

Análisis espacial multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Piedras, Tolima, mediante sistemas de información geográfica (SIG)

Autores:

Anlly Vanessa Oliveros Guerra- avoloiverosg@unadvirtual.edu.co
Cristian Alejandro Jimenez Gonzalez Cajimenezgon@unadvirtual.edu.co
Robin Palacios Méndez rpalaciome@unadvirtual.edu.co
Wilfer mauricio Susunaga Céspedes wmsusunagac@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

Este estudio realizó un análisis espacial multicriterio para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Piedras (Tolima) mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). La metodología integró variables como el Modelo Digital de Elevación (DEM), pendientes, uso de suelo y precipitación para establecer niveles cualitativos de riesgo. Los resultados del análisis revelaron que el 58.7% del área municipal se clasifica bajo amenaza severa de inundación (riesgo alto y muy alto), lo que equivale a aproximadamente 205.7 km² del territorio. Las zonas adyacentes al río Opia y aquellas con pendientes pronunciadas resultaron ser las más críticas, constituyendo un escenario de vulnerabilidad. La información geográfica obtenida permite una toma de decisiones precisa para la planificación territorial, el manejo agroambiental y la priorización de inversiones en infraestructura de drenaje para mitigar futuros daños económicos y sociales.

Palabras clave: Análisis; ArcGIS; inundación.

Introducción

En la región seleccionada del municipio de Piedras del departamento del Tolima se dan a conocer los cambios climáticos, principalmente por el calentamiento global, incrementando los riesgos de inundación por el río Opia y río Chípalo. Este calentamiento global intensifica la variabilidad climática, incluyendo fenómenos como El Niño y La Niña, que afectan la cantidad y distribución de las precipitaciones, lo que a su vez eleva la incertidumbre en la seguridad hídrica y la producción agrícola del municipio. Al respecto, Estefan (1991) destaca que el Tolima enfrenta retos significativos en su ordenamiento territorial debido a su compleja geografía, lo que exige una integración precisa de la gestión ambiental en sus planes de desarrollo para mitigar estos efectos climáticos. Específicamente, Piedras experimenta una temporada de lluvias intensa, que generalmente va de abril a noviembre, con un promedio de precipitación anual que ronda los 1.500

mm. Durante los meses de octubre y noviembre, las lluvias son más intensas, lo que puede provocar inundaciones y deslizamientos de tierra.

El estudio del riesgo de inundación es de vital importancia para la gestión territorial y la seguridad de los habitantes de Piedras. El municipio está atravesado por una red hídrica, siendo el río Opia el más destacado, el cual es un factor determinante en el riesgo de inundaciones, especialmente durante la temporada de lluvias. El río Opia representa un riesgo para la comunidad y veredas aledañas. Esta gestión del riesgo a nivel local requiere una visión integral; como señalan Clarke y Pineda (2007), la administración municipal debe priorizar la reducción de vulnerabilidades para evitar que los eventos naturales se conviertan en desastres socioeconómicos. Históricamente, las inundaciones han causado daños significativos a la infraestructura, incluyendo el colapso de puentes y caminos, lo que ha dificultado el acceso a servicios básicos y mercados. Desde una perspectiva técnica, Tricart (1968) establece que la configuración geomorfológica del terreno no es solo un escenario estático, sino un factor dinámico que determina la distribución de los flujos hídricos y la estabilidad del territorio. Las principales actividades productivas, como la agricultura (cultivos como café, maíz, y caña de azúcar) y la ganadería, también se ven gravemente afectadas por la rápida acumulación de agua y las inundaciones repentinas. Un análisis preciso del riesgo es esencial para mitigar futuras pérdidas económicas y proteger a la población.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y en este caso la herramienta ArcGIS Pro, demuestran ser fundamentales para la evaluación del riesgo ambiental. En este ámbito, Aven y Kristensen (2005) proponen una perspectiva holística del riesgo (holistic approach), donde la incertidumbre y el conocimiento técnico deben unificarse para establecer criterios de decisión robustos en la ingeniería y la planeación. Estas herramientas permiten procesar datos de manera práctica, unificar criterios de evaluación, y realizar análisis espacial para apoyar la toma de decisiones territoriales. La validez de estos modelos se apoya en que el estudio de los suelos y su distribución geográfica condicionan la respuesta del territorio ante fenómenos hidrometeorológicos (Fernández et al., 1978). La aplicación de modelos como el Análisis Multicriterio (AHP) dentro del SIG proporciona una base cuantitativa y cualitativa precisa para una visualización clara de los niveles de peligrosidad. Los mapas y datos geográficos permiten evaluar la precisión de un análisis de calidad, proporcionando resultados confiables.

El propósito de este ejercicio es identificar el riesgo de inundación en el municipio de Piedras (Tolima) aplicando un modelo de análisis multicriterio integrado mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). Este estudio busca generar el mapa de riesgo de inundación que permita establecer una clasificación cualitativa. Finalmente, se realizará una primera interpretación de las zonas más críticas, proporcionando insumos técnicos para el rediseño de políticas de ordenamiento territorial.

Objetivos**General:**

Analizar el riesgo de inundación en el municipio de Piedras, Tolima, mediante un enfoque de análisis espacial multicriterio utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Específicos:

Preparar las capas básicas (DEM, pendientes, límite del municipio), proyectándolas en el mismo sistema de coordenadas.

Aplicar los geoprosos de reclasificación y normalización para unificar los criterios de evaluación del índice de riesgo de inundación en el modelo multicriterio aplicado

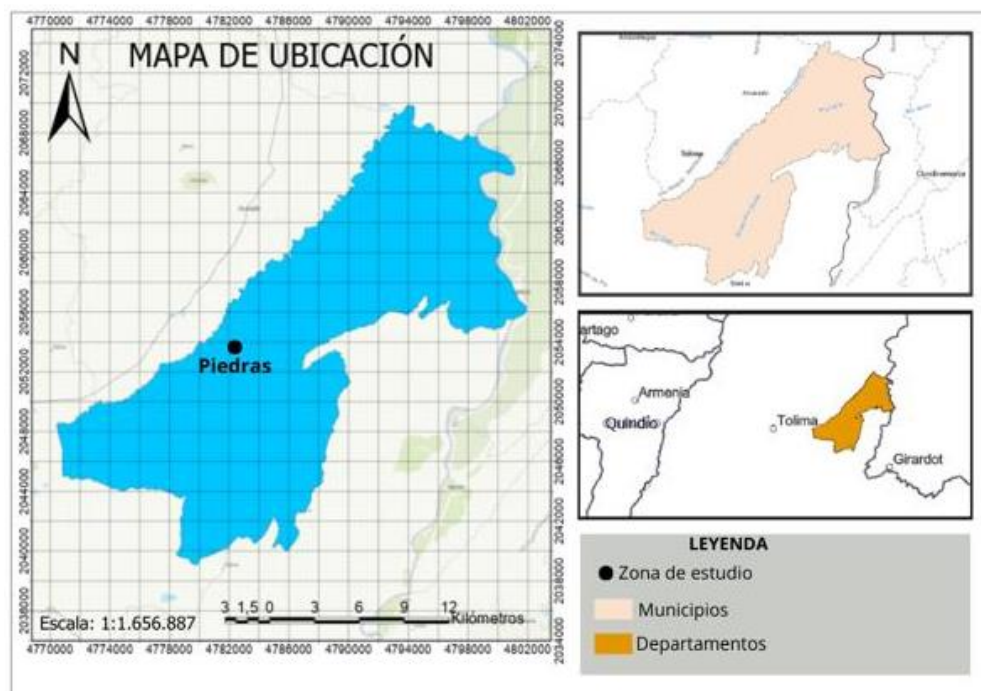
Elaborar y presentar el mapa de riesgo de inundación del municipio de Piedras (Tolima), generado mediante la integración y el análisis multicriterio de las variables ajustadas en el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Identificación del caso de estudio

El presente estudio se centra en el municipio de Piedras, ubicado en el departamento de Tolima, Colombia, dentro de la región andina (Gobernación del Tolima, 2025). Geográficamente, Piedras se sitúa en una zona de transición entre las llanuras cálidas del Tolima y las estribaciones de la cordillera central, lo que le confiere una topografía variada y compleja. Esta configuración geográfica es un elemento clave que determina el uso de herramientas de modelación geomorfológica a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Escolano Utrilla, 2015; Olaya, 2020).

Figura 1

Mapa de localización



Fuente autoría propia, 2025 (ArcGIS pro)

Características Físicas y Ambientales

Piedras se encuentra a una altitud promedio de 1.200 metros sobre el nivel del mar. El territorio está surcado por una red hídrica vital, donde el río Opia funge como elemento principal y es el factor hidrológico más influyente en la dinámica territorial y en la definición del riesgo de inundación (CORTOLIMA, 2019). Las variaciones topográficas, con diferentes grados de pendiente, influyen directamente en los procesos de escorrentía superficial, haciendo que las zonas bajas y adyacentes a las fuentes hídricas sean particularmente susceptibles a los eventos extremos.

Características Climáticas

Piedras presenta un clima templado. La región experimenta una temporada de lluvias que generalmente se extiende de abril a noviembre, con un promedio de precipitación anual que ronda

los 1.500 mm. Durante los meses de octubre y noviembre, las lluvias son históricamente más intensas, lo que puede provocar inundaciones y deslizamientos de tierra, especialmente en las áreas más vulnerables. La variabilidad climática, incluyendo fenómenos como El Niño y La Niña, puede afectar la cantidad y la distribución de las precipitaciones, aumentando la incertidumbre en la producción agrícola y la seguridad hídrica del municipio.

División Político-Administrativa y Socioeconómica

El municipio posee una extensión cercana a los 200 km y su población se estima en alrededor de 15.000 habitantes, distribuidos entre el casco urbano y diversas veredas (Piedras-Tolima, 2025). La economía de Piedras se fundamenta históricamente en las actividades agropecuarias, destacándose la agricultura (café, maíz y caña de azúcar) y la ganadería. Esta dependencia económica de los recursos naturales y el suelo incrementa la vulnerabilidad del municipio ante los eventos hidrometeorológicos extremos.

Riesgo de Inundación y Estrategia de Mitigación

El riesgo de inundación en Piedras es un tema relevante, dada la combinación de su contexto geográfico y la intensificación de eventos hidrometeorológicos. Esta situación ha provocado afectaciones directas a la infraestructura, como la destrucción de puentes y bloqueos de vías rurales a causa de fuertes lluvias (Ecos del Combeima, 2025). Este escenario subraya la importancia de realizar evaluaciones de riesgo precisas, especialmente en el sector agrícola, que es altamente sensible a las condiciones climáticas cambiantes (Djanibekov et al., 2024). Por lo tanto, el uso de SIG permite integrar variables de amenaza y vulnerabilidad, generando una herramienta esencial de apoyo a la toma de decisiones para la planificación territorial, el manejo de cuencas y la implementación de prácticas de gestión y uso sostenible del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018; Efraimidou y Spiliotis, 2024).

Metodología

Este estudio se desarrolló utilizando la herramienta de ArcGIS Pro. Los datos recopilados se emplearon para crear el mapa de riesgo por inundación del municipio de Piedras, Tolima, el cual contiene la información necesaria para identificar las zonas con mayor riesgo. La información se relacionó mediante un modelo estadístico y se representó a través de cartografías temáticas con las coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 en formato shp (Shapefile). El proceso metodológico general se esquematiza a continuación.

Figura 2

Pasos para el desarrollo

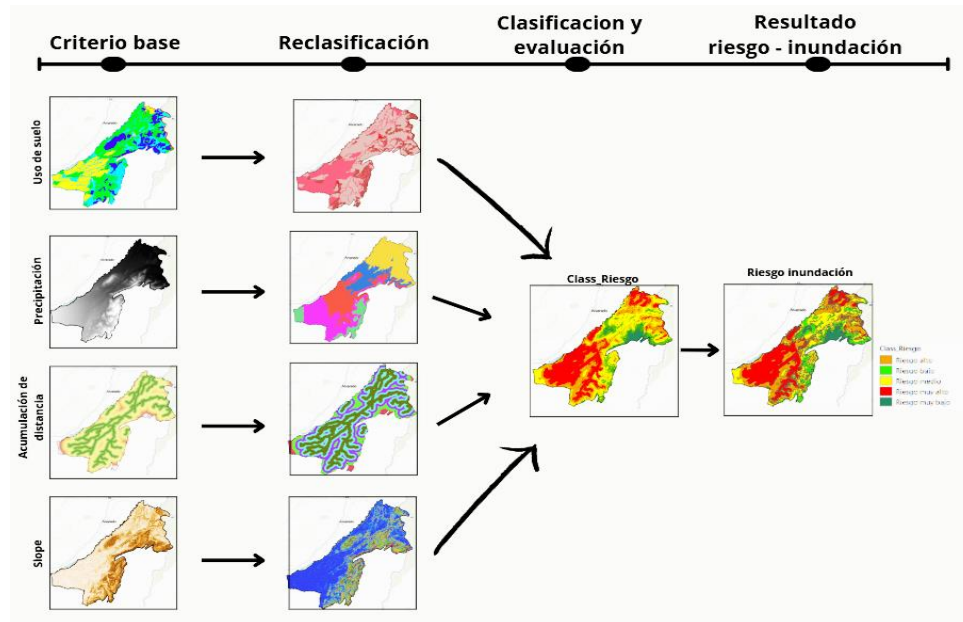


Fuente Autoría propia, 2025 (ArcGIS pro)

La metodología implementada siguió un enfoque estructurado que abarcó desde la recopilación y preparación de datos hasta la integración multicriterio y la visualización de resultados. Este proceso involucró la alineación de todas las capas geoespaciales a un mismo sistema de coordenadas (MAGNA-SIRGAS CMT12) en ArcGIS Pro, así como la reclasificación de los criterios para obtener una descripción cualitativa del riesgo. La aplicación de geoprocesos y análisis multicriterio se ilustra detalladamente en la Figura 3, donde se muestra cómo los datos brutos se transforman en una clasificación de riesgo final.

Figura 3

Esquema metodológico para la evaluación y clasificación del riesgo de inundación mediante análisis multicriterio en SIG



Fuente Autoría propia, (2025)

Preparación de datos:

La preparación de datos comenzó en octubre de 2025 con la recopilación de capas de información técnica fundamental, tales como modelos digitales de elevación, red hídrica, uso de suelo y datos climáticos (precipitación) del área de estudio. Estas capas, utilizadas para el análisis multicriterio, se resumen y describen a continuación para facilitar la comprensión de su incidencia en la modelación del riesgo de inundación:

- **Modelo Digital de Elevación (DEM):** Es el insumo básico que representa la altimetría del municipio de Piedras. Su importancia radica en la identificación de depresiones y llanuras donde el agua tiende a acumularse por gravedad.
- **Pendientes (Slope):** Variable derivada del DEM que determina la inclinación del terreno. En el análisis de inundaciones, las zonas con pendientes mínimas (planicies) presentan una menor capacidad de evacuación de escorrentía, aumentando la susceptibilidad.
- **Cobertura y Uso del Suelo:** Esta capa permite clasificar la capacidad de infiltración de la superficie. Las áreas con coberturas artificiales o suelos compactados generan mayores volúmenes de escorrentía superficial en comparación con zonas boscosas.
- **Precipitación:** Representa el factor detonante o amenaza. Se utilizaron datos de pluviosidad acumulada (especialmente de los meses críticos de octubre y noviembre) para modelar el escenario de mayor presión hídrica sobre el territorio.

- **Distancia a Drenajes:** Esta variable mide la proximidad a los cauces principales como el río Opia. La cercanía a la red hídrica es un factor determinante, ya que estas áreas son las primeras en sufrir desbordamientos ante aumentos súbitos de caudal.

Todos estos insumos fueron estandarizados bajo el sistema de coordenadas oficial para Colombia, **MAGNA-SIRGAS CMT12**, y procesados en formato ráster con una resolución espacial uniforme.

Tabla 1

Capas geoespaciales utilizadas en el análisis multicriterio de riesgo de inundación

Variable Geoespacial	Formato / Fuente	Descripción Técnica y Funcional
Modelo Digital de Elevación (DEM)	Ráster	Representación cuantitativa de la superficie del terreno que permite identificar las cotas altimétricas y zonas bajas susceptibles a la acumulación de agua.
Pendientes (Slope)	Ráster (Derivada)	Parámetro derivado del DEM que mide la inclinación del terreno; las pendientes bajas facilitan el estancamiento hídrico y aumentan la susceptibilidad.
Cobertura y Uso del Suelo	Vectorial / Ráster	Basada en la metodología Corine Land Cover (CLC), permite categorizar la permeabilidad del terreno y el coeficiente de escorrentía superficial según el uso del suelo.
Precipitación	Ráster	Variable que representa la amenaza hidrometeorológica, analizando los registros de pluviosidad del mes de octubre por ser el periodo de mayor intensidad histórica ¹¹¹¹ .
Distancia a Drenajes	Ráster (Proximidad)	Modelación de la cercanía a los cauces principales como el río Opia, factor crítico para delimitar el área de afectación directa ante posibles desbordamientos.

Nota: Esta tabla lista las cuatro principales capas de información geoespacial (DEM, red hídrica, uso de suelo y precipitación) que sirvieron como insumos base para la modelación del riesgo de inundación en ArcGIS Pro. *Fuente:* Autoría propia, 2025.

Las capas fueron descomprimidas, convertidas a formatos compatibles y alineadas en un mismo sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 en ArcGIS Pro, para la ejecución de cada paso a paso que se indicaba en la guía.

Normalización de datos:

Los valores de cada capa fueron normalizados utilizando técnicas como estandarización o reescalamiento, para que todos los criterios tuvieran un rango de valores comparable

Esto asegura que cada variable tenga la misma importancia relativa en el análisis posterior. Se realizaron procesos como la reclasificación de los resultados de las capas para poder lograr una descripción cualitativa del riesgo y el valor numérico cuantitativo.

Tabla 2

Clasificación de susceptibilidad según la cobertura del suelo (Nivel 2 Corine Land Cover)

Cobertura de la Tierra (Nivel 2)	Clasificación de Valores (2-10)
Aguas continentales	10
Cultivos transitorios / permanentes / Áreas agrícolas heterogéneas	8
Humedales continentales	8
Zonas urbanizadas / Áreas abiertas con poca vegetación	6
Pastos / Zonas mineras / Vegetación herbácea	4
Bosques / Zonas industriales / Zonas verdes artificializadas	2

Nota: La tabla jerarquiza las unidades de cobertura según su potencial de escorrentía y capacidad de infiltración; se asigna el valor máximo (10) a cuerpos de agua por su saturación permanente, mientras que los valores mínimos (2) corresponden a zonas boscosas que actúan como reguladores hídricos naturales, reduciendo el riesgo de inundación.

Asignación de pesos:

Se aplicó el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para asignar pesos a cada uno de los criterios de riesgo (uso de suelo, precipitación, acumulación de distancia, etc.).

Mediante comparaciones pareadas, se determinó la importancia relativa de cada factor en la evaluación del riesgo de inundación.

Tabla 3

Criterios de análisis y pesos relativos para la evaluación de riesgo de inundación

Factor	Porcentaje (Guía)	Peso Normalizado
Modelo de elevación digital (DEM)	10%	0.1
Pendientes	15%	0.15
Cobertura de tierras (Land cover)	10%	0.1
Precipitación	35%	0.35
Distancia entre drenajes	30%	0.3
Total	100%	1.0

Integración de criterios:

Utilizando herramientas de análisis espacial en ArcGIS Pro, se combinaron las capas normalizadas y ponderadas en un modelo integrado de riesgo de inundación. Esto se logró mediante la aplicación de técnicas como la suma ponderada, donde cada capa se multiplica por su peso correspondiente






y se suman los resultados, lo cual permite obtener un resultado de la clasificación de riesgo y así poder visualizar las zonas de alto riesgo a bajo riesgo mediante colores distintivos en el mapa.

Visualización de resultados:

La visualización de los resultados del estudio sobre el riesgo de inundación en Piedras se realizó mediante la creación de mapas temáticos en ArcGIS Pro, donde cada celda representa el nivel de riesgo (alto, medio y bajo), permitiendo identificar rápidamente las zonas más vulnerables. Se complementaron estos mapas con gráficas que muestran la distribución porcentual de áreas y la población en diferentes niveles de riesgo, facilitando así la comprensión de la vulnerabilidad de las comunidades. Además, se llevaron a cabo análisis espaciales para identificar patrones en la relación entre la proximidad a cuerpos de agua y la incidencia de inundaciones, así como modelados predictivos para anticipar cambios futuros en los patrones de inundación. La interpretación de estos resultados se realizó en colaboración con las comunidades locales y autoridades, lo que permitió formular recomendaciones específicas para la gestión del riesgo, como priorizar inversiones en infraestructura de drenaje y desarrollar planes de emergencia claros.

Tabla 4

Clasificación de riesgo de inundación y simbología utilizada en el mapa de Piedras, Tolima

Clasificación Cualitativa	Valores	Simbología (Color)
Riesgo muy alto	5	
Riesgo alto	4	
Riesgo medio	3	
Riesgo bajo	2	
Riesgo muy bajo	1	

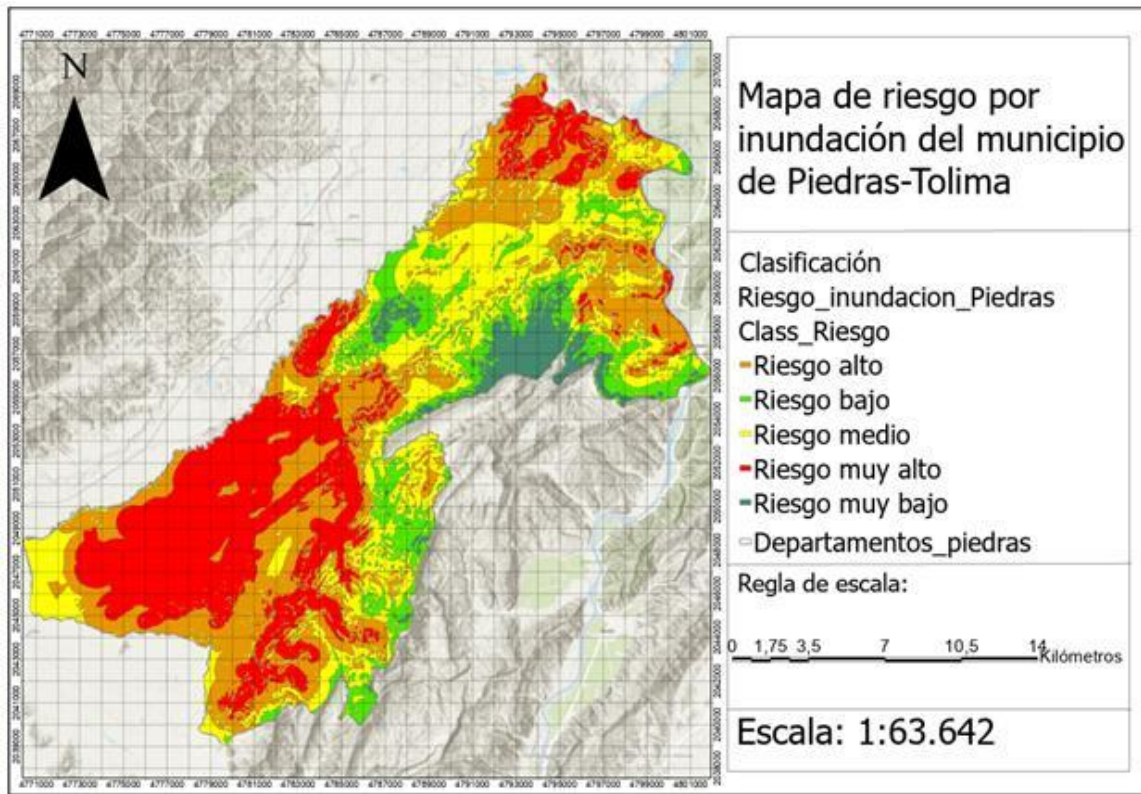
Nota: La tabla establece la equivalencia entre la clasificación cualitativa del riesgo (de muy bajo a muy alto) y los valores numéricos discretos utilizados en la reclasificación ráster de ArcGIS Pro para la simbología del mapa final. *Fuente:* Adaptado de la Guía de Aprendizaje Fase 4 y Figura 3 del documento.

Resultados

El mapa de riesgo final (Figura 4) es la síntesis de la evaluación multicriterio, en la cual se reclasificaron y ponderaron factores como el DEM, las pendientes, la distancia a drenajes y la precipitación. La eficacia de este modelo se fundamenta en que el uso de SIG para la evaluación del riesgo de inundación a escala regional permite una toma de decisiones basada en datos precisos, integrando variables complejas que los métodos tradicionales suelen simplificar (Efraimidou & Spiliotis, 2024).

Figura 4

Mapa de riesgo de inundación del municipio de Piedras, Tolima (Octubre 2025)



Nota. Representa el municipio de Piedras, Tolima. *Fuente* Propia, 2025 (ArcGIS pro)

La interpretación cartográfica revela una clara correlación espacial entre la red hídrica, compuesta principalmente por el río Opia y sus afluentes, y las zonas con niveles de riesgo Alto y Muy Alto. Estos niveles de riesgo se concentran en las llanuras aluviales y las áreas de menor pendiente. Este comportamiento se alinea con la metodología de Prieto (2011), quien subraya que la evaluación de riesgos debe considerar prioritariamente la cercanía a líneas de flujo y la susceptibilidad del terreno ante procesos hidrometeorológicos en áreas de dinámica hídrica activa. El riesgo se ve amplificado durante los meses de mayor intensidad pluviométrica en la región, que históricamente corresponden a octubre y noviembre, periodos donde la saturación del suelo y el aumento del caudal superan la capacidad de drenaje natural.

Distribución Cuantitativa del Riesgo

El análisis cuantitativo del mapa permite determinar la proporción del territorio de Piedras que se encuentra expuesta a diferentes niveles de amenaza. Como indica Hernández (2013), la caracterización de la amenaza en el departamento del Tolima es un factor determinante para entender cómo los detonantes naturales activan procesos de desbordamiento en zonas de alta saturación. La Tabla 4 resume la distribución espacial de la clasificación de riesgo:

Tabla 5

Distribución del área territorial de Piedras, Tolima, según la clasificación de riesgo de inundación

<i>Clasificación Cualitativa</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
<i>Riesgo muy alto</i>	<i>100.58</i>	<i>28.7%</i>
<i>Riesgo alto</i>	<i>105.18</i>	<i>30.0%</i>
<i>Riesgo medio</i>	<i>86.56</i>	<i>24.7%</i>
<i>Riesgo bajo</i>	<i>43.23</i>	<i>12.3%</i>
<i>Riesgo muy bajo</i>	<i>15.18</i>	<i>4.3%</i>
<i>Total</i>	<i>350.73</i>	<i>100.0%</i>

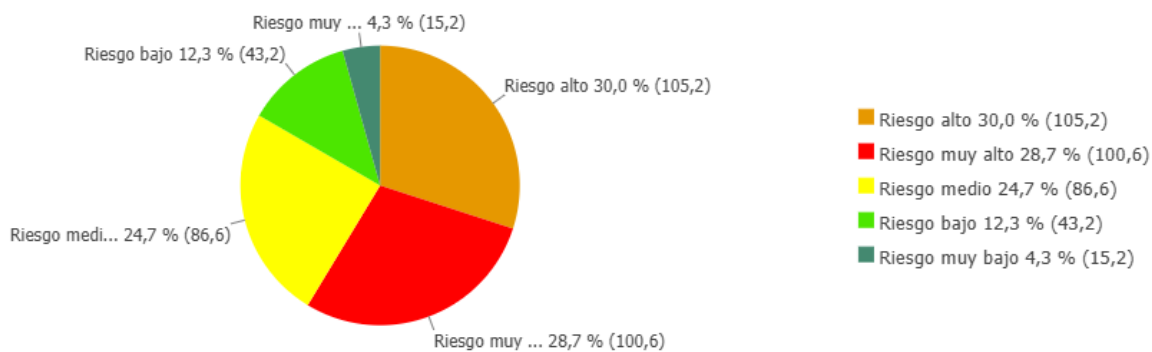
Nota: La tabla evidencia que una porción significativa del municipio, correspondiente al **58.7%** del área total (205.76 km²), se encuentra clasificada en las categorías de Riesgo Alto y Riesgo Muy Alto, lo que exige una intervención prioritaria por parte de las autoridades municipales.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

La magnitud del riesgo se visualiza de manera más intuitiva en el siguiente gráfico, donde se destaca la predominancia de las zonas de mayor vulnerabilidad en el territorio de Piedras.

Figura 5.

Distribución porcentual de las categorías de riesgo de inundación en el municipio de Piedras, Tolima



Fuente Propia, 2025 (ArcGIS pro)

Análisis Territorial de Zonas Críticas

Los resultados están directamente aterrizados al contexto agroambiental de Piedras. Las zonas clasificadas con Riesgo Muy Alto son aquellas que presentan la combinación más crítica de cercanía a fuentes hídricas (distancia baja a drenajes) y alta probabilidad de precipitación intensa. Al respecto, Sosa-Franco et al. (2023) enfatizan que el procesamiento de modelos en sistemas de información geográfica es vital para la planificación agroambiental, proporcionando un marco confiable para prevenir desastres en zonas de alta productividad.

1. Veredas Afectadas: Las áreas más críticas corresponden a los asentamientos y zonas productivas ubicadas inmediatamente adyacentes al río Opia y al río Chípalo, como las veredas de Chípalo, La Joya y aquellas en el corredor del río. Estos territorios experimentan la mayor vulnerabilidad, tal como lo han señalado antecedentes de afectación a infraestructura (Ecos del Combeima, 2025).
2. Impacto Productivo: Las áreas de Riesgo Alto y Muy Alto son las que más impactan las actividades económicas principales del municipio: la agricultura (cultivos de café, maíz, caña de azúcar) y la ganadería. Optimizar la gestión del riesgo desde esta perspectiva técnica es esencial para construir territorios resilientes en Colombia, convirtiendo la modelación espacial en el insumo principal para los planes de ordenamiento (Vesga, 2018). La exposición de estos cultivos y la infraestructura productiva al riesgo de inundación es alta, lo cual está en consonancia con los hallazgos de estudios sobre los efectos del cambio climático en la agricultura (Djanibekov et al., 2024).

La generación de este mapa de riesgo multicriterio se alinea con la necesidad de estudios que permitan a las autoridades locales planificar y tomar decisiones informadas, respaldándose en guías metodológicas y normativas para el acotamiento de zonas de riesgo (IDEAM, 2024; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Este análisis constituye un antecedente fundamental para la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Piedras.

Conclusiones

El presente estudio culmina con la validación del objetivo principal de analizar el riesgo de inundación en el municipio de Piedras, Tolima, mediante un enfoque de análisis espacial multicriterio (AHP) apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología implementada, que priorizó la integración de variables geofísicas e hidrológicas mediante una ponderación jerárquica (con la Precipitación y la Distancia a Drenajes como factores dominantes), demostró ser una herramienta robusta y efectiva para la evaluación de riesgos ambientales, en consonancia con los principios metodológicos establecidos en la literatura especializada para el manejo de fenómenos complejos (Barredo Cano & Bosque Sendra, 1999; Longley et al., 2005; Sevillano Rodríguez, 2020).

Los resultados del análisis son contundentes al delimitar y cuantificar la vulnerabilidad territorial: el 58.7% del área total de Piedras se clasifica en las categorías de Riesgo Alto y Muy Alto. Esta criticidad se concentra principalmente a lo largo de las planicies de inundación del río Opia y sus afluentes, afectando directamente a veredas estratégicas como Chípalo y La Joya. Esta identificación espacial subraya la urgencia de aplicar medidas de ordenamiento territorial que superen el diagnóstico y se centren en la gestión proactiva. Como producto tangible, el mapa de riesgo de inundación elaborado (Figura 4) constituye un insumo cartográfico esencial para la gestión pública municipal. Al estar validado por un análisis cuantitativo de la distribución del riesgo (Tabla 4) y la representación gráfica de la extensión de la amenaza (Figura 5), ofrece a las autoridades de Piedras una base científica para la actualización de su Plan de Ordenamiento Territorial (POT), permitiendo delimitar con precisión áreas de restricción de uso y priorizar inversiones en infraestructura de mitigación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018; Hernández Sampieri, 2019).

Adicionalmente, el estudio revela una implicación directa sobre la sostenibilidad agroambiental y económica del municipio. La alta exposición al riesgo se superpone con las zonas de vocación agrícola y ganadera, lo que coloca a cultivos clave (café, maíz, caña) bajo amenaza constante, especialmente durante los picos de precipitación en octubre y noviembre. Esta vulnerabilidad productiva exige que la gestión del riesgo trascienda la infraestructura y se enfoque en la promoción de prácticas de adaptación y manejo sostenible del suelo, mitigando el impacto que el cambio climático y los fenómenos hidrometeorológicos tienen sobre la seguridad alimentaria y la economía local (Chen et al., 2024).

Finalmente, aunque el análisis SIG proporciona el fundamento técnico del riesgo, la gobernanza efectiva de la amenaza requiere un paso posterior fundamental: la integración del conocimiento técnico-científico con el conocimiento empírico y local de las comunidades. La implementación exitosa de las estrategias de mitigación y la sensibilización ciudadana no pueden lograrse únicamente con cartografía, sino que dependen de la validación y la participación activa de los habitantes de las veredas afectadas. Por lo tanto, esta investigación sienta las bases para futuros proyectos enfocados en la educación ambiental y la construcción de capacidades de respuesta local.

Recomendaciones

Los resultados obtenidos en este informe permiten recomendar desde un enfoque especializado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Ordenamiento Agroambiental del Territorio, buscando transformar los hallazgos técnicos del riesgo de inundación en acciones concretas que promuevan la sostenibilidad y la gestión proactiva en el municipio de Piedras, Tolima.

Es fundamental que la administración municipal utilice los resultados obtenidos para migrar de una gestión reactiva a una preventiva, priorizando la microrazonificación del riesgo. Para ello, se recomienda la realización de estudios complementarios de modelación hidráulica bidimensional (2D). Esta técnica avanzada permitirá delimitar con precisión las franjas de retiro obligatorias para la protección de la red hídrica en las zonas de Riesgo Muy Alto a lo largo del río Opia. Este paso es crucial para el ordenamiento agroambiental, e imperativamente debe servir como insumo vinculante para la revisión del Plan de Ordenamiento Territorial (POT), estableciendo normativas de uso de suelo restrictivas que den cumplimiento a la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 1076 de 2015. En coherencia con la alta sensibilidad del territorio a los picos de precipitación, es necesario implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) que combine datos *in-situ* de sensores básicos con la teledetección, monitoreando la humedad del suelo y la extensión de las áreas potencialmente inundadas durante los meses críticos de octubre y noviembre.

En las vastas áreas clasificadas con Riesgo Alto, donde se concentra gran parte de la actividad productiva, es necesario impulsar la Integración de Geotecnologías en la Gestión de Cultivos y Zonas Buffer mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). El mapa de riesgo debe guiar la ubicación estratégica de proyectos de reforestación de riberas y el establecimiento de cortinas rompevientos, utilizando herramientas SIG para monitorear su crecimiento y asegurar su función como corredores biológicos. Estas acciones buscan mitigar la exposición de la infraestructura productiva clave, tal como se recomienda en la literatura sobre adaptación agrícola y minimización de pérdidas por inundaciones (Djanibekov et al., 2024). Adicionalmente, para asegurar la transparencia y la continuidad de la planificación, se recomienda la Creación de un Geoportal de Datos Agroambientales Abiertos. Este Geoportal debe centralizar el mapa de riesgo de inundación, los datos climáticos y las capas de uso del suelo, poniendo la información a disposición de la ciudadanía y los planificadores. Finalmente, se debe iniciar la Articulación de Bases de Datos Georreferenciadas de Vulnerabilidad social y económica, cruzando las zonas de Riesgo Alto/Muy Alto con indicadores socioeconómicos para priorizar la inversión social y la asistencia técnica de manera eficiente y equitativa en las veredas más expuestas al riesgo.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Piedras-Tolima. (2025). *Alcaldía de Piedras-Tolima*. Recuperado de <https://www.piedras-tolima.gov.co/>

Agricultura, O. d. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de [https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia de buenas practicas para la gestion y uso sostenible de los suelos en areas rurales.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/suelo/Guia%20de%20buenas%20practicas%20para%20la%20gestion%20y%20uso%20sostenible%20de%20los%20suelos%20en%20areas%20rurales.pdf)

Aven, T., & Kristensen, V. (2005). Perspectives on risk: review and discussion of the basis for establishing a unified and holistic approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 90(1), 1-14

Barredo Cano, J. I., & Bosque Sendra, J. (1999). Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. *Geographical Systems*, 5(3), 313-327.

Clarke, C., & Pineda, C. (2007). Riesgos y desastres: su gestión municipal en Centro América. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15214/riesgos-y-desastres-su-gestion-municipal-en-centro-america>

Combeima, E. d. (2025, 13 de marzo). Fuertes lluvias destruyen puente en Piedras y bloquean rural. *Ecos del Combeima*. Recuperado de <https://www.ecosdelcombeima.com/tolima/nota-164775-fuertes-lluvias-destruyen-puente-en-piedras-y-bloquean-rural>

CORTOLIMA. (2019, Febrero). *Reglamentaciones: Corrientes Reglamentadas*. Corporación Autónoma Regional del Tolima. Recuperado de https://cortolima.gov.co/images/Reglamentaciones/Corrientes_Reglamentadas_.pdf

Dirección Nacional de Planeación (DNP), 2005-2010. Una gestión ambiental que promueva el desarrollo sostenible. Capítulo 5

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>

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

Estefan U., C. A. (1991). *El Tolima a las puertas del siglo XXI*. Ediciones Gobernación del Tolima. (Referenciado en el contexto regional del Tolima)

Escolano Utrilla, S. (2015). Primera parte. 2. 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). Pressas de la Universidad de Zaragoza.

EPILAS/UNC. (2005) Curso de prevención de desastres capítulo 5.p .
de:<http://www.bvsde.paho.org/> . Recuperado el 8 de octubre de 2012

Fernández C., E., Tejedor S., M., & Rodríguez R., A. (1978). Suelos de las Islas Canarias: ecología, distribución geográfica y características. *Anuario de Estudios Atlánticos*, (24).

Gobernación del Tolima. (2025). *Información general: Turismo - Municipio de Piedras*. Recuperado de <https://tolima.gov.co/tolima/informacion-general/turismo/1926-municipio-de-piedras>

Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus.

Hernández A., Y. (2013). *Caracterización y análisis de la amenaza y vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca de la quebrada Cay, Ibagué, Departamento del Tolima* (Tesis de Maestría). Universidad del Tolima.

IDEAM. (2024). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/guia_metodologica_para_la_elaboracion_de_mapas_de_inundacion.pdf

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and Science* (2nd ed.). Wiley.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Anexo 18: Guía Criterios para el acotamiento de las Rondas Hídricas*. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/18.-Anexo-18-Guia-Criterios-para-el-acotamiento-de-las-Rondas-Hidricas-1.pdf>

Ministerio de Vivienda. (2014). *Decreto 1807 de 2014*. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>

Municipio de Piedras - Tolima. (2022). *Plan de contingencia para las temporadas de lluvias del municipio de Piedras*. Comité Municipal de Gestión de Riesgo y Desastres (CMGRD).

<http://www.piedras-tolima.gov.co>

Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library.

https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica

Salazar, L. M. V., Mejía-Cáceres, M. A., & Gonzalez, J. D. G. (2018). Plan de Desarrollo Municipal de Candelaria: análisis factorial de las brechas sociales y revisión del concepto de desarrollo a través del análisis crítico del discurso. *Equidad y Desarrollo*, (31), 153-172.

<https://equidad.lasalle.edu.co/article/download/658/584>

Sosa-Franco, I., Pérez-Guerra, G., Machado-García, N., & Elena-Ruiz Pérez, M. (2023). Method for query processing in a geographic information system. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(2), 1–9.

Tricart, J. (1968). *Précis de géomorphologie*. Tome 1: Géomorphologie structurale. SEDES.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2020). *Instructivo para la usabilidad de Normas internacionales de citación APA 7a Edición*. Repositorio Institucional UNAD. Recuperado de

https://repository.unad.edu.co/static/pdf/Norma_APA_7_Edicion.pdf

Vesga, H. F. (2018). Nuevas formas para optimizar la gestión del riesgo desde la perspectiva de territorios resilientes en Colombia. *Revista Espacios*, Vol. 39(08).

<https://revistaespacios.com/a18v39n08/18390810.html>

Zapperi, P. A., & Olcina, J. (2021). Cartografía de inundaciones en la planificación territorial. Estudio comparado entre Argentina y España. *Revista de Geografía Norte Grande*, (79), 183-

205. <https://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n79/0718-3402-rgeong-79-183.pdf>

Enlace de la presentación

<https://youtu.be/EpWkFmr9o2s?feature=shared>