

Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Madrid, Cundinamarca

Autores:

Duban Darío Hernández Suarez - ddhernandezsu@unadvirtual.edu.co

Kely Johana Pacheco Carrillo - kjpachecoc@unadvirtual.edu.co

Luis David Barreto Hernández - lbarretoh@unadvirtual.edu.co

Nerys María Ortiz Campo - nmortizcam@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa gina.posada@unad.edu.co

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Madrid, Cundinamarca, mediante la metodología de análisis espacial en sistemas de información geográfica (SIG), se realizó un análisis detallado de las posibles inundaciones teniendo en cuenta las variables tales como: Pendiente del terreno, distribución y/o densidad de la lluvia y la proximidad de drenajes, mediante modelos de ponderación multicriterio para lograr delimitar aquellas zonas de riesgo. Los hallazgos obtenidos indican que las áreas planas y aquellas aledañas a fuentes hídricas presentan los niveles más altos de susceptibilidad especialmente en épocas de mayor intensidad de precipitaciones. Se determinó que el 85% del territorio presenta riesgos de inundación, estos se categorizaron en Riesgo Alto con (63,80 km²) y Riesgo Muy Alto con (37,16 km²) concentran la mayor extensión del territorio de Madrid, Cundinamarca y Las categorías de Riesgo Bajo (5,86 km²) y Riesgo Muy Bajo (4,26 km²) representan una porción muy pequeña del territorio, ubicado principalmente en zonas con mayor pendiente. Este análisis subraya la importancia de los SIG como herramienta de apoyo en la gestión de un territorio para reducción de desastres puesto que permite la identificación temprana de amenazas y la planificación de estrategias preventivas.

Palabras clave: Inundaciones; análisis; susceptibilidad.

Introducción

Colombia enfrenta importantes desafíos en la gestión del riesgo por inundaciones, un problema que afecta recurrentemente a comunidades, infraestructuras y ecosistemas debido a factores naturales y antrópicos que se intensifican con el cambio climático (Cárdenas, 2018). En particular, municipios como Madrid, en Cundinamarca, presentan una alta susceptibilidad debido a su localización en la planicie de la sabana de Bogotá, su topografía predominantemente llana y su exposición a variaciones en los regímenes de lluvia (IDEAM, 2025 & Gobernación de Cundinamarca, s.f.).

Estos factores se ven agravados por dinámicas socioeconómicas como la expansión urbana no planificada y la ocupación de zonas inundables, lo que incrementa la exposición y vulnerabilidad de la población (Alvarado-Bello, 2014). A esto se suma la falta de una cultura de prevención adecuada, que contribuye a que los impactos sean cada vez más severos (Luna Marín, 2023). Estas dinámicas no son exclusivas de Colombia: estudios internacionales muestran que las inundaciones se agravan cuando los factores climáticos extremos coinciden con procesos de ocupación del territorio poco regulados (Djanibekov et al., 2024).

Frente a este escenario, los sistemas de información geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para analizar la distribución espacial de amenazas y apoyar la toma de decisiones basada en datos (Olaya, 2020). Específicamente, las metodologías de análisis multicriterio, como el Proceso Analítico Jerárquico, se han aplicado con éxito para elaborar mapas de susceptibilidad a inundaciones en diferentes regiones del mundo (Ashfaq et al., 2025). De igual forma, la calidad del análisis depende de la precisión de los insumos geoespaciales, entre ellos los Modelos Digitales de Elevación utilizados para representar la topografía y modelar procesos hidrológicos (Ávila-Ruiz et al., 2025).

En el contexto colombiano, el desarrollo de modelos y sistemas institucionales para el análisis del riesgo ha fortalecido la capacidad de evaluar amenazas hidrometeorológicas a escala local y regional (SISMAR-BOG, s.f.). Este estudio aplica dichos avances metodológicos para evaluar la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Madrid, Cundinamarca, mediante el uso de SIG y modelos de ponderación multicriterio, con el fin de generar insumos técnicos que contribuyan a la gestión territorial y la reducción del riesgo de desastres.

Según (IDEAM). (2018) los antecedentes de escenarios de riesgo por inundación del municipio están estrechamente asociados su localización en la Sabana de Bogotá, una planicie aluvial caracterizada por pendientes suaves, suelos con baja capacidad de drenaje y una alta intervención antrópica del territorio. Históricamente, estas condiciones naturales han favorecido la ocurrencia de inundaciones recurrentes, especialmente durante los periodos de lluvias intensas asociados a fenómenos como La Niña.

La (IDEAM). (2018) informa que uno de los principales factores de amenaza es la presencia del río Subachoque y su red de quebradas y canales de drenaje, los cuales han experimentado desbordamientos frecuentes debido al incremento de caudales esto en los meses con más precipitación como lo son los meses de abril y octubre, Estos eventos han afectado tanto áreas rurales productivas como sectores urbanos, generando pérdidas económicas, afectaciones a la infraestructura vial y riesgos directos para la población.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Madrid, Cundinamarca, mediante análisis espacial en sistemas de información geográfica (SIG).

Objetivos Específicos

Procesar y estructurar la información geoespacial disponible en formatos ráster y/o vectoriales adecuados para su integración en el análisis del riesgo de inundación categorizado en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

Aplicar un modelo de análisis multicriterio en SIG para integrar las variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad y determinar la clasificación del riesgo de inundación por categorías en el municipio de Madrid, Cundinamarca.

Generar un mapa de riesgo de inundación categorizado para el municipio de Madrid, Cundinamarca, como insumo técnico para la planificación agroambiental y la gestión del riesgo.

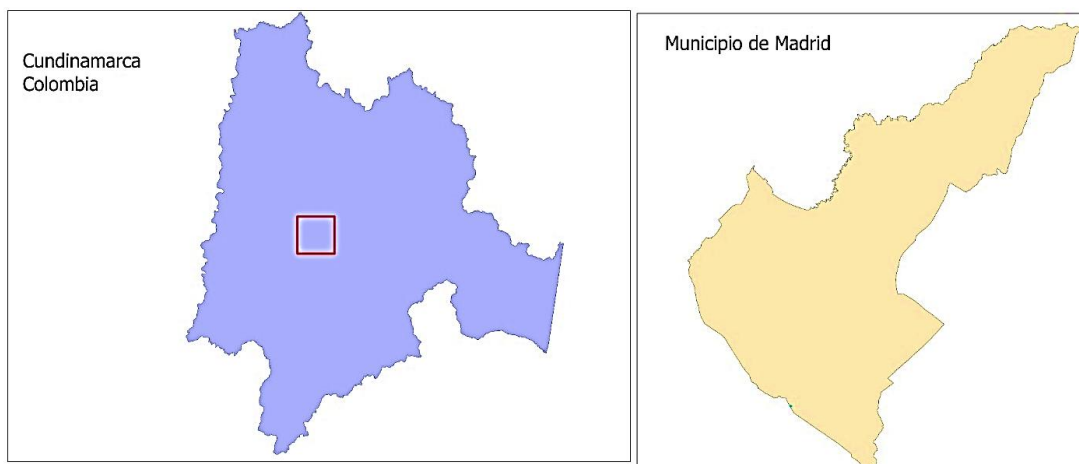
Identificación del caso de estudio

Área de Estudio:

El estudio se centra en el municipio de Madrid (Figura 1), localizado en el departamento de Cundinamarca, dentro de la Provincia de Sabana Occidental. El municipio posee una altitud promedio de 2.554 m.s.n.m. y una temperatura media de 14°C, lo que genera un clima templado, según el Atlas climático de la región Andina IDEAM, 2025, marzo 17).

Figura 1.

Localización del municipio de Madrid, Cundinamarca



Nota: El mapa muestra la ubicación geográfica del municipio de Madrid, Cundinamarca, incluyendo límites administrativos, red hidrográfica y elementos de referencia espacial para el análisis del riesgo de inundación. *Fuente:* Autoría propia, 2025

El municipio cuenta con un área geográfica de 11.944,57 Ha, dentro de la sabana de Bogotá, distribuidos en dos áreas las cuales son: urbana con una extensión de 74,35 Ha que representa el 6,20% del territorio y rural con una extensión de 11,204,22 Ha que representa el 93,80% del territorio, cuenta con un relieve distribuido en dos zonas, identificados como zona plana que corresponde al 89% de la extensión del municipio, la cual presenta un relieve plano con pendientes que no superan el 3%, cuentan con buena disponibilidad de agua superficiales y subterráneas, suelos fértiles compuestos por arena, limo y arcilla (franco-arcillosos), y profundos aptos para la agricultura, mientras que la segunda zona representa el 11% restante de extensión del municipio, esta cuenta con un relieve montañoso y suelos de tipo rocoso, estos tipos de relieve favorecen al territorio en producción y desarrollo agropecuario, permitiéndole producir una gran variedad en productos agrícolas de clima medio, como lo son: Cultivo de Flor, Papa, hortalizas de las cuales se derivan, el cilantro, lechuga, repollo, entre otros. Se sitúa a aproximadamente 29 kilómetros de Bogotá, lo que le confiere una posición estratégica para el desarrollo industrial y la comercialización agrícola de la región (Gobernación de Cundinamarca, 2024).

Contexto Geográfico y de Riesgo

Geográficamente, Madrid se asienta en la Sabana de Bogotá, una zona caracterizada por extensas planicies aluviales, lo cual define su perfil de riesgo (INGEOMINAS / Servicio Geológico Colombiano, 2016), como se detalla en su mapa de suelos y topografía, En cuanto a la topografía la baja altitud y la configuración del terreno con pendientes mínimas favorecen el estancamiento del agua y disminuyen la velocidad de la escorrentía, incrementando la susceptibilidad a inundación, lo cual justifica el análisis detallado del Modelo de Elevación Digital (DEM) en la

metodología (Gobernación de Cundinamarca, 2024). Además, estos factores coinciden con los lineamientos técnicos establecidos para la evaluación de amenazas hidrometeorológicas en contextos urbanos, donde se destaca la importancia de considerar la pendiente y el relieve en la identificación de zonas susceptibles (IDIGER, 2018).

Por su parte, la hidrología, se ve enriquecida por la presencia de diversos cuerpos de agua, ríos y quebradas, cuya proximidad de las áreas pobladas y agrícolas a estos drenajes naturales hace que el riesgo por desborde fluvial sea un factor crítico, tal como se evaluó en el análisis de Buffer y Acumulación de Flujo (Gobernación de Cundinamarca, 2024). Este tipo de análisis es coherente con las recomendaciones metodológicas para el estudio de amenazas por inundación en escenarios de cambio climático, donde se enfatiza la importancia de incorporar la dinámica hídrica local como variable prioritaria (IDIGER, 2018).

La economía local se basa principalmente en la agricultura, con un notable desarrollo en el cultivo de flores, hortalizas y frutales. El sector industrial también es significativo, con numerosas empresas establecidas (Gamboa & Espejo Díaz, 2024). Esta fuerte dependencia de sectores productivos ubicados en zonas potencialmente planas subraya la necesidad de delimitar áreas de riesgo, especialmente porque la transformación del uso del suelo asociada a la actividad agrícola e industrial modifica la dinámica natural del territorio y aumenta la exposición ante eventos hidrometeorológicos (Arif M et al., 2023).

Características Climáticas Relacionadas con la Precipitación en Madrid, Cundinamarca

El municipio de Madrid, Cundinamarca, se encuentra en la Sabana de Occidente, una zona que se rige por un régimen de precipitación bimodal dos picos marcados de lluvia al año propio del clima tropical andino, comportamiento que se evidencia en los registros históricos de precipitación del municipio (Weather Spark, s.f.). Las principales características climáticas relacionadas con la precipitación son: Régimen bimodal, donde la precipitación se presenta en dos temporadas de lluvia separadas durante el año (IDEAM, s.f.). Los meses de abril y octubre registran históricamente los mayores volúmenes de precipitación en Madrid, información ampliamente documentada en los análisis climáticos regionales del (IDEAM s.f.), lo que ha llevado incluso a la emisión de alertas por parte de medios nacionales durante temporadas de lluvias intensas (Caracol Radio, 2025).

Si bien la precipitación es el detonante, la baja pendiente de la Sabana de Bogotá agrava el problema, ya que el agua de las lluvias intensas no se drena eficientemente, favoreciendo el encharcamiento y las inundaciones de larga duración en las zonas más bajas, tal como se ha documentado en estudios que relacionan la morfología del terreno con la acumulación de escorrentía en zonas planas (Fajardo, 2022).

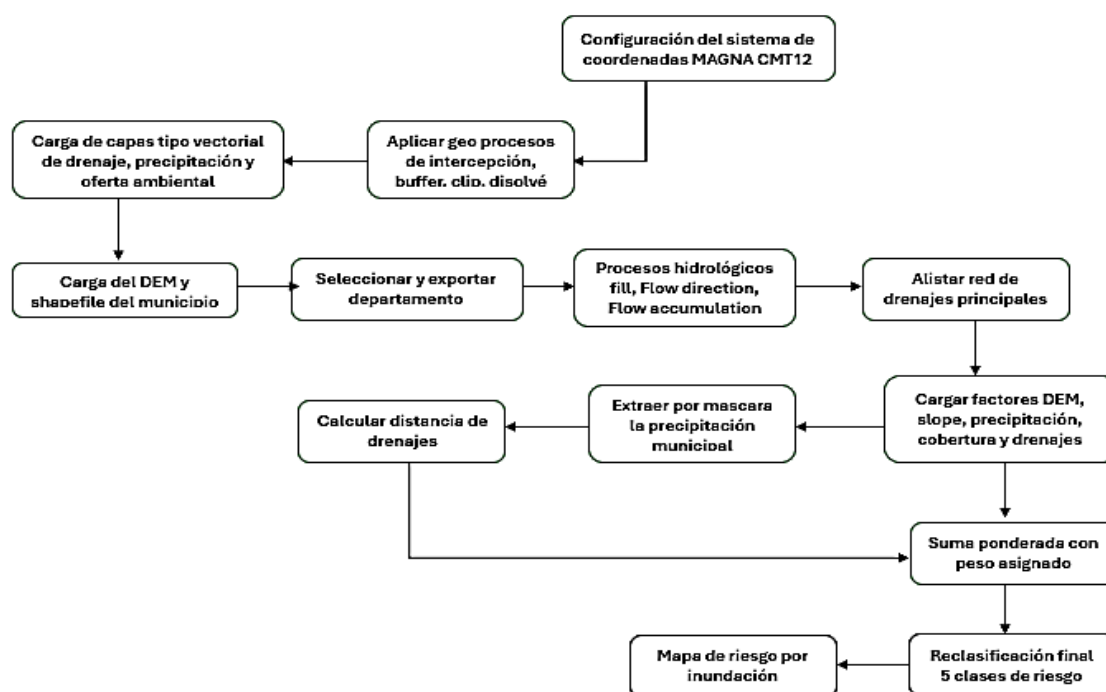
Metodología

La evaluación de la vulnerabilidad se desarrolló mediante un modelo de análisis multicriterio implementado en ArcGIS Pro, este modelo permitió integrar y ponderar múltiples variables territoriales del mes de abril del 2025 en Madrid Cundinamarca con el fin de identificar zonas con mayor susceptibilidad a inundación. Se consideraron datos de precipitación actuales del mes de abril, así como información sobre el terreno y la capacidad de drenaje en las zonas planas tal y como se ha documentado en estudios de (fajardo 2022). Esta aproximación ha demostrado ser eficaz en estudios regionales de riesgo hídrico donde la estructura jerárquica facilita la comparación y priorización de criterios (Efraimidou & Spiliotis, permitiendo obtener resultados mas precisos y adaptados a las particularidades del mes de abril.

Como se detalla en el diagrama de la (Figura 2), el proceso inicia con la carga de capas vectoriales y el Modelo de Elevación Digital (DEM), seguido de una fase de preprocesamiento donde se estandarizan los sistemas de coordenadas y se ejecutan análisis hidrológicos básicos como el llenado de sumideros (Fill) y la dirección de flujo. Este flujo metodológico permite que variables heterogéneas, como la precipitación y la cobertura del suelo, se integren mediante una suma ponderada para obtener la zonificación final del riesgo.

Figura 2.

Diagrama de flujo metodológico para la modelación del riesgo de inundación mediante SIG



Nota: Este flujograma contiene resumido todos los pasos para el desarrollo de la metodología.
Fuente: Autoría propia, 2025.

Variables de Entrada

Se utilizaron variables cruciales para la modelación de la susceptibilidad a inundación, siguiendo criterios que han demostrado mejorar la precisión de los modelos en estudios realizados en Cundinamarca (Colmenares et al., 2019).

- Modelo de Elevación Digital (DEM): Base para la obtención de variable.
- Pendiente del Terreno.
- Distancia a Drenajes: Proximidad a fuentes hídricas (ríos/quebradas).
- Acumulación de Flujo (FlowAcc): Indica la cantidad de flujo de agua que pasaría por una celda.
- Precipitación (Reclass_Prp).
- Cobertura de la Tierra (Cobertura Vegetal): Factor que modera la escorrentía.

Geo procesos Base

Los procesos iniciales de preparación y análisis de los datos incluyeron métodos comúnmente utilizados en estudios de modelación hidrológica y espacial, tales como los aplicados con herramientas como HEC-RAS y ArcGIS (Mendoza & Marcela, 2019).

Análisis Hidrológico (Ráster): Se trabajó con el DEM para obtener el Flujo Direccional (Flow Dir) y la Acumulación de Flujo (FlowAcc), así como la delimitación de cuencas hidrográficas.

Análisis Vectorial: Se aplicaron geoprosos como la Intercepción, Zonas de Influencia (Buffer) (para calcular la distancia a drenajes), Dissolve y Diferencia Simétrica para definir áreas de restricción legal y de producción.

Sistema de Coordenadas: Se verificó que todas las capas vectoriales y ráster utilizaran el sistema de referencia MAGNA-SIRGAS CMT12, garantizando coherencia espacial en los análisis. Este procedimiento es fundamental en los SIG, pues la correcta definición de los modelos de datos evita distorsiones y errores en los resultados generados por los geoprosos (Escolano Utrilla, 2015).

Ponderación Multicriterio

Definición de Factores y Ponderación

Se realizó una identificación de factores claves en el modelo de elevación digital DEM “pendiente, precipitación, distancia entre drenajes, coberturas de tierras, en cada factor se realizó una ponderación según se grado de importancia en la Tabla 1 se presentan los porcentajes de ponderación definidos para este estudio, donde la precipitación (35%) y la distancia a drenajes (30%) actúan como los principales detonantes y condicionantes de la inundación en Madrid.

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

Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenaje	30%
Total:	100%

Nota: La tabla 1 muestra las ponderaciones que fueron definidas según la influencia relativa de cada variable en la generación del riesgo de inundación, siguiendo los criterios de análisis multicriterio aplicados en el estudio.

Fuente: Obtenido de Guía de actividades Diplomado profundización Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio, 2025

Cada una de las variables ráster fue estandarizada (re-clasificada) a una misma escala (por ejemplo, de 1 a 5, donde 5 indica la mayor susceptibilidad). Posteriormente, se les asignó un peso ponderado (porcentaje de importancia) a cada variable (ej. Reclass DEM, Reclass Pendiente, Reclass_Prp, etc.) y se sumaron para obtener el mapa final de susceptibilidad, una metodología ampliamente aplicada en estudios recientes de susceptibilidad a inundaciones usando AHP (Pimenta et al., 2025).

Procesamiento de Datos

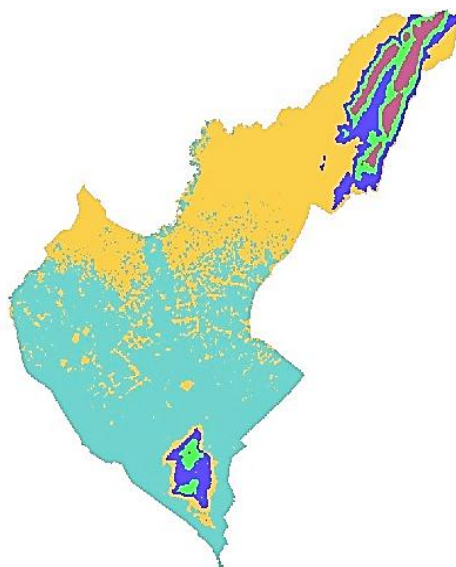
Modelo DEM y Pendiente

La configuración topográfica de un territorio juega un papel fundamental o determinante en los procesos hidrológicos superficiales como señalan Gamboa y Espejo (2024) en su caracterización del riesgo por inundación, ya que la pendiente del terreno regula directamente la velocidad de la escorrentía. Metodológicamente, se implementó un modelo de elevación DEM de alta resolución para derivar en un mapa de inclinación topográfica. Como indica Fajardo (2022), los ángulos de inclinación pronunciados incrementan los riesgos a posibles inundaciones, mientras que las zonas planas favorecen la acumulación de agua.

Como se observa en la Figura 3, el Modelo de Elevación Digital permite observar que el color azul y amarillo son el 89% del municipio es una zona plana con pendientes inferiores al 3%, lo que reduce drásticamente la velocidad de la escorrentía y favorece el encharcamiento prolongado.

Figura 3.

Modelo de elevación digital (DEM) y pendiente



Nota: a) El mapa presenta el modelo de elevación digital empleado en el análisis, donde se aprecia la variación altimétrica del terreno. La información del DEM permitió derivar variables como pendiente y zonas de acumulación de flujo, fundamentales en la evaluación de la susceptibilidad a inundaciones. b) Este mapa representa la clasificación de pendientes obtenida a partir del DEM, identificando áreas planas o con baja inclinación que favorecen procesos de inundación. Los tonos más claros indican pendientes menores y los más oscuros pendientes mayores.

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Mapa de Acumulación de Flujo

Representación del análisis hidrológico y fluvial. Las zonas con alta acumulación de flujo (líneas en su mayoría azules que forman cauces) Las áreas con mayor acumulación de flujo son las que, ante un evento de precipitación intensa, recibirán un volumen superior de agua, contribuyendo significativamente a la susceptibilidad y la formación de canales de inundación. Según Mendoza y Marcela (2019), la modelación de inundaciones y el análisis espacial son esenciales para comprender estos patrones.

El análisis hidrológico avanzado permite modelar cómo se desplaza el agua sobre el relieve. La Figura 4 ilustra las líneas de acumulación de flujo, las cuales representan los cauces naturales y áreas de concentración donde el volumen de agua es superior ante eventos de lluvia intensa, marcando las rutas críticas de inundación.

Figura 4.

Acumulación de flujo



Nota. El mapa presenta el modelo de elevación digital empleado en el análisis, donde se aprecia la variación altimétrica del terreno. La información del DEM permitió derivar variables como pendiente y zonas de acumulación de flujo, fundamentales en la evaluación de la susceptibilidad a inundaciones. *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

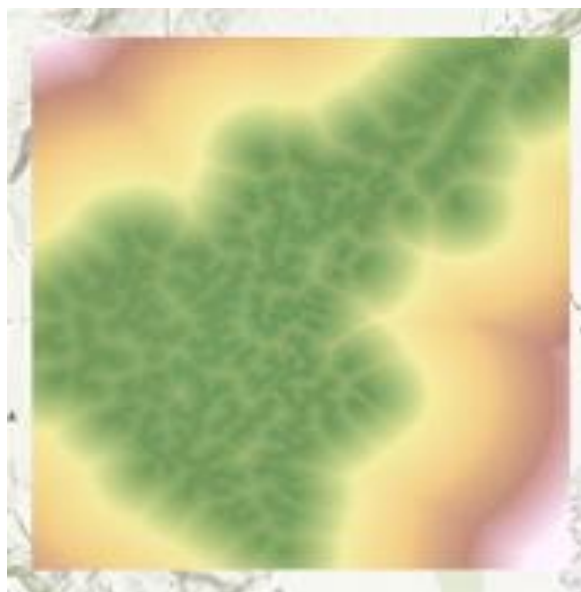
Mapa de Distancia a Drenajes

El mapa muestra el factor fluvial del riesgo de inundación, obtenido mediante el geo proceso de Zonas de Influencia aplicado a los cuerpos de agua (ríos y quebradas). Esta variable asigna la ponderación más alta de susceptibilidad a las zonas inmediatamente adyacentes a las fuentes hídricas y la menor ponderación a las zonas más alejadas. La proximidad es un factor crítico de vulnerabilidad, ya que estas áreas son las primeras afectadas por el desborde del caudal en eventos extremos, lo que subraya la importancia de la caracterización hidrográfica en la evaluación del riesgo de inundación, como destaca Fajardo (2022).

La cercanía a la red hídrica, especialmente al río Subachoque, es un factor crítico de vulnerabilidad fluvial. En la Figura 5 se evidencia cómo las áreas inmediatamente adyacentes a los drenajes principales reciben la mayor ponderación de riesgo, ya que son las primeras zonas afectadas por desbordamientos históricos.

Figura 5.

Distancia a Drenajes



Nota: El mapa evidencia la distancia de cada celda del territorio a los drenajes principales. Las áreas más cercanas a los cauces presentan mayor susceptibilidad a procesos de desbordamiento y acumulación de agua.

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Mapa de la Precipitación

Esta figura muestra la estandarización de las variables ambientales antes de su integración al modelo. El mapa de Precipitación (Reclass_Prp) asigna un alto puntaje a las zonas con mayores índices de pluviosidad, que actúan como el principal detonante climático de los eventos de inundación. Tal como señalan Colmenares, Vileikis y Vergara (2019), el análisis de sensibilidad de la cobertura espacial y resolución temporal de los datos de precipitación es crucial.

El detonante climático se analizó bajo un régimen bimodal típico de la región altoandina. La Figura 6 muestra la distribución de la precipitación, asignando puntajes más altos a las zonas con mayores índices de pluviosidad, factores que saturan la capacidad de infiltración del suelo en el mes de abril.

Figura 6.
Precipitación



Nota: El mapa muestra la distribución espacial de la precipitación en el municipio, donde los valores más altos se asocian a mayor probabilidad de saturación del suelo y generación de escorrentía. *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

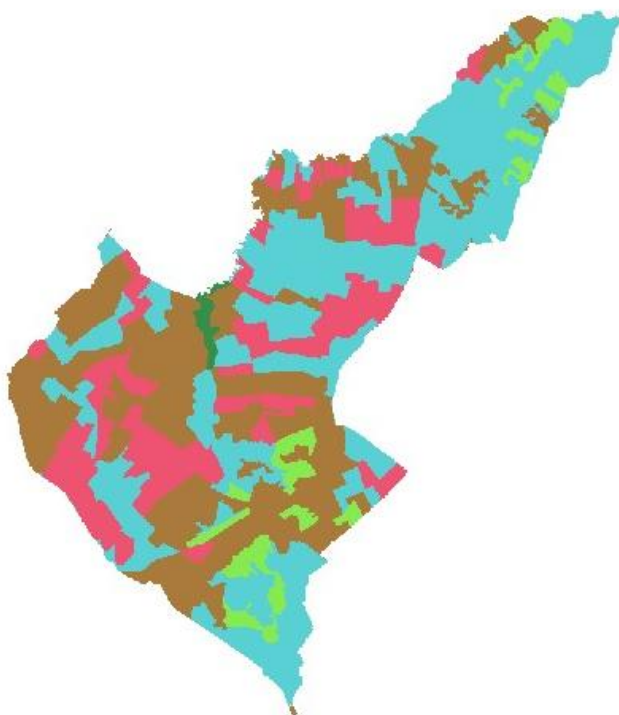
Cobertura de Tierra

La respuesta hidrológica de un territorio está condicionada por características como la cobertura vegetal. Partiendo de las zonas de cobertura nacional terrestres “IGAC”, se procedió a un proceso de reclasificación según el tipo de riesgo. Como indica Arif et al. (2023), la dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo influye significativamente en la respuesta hidrológica del territorio.

La capacidad del suelo para absorber agua varía según su uso y cobertura vegetal. Como se representa en la Figura 7, las zonas con cobertura de cultivos de flores y papa, predominantes en el 93% del área rural, presentan una respuesta hidrológica diferente a las zonas boscosas, influyendo directamente en la magnitud del riesgo.

Figura 7.

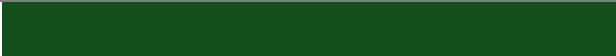




Mapa de Cobertura de Tierra



Nota: Este mapa representa las coberturas de tierra clasificadas según su tipo. Las zonas con vegetación densa presentan menor susceptibilidad, mientras que áreas urbanizadas, suelo desnudo o zonas agrícolas aumentan la vulnerabilidad frente a eventos de inundación. *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Una vez estandarizadas las variables, se procedió a categorizar los niveles de riesgo en una escala de cinco clases. La Tabla 2 muestra la simbología y los valores asignados para la reclasificación






Tabla 2. Reclasificación del riesgo por inundación

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

Nota: La tabla 2 presenta la reclasificación de los valores de susceptibilidad a inundación en cinco categorías cualitativas, asignando un valor numérico único a cada nivel de riesgo. La simbología utilizada corresponde a una escala de colores que facilita la interpretación cartográfica: verde oscuro (riesgo muy bajo), verde viche (riesgo bajo), amarillo (riesgo medio), naranja (riesgo alto) y rojo (riesgo muy alto). *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

La Tabla 3 se presenta el cálculo de la superficie en kilómetros cuadrados que ocupa cada nivel de riesgo dentro del municipio

Tabla 3. Riesgos por inundación en kilómetros cuadrados

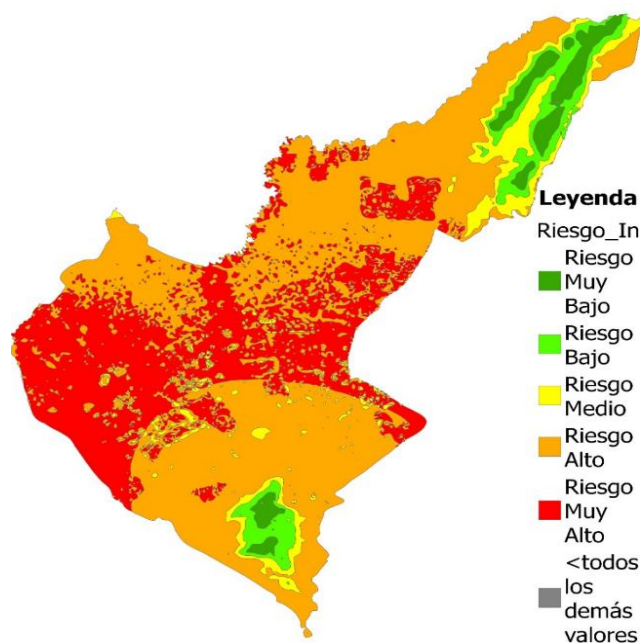
Riesgo	Área km2	Simbología
Riesgo muy bajo	3,256236	
Riesgo bajo	5,857218	
Riesgo medio	7,001035	
Riesgo alto	51,803169	
Riesgo muy alto	34,160445	

Nota: La tabla 3 muestra la distribución espacial del riesgo de inundación en kilómetros cuadrados para cada categoría definida en el modelo. Los valores representan el área total ocupada por cada nivel de susceptibilidad dentro del municipio. La simbología empleada sigue la misma escala cromática establecida en el análisis: verde oscuro (riesgo muy bajo), verde viche (riesgo bajo), amarillo (riesgo medio), naranja (riesgo alto) y rojo (riesgo muy alto). *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Resultados

Una vez finalizado el procesamiento de los datos en la herramienta de suma ponderada, se procedió a cuantificar la extensión territorial para cada nivel de susceptibilidad identificado. Como se detalla en la Figura 8, los resultados revelan una distribución asimétrica donde las categorías críticas predominan sobre las zonas seguras. Este gráfico permite visualizar rápidamente que la mayor parte del suelo del municipio de Madrid se encuentra bajo condiciones geográficas y climáticas que favorecen la ocurrencia de inundaciones, lo que representa un desafío significativo para la planificación del uso del suelo rural y urbano en este mapa se observa la clasificación realizada por colores dando a conocer que las zonas rojas y amarillas abarcan gran territorio y estos colores representa que hay riesgo alto de inundación, mientras que las zonas verdes indican bajo riesgos de inundación.

Figura 8.
colores de las 5 clases de riesgo

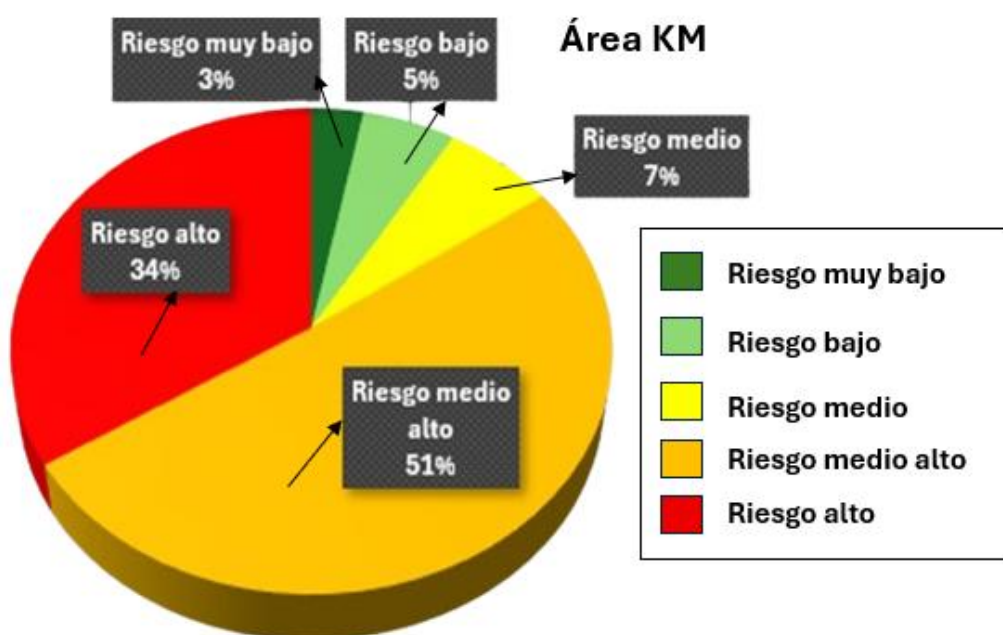


Nota. El mapa muestra la distribución porcentual del área municipal asignada a cada categoría de riesgo de inundación (riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto). Los porcentajes se calcularon a partir del área en kilómetros cuadrados de cada clase (ver Tabla 3) y facilitan la comparación relativa entre categorías. Se utiliza la simbología cromática adoptada en el estudio: verde oscuro (riesgo muy bajo), verde viche (riesgo bajo), amarillo (riesgo medio), naranja (riesgo alto) y rojo (riesgo muy alto). *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Para comprender la magnitud del riesgo en términos proporcionales, se realizó un análisis porcentual de las áreas afectadas. Como se observa en la Figura 9, las categorías de riesgo 'Alto' y 'Muy Alto' abarcan de manera conjunta el 85% del total del territorio municipal. Esta cifra es particularmente preocupante, ya que indica que solo una fracción mínima del municipio (menos del 10%) presenta condiciones de susceptibilidad baja. Este comportamiento porcentual está directamente relacionado con la topografía plana de la Sabana de Bogotá y la densidad de la red de drenajes que atraviesa la jurisdicción

Figura 9

Distribución porcentual del área según niveles de riesgo de inundación

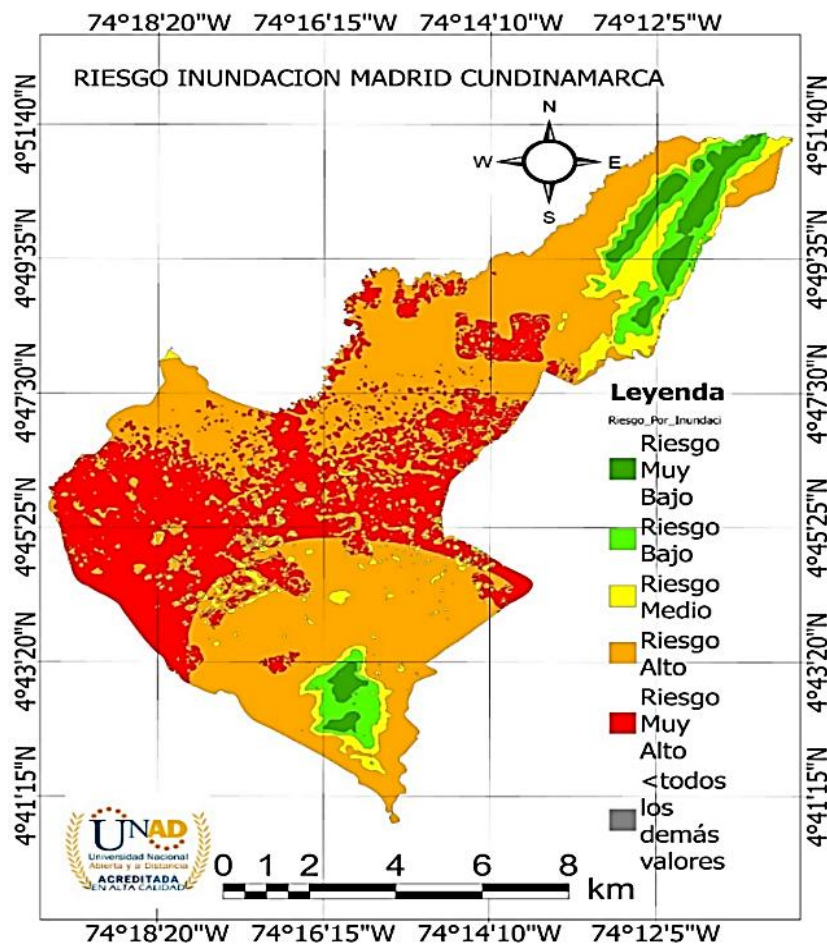


Nota: La figura muestra las proporciones que las categorías de Riesgo medio alto, riesgo Alto, riesgo Medio riesgo bajo y muy bajo municipal. *Fuente:* Autoría propia, 2025

El producto cartográfico final, que integra todas las variables físicas y ambientales analizadas, se presenta en la Figura 10. Este mapa de susceptibilidad a inundaciones permite identificar que las áreas de riesgo 'Muy Alto' se concentran principalmente en las zonas de menor pendiente y en las riberas del río Subachoque y sus afluentes. El riesgo que se ve en este mapa sirve como la herramienta técnica definitiva para que las autoridades locales prioricen las obras de mitigación y los sistemas de alerta temprana en las veredas más vulnerables identificadas en el modelo.

Figura 10.

Mapa de riesgo por inundación del municipio de Madrid Cundinamarca.



Nota: El mapa integra la ponderación de todas las variables del análisis multicriterio (pendiente, precipitación, cobertura de la tierra, distancia a drenajes y DEM) generando cinco categorías de susceptibilidad a inundaciones. Se empleó la simbología cromática establecida: verde oscuro (riesgo muy bajo), verde viche (riesgo bajo), amarillo (riesgo medio), naranja (riesgo alto) y rojo (riesgo muy alto). *Fuente:* Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Identificación de Zonas de Mayor y Menor Riesgo

Zonas de Mayor Riesgo: La categoría de Riesgo Alto con un área de 51,80 km² correspondiente a las veredas: bollero, las mercedes, la punta, valle del abra, los árboles, laguna larga, santa cruz dada a su localización presentan este nivel de riesgo, las de Riesgo Muy Alto con un área de 34,16 km² tales como corzo, puente piedra, santa cruz y la estancia dado a su localización tienen esta capacidad de riesgo, concentra en la mayor extensión del municipio, dada las condiciones edafoclimáticas estas zonas presentan una mayor afectación en la agricultura ya que los principales cultivos (flor y papa) desarrollados en las regiones antes mencionadas son muy susceptibles a la

humedad puesto que si se llegara a presentar unos índices de inundación se generaría pérdidas económicas en los sectores paperos y floricultores. En el mapa, estas zonas son naranja y rojo se extienden principalmente por el centro, occidente y sur del municipio. Los hallazgos indican que las áreas planas y aquellas aledañas a fuentes hídricas presentan los niveles más altos de susceptibilidad.

Zonas de Riesgo Medio: Según la categoría de riesgo medio a 7 km² se encuentran en la zona rural Valle del abra, la cuesta y en la zona urbana San pablo y villa maría dadas sus localizaciones geográficas y ante la presencia de cambio climático pueden presentar diferentes niveles de susceptibilidad lo que puede favorecer a algunos cultivos como lo es la papa presentada en esta parte del municipio.

Zonas de Menor Riesgo: según la categoría de Riesgo Muy Bajo a 4,26 km² correspondiente a las veredas la cuesta carrasquilla moyanos dada su ubicación geográfica se interpretar que es muy poco susceptible a inundaciones, para las de riesgo Bajo a 5,86 km² correspondientes a las veredas bebederos, chauta, potrero grande dada sus condiciones geográficas presentan un porcentaje bajo de susceptibilidad estas representan una porción muy pequeña del territorio. Estas zonas que son de color verde oscuro y verde claro se localizan en la parte nororiental del municipio, que generalmente corresponde a áreas con mayor pendiente o altitud dada a estas condiciones la presencia de cultivos es mayor que en las zonas con mayores riesgos por ende se obtiene una variedad de cultivos mucho más amplia en lo que podemos encontrar cultivos tipo exportación como la flora y la papa y cultivos locales como legumbres como cilantro, apio, repollo, lechuga etc.

En la Figura 8 es posible observar que en términos de proporciones que las categorías de Riesgo Medio-Alto (54%) y Alto (31%) representan en total un 85% del territorio municipal. Estos resultados son coherentes con la topografía y la hidrografía de Madrid, caracterizada por pendientes bajas que favorecen la acumulación de escorrentía. Estudios recientes han demostrado que, en cuencas con relieve plano, variables como pendiente, acumulación de flujo y distancia a drenajes tienen una influencia determinante sobre la susceptibilidad a inundaciones, lo que respalda los patrones observados en este análisis (Demissie et al., 2024). En ese sentido, no solo la escorrentía es de baja velocidad, sino que se favorece el encharcamiento y posibles inundaciones que afectan los sistemas productivos y las viviendas de la población, especialmente, durante las temporadas lluviosas.

Ahora bien, en el mapa de riesgo y las gráficas de distribución por categoría de riesgo también se observa que las zonas identificadas con riesgo bajo y muy bajo coinciden con un sector del municipio donde hay algunas lomas y elevaciones, lo que hace que la escorrentía sea más eficiente y no disminuya la susceptibilidad de la población ante las inundaciones o el encharcamiento.

Relación del Riesgo con Posibles Afectaciones

La alta susceptibilidad en las zonas planas se relaciona con varios factores críticos:

Comunidades e Infraestructuras: teniendo en cuenta Las configuraciones del terreno con pendientes que no superan el 3% lo que favorece el estancamiento del agua y disminuye la velocidad de la escorrentía lo que aumenta el riesgo de inundación. La proximidad de las áreas pobladas a los cuerpos de aguas como el río Subachoque hace que el riesgo por desborde fluvial sea un factor crítico ya que la infraestructura como las viviendas, carreteras y servicios públicos reducen la presencia de ecosistemas los cuales agilizan la absorción del agua, aumenta la probabilidad de inundaciones afectando las infraestructuras antes mencionadas generando pérdidas económicas y sociales significativas.

Sistemas Agropecuarios y Economía: La economía de Madrid esta principalmente basada en la agricultura, en sistemas agropecuarios como: cultivo de flores, papa, hortalizas y frutales, además un sector industrial significativo lo que lo hace vulnerable a inundaciones ya que las áreas agrícolas e industriales ubicadas en zonas planas y cerca de cuerpos de agua aumentan el riesgo de daño a la producción y a la infraestructura lo que puede generar pérdidas económicas significativas para los agricultores y los empresarios afectando esto considerablemente la economía local y regional del municipio.

Ecosistemas: las inundaciones pueden causar efectos negativos en los ecosistemas como lo es la pérdida de la biodiversidad, la alteración de los ciclos naturales del agua y la degradación de la cavidad del agua. Por otra parte, la expansión urbana no planificada y la ocupación de planicies inundables puede intensificar estos problemas ya que reducen la capacidad de los ecosistemas para absorber y filtrar el agua.

La conservación y la restauración de los ecosistemas naturales como lo son los humedales y las zonas de amortiguación pueden ayudar a mitigar el riesgo de inundaciones y proteger la biodiversidad del municipio.

Comparación de la Susceptibilidad Actual frente a Eventos Históricos

El modelo de susceptibilidad desarrollado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) revela que el 85% del territorio de Madrid se encuentra en niveles de riesgo alto y muy alto. Esta clasificación técnica presenta una correlación directa con la realidad histórica del municipio, el cual ha sido catalogado globalmente con un peligro de inundación fluvial alto, lo que implica la expectativa de eventos dañinos recurrentes.

Desde una perspectiva histórica, las condiciones naturales de la Sabana de Bogotá y planicie aluvial con pendientes suaves menores al 3% además baja capacidad de drenaje han favorecido

inundaciones sistemáticas, especialmente durante el fenómeno de La Niña. La modelo actual valida esta tendencia al identificar como zonas de Riesgo Muy Alto (34,16 km²) a las veredas de Corzo, Puente Piedra, Santa Cruz y La Estancia. Estos sectores coinciden plenamente con los registros de afectaciones reales reportados por medios nacionales, donde se documentan inundaciones recurrentes y daños en viviendas debido a lluvias intensas.

En cuanto a Think Hazard. (s.f.). El estudio asignó un peso del 35% a la precipitación y del 30% a la distancia entre drenajes. Esta ponderación es coherente con los antecedentes del IDEAM, que señalan al río Subachoque y su red de canales como los principales factores de amenaza por desbordamiento durante los picos del régimen bimodal en abril y octubre. Asimismo, el impacto económico identificado en el modelo sobre los cultivos de flores y papa refleja la vulnerabilidad histórica de estos sistemas productivos, situados en áreas planas que, ante eventos extremos, sufren saturación de suelos y pérdidas millonarias. Finalmente, el análisis destaca que estas dinámicas se han agravado con el tiempo debido a la expansión urbana no planificada y la ocupación de planicies inundables, factores que reducen la capacidad de absorción natural del ecosistema.

Conclusiones

El análisis de susceptibilidad a inundaciones realizado para el caso del municipio de Madrid, Cundinamarca, permitió reconocer la distribución del riesgo en el territorio, considerando una serie de factores determinantes que influyen a través de la aplicación del modelo multicriterio que se empleó para el geoprocetamiento con ArcGIS Pro. En la actualidad, este modelo es ampliamente usado en conjunto con herramientas de SIG, ya que permite integrar diferentes variables, así como capturar sus efectos para realizar aproximaciones más realistas a fenómenos y eventos complejos como las inundaciones. Por lo tanto, ofrece una visión más holística, facilita la estandarización y la comparación de datos heterogéneos, y a su vez, permite asignar pesos a cada variable para la ponderación de acuerdo con la importancia que se le atribuye a cada una en el contexto de análisis, mejorando la capacidad evaluativa y predictiva.

En cuanto a los resultados obtenidos, el producto cartográfico que se elaboró deja en evidencia la clasificación y distribución espacial del riesgo por inundaciones en el municipio de Madrid. El 85% del territorio se caracteriza por pertenecer a las categorías de riesgo alto y muy alto, mientras que el 15% restante se atribuye a zonas de riesgo medio a muy bajo. Estas observaciones son consistentes con la configuración topográfica y el relieve local, pues se trata de un municipio que depende un 80% de la producción agrícola destacándose el sistema productivo de la floricultura y papicultura los cuales cumplen un papel fundamental en la economía del municipio, si se viera afectado uno de estos sistemas por inundaciones generaría una problemática interna en la población de Madrid.

Es preciso señalar que a través de este trabajo fue posible comprender y poner en práctica el uso de herramientas SIG para el geoprocetamiento de información, así como la aplicación del modelo

para análisis multicriterio bajo la técnica de promedio ponderado, el cual resulta de gran utilidad y rigor para el abordaje de este tipo de fenómenos en el marco de la gestión del riesgo. Luego, se sugiere que la pertinencia y la precisión de la metodología empleada para evaluar la susceptibilidad al riesgo por inundaciones en el territorio caso de estudio tiene implicaciones significativas para la toma de decisiones en la gestión territorial, el ordenamiento agroambiental y la prevención.

Recomendaciones

De acuerdo con los resultados y hallazgos obtenidos, se proponen diversas recomendaciones orientadas al mejoramiento de la gestión del riesgo por inundación en el territorio del municipio de Madrid en Cundinamarca:

Se recomienda la implementación del SAT (sistema de alerta temprana) la cual busca implementar talleres y simulacros a las comunidades ubicadas en las zonas más vulnerables ofreciéndoles información teórica/práctica de protocolo de respuesta ante inundaciones.

Se recomienda la utilización de patrones y semillas genéticamente modificadas esto con el fin de que los cultivos sean más resistentes o tolerantes a la humedad Moreno Garrido, M. (2020). Implementación de sistema de cobertura vegetal: Mantener coberturas vegetales en las áreas de descanso o portes de los cultivos para reducir la velocidad de la escorrentía y favorecer a infiltración protegiendo el suelo de erosiones. Incorporar dichos productos como insumos en la planificación y ordenamiento agroambiental del territorio, incluyendo el PBOT y los planes de manejo ambiental. Lo anterior, porque es necesario regular las zonas de alto y muy alto riesgo, ya que cubren una proporción mayoritaria del territorio y pueden causar afectaciones muy importantes.

Se recomienda trabajar en la formulación e implementación de estrategias para controlar la escorrentía superficial, mitigar los efectos de las precipitaciones y regular los flujos de los drenajes mediante la utilización de caudales de drenaje para evitar encharcamiento. Esto puede considerarse, por ejemplo, la reforestación, la restauración ecológica, el uso de corredores biológicos y barreras vivas, infraestructura para drenaje artificiales, e igualmente, la promoción de sistemas agroforestales y agrícolas sostenibles, entre otros. Estas medidas de gestión natural y ecológica han demostrado eficacia para reducir picos de escorrentía, mejorar la infiltración y disminuir el riesgo de inundación cuando se implementan integradas en la gestión de cuencas (Parra-Gómez, 2024).

Por último, se recomienda realizar mayores esfuerzos para fortalecer la red de monitoreo local a nivel hidrometeorológico, la actualización de la información de manera periódica y la capacitación de los funcionarios y la población del municipio en temáticas relacionadas con la gestión del riesgo, la atención de emergencias y la sostenibilidad de los sistemas productivos en este contexto.

Referencias Bibliográficas

Alvarado-Bello, S. A. (2014). Uso de un sistema de información geográfica para el análisis de amenaza por inundaciones en la cuenca alta del río Bogotá, municipio de Cota, límites localidad de Suba (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/0be98da3-db9d-4227-849f-40c0a4de5272>

Arif, M., Sengupta, S., Mohinuddin, S. K., & Gupta, K. (2023). Dynamics of land use and land cover change in peri-urban area of Burdwan city, India: A remote sensing and GIS-based approach. *GeoJournal*, 88(4), 4189–4213. <https://doi.org/10.1007/s10708-023-10860-3>

Ashfaq, S., Tufail, M., Niaz, A., Muhammad, S., Alzahrani, H., & Tariq, A. (2025). Flood susceptibility assessment and mapping using GIS-based analytical hierarchy process and frequency ratio models. *Global and Planetary Change*, 251, 104831. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2025.104831>

Ávila-Ruiz, W., Salazar-Briones, C., Ruiz-Gibert, J. M., Lomelí-Banda, M. A., & Saiz-Rodríguez, J. A. (2025). Comparison of high-resolution digital elevation models for customizing hydrological analysis of urban basins: Considerations, opportunities, and implications for stormwater system design. *CivilEng*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/civileng6010008>

Caracol Radio. (2025, abril 22). ¿Vuelven las lluvias? IDEAM alerta clima en Colombia del 21 al 25 de abril: Regiones más afectadas. <https://caracol.com.co/2025/04/22/vuelven-las-lluvias-ideam-alerta-clima-en-colombia-del-21-al-25-de-abril-regiones-mas-afectadas/>

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1).

Colmenares, B. D. N., Vileikis, S. P., & Vergara, H. (2019). Análisis de sensibilidad de cobertura espacial y resolución temporal de datos de precipitación en la modelación de inundaciones en Cundinamarca, Colombia. *Revista de Tecnología*, 18(1), 70–88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9753558>

Demissie, Z., Rimal, P., Seyoum, W. M., Dutta, A., & Rimmington, G. (2024). Flood susceptibility mapping in a mixed land use and rapidly urbanizing watershed using GIS-based machine learning models. *Geo-spatial Information Science*, 27(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2024.100183>

Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., & Paulik, R. (2024). Flood impacts on agriculture under climate change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *Economics of Disasters and Climate Change*, 8, 283–316. <https://doi.org/10.1007/s41885-024-00147-3>

Efracimidou, E., & Spiliotis, M. (2024). A GIS-based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Processes*, 11(9). <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

Escolano Utrilla, S. (2015). La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos. En S. Escolano Utrilla (Ed.), *Sistemas de información geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía* (pp. 47–78). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/44840>

Fajardo, C. L. V. (2022). La caracterización hidrográfica y su influencia en la evaluación del riesgo de inundación. *Polo del Conocimiento*, 7(8), 1575–1594.

Gamboa E., V., & Espejo Díaz, A. F. (2024). Caracterización del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG en la zona urbana del municipio de Villavicencio, departamento del Meta (Tesis de especialización). Universidad de Manizales. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/0be98da3-db9d-4227-849f-40c0a4de5272>

Gobernación de Cundinamarca. (s.f.). Madrid. <https://www.cundinamarca.gov.co/municipios/Madrid>

IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Atlas climático de la región Andina: Madrid, Cundinamarca. <https://www.ideam.gov.co>

IDEAM (2018). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Estudio nacional del agua 2018). IDEAM. <http://www.ideam.gov.co>

IDEAM. (2025, marzo 17). Primera temporada de más lluvias en el país 2025. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/primera-temporada-de-mas-lluvias-en-el-pais-2025>

IDIGER. (2018). Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático –Amenaza por inundación en perspectiva de cambio climático (Vol. 2). <https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/4-DOCUMENTO-TECNICO-DE-SOPORTE/Gestion%20del%20Riesgo.%20Amenazas%20inundacion%20Urbano.pdf>

Infobae. (2025, mayo 4). Cundinamarca bajo alerta roja por lluvias intensas y desastres inminentes: Estos son los municipios más afectados. <https://www.infobae.com/colombia/2025/05/04/cundinamarca-bajo-alerta-roja-por-lluvias-intensas-y-desastres-inminentes-estos-son-los-municipios-mas-afectados/>

INGEOMINAS / Servicio Geológico Colombiano. (2016). Mapa de suelos y topografía Madrid y áreas circundantes: Implicaciones para la precipitación y la escorrentía. Ministerio de Ambiente. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/2024-10/Revista_Analisis_Geograficos_57_Dig.pdf

Luna Marín, V. (2023). Aplicación de los SIG en el análisis de riesgos de desastres generados por amenazas naturales y antrópicas (Monografía de especialización). Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/cb113039-1bc7-4fe8-b783-b5b6e327b327/content>

Mendoza, C., & Marcela, M. (2019). Modelación de inundaciones y análisis espacial con HEC-RAS y ArcGIS en el Eje Ambiental (Tesis). Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/fa26738e-538d-4d4e-8485-c66b2214f92d>

Moreno Garrido, M. (2020). Semillas resilientes al cambio climático. Universitat Oberta de Catalunya (UOC). <https://hdl.handle.net/10609/120833>

Olaya, V. (2020). Sistemas de información geográfica. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_información_geográfica

Parra-Gómez, L. F., & Franco-Idárraga, F. L. (2024). Gestión natural de inundaciones. Revista UIS Ingenierías, 23(2), 143–158. <https://doi.org/10.18273/revuin.v23n2-2024009>

Pimenta, L., Duarte, L., Teodoro, A. C., Beltrão, N., Gomes, D., & Oliveira, R. (2025). GIS-Based flood susceptibility mapping using AHP in the urban Amazon: A case study of Ananindeua, Brazil. Land, 14(8), 1543. <https://doi.org/10.3390/land14081543>

r Spark. (s.f.). El clima en Madrid, Colombia. <https://es.weatherspark.com/y/23360/Clima-promedio-en-Madrid-Colombia-durante-todo-el-año>

Radio Nacional de Colombia. (2025). Afectaciones por lluvias en municipios de Cundinamarca. <https://www.radionacional.co/noticias-colombia/afectaciones-por-lluvias-en-municipios-de-cundinamarca>

SISMAR-BOG. (s.f.). Sistema de modelación de amenazas y riesgo de Bogotá. https://www.researchgate.net/publication/313877863_SISTEMA_DE_MODELACION_DE_AMENAZAS_Y_RIESGO_DE_BOGOTA

Think Hazard. (s.f.). Madrid – Inundación fluvial. <https://www.thinkhazard.org/es/report/13889-colombia-cundinamarca-madrid/FL>

Enlace de sustentación:

https://youtu.be/x6QB6NAW8cA?si=XvTuF7yz5n_jwviK