

## **Análisis y riesgo de inundación en el municipio de Madrid Cundinamarca**

Edwin Giovanni Moreno [egmorenop@unadvirtual.edu.co](mailto:egmorenop@unadvirtual.edu.co)

Zaida Julieth Hernandez Granados [zjhernandezg@unadvirtual.edu.co](mailto:zjhernandezg@unadvirtual.edu.co)

Docente asesor: Yetfersson Serrato Velosa [yetfersson.serrato@unad.edu.co](mailto:yetfersson.serrato@unad.edu.co)

### **Resumen**

Este artículo evalúa los riesgos de inundación en el municipio de Madrid, Cundinamarca, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente ArcGIS Pro. El análisis se basó en un enfoque multicriterio que incluyó variables como la pendiente del terreno, los patrones de precipitación y la cercanía a redes hidrográficas. A través de técnicas de reclasificación y suma ponderada, se generó un modelo espacial que identificó las áreas más vulnerables a las inundaciones. Los resultados revelan que una parte significativa del área presenta riesgos medio y alto, especialmente en zonas planas y cercanas a cuerpos de agua, donde la acumulación de agua es más probable durante lluvias intensas. El estudio destaca la relevancia de los SIG en la planificación territorial y la gestión de desastres, ya que estas herramientas permiten identificar áreas críticas y tomar decisiones estratégicas para implementar medidas de mitigación. Además, en situaciones de emergencia, los SIG proporcionan datos en tiempo real, modelos predictivos y capacidades de análisis espacial, lo que facilita la preparación y respuesta ante desastres. Esto permite a los planificadores desarrollar planes de evacuación, identificar zonas vulnerables y coordinar acciones, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible de los riesgos naturales (Gis Navigator, 2024).

*Palabras claves:* SIG, inundaciones, análisis multicriterio, riesgo ambiental, planificación territorial, modelación espacial.

### **Introducción**

La gestión del riesgo de inundaciones representa un desafío significativo en Colombia debido a su impacto en la infraestructura, la población y los ecosistemas. Este problema se ve agravado por múltiples factores, entre ellos, los cambios en las precipitaciones, las tormentas y las temperaturas impulsados por la crisis climática. Además, elementos sociales como el cambio en el uso de la tierra y el desarrollo en llanuras aluviales han aumentado la frecuencia y gravedad de los eventos de

inundación. Estos factores, estrechamente vinculados con el cambio climático y la urbanización no planificada, hacen que las inundaciones sean cada vez más devastadoras y recurrentes (Vernick, 2024).

La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una herramienta esencial para realizar análisis espaciales precisos que permiten identificar áreas vulnerables, apoyar la planificación territorial y fundamentar la toma de decisiones. Un SIG integra y relaciona diversos tipos de datos con ubicaciones geográficas específicas, lo que

facilita la visualización en un mapa de la distribución de recursos, edificios, poblaciones y otros elementos clave en municipios, departamentos, regiones o incluso a nivel nacional.

Esto significa que los SIG no solo ofrecen un enfoque integral para comprender la dinámica territorial, sino que también proporcionan información estratégica para gestionar recursos y riesgos, como en el caso de las inundaciones. Al representar visualmente las interacciones entre factores como uso del suelo, pendientes, redes hidrográficas y precipitación, los SIG permiten identificar patrones críticos y diseñar estrategias efectivas para mitigar impactos, optimizando así la gestión del territorio de manera sostenible (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, s. f.).

## Objetivos

### General

Evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Madrid, Cundinamarca, utilizando sistemas de información geográfica para identificar áreas vulnerables.

### Específicos

- Transformar datos geospaciales en un formato vectorial que permita la categorización de áreas según niveles de riesgo.
- Realizar un análisis multicriterio para clasificar zonas críticas de inundación.
- Generar mapas temáticos que sirvan como herramienta de apoyo para la planificación agroambiental.

## Identificación del caso de estudio

El municipio de Madrid se encuentra en la Sabana de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Su ubicación

geográfica, características topográficas y actividades económicas, mayoritariamente agrícolas, lo convierten en un área susceptible a inundaciones. Durante los meses de invierno, las temperaturas suelen ser frías, con valores medios de alrededor de 6°C. En las noches, las temperaturas pueden caer por debajo de 0°C, y ocasionalmente se experimenta nieve. Según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), "octubre es uno de los meses con mayor precipitación en Madrid, con un promedio de 30-40 mm de lluvia" (AEMET, consultado el 13 de diciembre de 2024). El clima contribuye a una marcada estacionalidad en las condiciones meteorológicas de Madrid a lo largo del año. Este caso de estudio se selecciona debido a su relevancia en la planificación agroambiental y a la necesidad de herramientas que optimicen la gestión del riesgo en la región.

## Metodología

El análisis de riesgo por inundación en el municipio de Madrid, Cundinamarca, se llevó a cabo utilizando un enfoque de análisis multicriterio en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente con ArcGIS Pro. Este proceso permitió integrar y ponderar diversos factores espaciales relevantes para evaluar las áreas vulnerables a inundaciones.

### 1. Definición de factores y ponderación

Se identificaron cinco factores clave: modelo de elevación digital (DEM), pendiente, cobertura de tierras, precipitación y distancia entre drenajes. Cada factor fue ponderado según su importancia relativa, de acuerdo con la Tabla 1.

**Tabla 1.***Criterios de análisis para riesgo de inundación.*

Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Adaptado de Guía de actividades Diplomado profundización Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio, 2024.

## 2. Procesamiento de datos

- **Modelo de Elevación Digital y Pendientes:** La inclinación del terreno influye en la dirección y velocidad del flujo de agua, incrementando el riesgo de deslizamientos y afectando la dinámica de las inundaciones. González Valencia (2006) destaca que pendientes pronunciadas agravan estos riesgos, mientras que áreas planas acumulan agua. Este análisis utilizó un modelo de elevación digital (DEM) para generar una capa de pendientes clasificada en cinco niveles de riesgo.
- **Cobertura de Tierras:** A partir del Mapa de Cobertura de la Tierra del IGAC, se recortó el área del municipio, se reclasificaron las categorías según el riesgo, y se transformó en una capa ráster.
- **Precipitación:** Este factor es fundamental para evaluar el riesgo de inundaciones, ya que lluvias intensas o prolongadas pueden exceder la capacidad de absorción del suelo, como señala González Valencia (2006). Dicho autor destaca la relación entre periodos de lluvias y la ocurrencia de eventos catastróficos, subrayando su relevancia para identificar áreas vulnerables. En este análisis, se utilizó el ráster del mes de octubre, el más lluvioso, ajustado al área mediante extracción por máscara.

- **Distancia entre Drenajes:** La proximidad a cuerpos de agua es un factor clave para determinar el riesgo de inundación, ya que áreas cercanas a drenajes principales tienen mayor probabilidad de ser afectadas. Según González Valencia (2006), los cursos de agua son críticos en la identificación de zonas de amenaza. Se calculó la distancia euclidiana desde drenajes principales y se reclasificó en niveles de riesgo para este análisis.

## 3. Reclasificación y suma ponderada.






Cada capa fue reclasificada según criterios cualitativos y cuantitativos para establecer una escala uniforme. Posteriormente, se aplicó la herramienta de suma ponderada, integrando las capas según los porcentajes definidos, lo que permitió generar un modelo de riesgo final.

## 4. Análisis y validación

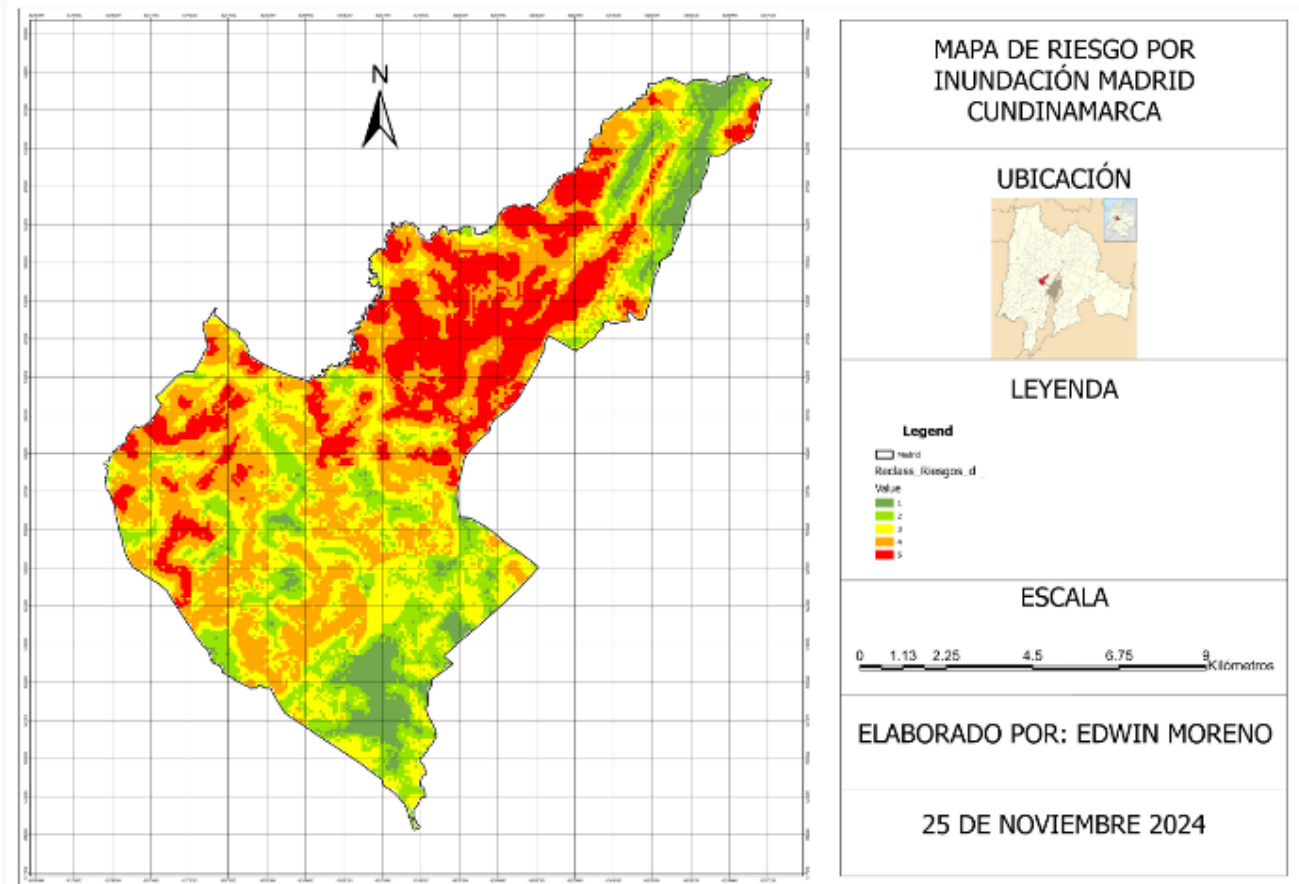
El mapa de riesgo fue reclasificado en cinco categorías (muy bajo a muy alto) y transformado en capa vectorial para calcular áreas y clasificar los niveles de riesgo. Finalmente, se analizaron los resultados para identificar áreas críticas y su distribución espacial, considerando impactos en comunidades, infraestructura y ecosistemas.

Tabla 2.

*Reclasificación de riesgo por inundación.*

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Adaptado de Guía de actividades Diplomado profundización Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio, 2024.

**Figura 1***Mapa de Riesgos de inundación.*

Fuente: Autoría propia, 2024

## Resultados

Para este análisis, se utilizó un enfoque de superposición visual entre el mapa base del municipio de Madrid y el mapa de riesgo de inundación. Se identificaron las áreas residenciales más significativas y se evaluó su vulnerabilidad al cruzar los datos geoespaciales con la clasificación cualitativa de riesgo por inundación.

**Zona de mayor riesgo:** La ubicación con mayor riesgo de inundación corresponde a la zona situada en el sector norte del municipio. Esta área combina actividades industriales y agroindustriales.

Predomina la presencia de empresas dedicadas a la producción de flores para exportación, lo

que representa un riesgo económico significativo en caso de inundaciones.

También se observan cultivos de hortalizas y papa, fundamentales para la seguridad alimentaria y la economía local.

Según la clasificación cualitativa del riesgo, esta zona presenta un riesgo muy alto, lo cual implica una alta probabilidad de inundaciones severas.

**Zonas con menor riesgo:** Las áreas residenciales ubicadas hacia el centro-sur del municipio presentan un riesgo menor (clasificación de riesgo bajo o muy bajo). Estas zonas son menos propensas a inundaciones debido a su mayor altitud relativa y mejor infraestructura de drenaje.

### Distribución espacial del riesgo:

El riesgo de inundación se concentra predominantemente en las zonas norte y noroeste del municipio, donde convergen áreas planas y cercanas a cuerpos de agua o zonas de drenaje deficiente.

Las áreas de riesgo medio se distribuyen alrededor del centro del municipio, afectando parcialmente a comunidades y cultivos menos vulnerables.

Las zonas de riesgo bajo están ubicadas hacia el sureste, coincidiendo con sectores residenciales modernos y de mayor densidad poblacional.

### Figura 2.

Grafica de porcentaje % y área por tipo de riesgo.



Mapa ilustrativo de las zonas identificadas como áreas de riesgo de inundación en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

Fuente: Autoría propia, 2024

### Tabla 3.

Medida de superficie por tipo de riesgo.

simbologia	Class_riesgo_inundación	Area_Km2
1	Riesgo muy bajo	7.68853886
2	Riesgo bajo	19.1436813
3	Riesgo medio	30.5686271
4	Riesgo alto	36.2435775
5	Riesgo muy alto	23.5528228

Fuente: Autoría propia, 2024

## Conclusiones

El análisis de los riesgos de inundación en el municipio de Madrid, Cundinamarca, realizado mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un análisis multicriterio, ha permitido identificar con precisión las zonas más vulnerables a las inundaciones. A través de la integración de factores como la pendiente del terreno, la precipitación, la cobertura de tierras y la cercanía a redes hidrográficas, se ha logrado generar un modelo espacial que refleja las áreas con mayor riesgo.

Según los resultados obtenidos, se ha identificado que las zonas con mayor riesgo de inundación están concentradas principalmente en áreas planas y cercanas a cuerpos de agua. En particular, el sector norte del municipio presenta un riesgo muy alto debido a la presencia de actividades agroindustriales, como la producción de flores para exportación, así como cultivos de hortalizas y papa. Esta zona es muy vulnerable, lo que subraya la necesidad urgente de implementar estrategias de mitigación y adaptación para reducir los impactos de las inundaciones en estas áreas productivas.

Por otro lado, las zonas ubicadas hacia el centro-sur del municipio presentan riesgos bajos o muy bajos, lo que las hace menos propensas a inundaciones debido a su mayor altitud y una infraestructura de drenaje relativamente mejor. La distribución espacial del riesgo muestra que las áreas de mayor riesgo se encuentran en el norte y noroeste, mientras que las zonas de menor riesgo se localizan en el sureste.

El enfoque utilizado, basado en SIG y análisis multicriterio, ha demostrado ser idóneo y eficaz para la identificación de áreas vulnerables, lo que permite tomar decisiones informadas sobre la gestión del riesgo. Además, se ha evidenciado que este método no solo es pertinente, sino necesario para abordar de manera eficiente los problemas de inundación en el municipio. La combinación de estos análisis y las herramientas SIG proporciona una base sólida para planificar medidas de mitigación, como la mejora de la infraestructura de drenaje y la implementación de prácticas agrícolas resilientes al cambio climático.

Este estudio, en su conjunto, resalta la importancia de aplicar herramientas SIG para la planificación territorial y la gestión del riesgo. Las soluciones basadas en los resultados obtenidos deben ser implementadas en las áreas críticas identificadas, y el monitoreo constante permitirá ajustar las estrategias conforme evolucionen las condiciones del terreno y del clima.

## Recomendaciones

- Mejorar la gestión sostenible de los suelos agrícolas:

Para mejorar la gestión sostenible de los suelos agrícolas en las zonas de mayor riesgo de inundación en Madrid, se deben promover prácticas sostenibles como el uso de cultivos de cobertura, la rotación de cultivos y la agricultura orgánica, las cuales protegen los suelos, previenen la erosión y mejoran la infiltración de agua, reduciendo así el riesgo de inundaciones.

La adopción de estas prácticas requiere incentivos para los agricultores. Los incentivos, tanto de mercado como regulatorios, son clave para mejorar la productividad y rentabilidad, garantizando a la vez la sostenibilidad ambiental. Estos deben basarse en principios probados para asegurar resultados positivos a

largo plazo, como el uso eficiente de los recursos y la reducción del impacto ambiental (Piñeiro et al., 2021).

- Reforestación y restauración de cuencas hidrográficas:

Reforestar con especies nativas en las cuencas hidrográficas cercanas a zonas de riesgo de inundación ofrece múltiples beneficios. Los árboles y la vegetación natural actúan como filtros naturales, absorbiendo el exceso de agua durante las lluvias y ayudando a regular los caudales, lo que reduce el riesgo de inundaciones. Además, las zonas ribereñas deben ser priorizadas para mejorar la biodiversidad y aumentar la capacidad de retención de agua en los suelos, fortaleciendo la resiliencia ecológica y protegiendo el suministro de agua. Reforestar con especies nativas tiene menos impacto sobre el suministro de agua y proporciona mayores beneficios ecosistémicos en comparación con plantaciones forestales (Michael, s.f.).

- Establecer un sistema de drenaje sostenible:

Es fundamental implementar sistemas de drenaje adecuado en áreas agrícolas vulnerables a inundaciones. Se pueden utilizar técnicas de drenaje natural, como zanjas de infiltración y canales de drenaje ecológicos, para mejorar la evacuación de aguas pluviales sin dañar los cultivos ni los suelos. Estas infraestructuras también pueden recoger el exceso de agua y aprovecharla para riego durante épocas secas, optimizando los recursos hídricos.

Existen dos tipos principales de drenaje: superficial y subterráneo. El drenaje superficial incluye zanjas de drenaje agrícola, que siguen los contornos naturales del terreno, y zanjas de campo más profundas que facilitan el flujo del agua. Por otro lado, el drenaje subterráneo, aunque más costoso, como los desagües de caja y las tuberías de azulejos, es ideal para suelos

pesados y no interfiere con las actividades agrícolas (AFT, 2021).

- Promoción de cultivos resilientes al cambio climático:

Es fundamental promover el uso de cultivos resistentes a inundaciones o tolerantes a la humedad en las áreas más vulnerables, especialmente aquellas propensas a lluvias torrenciales o inundaciones. Investigaciones recientes están identificando genes asociados a la tolerancia a inundaciones en diversas especies vegetales, que codifican proteínas clave para la regulación del metabolismo anaeróbico, la síntesis de hormonas como el etileno y el ácido abscísico, y la modificación de la estructura de las raíces. Estos mecanismos permiten que las plantas absorban oxígeno y nutrientes de manera más eficiente en condiciones de inundación, lo que mejora su resistencia al estrés hídrico (Fierro, 2024).

Entre los cultivos con mayor potencial de resistencia a las inundaciones se encuentran algunas variedades de papa, maíz y hortalizas, que tienen una mejor tolerancia a condiciones de agua estancada, lo cual puede reducir la pérdida de producción durante eventos de inundación. Además, es recomendable impulsar sistemas agroforestales y cultivos intercalados, que no solo mejoran la resiliencia climática, sino que también favorecen una gestión agroambiental integrada. Esta integración permite una mejor adaptación a las fluctuaciones climáticas, fomentando un sistema agrícola más sostenible y resistente frente a las inundaciones (Fierro, 2024).

- Capacitación y sensibilización de los productores locales:

En respuesta al llamado por una agricultura más sostenible, los agricultores están adoptando prácticas que no solo protegen y regeneran la naturaleza, sino que también proporcionan



[o,regiones%20o%20todo%20un%20pa%C3%ADs](#)

Piñeiro, V., Arias, J., Elverdin, P., Ibáñez, A. M., Opazo, C. M., Prager, S., & Torero, M. (2021). Promover prácticas agrícolas sostenibles: De los incentivos a la adopción y los resultados. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.18235/0003228>

Vernick, D. (2024). ¿Acaso el cambio climático está aumentando el riesgo de desastres? WWF. <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/acaso-el-cambio-climatico-esta-aumentando-el-riesgo-de-desastres#:~:text=Varios%20factores%20est%C3%A1n%20contribuyendo%20al,el%20desarrollo%20de%20llanuras%20aluviales>

**Enlace de sustentación:**  
<https://youtu.be/7tDx6Fcd5EY>