

## **Análisis de Riesgo de Inundación en el Municipio de El Carmen de Viboral, Antioquia**

Yeferson Vente Vente, yventev@unadvirtual.edu.co

Laura Catalina Palacio Vasquez, lcpalaciov@unadvirtual.edu.co

Daniel Giraldo Zuluaga, dgiraldoz@unadvirtual.edu.co

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

### **Resumen**

El presente estudio evaluó el riesgo de inundaciones en el municipio de El Carmen de Viboral mediante un análisis multicriterio soportado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se clasificaron las zonas en cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, destacando que las áreas críticas se concentran en la región suroriental, donde la acumulación de escorrentías y la topografía en forma de valle aumentan la probabilidad de inundaciones. Por el contrario, las zonas altas, incluyendo el casco urbano, presentan un riesgo muy bajo debido a su ubicación elevada y características topográficas. El análisis permitió identificar las áreas más vulnerables, facilitando la planificación de medidas de mitigación, como sistemas de drenaje, reforestación estratégica y prácticas de manejo agrícola sostenible. Este estudio refuerza la importancia del análisis integrado para la gestión del riesgo y la sostenibilidad territorial.

**Palabras claves:** Riesgo de inundaciones, análisis multicriterio, SIG, gestión territorial, El Carmen de Viboral

### **Introducción**

El análisis del riesgo de inundaciones es una herramienta clave para la planificación territorial y la gestión de desastres, especialmente en contextos con alta vulnerabilidad como el municipio de El Carmen de Viboral. Estudios como el de Hernández et al. (2016) destacan que las inundaciones son uno de los desastres naturales más frecuentes y devastadores a nivel mundial, causando graves pérdidas económicas y sociales. La implementación de metodologías basadas en sistemas de información geográfica (SIG) y enfoques multicriterio permite integrar múltiples variables, como topografía, uso del suelo y precipitaciones, para crear mapas de riesgo precisos. Estos mapas no solo identifican

zonas de alto riesgo, sino que también son fundamentales para priorizar medidas de mitigación y planificar estrategias de desarrollo sostenible.

En este contexto, trabajos como el de Ángel et al. (2017) subrayan la importancia de considerar factores sociales, económicos y ambientales en los análisis de vulnerabilidad, ya que estos influyen significativamente en la capacidad de las comunidades para enfrentar fenómenos como inundaciones. Por ejemplo, en su estudio en el municipio de Soacha, Colombia, se encontró que las comunidades con menores recursos presentan una mayor exposición y vulnerabilidad debido a la falta de infraestructura adecuada y planificación urbana. Estos hallazgos refuerzan la necesidad

de enfoques integrales que combinen modelos deterministas y paramétricos, para abordar tanto las amenazas naturales como las condiciones sociales que amplifican el riesgo.

Por otro lado, Candia (2015) enfatiza que los modelos SIG y las técnicas de álgebra de mapas son herramientas efectivas para evaluar y combinar indicadores de amenaza y vulnerabilidad. En su análisis en San Luis Potosí, México, se demostró que la integración de datos topográficos, hidrológicos y sociales permite identificar áreas críticas con alta precisión. Esto es particularmente relevante para municipios como El Carmen de Viboral, donde la diversidad topográfica y climática requiere metodologías robustas para la gestión del riesgo de inundaciones. La aplicación de estas técnicas no solo ayuda a reducir las pérdidas humanas y materiales, sino que también contribuye al fortalecimiento de políticas públicas orientadas hacia la resiliencia y el desarrollo territorial sostenible.

## **Objetivos**

### ***General***

Analizar el riesgo de inundación por medio del uso de sistemas de información geográfica en el municipio de El Carmen de Viboral, Antioquia.

### ***Específicos***

- Identificar la información necesaria y relevante para realizar los respectivos geoprocursos con ArcGIS que permiten la determinación del riesgo de inundación en el municipio.
- Realizar los geoprocursos necesarios para la determinación del nivel de riesgo de inundación en el municipio.

- Clasificar el nivel de riesgo de inundación en el municipio.

## **Identificación del caso de estudio**

El municipio de El Carmen de Viboral, ubicado en el Oriente del departamento de Antioquia, Colombia, se caracteriza por una topografía montañosa que abarca desde zonas bajas en el Valle de San Nicolás hasta áreas montañosas en la cordillera central de los Andes. Este municipio tiene una altitud promedio de 1.977 metros sobre el nivel del mar, con elevaciones que oscilan entre los 800 y 3.000 metros (CORNARE, 2012). Estas variaciones altitudinales generan una gran diversidad climática, predominando un clima templado-húmedo que favorece tanto la agricultura como el desarrollo de ecosistemas diversos. Su territorio incluye amplios sectores agrícolas dedicados al cultivo de flores, hortalizas y frutales, actividad que sustenta gran parte de la economía local. Este entorno natural, aunque fértil, enfrenta riesgos como las inundaciones debido a las condiciones de precipitación y drenaje local.

En términos climáticos, El Carmen de Viboral experimenta un régimen bimodal de lluvias, con dos estaciones húmedas principales durante los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, intercaladas por periodos más secos. Para este estudio, se tomó como referencia el mes de marzo, uno de los meses con mayor intensidad de lluvias en la región, con registros promedio que oscilan entre 100 y 150 mm según datos históricos (Ministerio de Cultura, 2014). Estas precipitaciones, junto con las características del suelo y la red hidrográfica, hacen del municipio un área vulnerable a eventos de inundación, especialmente en las zonas bajas cercanas a los principales cuerpos de agua como el río Cimarronas y sus tributarios. Estas condiciones fueron determinantes para elegir el municipio

como caso de estudio y configurar los parámetros del análisis.

La identificación de los riesgos de inundación en El Carmen de Viboral incluyó la evaluación de la cobertura del suelo y la proximidad de drenajes. Según el análisis realizado, las áreas agrícolas y urbanas muestran un mayor nivel de vulnerabilidad debido a la impermeabilización del terreno y al aumento en la escorrentía superficial durante los eventos de lluvia. Este patrón fue identificado utilizando técnicas SIG que combinaron datos topográficos, climáticos y de uso del suelo. La reclasificación de las precipitaciones de marzo en cinco niveles permitió identificar zonas con altos niveles de amenaza, siendo estas las que presentan una mayor acumulación de agua y menor capacidad de drenaje.

En este contexto, el caso de estudio de El Carmen de Viboral refleja una problemática común en municipios con características similares, donde la combinación de factores naturales y antropogénicos amplifica la vulnerabilidad ante inundaciones. Este estudio proporciona información clave no solo para la gestión de riesgos, sino también para la planificación territorial, destacando la importancia de implementar medidas como la conservación de áreas forestales, la mejora en la infraestructura de drenaje y la gestión adecuada del uso del suelo. Las metodologías aplicadas para identificar las áreas de mayor riesgo en marzo sientan las bases para estrategias de mitigación que puedan ser replicadas en otros municipios con condiciones geográficas y climáticas comparables.

## **Metodología**

El análisis de riesgo por inundaciones en el municipio de El Carmen de Viboral se

realizó mediante un enfoque de análisis multicriterio, una metodología que permite integrar diversas variables geoespaciales para evaluar la amenaza, vulnerabilidad y exposición de un territorio. Este enfoque, soportado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), fue seleccionado debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, su flexibilidad en la ponderación de variables y su aplicabilidad en estudios de riesgo. La metodología, basada en trabajos previos como los descritos por González Valencia (2006), consistió en una serie de pasos cronológicos que integraron la obtención, reclasificación y ponderación de datos clave, como las precipitaciones del mes de marzo, la topografía y la cobertura del suelo.

En primer lugar, se recopilieron las capas base necesarias para el análisis, incluidas las de Modelo Digital de Elevación (DEM), pendientes, precipitación mensual (marzo) y distancia a drenajes. Estas capas fueron preprocesadas para garantizar uniformidad en la resolución y formato, un paso crítico para evitar inconsistencias en los resultados. Posteriormente, cada capa fue reclasificada en rangos de valores que reflejan niveles de riesgo relativos. Por ejemplo, en la capa de pendientes, las áreas con inclinaciones bajas fueron clasificadas con un riesgo muy alto, mientras que las áreas más empinadas fueron consideradas de menor riesgo.

El modelo de análisis multicriterio incluyó una suma ponderada, donde se asignaron pesos específicos a cada variable según su influencia relativa en la ocurrencia de inundaciones. Este procedimiento se fundamentó en literatura técnica y experiencias locales que indican que factores como la proximidad a drenajes y la intensidad de las precipitaciones tienen un mayor impacto en el riesgo. Para calcular las ponderaciones, se empleó un esquema de comparación por pares, siguiendo estándares establecidos en estudios similares, como el desarrollado por Hernández

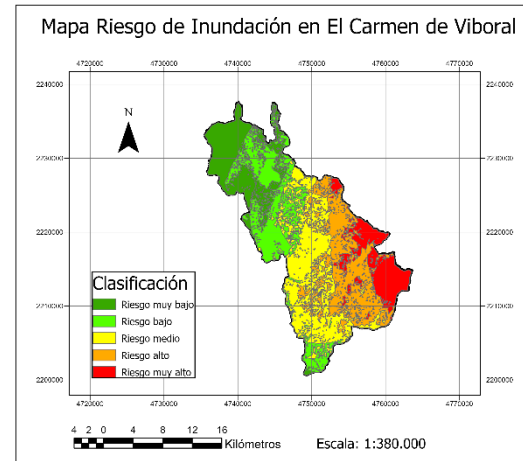
et al. (2016). Este modelo permitió combinar los valores reclasificados de cada capa en un mapa continuo que refleja la probabilidad de ocurrencia de inundaciones.

El resultado de esta suma ponderada fue un mapa de amenaza por inundaciones, reclasificado en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Este producto final se validó mediante una inspección cruzada con eventos históricos de inundaciones registrados en la región y análisis de consistencia interna entre las capas utilizadas. Además, para facilitar la interpretación y toma de decisiones, se transformaron los resultados raster a un formato vectorial, donde se calculó el área de las zonas afectadas y se categorizaron cualitativamente según el nivel de riesgo. Este proceso siguió los lineamientos descritos en Candia (2015), donde se resalta la importancia de cuantificar las áreas de mayor amenaza para priorizar las acciones de mitigación.

## Resultados

El análisis realizado permitió identificar y clasificar el riesgo de inundación en el municipio de El Carmen de Viboral en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados evidencian una clara distribución espacial del riesgo, influenciada principalmente por factores topográficos y climáticos. Las áreas clasificadas como de riesgo muy bajo, que suman un total de 71,93 km<sup>2</sup>, corresponden a las zonas altas del municipio, incluida el casco urbano, donde las pendientes pronunciadas y la ubicación en las montañas minimizan la probabilidad de inundaciones. Por el contrario, las áreas de riesgo muy alto, que abarcan 50,82 km<sup>2</sup>, se localizan predominantemente en la región suroriental, donde el relieve forma un valle propenso a acumular agua durante eventos de lluvias intensas.

**Figura 1.** Mapa de Riesgo de Inundación en el Carmen de Viboral, Antioquia



Fuente: Elaboración propia, 2024

En términos porcentuales, las zonas de riesgo medio abarcan el mayor porcentaje del territorio, con un 26,5 %, seguidas por las áreas de riesgo alto con 22,6 %, y las de riesgo bajo con 21,6 %. Las áreas de menor riesgo, clasificadas como muy bajo, representan el 17,2 % del total, destacándose su distribución en las regiones más elevadas del municipio. Por otro lado, las áreas de riesgo muy alto representan el menor porcentaje, pero estas tienen una relevancia crítica debido a su ubicación en zonas habitadas y con alta actividad agrícola en el valle suroriental.

**Figura 2.** Porcentajes de nivel de riesgo de inundación en el municipio



Fuente: Elaboración propia, 2024.

La tabla de clasificación cualitativa destaca las diferencias en la extensión de cada clase de riesgo, permitiendo un análisis detallado de las áreas más afectadas. La mayor extensión corresponde al riesgo medio con 111,23 km<sup>2</sup>, seguido por el riesgo alto con 94,73 km<sup>2</sup>, y el riesgo bajo con 90,31 km<sup>2</sup>. Estas categorías intermedias indican una alta vulnerabilidad en casi la mitad del municipio. La tabla de atributos, que será incluida, refleja esta distribución y facilita una comparación clara entre las distintas zonas de riesgo.

**Tabla 1.** Área en km<sup>2</sup> por clase de riesgo.

Clase de Riesgo	Área en km <sup>2</sup>
Riesgo muy bajo	71,93
Riesgo bajo	90,31
Riesgo medio	111,23
Riesgo alto	94,73
Riesgo muy alto	50,82

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La región suroriental del municipio, identificada como la más crítica, presenta una concentración de riesgo alto y muy alto debido a su ubicación en un valle que recibe el escurrimiento de las montañas circundantes. Este comportamiento puede generar una acumulación significativa de agua durante precipitaciones intensas, lo que representa una amenaza para los sistemas agropecuarios locales y la infraestructura existente. Además, esta región contiene suelos fértiles que son clave para la economía agrícola del municipio, por lo que las inundaciones en estas áreas podrían causar pérdidas económicas significativas.

En contraste, las zonas de riesgo muy bajo, localizadas en las partes altas del municipio, muestran un bajo impacto potencial en términos de inundaciones, pero su

importancia radica en que albergan el casco urbano y las principales vías de comunicación. Estas áreas, aunque no presentan un riesgo significativo de inundaciones, son esenciales para la movilidad y logística de emergencia, por lo que su mantenimiento y desarrollo sostenible son prioritarios para mitigar riesgos asociados a la conectividad en situaciones críticas.

El impacto potencial de las inundaciones varía significativamente según la categoría de riesgo y su ubicación. Las áreas de riesgo muy alto y alto pueden afectar directamente las viviendas rurales, cultivos y pequeñas infraestructuras, como puentes y caminos locales, mientras que las zonas de riesgo medio tienen una menor probabilidad de inundación, pero están ubicadas estratégicamente en áreas agrícolas intermedias. Las áreas de menor riesgo, aunque menos expuestas, desempeñan un rol fundamental como refugio y base de operaciones en caso de emergencias.

## Conclusiones

El análisis de riesgo de inundaciones en El Carmen de Viboral permitió identificar las áreas más vulnerables del municipio, evidenciando una correlación directa entre los patrones de precipitación, la topografía y la cobertura del suelo. Las áreas de mayor riesgo se concentran en la región suroriental, donde las características del valle y la acumulación de esorrentías generan condiciones críticas para eventos de inundación. Por otro lado, las zonas de menor riesgo, ubicadas en las partes altas, incluyendo el casco urbano, reflejan una mayor resiliencia frente a eventos extremos, destacando su importancia como centros estratégicos para la planificación y la mitigación de riesgos. Este estudio reafirma la relevancia de los SIG y el análisis multicriterio como herramientas clave para la gestión de desastres y la planificación territorial.

Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de implementar medidas de mitigación y conservación en las zonas críticas, especialmente en aquellas con riesgo alto y muy alto. Asimismo, la integración de estrategias de uso del suelo sostenible y la infraestructura adecuada para drenaje pueden reducir significativamente las pérdidas económicas y sociales en futuros eventos. El análisis realizado aporta un marco replicable y escalable para abordar problemáticas similares en otros municipios con características topográficas y climáticas similares, facilitando la toma de decisiones basada en datos precisos.

### Recomendaciones

Desde la perspectiva agronómica, se recomienda implementar sistemas de manejo del agua que reduzcan la acumulación de escorrentía en las zonas agrícolas del valle suroriental, como terrazas y zanjas de infiltración. Estas prácticas no solo disminuyen el riesgo de inundaciones, sino que también mejoran la retención de agua en los cultivos y reducen la erosión del suelo. Asimismo, es esencial fomentar la diversificación de cultivos con especies más resistentes a inundaciones y establecer sistemas de monitoreo climático que alerten a los agricultores sobre eventos extremos de precipitación, permitiéndoles tomar medidas preventivas oportunas.

En el ámbito de la ingeniería agroforestal, se recomienda la reforestación estratégica con especies nativas en las áreas de alto riesgo para mejorar la capacidad de infiltración del suelo y estabilizar las pendientes. La implementación de sistemas agroforestales en las zonas críticas puede funcionar como una barrera natural contra la acumulación de agua, reduciendo la velocidad de escorrentía. Además, se sugiere desarrollar infraestructuras de drenaje eficiente en los valles, priorizando la construcción de canales y

reservorios que minimicen el impacto de las lluvias intensas. Estas medidas deben complementarse con la educación y capacitación de las comunidades para garantizar una gestión sostenible del territorio.

### Referencias bibliográficas

Ángel, J. A., Garzón, E. S., & Rivera, G. A. (2017). *Análisis de vulnerabilidad por el fenómeno de inundación en el barrio Ciudadela Sucre sector San Rafael, municipio de Soacha, Cundinamarca*. Universidad La Gran Colombia.

Candia, M. A. (2015). *Análisis de riesgo por inundación en la zona metropolitana de San Luis Potosí*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.

CORNARE (2012). *Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare: Municipio de El Carmen de Viboral*. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare (Cornare). Edición e impresión: Divegráficas Ltda.

Hernández, R. E., Barrios, H., & Ramírez, A. I. (2016). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25.

Ministerio de Cultura. (2014). *Los cuadernos del barro. El Carmen de Viboral: El jardín llevado a la loza*. Dirección de Patrimonio, Ministerio de Cultura de Colombia. ISBN: 978-958-99677-3-7.

**Enlace de sustentación:**

<https://drive.google.com/drive/folders/19S68FRpj3Gc6t0cJ3qYuquGFFK-IbnTS?usp=sharing>