

Análisis multicriterio para la evaluación del riesgo de inundación mediante herramientas SIG en ArcGIS Pro: Municipio de Armenia Departamento del Quindío

Ingrid Melissa Celis Jiménez - imcelisj@unadvirtual.edu.co

Yurani Murillo Correa - ymurillocor@unadvirtual.edu.co

Marisol Aguirre Pamplona - maguirrepa@unadvirtual.edu.co

Nicolás Andrade Reyes - nandrader@unadvirtual.edu.co

Juan Francisco Silva Barrera - jfsilvabar@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

Este estudio de caso presenta una evaluación geoespacial del riesgo de inundación del municipio de Armenia, Quindío, utilizando el análisis multicriterio como metodología principal y el software ArcGIS Pro como herramienta de implementación. El documento integró variables como pendiente, precipitación, densidad de drenaje, y tipo de cobertura de la tierra, las cuales fueron reclasificadas y ponderadas tomando como insumo un modelo de elevación digital (DEM). Los resultados evidencian que el 42.8% del municipio presenta riesgo alto o muy alto de tener inundación en el suroeste donde las pendientes suaves tiene la más alta relevancia. Esta información es de gran utilidad para la prevención y preparación ante estos desastres naturales, así como para la planificación y ordenamiento territorial.

Palabras claves: Inundaciones, Análisis Multicriterio, SIG, Modelación espacial.

Abstract

This case study presents a geospatial assessment of flood risk in the municipality of Armenia, Quindío, using multicriteria analysis as the main methodology and ArcGIS Pro software as the implementation tool. The document integrated variables such as slope, precipitation, drainage density, and land cover type, which were reclassified and weighted using a digital elevation model (DEM) as input. The results show that 42.8% of the municipality is at high or very high risk of flooding in the southwest, where gentle slopes have the highest relevance. This information is extremely useful for the prevention and preparedness against these natural disasters, as well as for planning and land use management.

Key words: Floods, Multicriteria analysis, GIS, Spatial modeling.

Introducción

Las inundaciones constituyen uno de los riesgos naturales más frecuentes y devastadores a nivel mundial, especialmente en regiones con urbanización no planificada. En Colombia, el IDEAM (2022) reporta un aumento del 30% en los eventos relacionados con inundaciones en el departamento del Quindío. Estos cambios están relacionados con el cambio climático y la expansión urbana de Armenia, especialmente durante la última década y cambios abruptos del uso del suelo. De igual forma, eventos de precipitación intensa generan acumulación superficial de agua, afectando viviendas, infraestructura vial y sistemas agroproductivos.

Estudios como los de Djanibekov et al. (2024) destacan los impactos que tiene en la agricultura, mientras que Efraimidou y Spiliotis (2024) validan el uso de SIG y análisis multicriterio para evaluar riesgos y tomar decisiones anticipadas.

Desde el punto de vista técnico, Escolano Utrilla (2015) destaca que la representación espacial mediante modelos de datos es fundamental para captar la complejidad del territorio. A su vez, Olaya (2020) sostiene que los SIG permiten una gestión eficiente de datos espaciales y constituyen la base para el análisis territorial en contextos de riesgo. Sosa-Franco, et al., (2023) complementan este enfoque al señalar que los SIG posibilitan consultas complejas y estructuradas del espacio geográfico, lo que optimiza los procesos de decisión.

Desde la perspectiva metodológica, Hernández Sampieri (2019) enfatiza la importancia de los enfoques cuantitativos y geoespaciales para comprender fenómenos complejos como el riesgo de desastres. En consecuencia, este estudio se fundamenta en estos marcos teóricos y metodológicos para generar una zonificación del riesgo por inundación en Armenia, integrando diversas capas temáticas mediante el análisis multicriterio en ArcGIS Pro.

Al igual que, en los modelos de datos geográficos (Escolano Utrilla, 2015; Olaya, 2020), en técnicas de procesamiento espacial (Sosa-Franco et al., 2023) y en metodologías de investigación aplicadas (Hernández Sampieri, 2019), para establecer un modelo espacial que permita la zonificación del riesgo por inundación en Armenia, usando herramientas de análisis multicriterio.

Objetivos

General

Aplicar un modelo espacial para establecer el riesgo de inundación en el municipio de Armenia a partir de un análisis multicriterio utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Específicos

- Implementar geoprocetos para transformar los datos espaciales de capas vectoriales, facilitando la identificación del riesgo de inundación en el municipio.

- Clasificar el riesgo de inundación del municipio, mediante un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo, garantizando una evaluación precisa y detallada.
- Diseñar el mapa de riesgo de inundación del municipio, acompañado de un análisis de distribución espacial que permita determinar las zonas más vulnerables.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Armenia está ubicado en el departamento del Quindío, en la región andina de Colombia. Su topografía es predominantemente ondulada, con pendientes que varían de suaves a moderadas. La precipitación media anual supera los 2.200 mm, concentrándose principalmente en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre.

Usos del Suelo

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (P.O.T.) Adoptado mediante el Acuerdo Municipal No. 019 de 2009, el municipio de Armenia cuenta con una extensión territorial estimada de 12.233,68 hectáreas, clasificadas en diferentes tipos de suelo con funciones específicas (Alcaldía de Armenia, 2009).

Clasificación y Extensión del Suelo

- **Suelo Rural:** Representa 9.029,74 hectáreas, equivalente al 73,81% del total del municipio. Está destinado principalmente a actividades productivas como la agricultura, la ganadería y la explotación forestal (Alcaldía de Armenia, 2009).
- **Suelo Urbano:** Comprende 3.204,36 hectáreas, incluyendo el perímetro urbano de Armenia (3.175,86 ha) y del corregimiento El Caimo (28,50 ha). Esta categoría dispone de infraestructura básica para la urbanización y el desarrollo edilicio (Alcaldía de Armenia, 2009).
- **Suelo de Expansión Urbana:** Son áreas designadas para el crecimiento de la ciudad durante el periodo del P.O.T., distribuidas así: La Maravilla I (90,07 ha), La Maravilla II (99,02 ha), El Paraíso (142,47 ha), La Marina - Puerto Espejo (350,42 ha) y la zona industrial de El Caimo (143,28 ha) (Alcaldía de Armenia, 2009).
- **Suelo Suburbano:** Sectores rurales con posibilidad de desarrollo controlado. Incluyen corredores como Armenia-Montenegro (362,44 ha), Murillo (285,11 ha), Armenia-El Caimo (312,03 ha) y El Edén (312,03 ha) (Alcaldía de Armenia, 2009).
- **Suelos de Protección:** Son áreas destinadas a la conservación ambiental o por su utilidad pública, tanto en zonas rurales como urbanas (Alcaldía de Armenia, 2009).

El P.O.T. define los usos del suelo como la destinación legal de cada zona de acuerdo con las actividades permitidas, y los clasifica en cuatro categorías: principal, compatible, restringido y prohibido (Alcaldía de Armenia, 2009).

Zonas Urbanas

Residencial Cotidiano: Áreas predominantemente residenciales con actividades complementarias de bajo impacto (Alcaldía de Armenia, 2009).

Suelos de Protección Ambiental

Se autorizan actividades orientadas a la conservación, investigación y turismo ecológico, con infraestructuras livianas como senderos. Se excluyen usos como polideportivos (Alcaldía de Armenia, 2009).

Suelos Suburbanos

Permiten una combinación de actividades según el corredor. Por ejemplo:

- **Armenia-Montenegro y Murillo:** Servicios, agroindustria, vivienda campestre, recreación turística, industria liviana, entre otros.
- **Armenia-El Caimo – Club Campestre:** Logística, turismo, aprovechamiento de la biodiversidad y comercio especializado.
- **El Edén:** Infraestructura aeroportuaria, parques temáticos, zonas francas, transporte y agroindustria (Alcaldía de Armenia, 2009).

Suelos Rurales

Orientados a la producción agrícola y pecuaria, con usos compatibles como vivienda campesina y agroindustria. Se prohíben actividades como el entretenimiento de alto impacto y se limita el desarrollo de nuevos centros poblados (Alcaldía de Armenia, 2009).

Suelos de Expansión Urbana

La Maravilla I y II, El Paraíso y La Marina - Puerto Espejo: Tienen como uso principal la vivienda, permitiendo servicios y excluyendo industria.

Zona Industrial El Caimo: Destinada a industria pesada, logística y almacenamiento. Permite usos compatibles como zonas francas y agroindustria, pero restringe la vivienda y actividades agropecuarias. Se prohíbe el entretenimiento de alto impacto (Alcaldía de Armenia, 2009).

Población

El municipio de Armenia cuenta con una población estimada de 309.474 habitantes para el año 2024, lo que representa el 54,7 % de la población total del departamento. En cuanto a la distribución por sexo, las mujeres constituyen el 51,8 % de la población quindiana, mientras que los hombres representan el 48,2 %. La población de Armenia se caracteriza por ser gente trabajadora y emprendedora (DANE, 2020).

Ríos principales

- **Río Quindío- Características:**

Longitud: Aprox. 69 km (IDEAM, 2022).

Nacimiento: Nace en el Parque Nacional Natural Los Nevados (Cordillera Central).

Caudal: Variable, con aumento en temporadas de lluvia (abril-mayo y octubre-noviembre).

Recorrido: Cruza el suroeste de Armenia y desemboca en el río La Vieja.

Importancia

- **Abastecimiento hídrico:** Fuente de agua para acueductos rurales y actividades agrícolas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).
- **Riesgo de inundación:** Sectores cercanos a su cauce (ej: vereda La Herradura) son vulnerables a crecientes (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).
- **Biodiversidad:** Alberga especies endémicas como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).

Río Espejo- Características

Longitud: 25 km (IDEAM, 2022).

Nacimiento: Cerro Buenavista (corregimiento de Barcelona).

Caudal: Menor que el río Quindío, pero con flujo permanente.

Importancia

- **Riego agrícola:** Sustenta cultivos de café y plátano en zonas rurales (Fedecafé, 2023).
- **Conectividad ecológica:** Corredor biológico para aves migratorias (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Longitud: 18 km (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).

Nacimiento: Vereda El Caimo.

Caudal: Estacional, con reducción en verano.

Importancia:

- **Turismo:** Atractivo por sus pozos naturales en fincas ecoturísticas (Gobernación del Quindío, 2022).

- **Amenazas:** Contaminación por vertimientos agropecuarios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Riesgos y Gestión

Inundaciones: Los ríos Quindío y Espejo han generado emergencias en temporadas de lluvia, especialmente en zonas con pendientes <5% (IDEAM, 2022).

Medidas de mitigación:

- Reforestación de riberas (Gobernación del Quindío, 2024).
- Monitoreo con sensores de caudal (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).

Ecosistemas

En Armenia se pueden encontrar gran variedad de ecosistemas naturales y transformados. Entre los ecosistemas naturales resalta el bosque húmedo premontano en sus diferentes grados de conservación, (bosque maduro, intermedio, temprano, gradual y café con sombrío). Por otro lado, los ecosistemas transformados incluyen agroecosistemas conformados por cultivos principalmente de café, yuca y plátano, así como ecosistemas dominados por pastos ya sea con o sin ganadería. (Nieto et al., 2015)

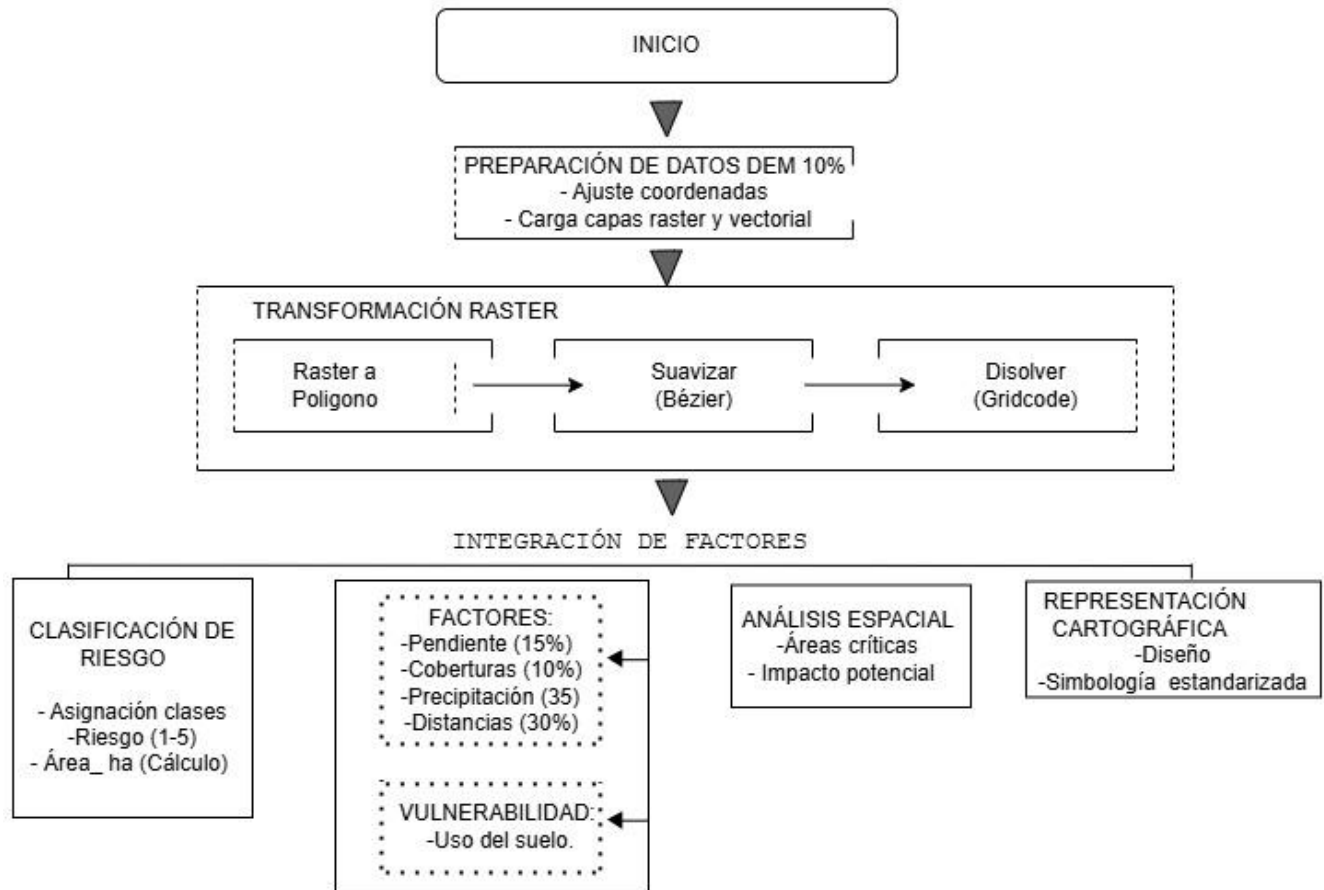
Usos de la tierra

Clasificación del suelo Rural del municipio de Armenia

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Armenia, con vigencia 2009 y 2023, establece que el suelo rural del municipio abarca 9.029,74 hectáreas. Esta extensión incluye zonas dedicadas a la conservación y protección ambiental, la producción agrícola y pecuaria, la explotación de recursos naturales, corredores viales suburbanos, áreas para vivienda campestre y espacios destinados a la expansión urbana. (Alcaldía de Armenia, 2009).

Metodología

Se basó en un análisis multicriterio con enfoque de suma ponderada. Para ello, se estructuró una base de datos geoespacial en ArcGIS Pro utilizando diferentes capas temáticas raster y vectoriales:

Figura 1. Metodología realizada

Fuente: Autoría propia.

Capas Usadas:

- DEM_.tif (Modelo digital de elevación) USGS
- Pendiente_Ar1.tif (Pendiente derivada) USGS DEM
- Flow_Acc_ (Acumulación de flujo) USGS DEM
- Distanc_Arme1 (Distancia a drenajes) USGS DEM
- Coberturas__CL (Uso/cobertura del suelo) IGAC
- Precipitación (IDEAM)
- Ponderación_mun. (Pesos de cada criterio)
- Raster_Armenia.tif (Resultado final)

Nota. Las capas geospaciales fueron obtenidas de fuentes oficiales. El modelo digital de elevación (DEM), la pendiente, la acumulación de flujo y la distancia a drenajes provienen del U.S. Geological Survey (USGS). Las coberturas del suelo fueron suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), y los datos de precipitación por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Cada capa fue reclasificada en una escala de 1 (riesgo mínimo) a 5 (riesgo máximo), según su nivel de influencia sobre el riesgo de inundación, conforme a metodologías propuestas por Efraimidou y Spiliotis (2024). Posteriormente, se asignaron ponderaciones con base en un modelo jerárquico (AHP) y literatura revisada.

Los pesos asignados a cada criterio se derivaron del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), validado mediante consulta a expertos y literatura (Efraimidou & Spiliotis, 2024; Kourgialas & Karatzas, 2011). Este método compara pares de variables para calcular su importancia relativa (ej: pendiente vs. cobertura vegetal), asegurando consistencia en la ponderación (Saaty, 2008). Los pesos finales fueron: Precipitación (35%), Distancia a drenajes (30%), Pendiente (15%), Cobertura del suelo (10%) y elevaciones (10%).

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

Criterio	Peso (%)	Justificación
Modelo de elevación digital DEM	10	De acuerdo con (USGS, 2018) DEM es una representación topográfica terrestre que asigna un valor de altitud a cada celda de una cuadrícula sobre la superficie del terreno. En el análisis del riesgo de inundación, el DEM es fundamental porque permite identificar zonas bajas propensas a acumular agua, generar capas derivadas como la pendiente, acumulación y dirección de flujo, y delimitar cuencas hidrográficas.
Pendientes	15	Las pendientes están relacionadas con el riesgo de inundación debido a la forma en la que se comporta el agua. Cuando son pendientes pronunciadas, el agua fluye con mayor rapidez, lo que puede provocar inundaciones en las zonas bajas. En cambio, en terrenos con pendientes suaves el agua se desplaza lentamente, lo que puede provocar acumulación y aumenta el riesgo de inundación, por encharcamiento o desbordamiento. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021).
Coberturas de tierras (CLC)	10	Las coberturas de la tierra están relacionadas al riesgo de inundación ya que afectan directamente la vulnerabilidad del territorio a este tipo de eventos. Las coberturas naturales tienen menos riesgo de inundación en comparación a las coberturas transformadas. (Torres Ramírez et al., 2024). Los suelos arcillosos (como los identificados en el suroeste

		de Armenia) tienen baja permeabilidad, lo que incrementa la escorrentía superficial y el riesgo de inundación (Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021; IDEAM, 2022). Se clasificó en escala 1-5 según textura: 1 (suelos arenosos, baja retención) a 5 (arcillosos, alta retención).
Precipitaciones	35	Las intensas precipitaciones en Armenia, Quindío ($\geq 2,200$ mm/año), junto a suelos arcillosos y pendientes suaves (<5%), incrementan el riesgo de inundación al reducir la infiltración y generar escorrentía superficial. La urbanización agrava el problema al impermeabilizar el suelo (IDEAM, 2022; Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021; Alcaldía de Armenia, 2023).
Distancia entre drenajes	30	La distancia entre drenajes influye en la rapidez con que el terreno evacua el agua lluvia, determinando el riesgo de inundaciones. Drenajes cercanos favorecen una mejor escorrentía, mientras que los más distantes pueden generar acumulación de agua según las condiciones del suelo y la pendiente. (Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. 2011). Herramientas como ArcGIS Pro usan este parámetro en análisis multicriterio para identificar zonas vulnerables. Al combinarlo con la pendiente y otros factores, permite planificar medidas de prevención y manejo del riesgo hídrico de forma más precisa. (Esri. 2020).

Nota. Esta tabla muestra los cinco factores del análisis de riesgo de inundación.

La integración de criterios se realizó mediante la herramienta "Raster Calculator" para generar un índice compuesto de riesgo. Finalmente, se clasificó el resultado en cinco clases cualitativas: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Posteriormente para construir un producto cartográfico digital que represente el riesgo de inundación en el municipio de Armenia, Quindío, a partir del procesamiento y análisis de información geoespacial mediante herramientas SIG, se realizaron los siguientes pasos:

1. Datos de entrada

Se utilizaron como insumos un archivo ráster del mapa de riesgo por inundación y un archivo vectorial del municipio de Armenia, Quindío.

2. Conversión del formato ráster a vectorial

El mapa de riesgo en formato ráster fue transformado a formato vectorial mediante el geoproceto “**Ráster a polígono**”, con el fin de facilitar su análisis.

3. Suavizado de geometrías

Para mejorar la calidad cartográfica de la capa vectorial resultante, se aplicó el geoproceto “**Suavizar polígono**”, corrigiendo las irregularidades y ángulos cerrados generados en la conversión inicial.

4. Simplificación de la información

Se aplicó el geoproceto “**Disolver**” a la capa suavizada para agrupar los polígonos según su código de riesgo, obteniendo una clasificación numérica general de 1 a 5, correspondiente a cinco niveles de riesgo.

5. Clasificación cualitativa y cálculo de área

A la tabla de atributos de la capa resultante se le agregaron dos nuevos campos:

- Un campo de **clasificación cualitativa del riesgo** (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto).
- Un campo de **área en hectáreas**, calculado mediante la herramienta “**Calcular geometría**”

6. Simbología y representación final

Se asignó simbología por **valores únicos** a cada categoría de riesgo para facilitar la interpretación visual, y finalmente se diseñó el **mapa del riesgo de inundación** del municipio de Armenia, Quindío, empleando los elementos cartográficos estándar.

Análisis Completo de Reclasificación

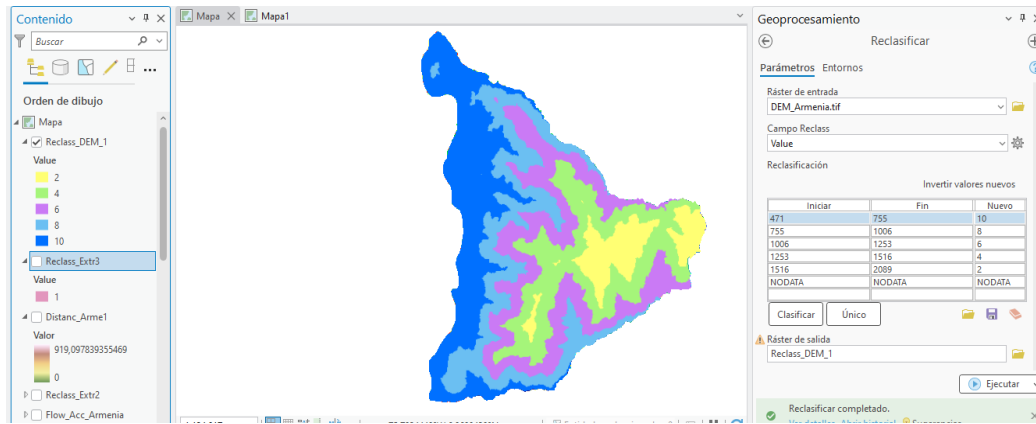
Tabla 2. *Estimación de clasificación cualitativa y cuantitativa*

Clasificación cualitativa	Valores
Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

Nota. Esta tabla muestra la relación de la descripción cualitativa del riesgo con su valor numérico correspondiente.

1. Reclasifique el modelo de elevación digital DEM del municipio.

Figura 2. Mapa de Reclasificación DEM



Fuente: Autoría propia.

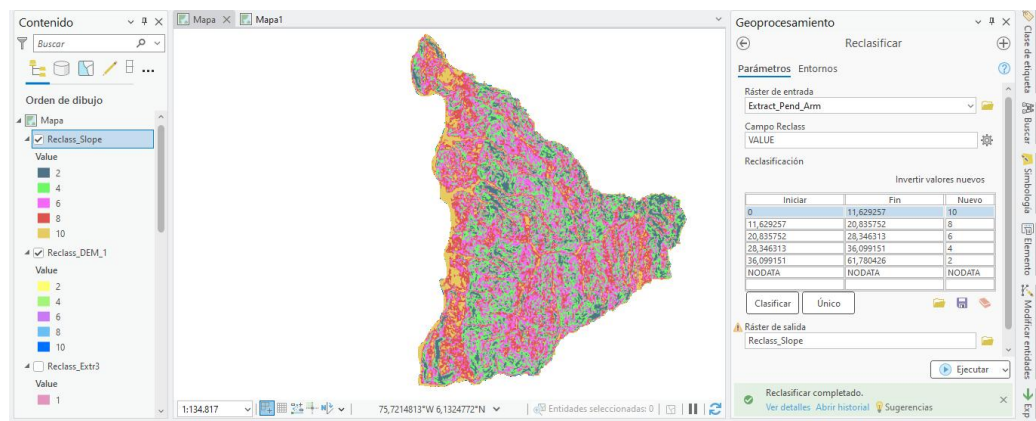
Tabla 3. Rango distribución elevación.

Valor asignado	Rango elevación msnm	Color observable	Nivel de riesgo
2	1516-2089	Amarillo	Riesgo muy bajo
4	1523-1516	Verde claro	Riesgo bajo
6	1005-1253	Magenta/Morado	Riesgo medio
8	755-1006	Azul claro	Riesgo alto
10	471-755	-Azul oscuro (zonas altas)	Riesgo muy alto

Nota. En la siguiente tabla se presenta los rangos de elevación del municipio de Armenia.

2. Rangos de pendiente (Reclass_slope)

Figura 3. Mapa de Reclasificación Pendiente



Fuente: Autoría propia.

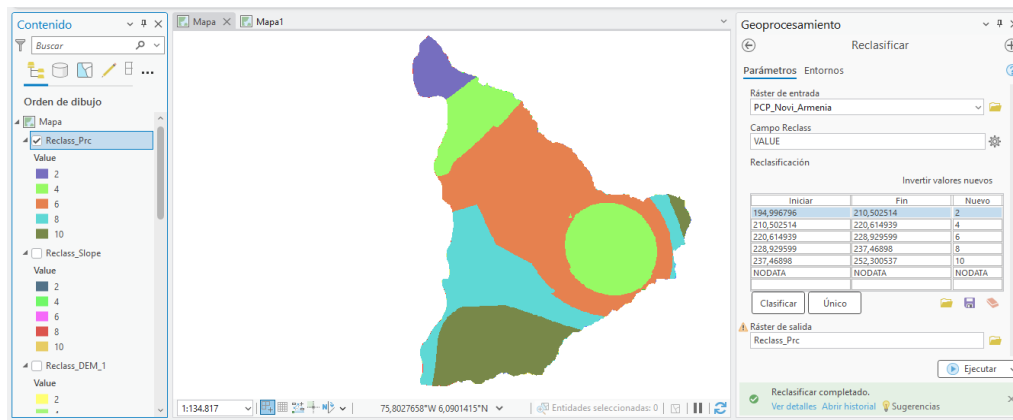
Tabla 4. *Reclasificación de la capa "Reclass_Slope" y sus valores:*

Valor Asignado	Rango de Pendiente	Color Observable	Nivel de Riesgo
2	36-67.7% (Pendientes muy pronunciadas)	Azul oscuro	Riesgo muy bajo
4	28.336.9% (Pendientes pronunciadas)	Verde claro	Riesgo bajo
6	20.8-28.3% (Pendientes moderadas)	Magenta/Morado	Riesgo medio
8	11.6-20.8% (Pendientes suaves)	Naranja	Riesgo alto
10	0-11.6% (Pendientes muy suaves o planas)	Amarillo	Riesgo muy alto

Nota. Las zonas con pendientes suaves o muy suaves presentan mayor riesgo de inundación debido a la mayor retención de agua superficial, mientras que las zonas con pendientes pronunciadas tienden a favorecer la escorrentía, reduciendo el riesgo de acumulación de agua.

3. Precipitación (Reclass_Prc)

Figura 4. *Mapa de Reclasificación precipitación*



Fuente: Autoría propia.

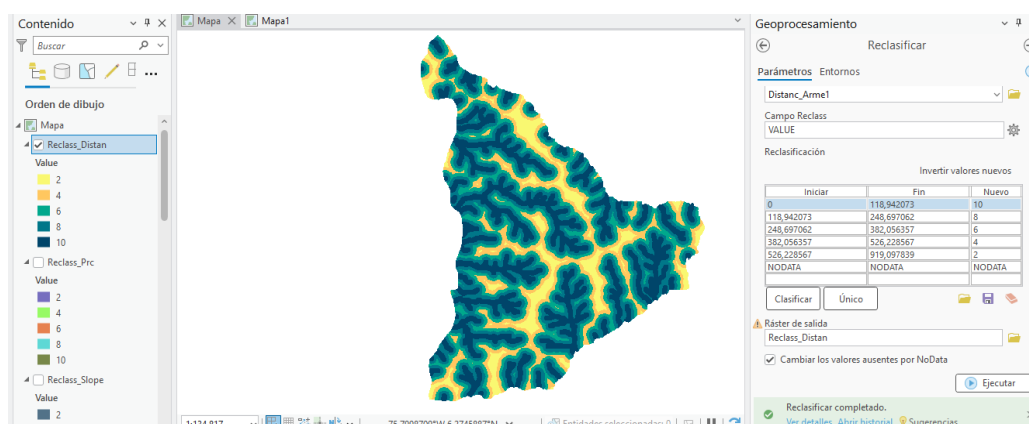
Tabla 5. Reclasificación de la capa "Reclass_PRC" y sus valores:

Valor Asignado	Rango de Precipitación	Color Observable	Nivel de Riesgo
2	194-210mm	Morado	Baja probabilidad de escorrentía Riesgo muy bajo
4	210.5-220.6 mm	Verde claro	Riesgo bajo
6	220.6-228.9 mm	Naranja	Riesgo medio
8	228.9-237 mm	Azul menta	Lluvias fuertes Riesgo alto
10	>252 mm	Verde Oscuro	Riesgo muy alto

Nota. En la anterior tabla se presenta la reclasificación de los rangos de precipitación del municipio de Armenia del mes de noviembre.

4. Distancia A Drenajes (Reclass_Distan)

Figura 5. Mapa de Reclasificación Distancias Drenajes



Fuente: Autoría propia.

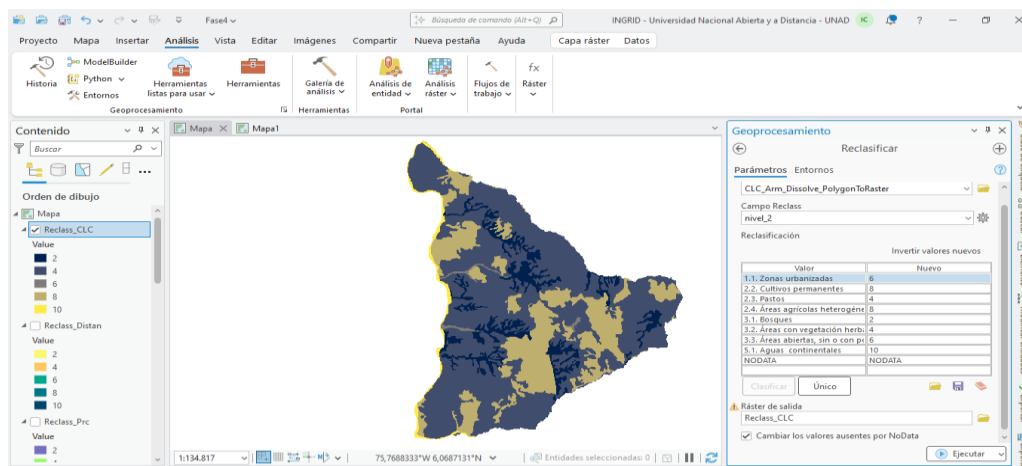
Tabla 6. Reclasificación de la capa "distancias" y sus valores:

Valor Asignado	Rango de Distancia	Color Observable	Nivel de Riesgo
10	0-118metros	Amarillo (cerca de cauces)	Riesgo muy alto
8	118-3248 metros	Verde claro	Riesgo alto
6	248-382 metros	Turquesa/Cian	Riesgo medio
4	382-526 metros	Verde medio	Riesgo bajo
2	526-919 metros	Azul oscuro	Riesgo muy bajo

Nota. Los valores más altos (colores cálidos) siguen la red de drenaje del municipio.

5. Coberturas Del Suelo - Clasificación De Riesgo (Reclass_CLC)

Figura 6. Mapa de Reclasificación CLC_coberturas



Fuente: Autoría propia.

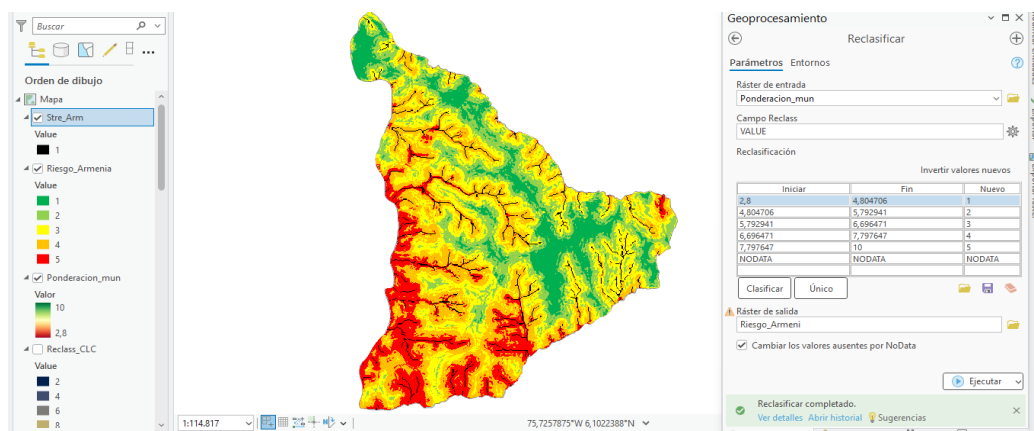
Tabla 7. Reclasificación de la capa "coberturas de suelo" y sus valores:

Riesgo	Valor	Descripción	Color asignado
Mínimo	2	- Bosques (3.1)	Azul oscuro
Bajo	4	- Áreas con vegetación herbácea (3.2) -Pastos (2.3)	Azul/marino
Medio	6	- Zonas urbanizadas (1.1) -Áreas abiertas sin vegetación (3.3)	Gris
Alto	8	- Cultivos permanentes (2.2) -Áreas agrícolas heterogéneas (2.4)	Marrón
Máximo	10	- Aguas continentales (5.1)	Amarillo

Nota. Esta tabla nos presenta los valores de los valores que representan el nivel de riesgo de las coberturas del suelo.

6. Resultado Final Del Modelo

Figura 7. Mapa de Riesgo_ Inundación



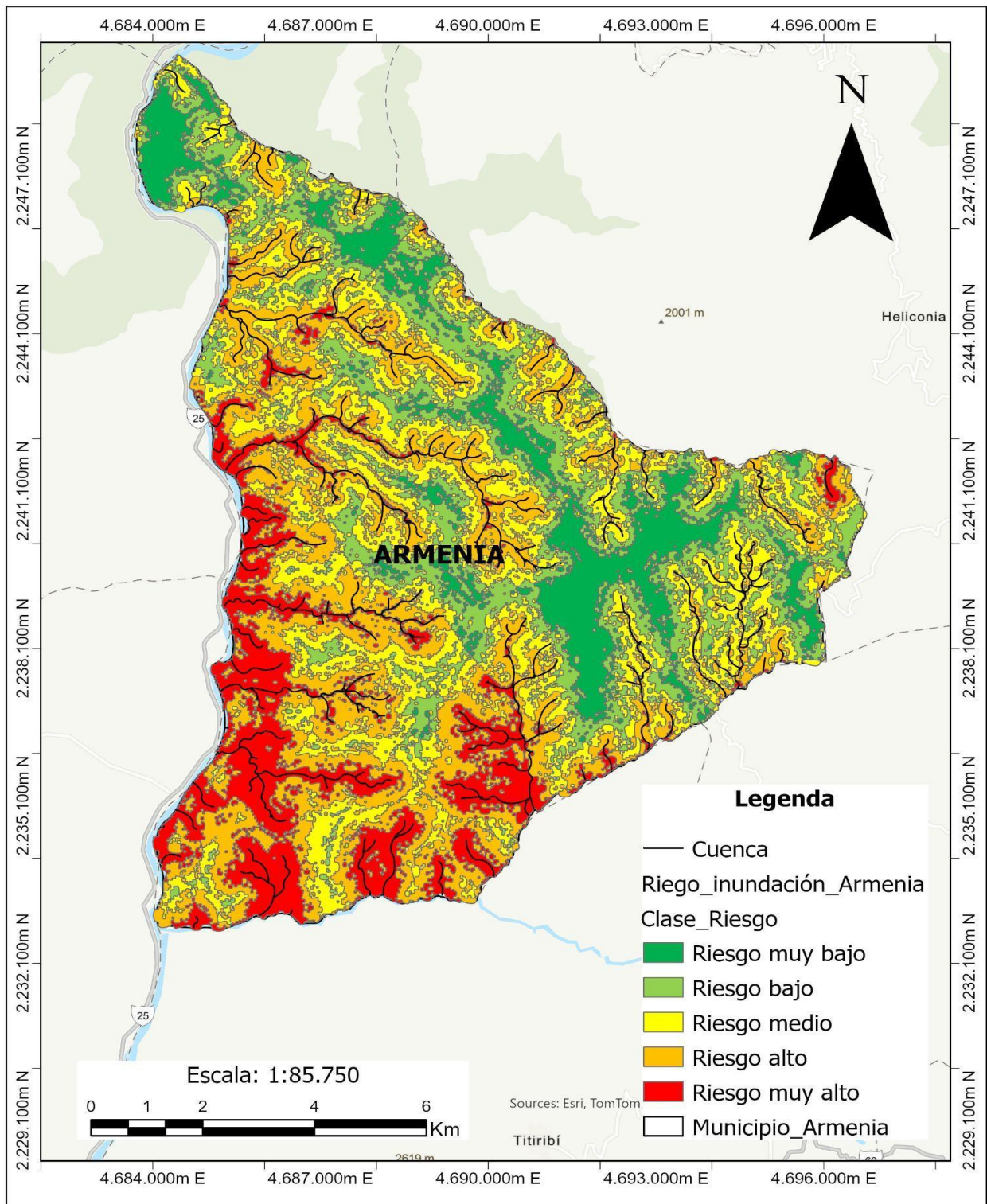
Fuente: Autoría propia.

Tabla 8. Mapa final de riesgo de inundación con 5 clases definidas:

Nivel de riesgo	Color	Valor	Características
Riesgo muy bajo	Verde oscuro	1	- Zonas altas del municipio noreste y áreas de pendientes pronunciadas. Sectores montañosos alejados de drenajes
Riesgo bajo	Verde claro	2	- zonas del norte, sectores de ladera con pendientes moderadas-Áreas alejadas de los cauces principales
Riesgo medio	Amarillo	3	-Zonas de pendientes moderadas. – Áreas urbanas consolidadas
Riesgo alto	Naranja	4	-Franjas adyacentes a los cauces principales Centro del municipio- Áreas urbanas consolidadas.
Riesgo muy alto	Rojo	5	Sector sureste del municipio -Zonas de confluencia inmediatas al río y a quebradas- Áreas de baja elevación con pendientes suaves

Nota. En esta tabla se realiza la clasificación de los niveles de riesgo de inundación para el municipio de Armenia.

Figura 8. Mapa de Riesgo representa el municipio Armenia



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)-Mapa de riesgo por inundación en el municipio de Armenia

Resultados

El mapa de riesgo generado (Figura 8) evidencia una concentración significativa de zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto de inundación, especialmente en el suroeste del municipio de Armenia. Las veredas como La Herradura, Guamal, La Unión y sectores rurales cercanos al cauce del río Quindío presentan una alta vulnerabilidad, debido a pendientes suaves, suelos de baja permeabilidad y elevada densidad de drenaje natural.

Adicionalmente, zonas cercanas a la carretera Ruta 25, que conecta Armenia con poblaciones del occidente antioqueño, también se encuentran en riesgo. Esta infraestructura vial es vital para la movilidad y el comercio regional, por lo que su afectación podría tener implicaciones logísticas y económicas de gran escala.

En cuanto al sistema agroproductivo, los cultivos de café, plátano y frutales ubicados en zonas bajas del municipio corren riesgo de pérdida ante eventos de lluvias extremas. Las pequeñas agroindustrias presentes en estas zonas también podrían enfrentar daños estructurales y pérdida de materia prima.

Por otra parte, en los sectores del norte y nororiente del municipio se identifican áreas clasificadas con riesgo muy bajo y bajo. Estas zonas presentan mayor elevación, pendiente pronunciada y mejor cobertura vegetal, lo que favorece la infiltración y reduce la escorrentía superficial.

Figura 9. *Distribución porcentual del riesgo.*



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)-Distribución porcentual del riesgo

La gráfica representa los porcentajes y las áreas del municipio de Armenia, Quindío, además muestra la clasificación según su nivel de riesgo de inundación. Por medio de esta gráfica se observa que el 42.8% del territorio del municipio, equivalente a 4.715,6 hectáreas, presenta un riesgo de inundación alto o muy alto. Esta situación es preocupante, ya que se puede evidenciar la necesidad y el compromiso que tienen las entidades ambientales de la región para que implementen

planes de contingencia y gestión ambiental para prevenir desastres naturales y proteger a la población. Por ello, es fundamental identificar con precisión las zonas más vulnerables y enfocar los esfuerzos en estas áreas, especialmente en aquellas donde hay presencia de familias.

Las zonas con menor riesgo (muy bajo y bajo) corresponden al 30.6 %, las cuales están localizadas en la parte norte y nororiental del municipio, donde la pendiente es mayor y hay menor densidad de drenajes.

La cartografía generada permite identificar con precisión las zonas críticas, orientar de manera efectiva las acciones de mitigación y fortalecer los instrumentos de planificación agroambiental. De este modo, es posible diseñar sistemas de alerta temprana que contribuyan a reducir los posibles daños ocasionados por eventos de inundación.

Hallazgos clave: Zonas críticas

Áreas Agrícolas:

Cultivos de Café y Plátano:

- El 35% de las zonas de riesgo alto/muy alto coincide con áreas dedicadas a estos cultivos (Fedecafé, 2023).
- Pérdidas económicas recurrentes por anegamiento de suelos en veredas como **La Herradura** y **Guamal** (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Impacto: Reducción de productividad y daños a infraestructura agropecuaria y como ejemplo: secaderos de café.

Infraestructura Vial (Ruta 25):

Sectores aledaños a esta vía (conecta Armenia con Antioquia) presentan inundaciones recurrentes, afectando transporte de carga y turismo (Invías, 2022).

Puntos críticos: Intersecciones cercanas al río Quindío y zonas con drenajes obstruidos (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).

Factores combinados

El análisis espacial del riesgo de inundación evidencia una distribución desigual del peligro, las áreas del sureste clasificadas como riesgo **muy alto (nivel 5)**, debido a las cercanías de cursos de agua y zonas con alta acumulación de flujo superficial que naturalmente presentan mayor susceptibilidad ante desbordamiento y se pueden extender a lo largo de zonas rurales y sectores como La Herradura, La Bendición, Guamal, El Cruce y las inmediaciones de Finca Playa Baja. Estas áreas presentan una combinación de pendientes pronunciadas, suelos agrícolas y una densa

red de drenajes naturales, lo cual incrementa la susceptibilidad a inundaciones y desbordamientos. La presencia de cultivos, viviendas rurales dispersas y caminos secundarios implica un alto grado de exposición de infraestructura productiva y social.

La afectación directa de estas zonas podría generar pérdidas económicas en el sector agropecuario, interrupción del transporte rural y limitaciones en el acceso a servicios básicos como salud y educación. Adyacente a estas áreas se ubican zonas con **riesgo alto (nivel 4)**, principalmente en el centro-oeste del municipio, donde se encuentran sectores como Armenia cabecera, La Unión y Morrito. Enfrentan una exposición considerable debido a la mayor densidad poblacional, presencia de infraestructura urbana y deficiencias en el sistema de drenaje pluvial, lo cual eleva el potencial de inundaciones urbanas.

En la parte central del municipio se encuentran zonas de **riesgo medio (nivel 3)**, donde la exposición continúa siendo significativa debido a la mezcla de usos del suelo y la infraestructura.

En contraste, las zonas del norte y noreste, como Santa Isabel, El Morrillo y el área del Parque Principal Heliconia presentan riesgos bajo (nivel 2) o **muy bajo (nivel 1)**, en gran parte por la existencia de cobertura vegetal natural, menor grado de intervención humana y mejores condiciones topográficas. Estas áreas funcionan como espacios de amortiguación natural y deben ser protegidas como parte de la estrategia de reducción del riesgo.

Por lo tanto, la mayor concentración de riesgo muy alto y alto de inundación se localiza en las zonas sur occidentales y centrales de Armenia, lo cual se debe tener en cuenta como control de expansión urbana y fortalecimiento de sistemas de alerta temprana.

Explicación Técnica del Fenómeno

En el municipio de Armenia (Quindío), la combinación de pendientes suaves (<3%) y alta cobertura urbana genera un escenario de riesgo muy alto de inundaciones debido a:

Baja capacidad de drenaje natural: Las pendientes menores al 3% no permiten un flujo rápido del agua, facilitando su acumulación en zonas planas (IDEAM, 2022).

Impermeabilización del suelo: La urbanización (asfalto, construcciones) reduce la infiltración del agua, aumentando la escorrentía superficial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Obstrucción de cauces naturales: La expansión urbana invade rondas hídricas, reduciendo el espacio por donde corren los ríos y quebradas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Zonas Críticas en Armenia con Estas Características

Suroeste del municipio (veredas La Herradura y Guamal).

Pendientes entre 1% y 3% + expansión de barrios informales.

Inundaciones recurrentes en épocas de lluvia (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2015).

Corredor de la Ruta 25

Áreas planas con alta densidad de construcciones y drenajes insuficientes (Invías, 2022).

Impactos Documentados

- **Económicos:** Pérdidas en cultivos de café y plátano por encharcamientos (Fedecafé, 2023).
- **Sociales:** Daños a viviendas en barrios como El Caimo (El Quindiano, 2017).
- **Infraestructura:** Interrupción de la Ruta 25, clave para el transporte de carga (Invías, 2022).

Soluciones posibles

- Restauración de rondas hídricas: Reubicación de construcciones en zonas invadidas (CRQ, 2020).
- Techos verdes y pavimentos permeables: Para reducir la escorrentía en zonas urbanas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).
- Sistemas de drenaje sostenible (SUDS): Zanjias de infiltración y pozos de absorción (Cubides, E., & Santos, G., 2018).

Conclusiones

Aunque el análisis se basa en datos de precipitación correspondientes al mes de noviembre, este mes fue seleccionado por su relevancia climática en la región, los resultados obtenidos permiten identificar patrones espaciales robustos que podrían mantenerse bajo condiciones hidrometeorológicas similares. Si bien se reconoce la necesidad de incorporar series temporales más extensas para evaluar la estabilidad anual del modelo, los hallazgos actuales ofrecen una base para orientar estudios futuros y acciones preliminares de gestión.

El mapa identifica áreas prioritarias (ej: suroeste) donde implementar medidas preventivas o estudios detallados. El 42.8% del municipio (4,715.6 ha) presenta riesgo alto o muy alto de inundación, especialmente en zonas como La Herradura, Guamal y cercanías al río Quindío, debido a pendientes suaves (<5%). El 35% de las áreas agrícolas (café y plátano) coinciden con zonas de alto riesgo, generando pérdidas recurrentes por anegamiento, lo que afecta la productividad y la infraestructura agropecuaria.

La Ruta 25 y áreas urbanas con drenaje deficiente son vulnerables a inundaciones, lo que disrumpiría el transporte y el comercio regional. La expansión urbana y la invasión de rondas hídricas agravan el riesgo.

Las zonas norte y nororiente (30.6% del territorio) tienen bajo riesgo gracias a pendientes pronunciadas y cobertura vegetal, mientras que el centro y suroeste concentran la mayor exposición por factores antrópicos y naturales.

Recomendaciones

- Incorporar estos resultados como base complementaria en la actualización del POT, destacando su utilidad para priorizar zonas de atención inmediata, ejemplo: veredas La Herradura y Guamal, pero advirtiendo que requieren validación con datos multianuales.
- Establecer restricciones o condicionamientos de uso del suelo en áreas con riesgo alto o muy alto, priorizando usos compatibles con la dinámica hídrica (zonas verdes, corredores ecológicos, cultivos temporales, entre otros.)
- Implementar programas de restauración de coberturas vegetales en zonas degradadas.
- Desarrollar sistemas de alerta temprana comunitarios, especialmente en veredas con alta exposición.
- Fomentar estudios participativos que integren el conocimiento local con el análisis geoespacial.
- Para realizar una efectiva mitigación se pueden construir reservorios en las veredas La Herradura y Guamal. Implementar barreras vivas con *Guadua angustifolia* que es un ejemplo exitoso en CorpoQuindío, 2023.
- Se recomienda ampliar el periodo de análisis de precipitaciones en el resto del año, para futuros estudios.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Armenia. (2009). Plan de Ordenamiento Territorial 2009-2023: Documento técnico de soporte – Componente Rural. Departamento Administrativo de Planeación Municipal. <https://planeacionarmenia.gov.co/plan-de-ordenamiento-territorial/>
- Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2015). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres - Armenia, Antioquia*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/28393/P_MGRD_ArmeniaAntioquia_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). (2020). *Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR) Quindío 2020-2039*. CRQ. Recuperado de <https://crq.gov.co/wp-content/uploads/2021/03/PGARQUINDIO2020-2039.pdf?utm>
- Cubides, E., & Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32–42. <https://doi.org/10.31908/19098367.3813>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2020). Quindío: Información estadística por departamentos y ciudades 2020. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/201026-InfoDane-Quindio.pdf>
- Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., y Paulik, R. (2024). Flood Impacts on Agriculture under Climate Change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *Economics of Disasters and Climate Change*, Vol. 8, pp. 283–316. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s41885-024-00147-3>
- Efrimidou, E., y Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Process*. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>
- El Quindiano. (2017). *Vendaval en el sur de Armenia, el sector de El Caimo el más afectado*. El Quindiano. Recuperado de <https://elquindiano.com/noticia/190336/vendaval-en-el-sur-de-armenia-el-sector-de-el-caimo-el-mas-afectado/>
- 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). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/44840>
- Esri. (2020). How weighted overlay works. Environmental Systems Research Institute. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/spatial-analyst/how-weighted-overlay-works.htm>

- Fedecafé. (2023). Impacto de los ríos en la caficultura quindiana. <https://fedecafe.com>
- Gobernación del Quindío. (2022). *Ordenanza No. 0003 del 21 de febrero de 2022: Plan Estratégico de Turismo del Departamento del Quindío 2022-2032*. Gobernación del Quindío. Recuperado de https://quindio.gov.co/home/docs/items/item_109/PET/ORDENANZA_0003_DEL_21_DE_FEBRERO_DE_2022.pdf
- Gobernación del Quindío. (2024). *Secretaría de Agricultura comprometida con la reforestación y la protección del medio ambiente*. Gobernación del Quindío. Recuperado de https://quindio.gov.co/comunicaciones/noticias-gobernacion-del-quindio/secretaria-de-agricultura-comprometida-con-la-reforestacion-y-la-proteccion-del-medio-ambiente?utm_source
- Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- IDEAM. (2022). Reporte hidrológico del Quindío. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Secretaría de Turismo del Quindío. (2022). Ríos como atractivo turístico. <https://www.quindio.gov.co>
- IDEAM. (2022). Atlas climatológico. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/temas/tiempo-y-clima/documentos/atlas/ATLAS-CLIMATOLOGICO-DE-COLOMBIA.pdf>
- Invias. (2022). Informe de vulnerabilidad vial en el Quindío. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/hechos-de-transparencia/planeacion-gestion-y-control/informes-de-gestion/19149-informe-de-gestion-2024/file>
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrological Sciences Journal, Vol 56(2)*, pp. 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), & The Nature Conservancy – Colombia (TNC). (2011). *Plan Nacional para la Prevención, el Control y Manejo de las Especies Introducidas, Trasplantadas e Invasoras: Diagnóstico y listado preliminar de especies introducidas, transplantadas e invasoras en Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/PN-Prevencio%CC%81n-el-control-y-Manejo-de-las-especies-introducidas-invasoras.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Guía: Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas (Anexo 18). <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 Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Guía de materiales para la construcción sostenible. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf>
- Nieto, O., Jiménez, I y Nieto, M. (2015) Variación De Coberturas Forestales Y Ocupación Del Territorio En El Municipio De Armenia 1939-1999. Revista Luna Azul, núm. 42, pp. 319-340, 2016. Universidad de Caldas. Manizales, Caldas. <https://www.redalyc.org/journal/3217/321744162014/html/#:~:text=La%20variaci%C3%B3n%20de%20coberturas%20vegetales%20en%20el%20municipio%20de%20Armenia,d efinen%20el%20uso%20del%20suelo.>
- Olaya, V. (2020). Sistemas de Información Geográfica. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica
- 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, Vol. 32(2), pp. 1–9. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3>
- Torres Ramírez, J. M., González López, M. E., & Rolón Beltrán, B. Y. (2024). *Análisis de riesgo de inundación por coberturas de tierra en el municipio de Villavicencio del Departamento del Meta*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/65373/jmtorresra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- USGS. (2018, 7 noviembre). What is a digital elevation model (DEM)? <https://www.usgs.gov/faqs/what-a-digital-elevation-model-dem>

Enlace de sustentación: <https://www.youtube.com/watch?v=oqhQxZNMpto>