

ZONA DE RIESGOS DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ENVIGADO

Francisco Willian Bedoya Ramos - fwbedoyar@unadvirtual.edu.co

John Freddy Álzate Pérez - jalzatep@unadvirtual.edu.co

Yojhan Stiven Trujillo Toro - ystrujillot@unadvirtual.edu.co

Docente Asesor: Yetfersson Arley Serrato Velosa - yetfersson.serrato@unad.edu.co

RESUMEN

El presente estudio identifica y analiza las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Envigado (Antioquia) mediante un modelo de análisis multicriterio implementado en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se integraron variables físicas y ambientales: modelo de elevación digital (DEM), pendientes, cobertura de la tierra, precipitación de noviembre, red de drenajes y distancia a los cauces principales. Con estas capas se generó un modelo ráster de riesgo, posteriormente reclasificado en cinco categorías (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) y convertido a formato vectorial para estimar el área ocupada por cada clase. Los resultados indican que las mayores susceptibilidades se concentran en sectores rurales de ladera y corredores próximos a quebradas, destacándose áreas de riesgo muy alto (13,2 km²) en sectores como Perico, Santa Catalina, Pantanillo y Las Palmas; mientras que las zonas de menor riesgo se ubican principalmente en la cabecera urbana (6,1 km²). En un contexto de intensificación de eventos de precipitación extrema asociada al cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021, secc. A.3.2), el ejercicio evidencia la utilidad de los SIG y del análisis multicriterio como soporte para la gestión del riesgo y el ordenamiento agroambiental, aportando insumos técnicos para priorización territorial y reducción de futuras afectaciones.

PALABRAS CLAVE

Modelación del riesgo de inundación - análisis multicriterio - sistemas de información geográfica - gestión del riesgo - ordenamiento agroambiental.

INTRODUCCIÓN

El incremento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos, incluidos los episodios de precipitación intensa, es un efecto ampliamente documentado del cambio climático y se asocia directamente con un aumento en la probabilidad de inundaciones pluviales y fluviales (IPCC, 2021, secc. A.3.2). En el Valle de Aburrá, la ocupación del territorio en zonas de planicie aluvial, la transformación de coberturas naturales y la presión urbana sobre los sistemas de drenaje, sumadas a la variabilidad climática regional, incrementan la exposición y la vulnerabilidad frente al riesgo de inundación, lo que exige el uso de herramientas técnicas para la priorización y la planificación territorial (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, & Cornare, 2018).

El municipio de Envigado presenta condiciones físicas que favorecen contrastes de susceptibilidad, con un rango altitudinal entre 1.530 y 2.880 m s. n. m., una temperatura media

aproximada entre 18 °C y 22 °C y una humedad relativa cercana al 70 % (Concejo Municipal de Envigado, 2024, p. 20). Adicionalmente, el municipio experimenta un régimen bimodal de lluvias con dos temporadas húmedas, destacándose el periodo septiembre–octubre–noviembre; por ello, el uso de noviembre como mes de referencia para la precipitación en la modelación resulta coherente con la climatología local reportada para el territorio (Gestión del Riesgo Municipio de Envigado, 2016, pp. 18–19). Eventos recientes han evidenciado afectaciones por lluvias intensas e inundaciones en Envigado, tanto en la zona rural como urbana (Tamayo Ortiz, 2019; Cogua Pérez, 2022).

En este contexto, la modelación espacial del riesgo de inundación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un insumo técnico fundamental para la planificación territorial y la formulación de medidas de mitigación. La integración multicriterio permite combinar y ponderar variables topográficas, hidrológicas y de uso del suelo en escenarios espaciales de susceptibilidad, proporcionando una base metodológica reproducible para la identificación de áreas críticas y el apoyo a la toma de decisiones institucionales, tal como se documenta en los enfoques de análisis multicriterio aplicados en SIG (Malczewski, 2006).

De esta manera, el estudio aborda la identificación y análisis de las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Envigado, integrando criterios técnicos, normativos y espaciales desarrollados de manera autónoma por el grupo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar y analizar las zonas de inundación de mayor y menor riesgo en el municipio de Envigado (Antioquia), mediante la aplicación de un modelo de análisis multicriterio en un Sistema de Información Geográfica.

Objetivos específicos

- Integrar y procesar información geoespacial del municipio de Envigado (modelo de elevación digital, pendientes, cobertura de la tierra, precipitación, red de drenajes y distancia a cauces) en un entorno SIG.
- Construir y ejecutar un modelo de análisis multicriterio para la estimación del riesgo de inundación, reclasificando y ponderando las variables seleccionadas hasta obtener un mapa ráster y vectorial de zonas de riesgo.
- Cuantificar el área correspondiente a cada categoría de riesgo de inundación y analizar su distribución espacial en relación con la cabecera urbana, las zonas rurales y la infraestructura, formulando implicaciones para la gestión del riesgo y el ordenamiento del municipio.

Identificación del caso de estudio

El caso de estudio corresponde al municipio de Envigado, ubicado en el departamento de Antioquia, en el Valle de Aburrá, al sur del área metropolitana de Medellín. Sus coordenadas geográficas son 6°10'19'' de latitud norte y 75°35'09'' de longitud oeste. El municipio cuenta con

39 barrios urbanos y 6 veredas rurales, y para el año 2024 presenta una población proyectada de 248.304 habitantes.

Envigado posee un área aproximada de 79,85 km² y un gradiente altitudinal que oscila entre 1.530 y 2.880 m s. n. m., lo que genera contrastes geomorfológicos significativos entre la cabecera urbana y las zonas rurales de ladera. Estas condiciones influyen directamente en los procesos de escorrentía superficial y en la susceptibilidad a eventos de inundación.

El régimen de precipitación del municipio es bimodal, con dos temporadas lluviosas principales: abril–mayo y septiembre–octubre–noviembre. Durante estos periodos se concentra una proporción significativa de la precipitación anual, razón por la cual se seleccionó el mes de noviembre como referencia para la modelación espacial del riesgo de inundación, en concordancia con la climatología local reportada para el territorio.

En términos de riesgo, el municipio reconoce la ocurrencia de inundaciones lentas, rápidas y avenidas torrenciales, asociadas principalmente a la red hídrica local y a la interacción entre pendientes, cobertura del suelo y cercanía a los cauces. Entre las principales quebradas vinculadas a estos escenarios se encuentran La Ayurá, La Sebastiana, La Morgan, La Honda, Las Palmas y La Sucia, las cuales atraviesan sectores urbanos y rurales con diferentes niveles de susceptibilidad.

Área de estudio: municipio de Envigado

Envigado se ubica en el departamento de Antioquia, en el Valle de Aburrá. Sus coordenadas geográficas son 6°10'19" N y 75°35'09" O; la distancia al centro de Medellín es de 10 km y a Bogotá de 545 km (Concejo Municipal de Envigado, 2024, p. 20). El municipio abarca un área total de 79,85 km² (Concejo Municipal de Envigado, 2024, p. 20) y presenta un gradiente altitudinal entre 1.530 y 2.880 m s. n. m. (Concejo Municipal de Envigado, 2024, p. 20). Para 2024, la población proyectada es de 248.304 habitantes (Dirección Seccional de Salud de Antioquia, 2024, pp. 19–20). En cuanto a la organización territorial, Envigado cuenta con 39 barrios urbanos y 6 veredas rurales (Gestión del Riesgo Municipio de Envigado, 2016, p. 16).

Respecto a escenarios por inundación, el municipio reconoce tipologías como inundaciones lentas, rápidas y avenidas torrenciales, asociadas a corredores hídricos locales y a quebradas reportadas en el diagnóstico, entre ellas La Ayurá, La Sebastiana, La Morgan, La Honda y Las Palmas (Gestión del Riesgo Municipio de Envigado, 2016, p. 46).

Metodología

La metodología se desarrolló en dos momentos: (i) análisis multicriterio para determinar zonas de riesgo por inundación y (ii) modelación y representación cartográfica final. El proceso se ejecutó en ArcGIS Pro con información geoespacial proyectada en MAGNA-SIRGAS CMT12.

1. **Preparación de insumos:** se cargaron capas ráster del modelo de elevación digital (DEM), pendientes y cobertura de la tierra. Se incorporó precipitación del mes de noviembre por corresponder a un periodo de alta pluviosidad local (Gestión del Riesgo Municipio de Envigado, 2016, pp. 18–19). Se integró la red de drenajes principales y se calculó un ráster de distancia a cauces para representar la influencia de la proximidad a quebradas.

2. **Reclasificación y estandarización:** cada variable se reclasificó en rangos cualitativos y cuantitativos asociados a mayor o menor susceptibilidad. El DEM y las pendientes se agruparon por rangos de altitud e inclinación; la precipitación y la distancia a drenajes se reclasificaron en clases; y la cobertura de la tierra se transformó en categorías con valores más altos para superficies que favorecen la escorrentía y más bajos para coberturas que promueven infiltración.
3. **Integración multicriterio:** las capas estandarizadas se combinaron mediante ponderación y superposición para obtener un mapa ráster de riesgo con cinco clases (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto). La integración y ponderación de variables corresponde a un enfoque ampliamente documentado en la literatura de GIS-MCDA (Malczewski, 2006).
4. **Postproceso y análisis:** el ráster final se convirtió a polígonos, se aplicó suavizado de bordes y disolución por categoría de riesgo. Finalmente, se calculó el área en km² para cada clase y se elaboraron los productos cartográficos y estadísticos para interpretación.

Pasos.

Parte 1. Análisis multicriterio para determinar zonas de riesgo por inundación.

1.1. Cargue de mapas ráster DEM de pendientes y cobertura de tierras

Figura 1

Ráster DEM pendientes

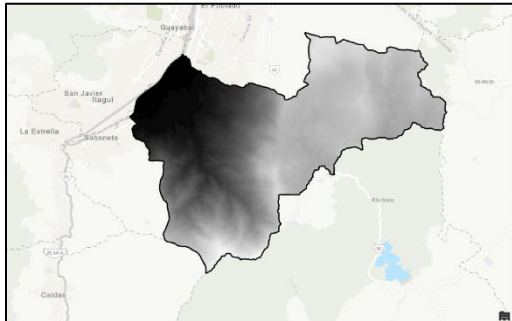
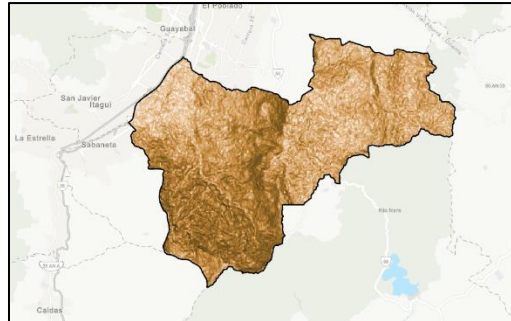


Figura 2

Ráster DEM cobertura de tierras



1.2. Cargue de mapas ráster de acumulación de flujo con drenajes principales y precipitaciones en el mes de noviembre

Figura 3

Ráster acumulación flujo de drenajes principales

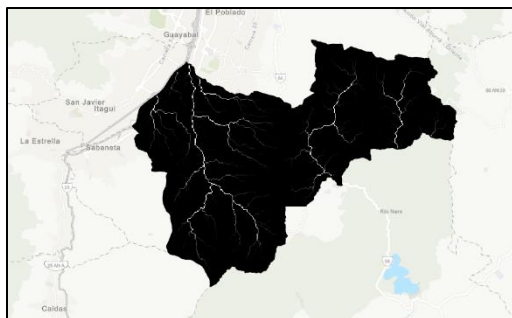
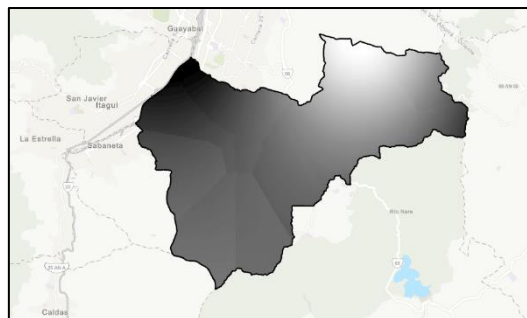


Figura 4

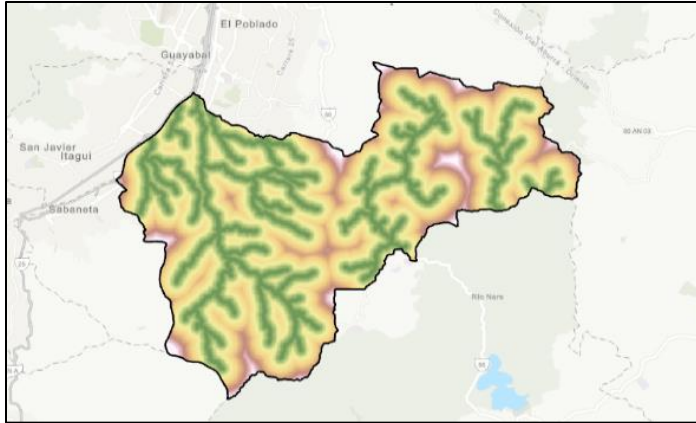
Ráster precipitación mes de noviembre



1.3. Ráster - Calculo las distancias de las celdas desde los drenajes origen más cercanos.

Figura 5

Ráster cálculo de distancias



Parte 2. Modelación del riesgo por inundación

Estimación de clasificación cualitativa y cuantitativa

2.1. Ráster - Reclasificación del modelo de elevación digital DEM y pendientes del municipio.

Figura 6

Ráster reclasificación del modelo de elevación DEM

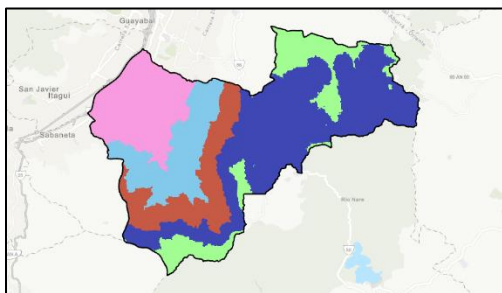
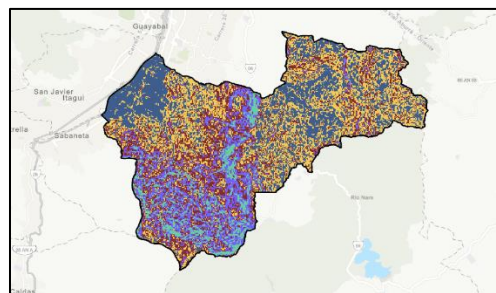


Figura 7

Ráster de pendientes



2.2. Ráster - Reclasificación de precipitaciones y distancias de los drenajes del municipio.

Figura 8

Ráster reclasificación precipitaciones

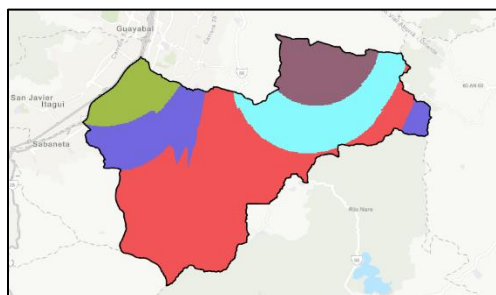
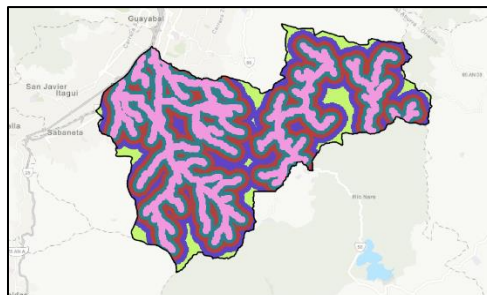


Figura 9

Ráster reclasificación distancia drenajes



2.3. Ráster - Reclasificación de cobertura de tierras y ponderación múltiples capas de datos (modelo de elevación digital DEM, pendientes, cobertura de tierras, precipitación, distancia entre drenajes)

Figura 10

Ráster reclasificación coberturas tierras

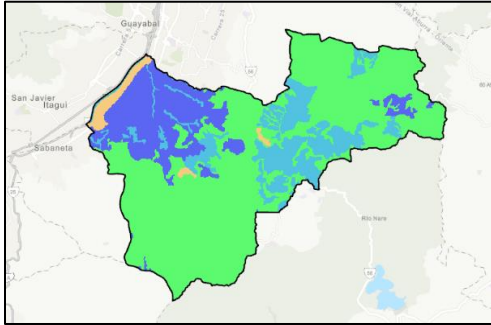
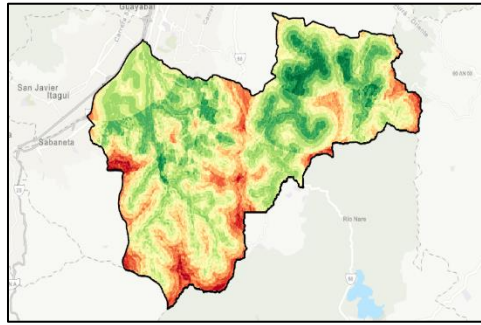


Figura 11

Ráster reclasificación ponderación múltiples capas de datos



3.4. Se finaliza con el ráster de la zona de riesgo de inundación con calificación cualitativa /simbología y km2 por zona de riesgo

Figura 12

Ráster zona de riesgo inundación

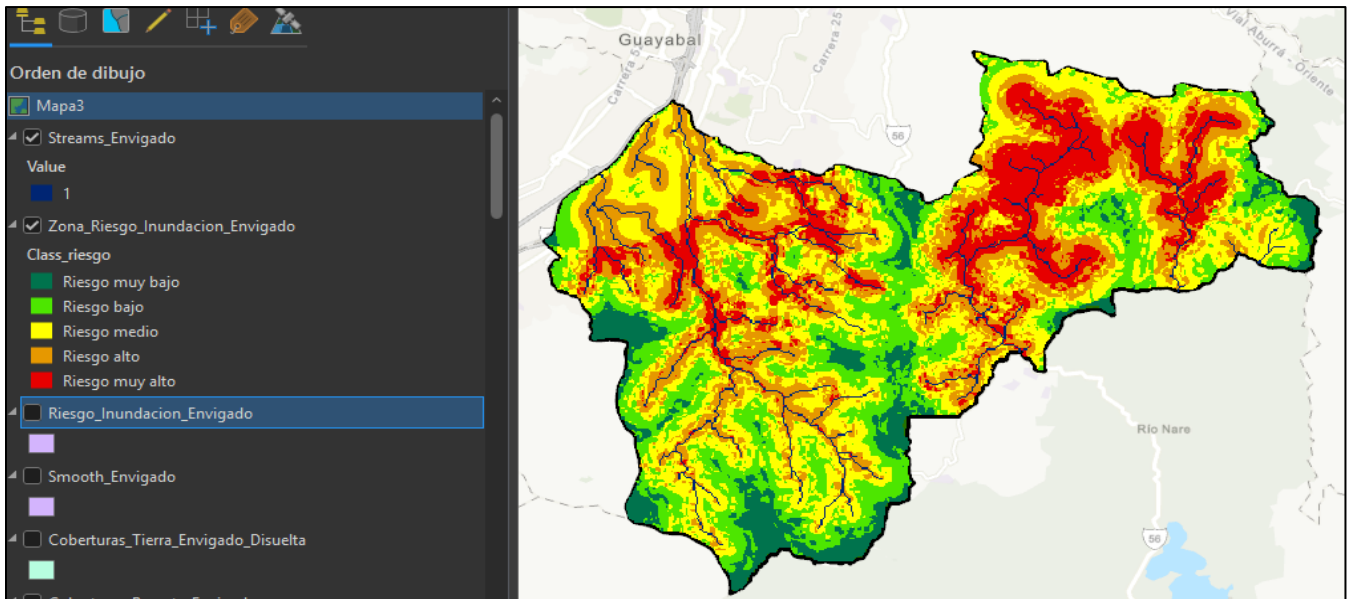
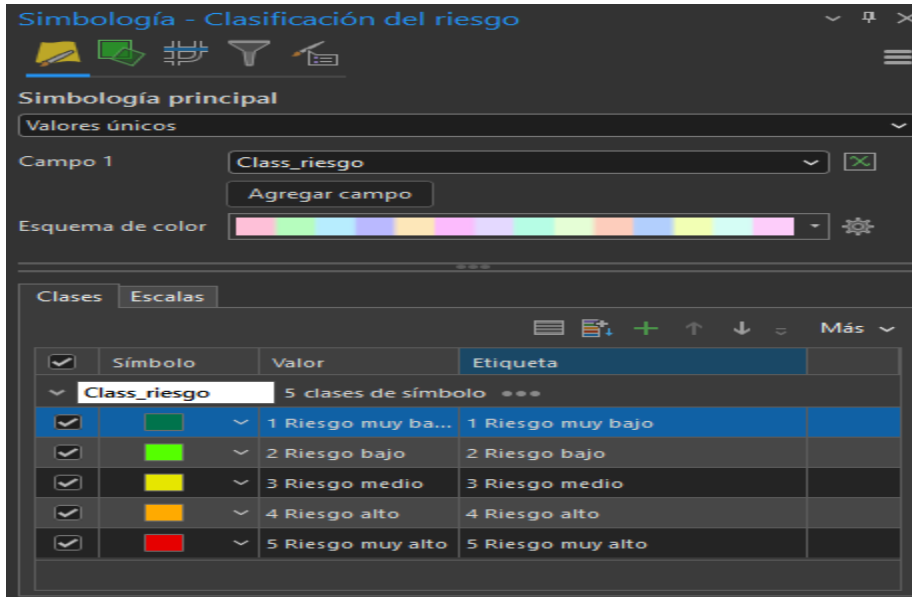


Figura 13

Simbología de clasificación del riesgo



Resultados

En la presente sección se muestran los principales productos cartográficos obtenidos a partir de la modelación del riesgo de inundación para el municipio de Envigado. El mapa de interpretación presenta la distribución espacial de las cinco categorías de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) en el territorio municipal, integrando la información derivada del análisis multicriterio realizado en ArcGIS Pro. A partir de este mapa y el grafico de torta, donde se consigna el área en kilómetros cuadrados para cada clase de riesgo, se llevó a cabo el análisis comparativo y la identificación de las zonas más críticas, tal como se describe en los apartados siguientes.

Figura 14

Mapa de Riesgo inundación Municipio de Envigado

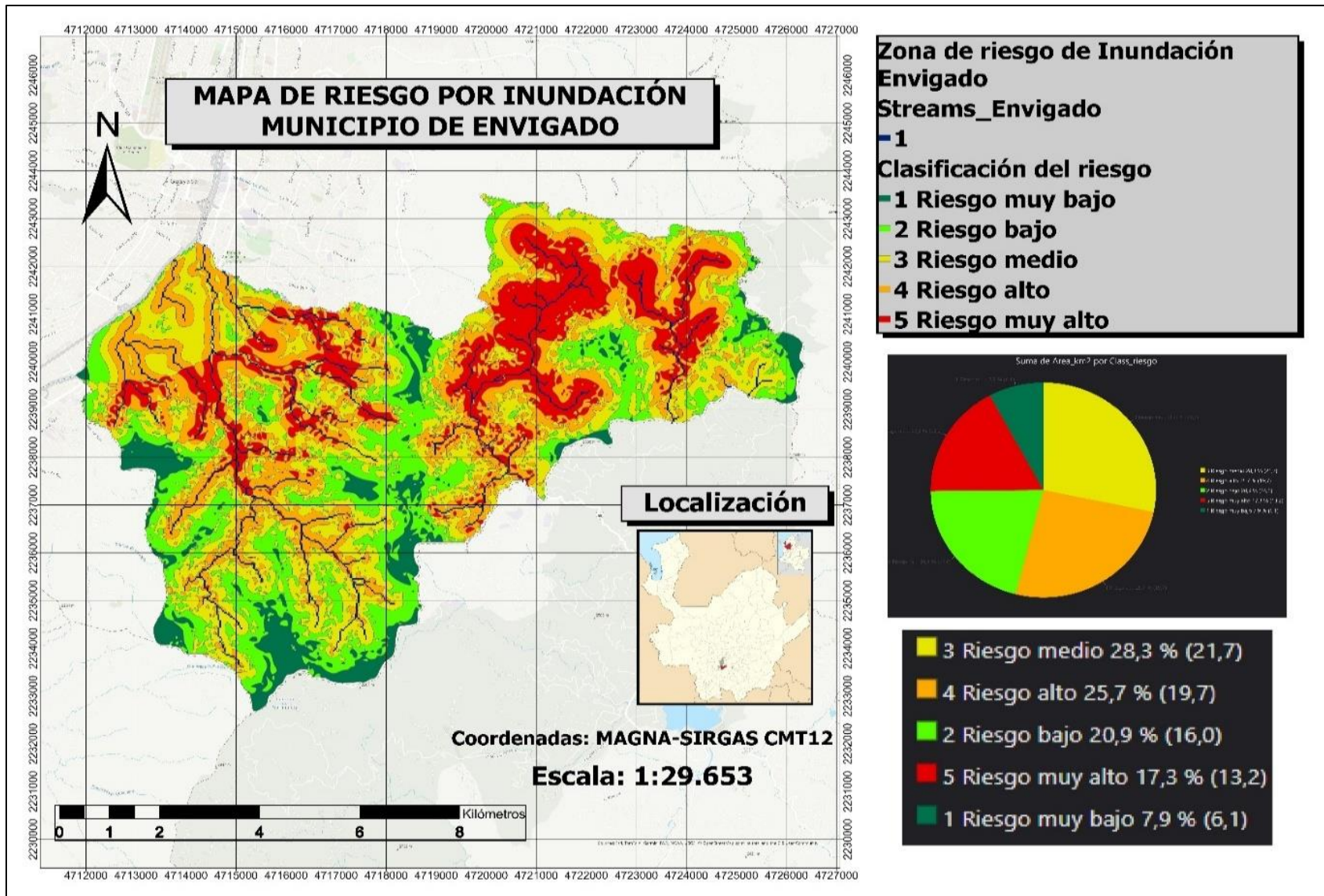
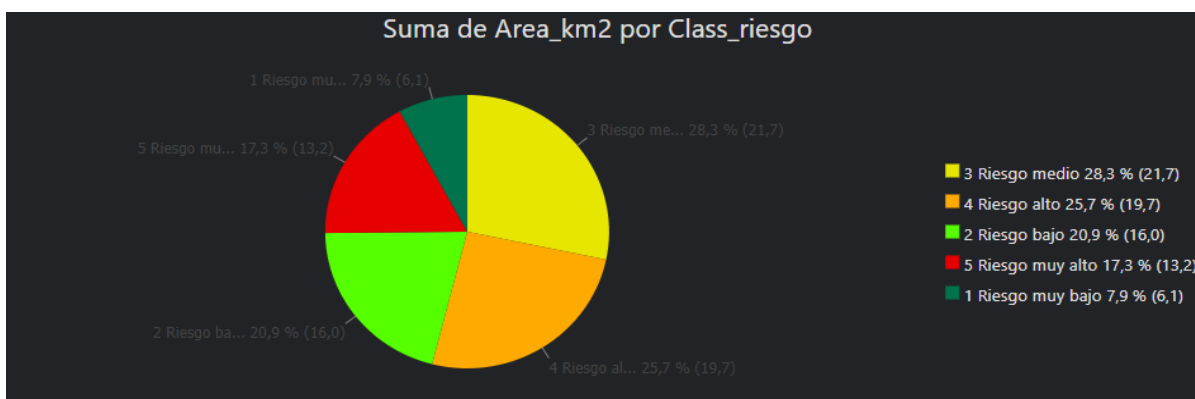


Figura 15

Gráfico tipo torta de clasificación del riesgo en % y por K2



ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de la distribución espacial del riesgo de inundación evidencia una diferenciación marcada entre las zonas rurales de ladera y la cabecera urbana del municipio de Envigado. Las categorías de riesgo alto y muy alto se concentran principalmente en sectores rurales como Perico, Santa Catalina, Pantanillo, Las Palmas y la parte baja de El Escobero, áreas que presentan pendientes pronunciadas, alta pluviosidad y proximidad a cauces, factores que incrementan la susceptibilidad frente a eventos de inundación y avenidas torrenciales.

El modelo multicriterio permitió identificar una extensión aproximada de 13,2 km² clasificada en categoría de riesgo muy alto, localizada principalmente en zonas con fuerte influencia de la red de drenaje y morfologías abruptas. Estos resultados guardan coherencia con eventos recientes registrados en el territorio, como las fuertes lluvias ocurridas en noviembre de 2022, que generaron afectaciones en el Alto de Palmas y el corredor de El Escobero, dejando un saldo de 43 viviendas damnificadas (Cogua, 2022).

Por su parte, las categorías de riesgo muy bajo y bajo se localizan mayoritariamente en la cabecera urbana y en algunas áreas elevadas del territorio, con una superficie estimada de 6,1 km². En estos sectores predominan pendientes más suaves y una mayor presencia de infraestructura de drenaje, lo que contribuye a una menor susceptibilidad. Sin embargo, la cabecera municipal no está exenta de afectaciones, como lo evidencia el evento ocurrido en febrero de 2019, cuando un aguacero intenso acompañado de granizada ocasionó inundaciones en la malla vial, edificaciones y predios privados, además de la caída de árboles en distintos puntos del casco urbano (Tamayo, 2019).

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian la utilidad del análisis multicriterio en SIG para identificar zonas críticas de riesgo de inundación y resaltan la importancia de integrar información histórica de eventos con productos de análisis espacial, como insumo fundamental para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial del municipio (Área Metropolitana del Valle de Aburrá et al., 2018; Municipio de Envigado, 2016).

CONCLUSIONES

El análisis espacial realizado permitió comprender la distribución del riesgo de inundación en el municipio de Envigado, evidenciando una concentración de las categorías de riesgo alto y muy alto en sectores rurales de ladera y corredores asociados a las principales quebradas, mientras que las zonas de riesgo muy bajo y bajo se localizan principalmente en la cabecera urbana y en algunas áreas altas del territorio. Esta diferenciación espacial constituye un insumo clave para priorizar intervenciones y orientar la planificación territorial.

El uso de Sistemas de Información Geográfica, combinado con un modelo de análisis multicriterio, se mostró adecuado y eficiente para integrar variables topográficas, hidrológicas y de uso del suelo en la estimación del riesgo de inundación. La posibilidad de reclasificar, ponderar y superponer capas de información permitió construir un mapa sintético de riesgo, cuantificar áreas por categoría y generar productos cartográficos de fácil interpretación para la toma de decisiones.

Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de fortalecer la gestión del riesgo y el ordenamiento agroambiental en el municipio de Envigado, incorporando las zonas de mayor riesgo en instrumentos de planificación, regulando los usos del suelo en áreas susceptibles, promoviendo prácticas de manejo adecuado de cuencas y mejorando la infraestructura de drenaje urbano y rural. De esta manera, el estudio contribuye a reducir la exposición de la población y la infraestructura a futuros eventos de inundación y a consolidar un modelo de desarrollo más resiliente.

RECOMENDACIONES

Establecer o ejecutar acciones que permitan mitigar o controlar los riesgos a los que se ven expuestos los habitantes del sector, evitando asentamientos de vivienda cerca de las zonas de riesgo, monitoreo constante de la zona de bosques para evitar su deforestación o movimiento de tierra que propicien deslizamientos que puedan afectar el cauce de las quebradas

Fortalecer las acciones de manejo y conservación de las microcuencas que atraviesan el municipio, mediante programas de reforestación, control de erosión, protección de rondas hídricas y regulación de vertimientos, con énfasis en sectores rurales como Palmas, El Escobero y Perico.

Mejorar y mantener de forma preventiva la infraestructura de drenaje pluvial en la cabecera urbana, incluyendo limpieza periódica de sumideros, adecuación de canales y obras de conducción, con el fin de reducir la probabilidad de inundaciones súbitas en vías y edificaciones durante eventos de lluvia intensa.

Desarrollar estrategias de educación y comunicación del riesgo dirigidas a la comunidad, que permitan socializar las zonas de mayor susceptibilidad, promover comportamientos seguros y fortalecer los mecanismos de preparación y respuesta ante emergencias.

Actualizar periódicamente la modelación del riesgo de inundación incorporando nueva información climática, hidrológica y de uso del suelo, de manera que el municipio cuente con herramientas dinámicas que apoyen la toma de decisiones en un contexto de cambio climático y transformación territorial.

Desde el enfoque agroambiental, es fundamental integrar la gestión del riesgo por inundación con prácticas de manejo sostenible del suelo y del recurso hídrico, especialmente en las zonas rurales y de transición urbano-rural del municipio de Envigado. Se recomienda promover sistemas productivos resilientes que reduzcan la vulnerabilidad de los suelos agrícolas frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

En primer lugar, se sugiere implementar prácticas de conservación de suelos, tales como terrazas agrícolas, curvas a nivel, coberturas vegetales y barreras vivas, con el fin de disminuir la escorrentía superficial, prevenir la erosión y mejorar la infiltración del agua en áreas con pendientes moderadas y fuertes. Estas prácticas contribuyen a la reducción del riesgo de inundaciones aguas abajo y favorecen la estabilidad de los sistemas productivos.

Asimismo, es recomendable fortalecer el uso de sistemas agroforestales y silvopastoriles en las zonas rurales del municipio, especialmente en las áreas cercanas a quebradas y cuerpos de agua. La incorporación de especies arbóreas nativas mejora la regulación hídrica, incrementa la retención de humedad en el suelo y actúa como medida natural de mitigación frente a avenidas torrenciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia), & Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare). (2018). *Fase de diagnóstico (Documento 2.7): Caracterización de las condiciones del riesgo (POMCA cuenca del río Aburrá–Medellín, NSS 2701-01)* [Informe técnico]. (p 1802) https://www.cornare.gov.co/POMCAS/planes-de-ordenacion/DocumentosFasesRioAburra/2.7.Caract_CondiRiesgo_vf.pdf

Centro de historia de Envigado. (s.f). Datos Básicos de Envigado. <https://www.centrodehistoriaenvigado.com/datos-basicos-de-envigado/>

Cogua Pérez, S. (2022, 23 de noviembre). *En imágenes: Graves inundaciones en la vereda Las Palmas, de Envigado, dejaron 43 casas afectadas. Q'hubo Medellín.* <https://historico.qhubomedellin.com/ultimas-noticias/valle-de-aburra/inundaciones-dejaron-43-casas-afectadas-en-vereda-las-palmas-de-envigado/>

Concejo Municipal de Envigado. (2024). *Documento técnico soporte del Plan de Desarrollo Municipal 2024–2027* (p. 20). <https://www.concejoenvigado.gov.co/wp-content/uploads/2024/05/DocumentoTecnicoSoportePDM.27.05.2024-2.pdf>

Dirección Seccional de Salud de Antioquia. (2024). *Análisis de situación de salud (ASIS): Envigado 2024* [PDF]. (p.20) https://dssa.gov.co/asis/documentos2024/asis2024/VALLE_DE_ABURRA/Envigado%202024.pdf

Corporación Otraparte. (2002 – 2025). Municipio de Envigado. <https://www.otraparte.org/casa-museo/envigado/municipio-de-envigado/>

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press. (Secc A.3.2) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>

Municipio de Envigado. (2016). *Plan municipal para la gestión del riesgo de desastres: Municipio de Envigado (Antioquia)* [PDF]. (p. 18-19, 39,49,46) <https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/5443-11569.pdf>

Tamayo Ortiz, H. Y. (2019, 25 de febrero). *Fuerte granizada tumbó árboles e inundó calles de Envigado, Antioquia*. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/fuerte-aguacero-causo-estragos-en-envigado-antioquia-330988>

YouTube. (s. f.). *Reunión con FRANCISCO WILLIAM BEDOYA RAMOS 20251207 Grabación de la reunión* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/Prf5pSdl2T4> (**ENLACE DEL VIDEO**)