

Modelación del riesgo de inundación mediante análisis multicriterio en SIG para el municipio de Arauca

Liliana Paola Barrios Gómez. lpbarriosg@unadvirtual.edu.co

Lilibeth Yuliana Gallego. Valencia lygallegov@unadvirtual.edu.co

Luis Felipa Madera Padilla. lfmaderap@unadvirtual.edu.co

María Victoria Castañeda García. mvcastanedag@unadvirtual.edu.co

Alex Enrique Ordoñez. alex.ordonez@unad.edu.co

Resumen

El estudio tuvo como objetivo delimitar y caracterizar las zonas con diferente nivel de riesgo de inundación en el municipio de Arauca, como insumo para la planificación territorial y la gestión del riesgo. La modelación se realizó en un Sistema de Información Geográfica mediante análisis multicriterio, integrando variables de pendiente, altitud, uso del suelo, distancia a corrientes y precipitación crítica. Los insumos principales fueron el modelo digital de elevación, la red hidrográfica y la cartografía temática municipal. Se aplicó una superposición ponderada de capas reclasificadas en rangos de amenaza, generando un índice espacial de riesgo. El resultado fue un mapa continuo reclasificado en cinco categorías (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), que evidencia áreas extensas de riesgo alto y muy alto asociadas a planicies aluviales y zonas ribereñas, y sectores de riesgo bajo en áreas elevadas. Este producto cartográfico constituye un insumo clave para orientar medidas de mitigación, ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

Palabras clave: Análisis multicriterio, SIG, Inundaciones, Riesgo, Ordenamiento territorial

Introducción

El cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos, modificando los patrones de lluvia y aumentando el riesgo de inundación en territorios planos como Arauca. La localización sobre la llanura aluvial del río Arauca y la presencia de planicies sujetas a desbordamientos hacen que pequeñas variaciones en el régimen de lluvias generen grandes áreas anegadas, afectando barrios ribereños y veredas rurales. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica permiten integrar información topográfica, hidrológica y socioeconómica para construir modelos espaciales de riesgo. Mediante análisis multicriterio se asignan pesos a factores como pendiente, altitud, proximidad a cauces y uso del suelo, generando un índice continuo de riesgo. En consecuencia, el propósito del estudio es aplicar un modelo multicriterio en SIG para mapear el riesgo de inundación en Arauca e identificar las zonas más críticas.

Objetivos

General Analizar y mapear el riesgo de inundación en el municipio de Arauca mediante un modelo multicriterio en SIG, con el fin de identificar las zonas críticas y generar insumos cartográficos para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

Específicos.

- Compilar y estandarizar la información cartográfica y temática relevante (DEM, red hidrográfica, uso del suelo, pendientes, distancias a cauces).
- Diseñar y aplicar un modelo multicriterio en SIG que integre factores de amenaza y exposición mediante reclasificación, ponderación y combinación de capas.
- Generar el mapa final de riesgo reclasificado en categorías y realizar la interpretación de patrones espaciales, destacando zonas críticas y proponiendo lineamientos básicos para su incorporación en instrumentos de ordenamiento y gestión del riesgo.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Arauca, ubicado en la región de la Orinoquia colombiana, sobre la margen sur del río Arauca, tiene una extensión de 5.751 km². Su cabecera urbana compacta y la amplia zona rural conformada por veredas y hatos ganaderos se localizan en sabanas inundables con usos agropecuarios extensivos. La baja altitud (120 m s.n.m.) y las pendientes suaves favorecen el estancamiento de agua y la expansión lateral de crecientes. La red hídrica está dominada por el río Arauca y caños que se desbordan en temporada de lluvias, afectando barrios ribereños y áreas rurales bajas. Climáticamente, presenta un régimen tropical monomodal con lluvias entre abril y noviembre, alcanzando más de 2.000 mm anuales. Los máximos se registran en mayo y junio, cuando se incrementa la probabilidad de desbordamientos.



Figura 1: Mapa de ubicación del municipio de Arauca.

Metodología

Para estimar las áreas de riesgo de inundación en el municipio de Arauca se aplicó una metodología de análisis multicriterio en ambiente SIG. En primer lugar, se homogeneizaron todos los insumos cartográficos al mismo sistema de referencia espacial (MAGNA-SIRGAS CMT-12) y una resolución adecuada para el ámbito municipal, garantizando la compatibilidad y precisión de los datos. Luego se integró el Modelo Digital de Elevación del territorio de Arauca junto con la capa del límite municipal y las capas derivadas de pendientes, coberturas de la tierra, distancia a la red de drenaje y presión correspondiente al mes de mayor pluviosidad, lo que permitió caracterizar el relieve, la capacidad de retención de agua del suelo y la cercanía de las unidades de paisaje a los cuerpos hídricos susceptibles de desbordamiento. Mediante su reclasificación y ponderación se construyó un índice espacial de riesgo de inundación que identifica de manera diferenciada las zonas con mayor probabilidad de sufrir anegamientos, sirviendo como base para orientar acciones de ordenamiento y gestión del riesgo en el municipio de Arauca.

Tabla 1. Pesos asignados a las variables

Variable	Peso (%)	Justificación
Pendiente	25	Controla escorrentía y acumulación
Altitud	20	Áreas bajas más propensas a anegamiento
Distancia a cauces	25	Proximidad directa a desbordamientos
Uso del suelo	15	Exposición de actividades humanas
Precipitación crítica	15	Intensidad de lluvias

Se aplicó combinación lineal ponderada en ArcGIS Pro (Raster Calculator), generando un índice continuo de riesgo. Posteriormente se reclasificó en cinco categorías (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto).

Figura 2.

DEM recortado, capa ráster base para modelar el fenómeno hidrológico de inundación



Fuente. Autoría propia

Para generar la capa de distancia a drenajes en el municipio de Arauca se partió del Modelo Digital de Elevación, al cual se le aplicó la herramienta Fill del conjunto Hydrology para corregir depresiones espurias y garantizar la continuidad del flujo. Con el DEM rellenado se ejecutaron las herramientas Flow Direction y Flow Accumulation, que permitieron modelar la dirección del escurrimiento superficial y localizar las celdas con mayor acumulación de flujo, a partir de las cuales se definieron los cauces principales según los gradientes de pendiente descendente.

En la siguiente etapa se incorporan las capas de uso/cobertura del suelo y contenedor del municipio de Arauca, empleando herramientas de geoprocésamiento como Polygon to Raster, Extract by Mask, Dissolve y Reclassify para homogeneizar el formato y preparar las variables requeridas para el modelo de riesgo de inundación. A partir del ráster de acumulación de flujo se obtuvo la capa Stream mediante umbral de acumulación, y posteriormente se utilizó la herramienta Euclidean Distance para calcular la distancia a la red de drenaje principal, insumo fundamental para identificar la relación entre las áreas potencialmente inundables y los cursos de agua superficiales del territorio (Tovar & Cely Rojas, 2016).

Figura 3

Pendientes municipio de Saravena (Arauca)



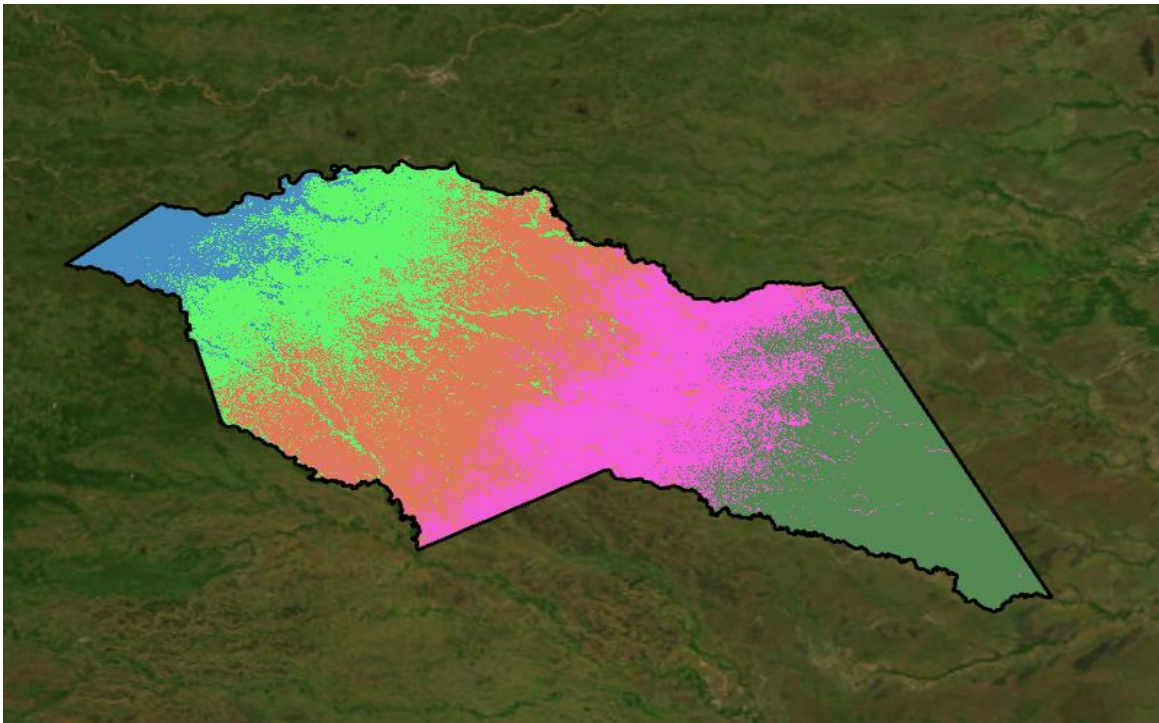
Fuente. Autoría propia

Posteriormente, las capas factores más relevantes para el modelo de Arauca (modelo digital de elevación, mapa de pendientes, precipitación, uso y cobertura del suelo y distancia a la red de drenaje) se transformaron a una misma escala de valores y se reclasificaron según su contribución relativa a la susceptibilidad a inundaciones. A cada ráster se le asigna un rango de puntajes que representa desde condiciones de baja hasta alta propensión al encharcamiento y desbordamiento. Luego, en el entorno de Spatial Analyst de ArcGIS Pro se aplicó una combinación lineal ponderada, utilizando la herramienta Raster Calculator, para integrar los factores y generar un ráster continuo que represente el índice de riesgo de inundación para el municipio de Arauca.

Finalmente, este índice se segmentó en clases cualitativas (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) mediante una nueva reclasificación y se representó con una simbología graduada de colores, lo que facilita la identificación visual de las zonas prioritarias para la gestión del riesgo y la planificación territorial.

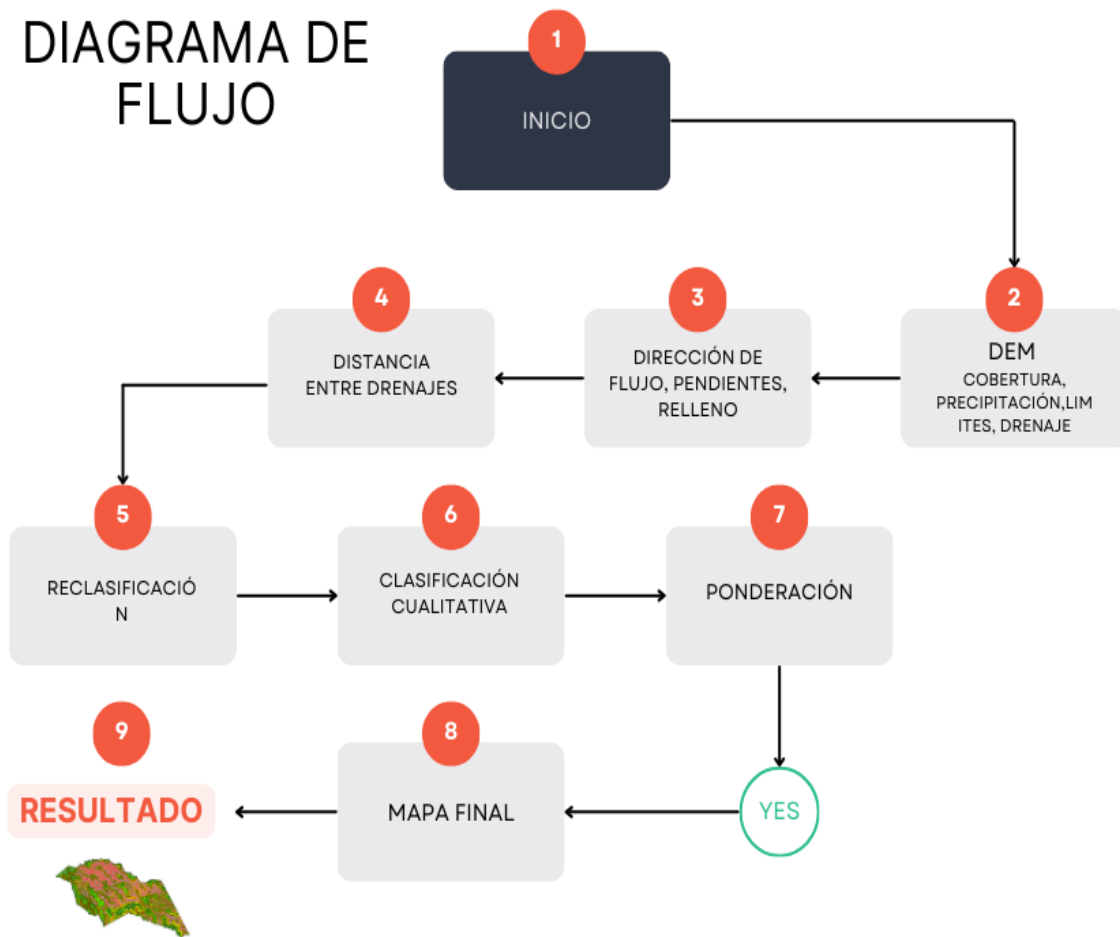
Figura 4

Reclasificación del Modelo Digital de Elevación DEM.



Fuente. Autoría propia

Figura 5. Diagrama de flujo

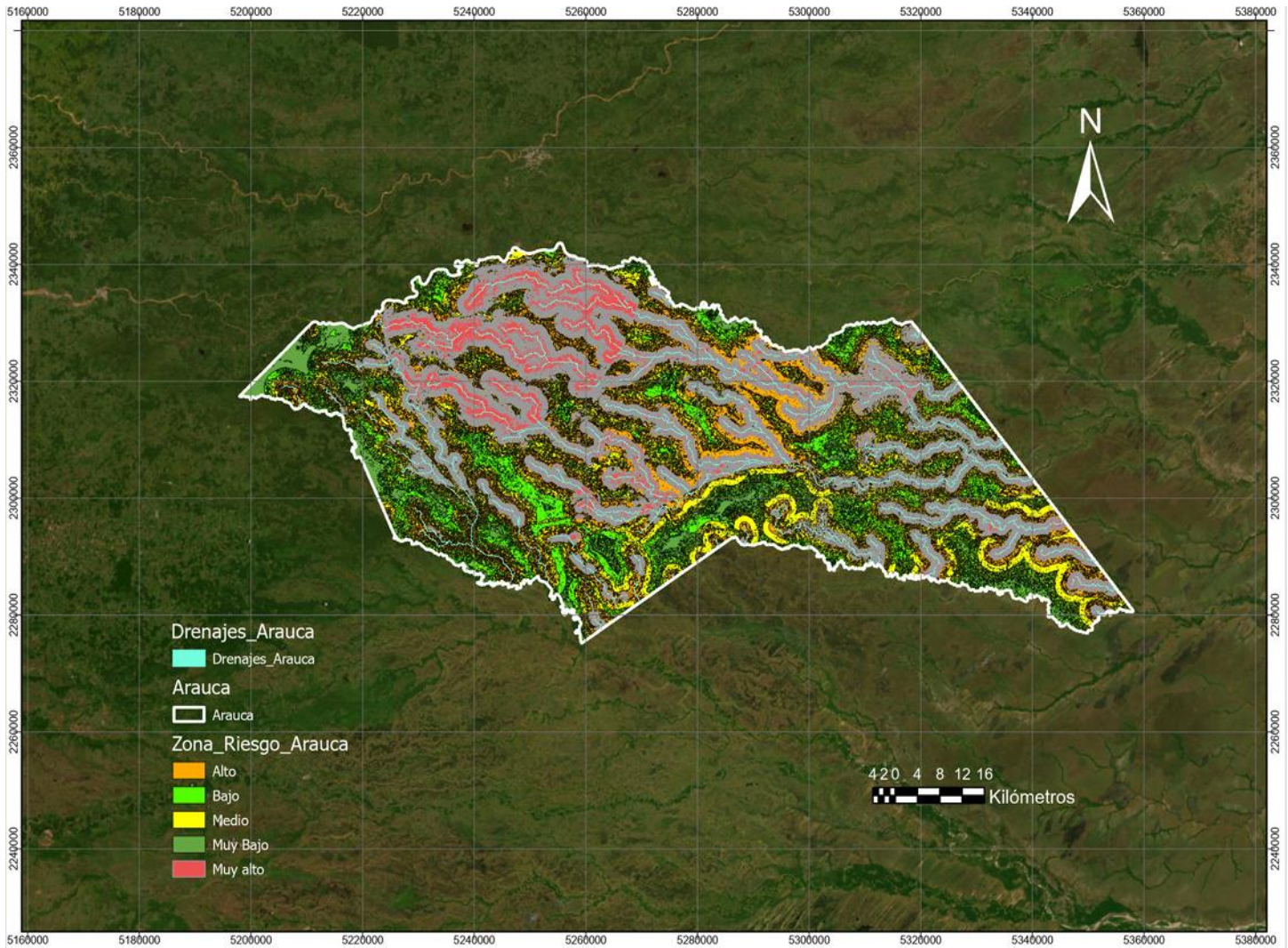


Fuente. Autoría propia

Resultados

Figura 6

Diseño Mapa Final, Riesgo Inundación.



El mapa final muestra la distribución del riesgo:

- **Muy bajo y bajo (25.3%):** sectores elevados con mejor drenaje.
- **Medio (26.9%):** áreas de transición con pendientes moderadas.
- **Alto y muy alto (47.8%):** planicies aluviales, barrios ribereños y veredas como Clarinetero, Monserrate, Puerto Colón y La Pesquera.

Informe de Resultados – Riesgo de Inundación en Arauca

Tabla 2. Distribución del riesgo de inundación en el municipio de Arauca

Categoría de riesgo	de	Área estimada (km²)	Porcentaje (%)
Muy bajo		414.07	7.2
Bajo		1,040.13	18.1
Medio		1,548.02	26.9
Alto		1,594.43	27.7
Muy alto		1,154.35	20.1
Total		5,751.00	100.0

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

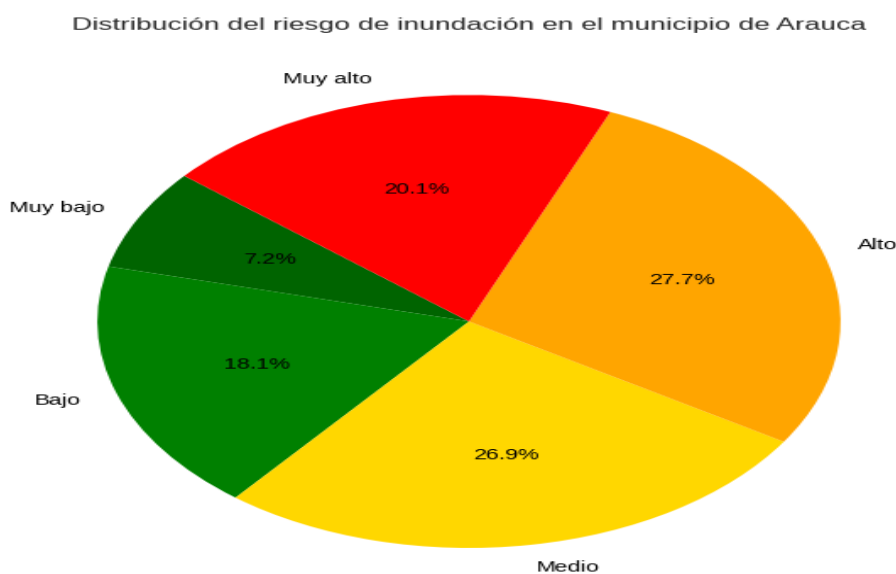


Figura 7. Gráfico de torta. Proporción de áreas por categoría de riesgo Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) Nota: Representa la distribución porcentual del riesgo de inundación en el municipio de Arauca.

Análisis de resultados: El modelo espacial revela que las zonas de riesgo alto y muy alto abarcan el 47.8% del territorio municipal, concentrándose en las planicies aluviales cercanas al río Arauca, caños y humedales. Estas áreas coinciden con sectores de alta exposición como barrios ribereños, veredas ganaderas y zonas de cultivos de ciclo corto, lo que incrementa la vulnerabilidad de la población y de las actividades productivas. Las zonas de riesgo medio representan el 26.9%, actuando como áreas de transición entre los sectores críticos y las zonas más elevadas. Por su parte, las áreas de riesgo bajo y muy bajo (25.3%) se localizan principalmente en sectores elevados y con mejor drenaje, donde la probabilidad de anegamiento es menor. Comparado con eventos históricos como las inundaciones de 2017 y 2021 (UNGRD, 2017), el modelo reproduce con precisión los

patrones de afectación reportados, validando su utilidad para la planificación territorial. Las zonas de mayor riesgo coinciden con las áreas que han sufrido desbordamientos recurrentes, cortes de vías y daños en infraestructura básica.

El modelo espacial revela que las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto abarcan aproximadamente el 47.8% del territorio municipal, lo que evidencia una condición de amenaza significativa asociada principalmente a la dinámica fluvial del río Arauca, el cual presenta un comportamiento meándrico, con frecuentes procesos de desbordamiento en temporada de lluvias. Estas zonas de mayor riesgo se concentran en las planicies aluviales, sectores con topografía plana y suelos de alta saturación, asociados a caños, humedales y complejos hídricos que actúan como áreas naturales de amortiguación, pero que en épocas de creciente se convierten en puntos críticos de inundación.

El análisis coincide con lo establecido en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Arauca, donde se reconoce que gran parte del municipio se encuentra dentro de la franja de inundación natural del río Arauca y sus tributarios. Según este instrumento, los corregimientos rurales y asentamientos como Clarinetero, Todos los Santos, Monserrate, Puerto Colón y La Pesquera son altamente susceptibles a eventos de inundación debido a su ubicación en zonas bajas y a su cercanía a cuerpos de agua. Asimismo, varios barrios ribereños de la cabecera municipal, como La Esperanza, El Bosque, San Vicente y algunos sectores de Flor de Mi Llano, han sido históricamente afectados por crecientes súbitas y procesos de socavación.

Las zonas clasificadas como riesgo medio, que representan el 26.9% del área municipal, funcionan como zonas de transición entre los sectores más críticos y las áreas más estables. Estas áreas suelen presentar pendientes moderadas y mejor drenaje, pero mantienen un nivel de exposición debido a la conectividad hídrica del territorio y la presencia de canales alternos que pueden aumentar su caudal en temporadas de lluvia. El EOT advierte que estas áreas requieren medidas de manejo integrado, como mantenimiento de caños, fortalecimiento de obras de drenaje y regulación del uso del suelo para evitar la expansión urbana no planificada.

Por otro lado, las zonas de riesgo bajo y muy bajo (25.3%) se ubican principalmente en los sectores con mayor altitud relativa, alejados de la influencia directa del río Arauca, y en áreas con mejor capacidad de infiltración y drenaje. Estas áreas coinciden con terrenos más aptos para la localización de infraestructura crítica, expansión urbana planificada y actividades productivas de menor impacto. No obstante, el EOT enfatiza que incluso estas zonas requieren modelos de manejo ambiental, debido a la alta variabilidad climática que caracteriza a la Orinoquía.

Al comparar el modelo con los eventos históricos registrados en el municipio particularmente las inundaciones de 2017 y 2021, documentadas por la UNGRD se evidencia una alta coherencia en los patrones de afectación. Las zonas identificadas por el modelo como de mayor riesgo coinciden con los sectores que han sufrido desbordamientos recurrentes, pérdida de cobertura vegetal, afectaciones en viviendas, cierres de vías y daños en infraestructura comunitaria. Esta correlación valida la utilidad del modelo como instrumento técnico para la gestión del riesgo, la planificación del ordenamiento territorial y la toma de decisiones por parte de autoridades locales y entidades de gestión ambiental.

Finalmente, los resultados resaltan la necesidad de implementar medidas estructurales y no estructurales, tales como fortalecimiento de jarillones y diques, restauración de humedales, sistemas de alerta temprana, control del uso del suelo y programas comunitarios de adaptación al riesgo. La alta proporción del territorio expuesto refleja que la gestión del riesgo en Arauca debe ser asumida como un eje central del desarrollo sostenible del municipio.

Conclusiones.

- La distribución espacial confirma la influencia del relieve plano y la cercanía a cuerpos hídricos en la susceptibilidad a inundaciones.
- El uso de SIG y análisis multicriterio permitió integrar variables físicas y temáticas en un índice espacial de riesgo.
- Los resultados son útiles para el ordenamiento territorial, al identificar zonas prioritarias para obras de mitigación y restricciones de uso del suelo.
- El 47.8% del área municipal se ubica en riesgo alto y muy alto, reflejando la fuerte influencia del río Arauca.
- El modelo reproduce con exactitud las áreas afectadas en eventos históricos, validando su utilidad para planificación y prevención.

Recomendaciones.

Territoriales

- Incorporar el mapa de riesgo en PBOT y PMGRD.
- Restringir nuevos asentamientos en zonas de alta amenaza.

Ambientales

- Restaurar humedales estratégicos.
- Reforestar rondas hídricas y conservar zonas de protección.

Institucionales

- Fortalecer monitoreo hidrometeorológico con sensores remotos y estaciones automáticas.
- Implementar sistemas de alerta temprana en coordinación con UNGRD.

Comunitarias

- Capacitar juntas de acción comunal en gestión de emergencias.
- Realizar simulacros periódicos en comunidades ribereñas.
- Promover comunicación pública sobre zonas seguras y rutas de evacuación.

Enlace de sustentación: <https://youtu.be/emn6Hmn9Cp4>

Bibliografía

- Alcaldía de Arauca. (2016). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Arauca*. Concejo Municipal de Arauca. Recuperado de [Gobierno Municipal de Arauca](#)
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: Arauca*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Recuperado de [DANE](#)
- Gobernación de Arauca. (2019). *Informe de gestión ambiental y territorial del departamento de Arauca*. Gobernación de Arauca. Recuperado de [Gobernación de Arauca](#)
- IDEAM. (2015). *Cartas climatológicas y régimen de precipitación en Arauca*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de [IDEAM](#)
- Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios – OCHA. (2021). *Flash Update No. 1: Inundaciones en siete municipios de Arauca, Colombia*. Recuperado de [OCHA](#)
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD. (2017). *Informe primera temporada de lluvias 2017*. Bogotá D.C.: UNGRD. Recuperado de [Biblioteca UNGRD](#)