponderarlas según su influencia en el fenómeno de estudio. Este

enfoque permitió determinar las zonas del municipio más vulnerables a inundaciones, tomando en cuenta factores como la pendiente, la cobertura del suelo, las precipitaciones, la distancia a drenajes y las elevaciones del terreno. El uso del software de SIG fue esencial para llevar a cabo este análisis, permitiendo gestionar, reclasificar y ponderar los datos en formato ráster (González, 2006).

El primer paso consistió en la reclasificación de las variables de entrada, que incluyeron un modelo digital de elevación (DEM), pendiente, precipitación del mes de marzo, coberturas de suelo y distancia a drenajes. Cada capa fue transformada en un formato compatible y reclasificada según los rangos establecidos en función del nivel de riesgo (muy alto a muy bajo). Por ejemplo, las áreas planas y con alta concentración de drenajes se clasificaron con valores más altos de riesgo. Este procedimiento utilizó métodos como las rupturas naturales (Jenks) para segmentar las clases en categorías de riesgo homogéneas, siguiendo un enfoque estandarizado y respaldado por estudios previos en zonas con dinámicas similares (Ministerio para la Transición Ecológica, 2018).

La ponderación de factores se llevó a cabo utilizando el método de comparación por pares, otorgando mayor peso a las variables que históricamente tienen una influencia más significativa en las inundaciones, como la precipitación y la cercanía a drenajes. Posteriormente, las capas ponderadas se combinaron mediante un modelo de álgebra de mapas, generando un índice compuesto que representaba el riesgo relativo por píxel. Este proceso requirió normalizar todas las variables para que tuvieran una escala común, garantizando que la suma ponderada fuera coherente y replicable (Montealegre & Matías, 2021).

El resultado final fue un mapa continuo de riesgo por inundación, con valores entre 1 y

5, donde 1 correspondía al riesgo muy bajo y 5 al riesgo muy alto. Este mapa fue posteriormente reclasificado en cinco categorías cualitativas, facilitando la interpretación y visualización de los resultados. Además, se generó una capa vectorial a partir del análisis ráster, lo que permitió calcular el área afectada en cada categoría de riesgo. Este enfoque facilitó la integración de los resultados en la planificación territorial y la toma de decisiones, destacando áreas críticas que requieren atención prioritaria.

El enfoque metodológico utilizado demuestra su efectividad en contextos donde múltiples variables interactúan para definir riesgos, especialmente en municipios como Apartadó, donde las condiciones climáticas, la topografía y las actividades humanas generan una compleja interacción de factores. Este análisis multicriterio, soportado por herramientas SIG, representa un paso fundamental hacia la gestión preventiva del riesgo, ofreciendo una base técnica sólida para la planificación y mitigación de impactos.

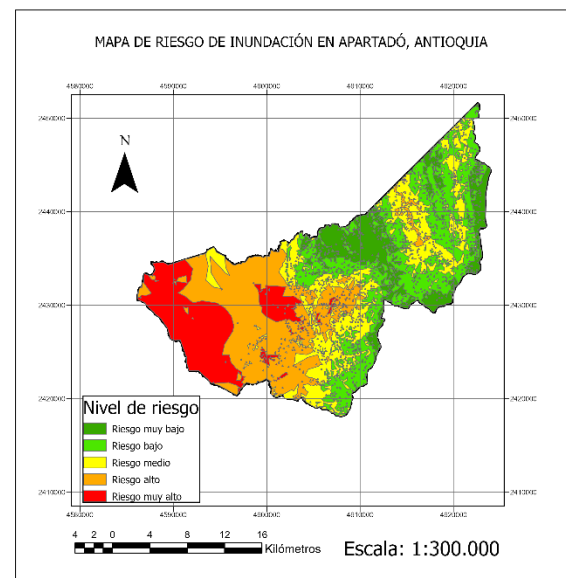
## Resultados

El análisis de riesgo de inundación en el municipio de Apartadó, Antioquia, permitió clasificar el territorio en cinco categorías de riesgo cualitativo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Estas categorías fueron obtenidas mediante un modelo de análisis multicriterio que integró factores como la pendiente, la distancia a drenajes, la cobertura del suelo, la precipitación del mes de marzo y la elevación del terreno. El área total fue evaluada y segmentada en función de los niveles de riesgo, generando un mapa final que refleja la distribución espacial de las zonas vulnerables.

De acuerdo con los resultados, la categoría de riesgo muy bajo comprende un área de 66,33 km<sup>2</sup>, localizada principalmente en la parte oriental del municipio, donde la

influencia de la cordillera Occidental eleva significativamente la altitud. Estas zonas presentan características favorables para actividades agropecuarias debido a su menor vulnerabilidad frente a inundaciones. En contraste, la categoría de riesgo muy alto ocupa 84,12 km<sup>2</sup>, distribuidos en su mayoría en la parte occidental, particularmente en el casco urbano y zonas cercanas al golfo de Urabá. Esta región combina su baja altitud con una alta densidad poblacional e infraestructura, lo que incrementa su susceptibilidad.

**Figura 1. Mapa**



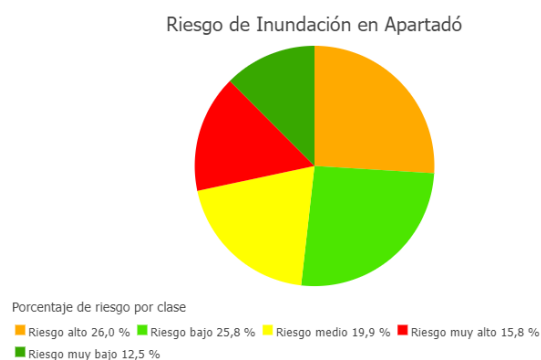
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la distribución porcentual de las categorías de riesgo destaca que el riesgo alto es la clase más representativa, ocupando el 26 % del territorio evaluado, seguido por el riesgo bajo con el 25,8 %. Estas dos categorías predominan en la distribución espacial del riesgo en Apartadó, mientras que el riesgo muy bajo representa solo el 12,5 %. Este desglose ayuda a priorizar las áreas más críticas para intervenciones de mitigación.

El análisis por área muestra que el riesgo alto abarca la mayor superficie con 137,95 km<sup>2</sup>, lo que sugiere la necesidad de

priorizar medidas de mitigación en estas zonas. Este nivel de riesgo se asocia principalmente con las áreas urbanas y periurbanas del municipio, donde la combinación de poca altura y cercanía a drenajes naturales incrementa las probabilidades de inundaciones. Por otro lado, el riesgo medio, con 105,64 km<sup>2</sup>, representa zonas de transición, donde la implementación de medidas preventivas podría mitigar los impactos futuros.

**Figura 2.** Distribución del riesgo



Fuente: Elaboración propia.

La comparación de las áreas con riesgo muy bajo y riesgo muy alto subraya el efecto protector de la topografía. Las elevaciones de la cordillera Occidental al este limitan el flujo de agua hacia estas áreas, mientras que las planicies del oeste, cercanas al mar Caribe, concentran las amenazas. Esto refuerza la necesidad de abordar el riesgo desde una perspectiva integrada que contemple tanto las características naturales como las intervenciones humanas en el territorio.

La distribución espacial del riesgo sugiere implicaciones significativas para las comunidades locales. Las zonas de riesgo muy alto y alto coinciden con el casco urbano, donde reside una proporción importante de la población. La infraestructura crítica, como vías de comunicación y redes de servicios básicos, se encuentra expuesta, lo que podría amplificar los daños en caso de inundación. Además, las zonas agrícolas de estas áreas están en riesgo de

afectaciones recurrentes, impactando la economía local.

**Tabla 1.** Área por nivel de clasificación

Clase de Riesgo	Área en km <sup>2</sup>
Riesgo muy bajo	66,33
Riesgo bajo	137,03
Riesgo medio	105,64
Riesgo alto	137,95
Riesgo muy alto	84,12

Fuente: Elaboración propia.

Desde una perspectiva ambiental, las áreas de alto y muy alto riesgo también abarcan zonas donde los ecosistemas costeros, como manglares y humedales, desempeñan un papel clave en la regulación hídrica. Sin embargo, estas áreas podrían verse afectadas por el aumento en el nivel del agua y el desbordamiento de cauces, comprometiendo su funcionalidad ecológica. Este impacto requiere medidas de restauración y protección que equilibren las dinámicas humanas y naturales.

Por último, el modelo de riesgo obtenido constituye una herramienta valiosa para la gestión territorial del municipio de Apartadó. La identificación precisa de áreas críticas facilita la priorización de acciones, como la construcción de infraestructura de drenaje, la reubicación de asentamientos en zonas vulnerables y la promoción de prácticas agrícolas resilientes. Además, el mapa generado puede ser utilizado como base para actualizar planes de ordenamiento territorial y de prevención de desastres, garantizando un desarrollo sostenible y seguro en el municipio.

## Conclusiones

El análisis de riesgo de inundación en Apartadó, Antioquia, utilizando un modelo de análisis multicriterio, permitió identificar las áreas más vulnerables a eventos de este tipo y

su relación con factores ambientales, topográficos y humanos. La metodología empleada demostró la importancia de integrar variables como la pendiente, la cobertura del suelo, la precipitación y la cercanía a drenajes, generando un mapa de riesgo detallado y segmentado en cinco categorías cualitativas. Este estudio concluye que la parte occidental del municipio, incluyendo el casco urbano, es la zona más vulnerable debido a su baja altitud y proximidad al golfo de Urabá, mientras que las áreas ubicadas en la cordillera Occidental presentan menor susceptibilidad gracias a su elevación.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia para la planificación territorial, la gestión de riesgos y la mitigación de desastres en el municipio. Se evidenció que las zonas con mayor riesgo coinciden con áreas densamente pobladas e infraestructuras críticas, lo que subraya la urgencia de implementar estrategias integrales de manejo de inundaciones. Además, este estudio pone de manifiesto la necesidad de continuar utilizando herramientas de análisis geoespacial en la formulación de políticas públicas orientadas a la prevención y a la sostenibilidad en contextos de alta vulnerabilidad climática.

### **Recomendaciones**

Desde la agronomía, se recomienda implementar prácticas agrícolas resilientes al riesgo de inundaciones, como el manejo de cultivos en terrazas, la rotación de cultivos y la reforestación estratégica en zonas vulnerables. Además, es fundamental fomentar el uso de cultivos tolerantes a inundaciones y promover la adopción de sistemas agroforestales que integren especies con raíces profundas, capaces de estabilizar los suelos y reducir la escorrentía superficial. Estas medidas deben ser complementadas con capacitaciones a los agricultores locales para mejorar la gestión del

agua y minimizar las pérdidas en caso de eventos extremos.

Por su parte, desde la ingeniería agroforestal, se sugiere desarrollar infraestructuras verdes, como zanjas de infiltración, barreras vivas y biofiltros naturales, para controlar el flujo de agua en las zonas agrícolas y urbanas. También es necesario priorizar proyectos de reforestación en las zonas altas y en las áreas críticas identificadas, garantizando que estas sirvan como amortiguadores naturales frente a las inundaciones. La implementación de corredores ecológicos entre las áreas bajas y los ecosistemas montañosos puede mejorar la conectividad ambiental, favoreciendo tanto la mitigación de riesgos como la conservación de la biodiversidad local.

### **Uso de Inteligencia Artificial**

El presente trabajo es creación original de sus autores, los apartes que no lo son, fueron citados en debida forma dentro del contenido del escrito. Sin embargo, se hizo uso de la inteligencia artificial para mejorar la coherencia, cohesión y ortografía del escrito con el fin de ofrecer un producto de mayor calidad al lector.

### **Referencias bibliográficas**

- González Valencia, J. E. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(8), 59-70  
<https://www.redalyc.org/pdf/750/75050806.pdf>
- Montealegre, D., & Matías, L. G. (2021). Identificación de peligros y riesgos a nivel municipal que permita contar con información

básica para el desarrollo posterior de atlas municipales en todo el país. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) [https://www1.cenapred.unam.mx/DIR\\_INVESTIGACION/2021/1er\\_Trimestre/FRACCION\\_XLI/RI/RI\\_Informe\\_PAT8\\_Informacion\\_Basica\\_Municipal.pdf](https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2021/1er_Trimestre/FRACCION_XLI/RI/RI_Informe_PAT8_Informacion_Basica_Municipal.pdf)

Morote, Á. F., & Pérez, A. (2018). La comprensión del riesgo de inundación a través del trabajo de campo: una experiencia didáctica en San Vicente del Raspeig (Alicante, España). *Vegueta. Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 19, 609-631 [https://acedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/54013/2/VEG\\_19\\_26.pdf](https://acedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/54013/2/VEG_19_26.pdf)

Ministerio para la Transición Ecológica. (2018). *Inundaciones y cambio climático: Estudios y experiencias a nivel europeo en el primer ciclo de la Directiva de Inundaciones*. Gobierno de España [https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/libro-cambio-climatico-inundaciones-web-06092019\\_tcm30-499367.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/libro-cambio-climatico-inundaciones-web-06092019_tcm30-499367.pdf)

Municipio de Apartadó. (2019). *POT Municipio de Apartadó*. Apartadó [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.antiioquiadatos.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/Plan-de-ordenamiento/APARTADO/POT%2520DEROGADO%2520DIC\\_2019/Documento%2520T%2B%25C2%25A0Ecnico%2520Soporte/LIBRO%25201%2520COMPONENTE%2520GENERAL%2520V3.pdf&ved=2ahUKEwjO4dvi4LGKAXXIRzABHa5oFuEQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw1bLi2C-TFNWET9FCVrXn1D](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.antiioquiadatos.gov.co/wp-content/uploads/2022/07/Plan-de-ordenamiento/APARTADO/POT%2520DEROGADO%2520DIC_2019/Documento%2520T%2B%25C2%25A0Ecnico%2520Soporte/LIBRO%25201%2520COMPONENTE%2520GENERAL%2520V3.pdf&ved=2ahUKEwjO4dvi4LGKAXXIRzABHa5oFuEQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw1bLi2C-TFNWET9FCVrXn1D)

**Enlace de sustentación:**

[https://drive.google.com/drive/folders/1FnrKbKKJhl4avc\\_Cs1ajUm2qaEU5J11y?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1FnrKbKKJhl4avc_Cs1ajUm2qaEU5J11y?usp=sharing)