

Modelación espacial del riesgo de inundación como insumo para el Ordenamiento agroambiental en Palmira, Valle del Cauca, Colombia

Tania Marcela Guerrero Gómez ta88gue330@unadvirtual.edu.co

Andrés Armando Moscoso Portilla aamoscosop@unadvirtual.edu.co

Ever Caicedo Moreno ecaicedomo@unadvirtual.edu.co

Juan Carlos Obregon Castro jobregonca@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Palmira (Valle del Cauca, Colombia), mediante la implementación de un modelo espacial de análisis multicriterio. Esta evaluación buscó integrar factores geomorfológicos, climáticos y de cobertura del suelo para generar una cartografía vectorial que sirva como insumo para la planificación territorial agroambiental. La metodología se basó en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente ArcGIS Pro, aplicando un análisis multicriterio que ponderó cinco factores determinantes: elevación (DEM), pendiente, cobertura del suelo, precipitación del mes de abril (como representante del primer pico lluvioso) y distancia a la red de drenajes principales. Los insumos geoespaciales procesados incluyeron modelos digitales de elevación, capas de pendiente, shapefiles de cobertura y rásteres de precipitación, todos estandarizados y reclasificados a una escala común de riesgo. Los resultados más relevantes identificaron que las zonas de riesgo alto y muy alto se concentran predominantemente en la planicie del valle del río Cauca, particularmente en áreas de baja pendiente adyacentes a los cauces de los ríos Amaine, Guachal, Bolo, Fraile y Palmira. Estas áreas coinciden con sectores de alta actividad agroindustrial y asentamientos humanos, evidenciando una correlación espacial clara entre la susceptibilidad física a la inundación y la exposición de sistemas productivos y población.

Palabras claves: SIG; Análisis Multicriterio; Planificación Territorial; Susceptibilidad hidrológica

Introducción

En el contexto actual es una tarea compleja el proceso de organizar, administrar y dirigir las acciones humanas, por lo tanto, no se puede improvisar, se requiere de herramientas técnicas que nos permitan entender cómo funcionan los sistemas biofísicos. Es aquí donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se vuelven fundamentales, no solo para hacer mapas, sino como el soporte real para tomar decisiones con una base ambiental sólida (Olaya, 2020). Lo interesante de estas plataformas es su capacidad para organizar modelos de datos espaciales precisos, logrando que toda esa información que a veces parece desconectada se transforme en un recurso clave para la planificación (Escolano Utrilla, 2015). Sin embargo, nos enfrentamos a un problema mayor: el cambio climático. Este fenómeno ha alterado las reglas del juego, aumentando la fuerza y la frecuencia de lo que llamamos eventos hidrometeorológicos extremos (EHE). De hecho, investigaciones a nivel global ya advierten que las inundaciones están poniendo en jaque tanto a

la infraestructura como a la producción de alimentos (Djanibekov et al., 2024), lo que nos obliga a usar métodos más avanzados, como la teledetección y el análisis de criterios múltiples, para evaluar el riesgo (Efraimidou y Spiliotis, 2024; Sosa-Franco et al., 2023).

Esta crisis global se aterriza claramente en nuestra región, específicamente en Palmira. Según lo que indica el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (Alcaldía de Palmira, 2019), el municipio tiene una vulnerabilidad que viene de tiempo atrás, marcada por estar sentado en la planicie aluvial del río Cauca y por el comportamiento de los ríos Amaime y Fraile. La historia no miente: la mezcla entre el crecimiento de la población y la variabilidad del clima ha dejado a muchas comunidades y sectores productivos a merced de inundaciones tanto lentas como repentinas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], s.f.). Es urgente actuar, sobre todo cuando vemos que la "memoria hídrica" del terreno sigue afectando la base agroindustrial de la zona (Alcaldía de Palmira, 2020). Por todo esto, este trabajo busca demostrar que el uso de los SIG es el camino para mapear con exactitud dónde están los puntos críticos en Palmira.

Objetivo General

Evaluar el riesgo de inundación en Palmira mediante un análisis espacial multicriterio, como base cartográfica para el ordenamiento agroambiental del municipio.

Objetivos Específicos

1. Procesar información geoespacial relacionada con factores determinantes del riesgo de inundación, como elevación, pendiente, cobertura del suelo, precipitación y red de drenajes, asegurando su correcta georreferenciación en el sistema MAGNA-SIRGAS CMT12.
2. Aplicar metodologías de análisis multicriterio y reclasificación para integrar los factores de riesgo, en un modelo espacial, asignando ponderaciones según su influencia en la ocurrencia de inundaciones y generando un mapa temático que represente los niveles de riesgo.
3. Cuantificar y analizar la extensión territorial de cada categoría de riesgo en Palmira, identificando las áreas críticas y evaluando su posible impacto sobre los sistemas productivos agrícolas, los asentamientos humanos y la industria del municipio.

Identificación del caso de estudio

Palmira es un municipio ubicado en el sur del departamento del Valle del Cauca, Colombia, dentro de la región plana del valle geográfico del río Cauca. Limita al norte con El Cerrito, al este con el departamento del Tolima, al sur con Pradera y Candelaria, y al oeste con Cali, Yumbo y Vijes (Alcaldía Palmira, 2020). Su posición estratégica sobre la planicie interandina lo convierte en un nodo de conexión entre la zona central del Valle y el corredor hacia el oriente del país. La cabecera municipal se encuentra aproximadamente a 1.001 metros sobre el nivel del mar, y el territorio se extiende desde áreas planas hasta zonas de ladera y páramo en la cordillera Central.

Administrativamente, Palmira cuenta con una superficie aproximada de 1.123 km², organizada en siete comunas urbanas y nueve comunas rurales, además de 35 corregimientos distribuidos en su área rural. Según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y estudios técnicos de la Alcaldía, el

perímetro urbano y las áreas de expansión suman cerca de 2.437,9 hectáreas (24,37 km²), mientras que el resto corresponde a áreas rurales con predominio de actividades agropecuarias, la población total supera los 300.000 habitantes, concentrándose principalmente en la cabecera municipal, lo que refleja una dinámica urbana significativa en contraste con la extensa zona rural que caracteriza al municipio.

Características Físicas y Ambientales

Altitud y pisos térmicos: Palmira presenta una altitud media (cabecera), con gradiente altitudinal que asciende hacia las áreas de ladera y páramo del flanco de la cordillera Central (Páramo de Las Hermosas) dentro de su influencia regional (Universidad Pontificia Bolivariana, s.f.).

Pendientes (morfología): La planicie del valle del río Cauca al oriente del departamento (donde se asienta Palmira) está conformada por abanicos aluviales de baja pendiente, que favorecen procesos de encharcamiento, desbordamiento y propagación lateral de láminas de agua durante crecientes; hacia el piedemonte y ladera aumentan las pendientes y la energía del escurrimiento. (Convenio CVC–Univalle, *Proyecto de Modelación del Río Cauca*). (CVC & UNIVALLE, 2001).

Red hídrica municipal (superficial): El territorio de Palmira se encuentra principalmente sobre la cuenca del río Amaime y la parte baja del sistema Guachal, Bolo y Fraile (subcuencas con conectividad hacia el río Cauca), además de cursos locales (río Palmira y varias quebradas). La CVC adoptó el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) para los ríos Guachal, Bolo, Fraile, Palmira y Párraga incluyendo objetivos de calidad por tramo, usos y programa de seguimiento (Res. 0100 No.0600-1051 de 2024).

Río Cauca y obras de protección (jarillones): Por tratarse de un corredor fluvial de alta dinámica, la CVC y las alcaldías de Palmira/Candelaria han inspeccionado y priorizado puntos críticos de obras de protección (jarillones) por impactos antrópicos, debilitamiento y riesgo de desbordamientos durante temporadas de lluvia, con recorridos y diagnósticos conjuntos (Alcaldía Palmira, 2020).

Características Climáticas Relacionadas con Precipitación

Regímenes y temporadas lluviosas: En el Valle del Cauca y, de manera específica en Palmira, el régimen es bimodal con dos temporadas principales de lluvia: marzo–mayo (primera temporada) y septiembre–noviembre (segunda temporada). La Secretaría de Gestión del Riesgo de Palmira consolidó para 1989–2019 la climatología de precipitación mensual y sus isoyetas, ratificando dichos picos estacionales en el municipio. Los boletines hidroclimatológicos y agroclimáticos (CVC–IDEAM–MTA) muestran excedentes y comportamiento típicamente alto en abril–mayo y nuevamente alto en octubre–noviembre, coherentes con el desplazamiento de la ZCIT y el patrón regional; por ejemplo, abril de 2025 presentó excedentes de precipitación de respecto a lo normal en varias cuencas del centro del departamento (incluyendo Amaime/Guachal) (CVC, 2025).

Mes/periodo de precipitación usado en Fase 4 (para la capa “precipitación”): Para Palmira, y alineados con la guía, se recomienda utilizar ABRIL como mes representativo de la primera temporada lluviosa, al presentar acumulados elevados y alta recurrencia de eventos de lluvia que inciden en el riesgo de inundación (congruente con la evidencia hidroclimatológica y los boletines CVC/IDEAM/MTA) (Alcaldía Palmira, 2020).

Metodología

El núcleo del trabajo consistió en la implementación de un Modelo de Análisis Multicriterio Espacial (MCE), técnica que, según Efraimidou y Spiliotis (2024), resulta determinante para evaluar riesgos ambientales a escala regional al permitir la integración de variables de distinta naturaleza.

Para la representación y procesamiento de los datos geográficos, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales funcionan como el soporte principal para organizar modelos de datos espaciales complejos (Escolano Utrilla, 2015; Olaya, 2020). La metodología se dividió en tres fases operativas:

1. Se recolectó información geoespacial de fuentes oficiales como el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres de Palmira (Alcaldía de Palmira, 2019) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Los datos incluyeron el Modelo Digital de Elevación (DEM), coberturas de suelo y registros de precipitación del IDEAM. Según Sosa-Franco et al. (2023), la calidad del procesamiento de consultas en un SIG depende de la correcta estructuración inicial de estos datos.
2. Se seleccionaron cinco variables críticas: pendiente, elevación, distancia a drenajes, uso del suelo y precipitación. Especial atención se dio a la "memoria hídrica" del territorio, considerando que el cambio climático ha intensificado los eventos extremos que afectan la base productiva agroindustrial (Djanibekov et al., 2024). Las variables fueron normalizadas y ponderadas mediante una matriz de comparación pareada.
3. Utilizando herramientas de álgebra de mapas, se generó la cartografía de riesgo. Este proceso se ajustó a los protocolos de seguridad y gestión de emergencias locales, asegurando que el mapa final sirviera como insumo real para el ordenamiento agroambiental del municipio, tal como lo sugieren las guías nacionales de gestión del riesgo (UNGRD, s.f.).

1. Recolección de información

Para el desarrollo del estudio se recopiló información geográfica clave que permitió realizar los análisis necesarios y cumplir los objetivos planteados. Entre los insumos utilizados se incluyeron el modelo de elevación digital (DEM), mapas ráster de pendientes y precipitación, así como archivos vectoriales (shapefile) del municipio, del departamento y de la cobertura de la tierra.

1.1 Configuración y carga de datos

Se configuró el proyecto en el sistema de coordenadas MAGNA–SIRGAS CMT12, garantizando la compatibilidad espacial de la información. Posteriormente, se cargaron todas las capas requeridas para dar inicio a los procesos de análisis geográfico.

2. Aplicación de geoprosesos

En esta etapa se delimitaron las características geográficas del municipio mediante herramientas de recorte, utilizando el shapefile municipal como referencia para ajustar todas las capas al área de estudio.

Disolución y conversión a ráster: La capa de cobertura de la tierra fue simplificada mediante el proceso de disolver y luego convertida de formato vectorial a ráster.

Extracción por máscara: Se recortaron capas ráster departamentales usando primero el DEM y luego el límite municipal como máscaras.

Modelación hídrica: A partir del DEM se corrigieron irregularidades, se calculó la dirección y acumulación del flujo de agua, generando insumos clave para el análisis hidrológico.

Reclasificación: Se identificaron las zonas con mayor acumulación de flujo, descartando valores inferiores al 1 %, y se calculó la distancia desde los drenajes principales.

Modelación del riesgo de inundación: Las capas resultantes se estandarizaron en una escala común de 2 a 10, donde los valores más altos representan mayor nivel de riesgo.

Método de análisis

El riesgo de inundación en el municipio de Palmira se evaluó mediante el Análisis Multicriterio (AMC) en ArcGIS Pro, integrando variables como pendiente, uso del suelo, hidrología y proximidad a cuerpos de agua. Cada criterio fue ponderado según su influencia, generando un mapa final de riesgo que permite identificar zonas vulnerables y apoyar la planificación territorial y la gestión agroambiental.

Preparación del ráster de precipitación

El ráster de precipitación, inicialmente disponible a escala departamental, fue procesado mediante la herramienta Extraer por Máscara. Este procedimiento se aplicó en dos etapas consecutivas: primero se recortó al límite del departamento y posteriormente al límite del municipio, con el fin de obtener la información de precipitación correspondiente exclusivamente al área de estudio y con un tamaño de celda consistente con el del DEM.

Derivación y preparación de drenajes y distancias

A partir del modelo de elevación digital se generaron los insumos hidrológicos necesarios mediante los procesos de relleno, dirección de flujo y acumulación de flujo. Con el ráster de acumulación de flujo se definió un umbral correspondiente al 1 % del valor máximo, lo que permitió identificar los drenajes principales. Posteriormente, mediante la herramienta de reclasificación, se aislaron estas áreas, asignando valores nulos a las celdas con acumulaciones inferiores al umbral. Finalmente, se calculó la acumulación de distancia desde los drenajes principales, generando el factor de distancia a cuerpos de agua a nivel municipal.

Modelación del riesgo por inundación mediante análisis multicriterio

En esta etapa se integraron los cinco factores ráster obtenidos previamente, los cuales fueron estandarizados a una escala común de riesgo y combinados mediante el método de suma ponderada.

Reclasificación de factores

La reclasificación tuvo como propósito transformar los valores originales de cada capa ráster a una escala homogénea de riesgo, comprendida entre 2 y 10, lo que permitió su correcta comparación e integración dentro del análisis multicriterio para la modelación del riesgo de inundación.

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

Clasificación cualitativa	Valores
---------------------------	---------

Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

Fuente: Tabla adaptada de *Guía de aprendizaje – Fase 4: Modelación agroambiental del territorio* (p. 10), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2025.

Reclasificación de variables físicas y ambientales

El modelo de elevación digital (DEM) fue reclasificado utilizando el método de Rupturas Naturales (Jenks) en cinco clases. Las zonas con menor altitud, asociadas a una mayor probabilidad de inundación, se asignaron a la categoría de riesgo muy alto (valor 10), mientras que las áreas con mayor elevación se clasificaron como riesgo muy bajo (valor 2), generando el ráster reclasificado de elevación.

De manera similar, el ráster de pendientes se reclasificó en cinco clases mediante el método Jenks. Las áreas con pendientes suaves, donde es más probable la acumulación de agua, se asociaron a valores altos de riesgo, mientras que las pendientes más pronunciadas se consideraron de menor riesgo.

El factor de precipitación también se reclasificó en cinco clases utilizando rupturas naturales. Las zonas con menores intensidades de lluvia se asignaron a valores bajos de riesgo, mientras que las áreas con mayores niveles de precipitación se clasificaron con valores altos, reflejando su mayor influencia en la ocurrencia de inundaciones.

En cuanto a la distancia a los drenajes, se aplicó el mismo método de clasificación, asignando mayores valores de riesgo a las áreas más cercanas a los cauces y valores menores a las zonas más alejadas.

La capa de coberturas de la tierra se reclasificó a partir del campo Nivel_2, asignando valores de riesgo entre 2 y 10 según el tipo de cobertura. Esta asignación se basó en la capacidad de cada cobertura para amortiguar o favorecer los procesos de inundación, otorgando valores más altos a superficies más vulnerables y valores más bajos a coberturas con mayor capacidad de regulación.

Integración de factores mediante suma ponderada






Una vez estandarizados los factores, se integraron mediante el método de suma ponderada, el cual permitió combinar las cinco capas reclasificadas asignando un peso específico a cada una, de acuerdo con su importancia relativa en la modelación del riesgo de inundación. Este procedimiento generó un ráster continuo de riesgo, resultado de la combinación ponderada de las variables físicas, hidrológicas y ambientales.

Los pesos asignados reflejaron la influencia de cada factor en el fenómeno analizado, destacándose la precipitación y la distancia a los drenajes como los criterios de mayor peso dentro del modelo.

Clasificación final y representación cartográfica

El resultado de la suma ponderada fue reclasificado nuevamente en cinco categorías de riesgo — muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto— utilizando el método de Rupturas Naturales. Finalmente, se aplicó una simbología gradual, con colores fríos para las zonas de menor riesgo y colores cálidos para las áreas de mayor riesgo, obteniendo el mapa final de riesgo por inundación del municipio.

Tabla 2. *Ponderaciones Utilizadas para cada factor*

Clasificación cualitativa	Valores	Símbolo
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Fuente: Tabla adaptada de *Guía de aprendizaje – Fase 6: Evaluación final* (p. 4), Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2025.

Cálculo de la ponderación del riesgo

La etapa de suma ponderada constituyó el núcleo del análisis de riesgo por inundación. Para ello se utilizó la herramienta Weighted Sum, disponible en el módulo Spatial Analyst de ArcGIS Pro. En este proceso se integraron los cinco rásteres previamente reclasificados —elevación, pendiente, cobertura de la tierra, precipitación y distancia a drenajes—, los cuales representan los principales factores que influyen en la susceptibilidad a inundaciones.

A cada uno de estos factores se le asignó un peso específico, definido en función de su nivel de contribución al riesgo, según los porcentajes establecidos previamente. Dichos porcentajes fueron convertidos a valores decimales para su ingreso en la herramienta. El procedimiento consistió en multiplicar el valor de cada celda por su peso correspondiente y posteriormente sumar los resultados, generando un nuevo ráster que representa un índice preliminar de riesgo. Este producto cartográfico refleja la combinación espacial de los factores analizados, donde valores más altos indican una mayor susceptibilidad a inundaciones.

Reclasificación del índice de riesgo

El ráster resultante de la suma ponderada presentó valores continuos, por lo que fue necesario reclasificarlo para facilitar su interpretación como mapa de riesgo. Para ello se aplicó el método de Rupturas Naturales (Jenks), definiendo cinco clases que representan distintos niveles de riesgo, desde muy bajo hasta muy alto. De esta manera, se obtuvo un ráster final con valores discretos que permiten una lectura clara y comprensible del riesgo de inundación a nivel municipal.

Posteriormente, se ajustó la simbología del mapa final utilizando una rampa de colores progresiva, que va desde tonos asociados a condiciones seguras hasta colores de alerta, garantizando una representación visual intuitiva y acorde con los estándares cartográficos.

Conversión del ráster de riesgo a formato vectorial

Con el fin de facilitar el análisis espacial y el cálculo de áreas, el mapa de riesgo en formato ráster fue convertido a una capa vectorial. Previamente, se verificó que el sistema de coordenadas del proyecto estuviera configurado en MAGNA–SIRGAS CMT12, asegurando la coherencia espacial de los resultados.

La conversión se realizó mediante la herramienta Raster to Polygon, la cual transformó las celdas contiguas con el mismo valor de riesgo en entidades poligonales, generando una capa vectorial donde cada polígono representa un nivel específico de riesgo.

Suavizado y simplificación cartográfica

Debido a que la conversión de ráster a vector puede generar bordes irregulares, se aplicó un proceso de suavizado de polígonos para mejorar la calidad visual del mapa. Se utilizó el algoritmo de interpolación de Bézier, el cual permitió obtener límites más suaves y cartográficamente más agradables, además de corregir posibles inconsistencias topológicas.

Posteriormente, se aplicó la herramienta Dissolve, fusionando los polígonos adyacentes que compartían el mismo nivel de riesgo. Este procedimiento redujo la fragmentación espacial, dando como resultado una capa más simple y fácil de analizar, con polígonos representativos para cada categoría de riesgo.

Preparación de la información atributiva y cálculo de áreas

Una vez obtenida la capa vectorial definitiva, se ajustó la tabla de atributos para el análisis final. Se incorporaron campos adicionales para describir cualitativamente el nivel de riesgo y para almacenar el área de cada polígono en kilómetros cuadrados. A partir del valor de riesgo, se asignaron etiquetas descriptivas que facilitan la comprensión del mapa por parte de usuarios no especializados.

El cálculo de áreas se realizó mediante la función de geometría, obteniendo valores cuantitativos que permiten evaluar la extensión territorial asociada a cada nivel de riesgo dentro del municipio.

Presentación cartográfica y análisis final

Finalmente, se realizó el diseño del mapa definitivo, integrando todos los elementos cartográficos esenciales, como la leyenda, la escala gráfica y la cuadrícula de coordenadas. Este producto permitió identificar de manera clara las zonas más vulnerables a inundaciones en el municipio de Palmira.

Resultados

Los procesos geoespaciales ejecutados permitieron la generación de capas temáticas específicas orientadas a la determinación del grado de inundación en el área de estudio. Para ello, se integraron y procesaron datos en formatos ráster y vectoriales (shapefile), lo que posibilitó la representación espacial de las zonas con diferentes niveles de afectación. Estas capas constituyen insumos fundamentales para el análisis de riesgo, tal como se evidencia en las figuras presentadas a continuación.

Figura 1. Raster de pendientes municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 1. Raster de pendientes municipio de Palmira El análisis del relieve revela que el 46% del territorio municipal corresponde a una planicie aluvial con pendientes menores al 3%, lo que geológicamente facilita la acumulación de sedimentos y agua (CVC, 2019). Históricamente, esta configuración ha sido el escenario de eventos catastróficos, como los registrados en las décadas de los 70 y 80, donde el desbordamiento de ríos de alta energía provenientes de la zona montañosa inundó la zona plana debido a la nula capacidad de evacuación por gravedad del terreno. Esta condición fisiográfica es la base del riesgo recurrente en el valle geográfico del río Cauca.

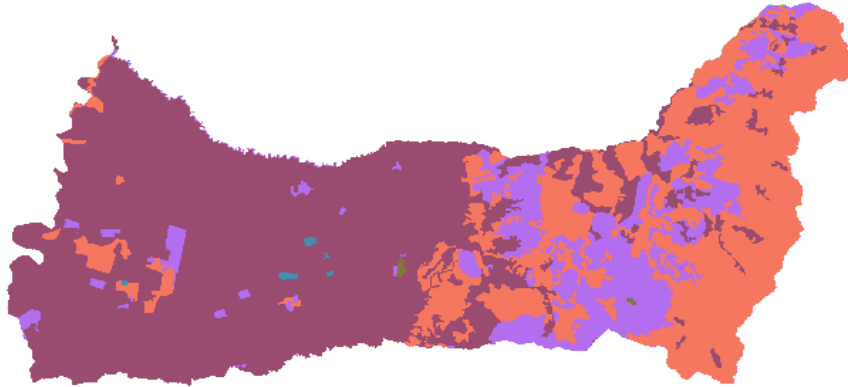
Figura 2. Reclasificación raster precipitación municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 2. Reclasificación de precipitación Los registros históricos del IDEAM indican que Palmira atraviesa por dos regímenes bimodales de lluvia, con picos críticos entre marzo-mayo y octubre-noviembre. Según los reportes de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2021), estos periodos coinciden con los desbordamientos históricos del río Nima. La precipitación en la parte alta de la cuenca, al interactuar con suelos ya saturados en la zona plana, ha generado históricamente crecientes súbitas que no dan tiempo de respuesta a las comunidades rurales, un patrón que se ha intensificado bajo la influencia del fenómeno de La Niña.

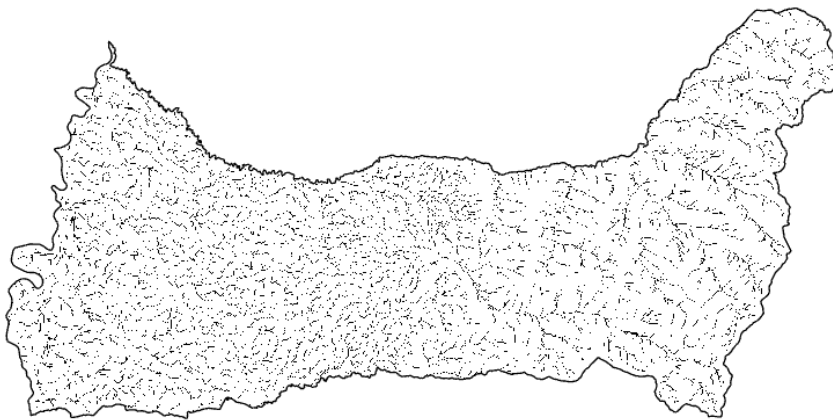
Figura 3. Reclasificación de coberturas de tierras municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 3. Reclasificación de coberturas de tierras Desde mediados del siglo XX, el paisaje de Palmira sufrió una transformación radical al pasar de bosques de galería y humedales a un monocultivo extensivo de caña de azúcar, que hoy ocupa la mayor parte de la zona plana (Asocaña, 2022). Esta alteración del uso del suelo ha compactado los niveles freáticos y eliminado barreras naturales. Históricamente, esto ha incrementado la vulnerabilidad de asentamientos rurales como Guanabanal o Caucaseco, los cuales, al estar rodeados por cultivos con sistemas de drenaje privado, quedan expuestos a inundaciones por "efecto cuenca" cuando el agua no encuentra canales naturales de salida.

Figura 4. Análisis hidrológico municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 4. Análisis hidrológico de Palmira La red hídrica de Palmira, compuesta principalmente por los ríos Amaime, Nima y el complejo de zanjones, ha sido históricamente intervenida para fines agrícolas. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de Palmira, 2014), la desviación de cauces naturales para el riego de la caña ha alterado la dinámica fluvial original. Los antecedentes muestran que en eventos de lluvias extremas, el agua tiende a recuperar sus

antiguos cauces y humedales (hoy ocupados por cultivos y viviendas), lo que explica la alta densidad de riesgo en los sectores donde la red hídrica converge en la zona plana.

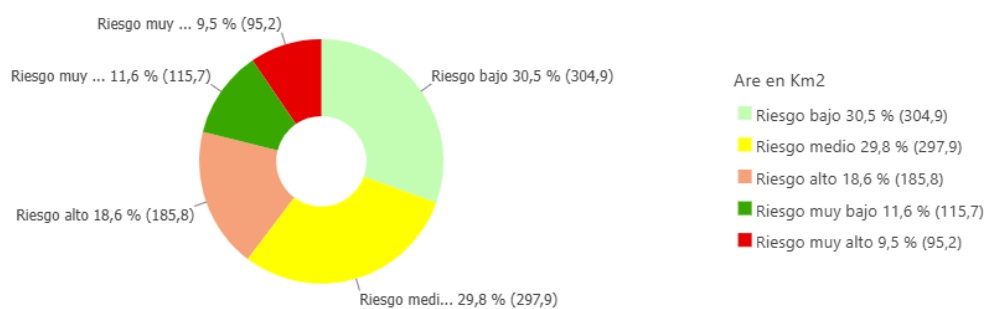
Tabla 3. Tabla clasificación del riesgo de inundación de palmira

Código	Clasificación del riesgo	Área (Km2)	Porcentaje (%)
1	Riesgo muy bajo	115,7	11,6
2	Riesgo Bajo	304,9	30,5
3	Riesgo medio	297,9	29,8
4	Riesgo Alto	185,8	18,6
5	Riesgo muy Alto	95,2	9,5

Fuente: Elaboración Propia, 2025.

Figura 5. Gráfico de resultados en kilómetros cuadrados.

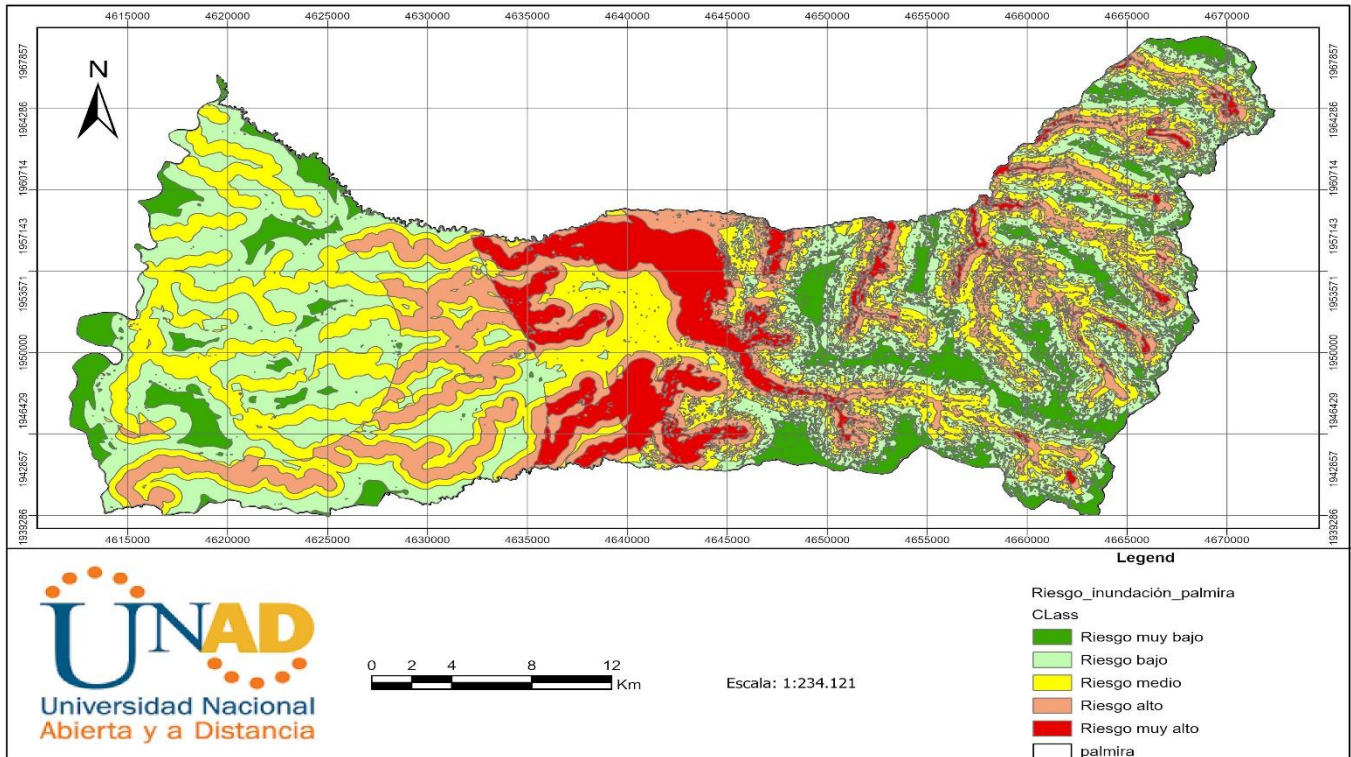
Grafico de la zona de estudio



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

La tabla Anterior y su gráfico correspondiente muestran una realidad muy clara de cómo está distribuido el riesgo de inundación en Palmira. Casi un 30% del territorio se encuentra bajo un nivel de riesgo bajo (304,9 Km²) y otro 30% en riesgo medio (297,9 Km²). Se requiere prestar mayor atención ya que el 28% sumado de riesgo alto y muy alto, que representan unos 281 Km². Están las regiones críticas donde, según el estudio, la baja pendiente y la cercanía a los ríos principales hacen que el agua simplemente no tenga hacia dónde salir, afectando directamente la infraestructura productiva y la seguridad de las comunidades. Según los resultados del estudio más de una cuarta parte del municipio requiere atención prioritaria y planes de manejo hídrico urgentes para evitar desastres.

Figura 6. Mapa de riesgo de inundación del municipio de Palmira (Valle del Cauca)



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Descripción de la figura 6: Mapa de riesgo de inundación. Este mapa de riesgo es la síntesis de una realidad histórica documentada: las zonas de "Riesgo Muy Alto" no son accidentales, sino que coinciden con las áreas de inundación recurrente mapeadas desde los eventos de 1950, 1999 y 2011 (CVC, 2019). La influencia de los factores es clara: la combinación de suelos agrícolas impermeabilizados, una red hídrica intervenida y la ubicación de asentamientos humanos en zonas de antiguo cauce. La recurrencia de estos eventos en las zonas de cultivos de caña subraya la necesidad de una gestión del riesgo que no solo sea reactiva, sino basada en el ordenamiento del territorio y la recuperación de la infraestructura hidráulica natural.

Conclusiones

1. El estudio muestra que el riesgo de inundación en la zona rural plana de Palmira no es un problema aislado, sino una condición propia del territorio. Factores como la cercanía a los ríos y la acumulación de agua indican que es fundamental fortalecer y mantener los jarillones de los ríos Bolo y Fraile, ya que estos protegen tanto a las comunidades rurales como a las actividades agroindustriales del municipio.
2. El uso de herramientas SIG junto con el análisis multicriterio fue efectivo para evaluar el riesgo de inundación en Palmira. Estas herramientas permitieron combinar diferentes tipos de información y analizar la influencia de variables como la pendiente, la elevación y la lluvia. Gracias a esta metodología fue posible identificar y cuantificar las áreas más vulnerables, aportando información útil para la planificación ambiental y territorial.

3. Los mapas de riesgo generados tienen una aplicación directa en la gestión del territorio. Al identificar claramente las zonas más expuestas a inundaciones, se facilita la priorización de obras de protección y la toma de decisiones sobre el uso del suelo. Además, esta información permite a las autoridades orientar mejor las acciones de prevención, las alertas tempranas y la asignación de recursos durante las temporadas de lluvia.
4. El modelo aplicado demuestra que el riesgo de inundación en Palmira está relacionado tanto con las condiciones naturales del territorio como con la forma en que este ha sido transformado para actividades productivas. El estudio aporta información técnica clara que ayuda a entender mejor el problema y a tomar decisiones basadas en evidencia. El principal reto es que estos resultados se integren de manera efectiva en la planificación y en las políticas públicas, para reducir el riesgo a largo plazo y promover un uso del suelo más adecuado.

Recomendaciones

1. Restauración de corredores biológicos y franjas de protección: Una de las principales necesidades es recuperar la vegetación de la ribera en los ríos Amaime, Guachal, Bolo Fraile y Palmira. Ya que se puede evidenciar en el estudio que las zonas de riesgo alto coinciden con las áreas donde los humedales y bosques fueron eliminados para establecer monocultivos; la restauración de las barreras naturales detendrá la fuerza del agua y aumentará la infiltración.
2. Mantenimiento y refuerzo de infraestructura hidráulica crítica: Se requiere de enforcar los esfuerzos en el fortalecimiento y mejorar de los jarillones y obras de protección, en los ríos Bolo y Fraile. Dado que el 46% del territorio es una planicie con una pendiente menor del 3% con una escasa evacuación de agua por la gravedad, cabe resaltar la importancia de estas estructuras ya que de estas dependen la defensa y seguridad de las comunidades rurales y la base agroindustrial de la zona.
3. Implementación de Sistemas de Drenaje Sostenible en el sector agroindustrial: Es clave que los propietarios de los cultivos extensivos de caña de azúcar, que a la fecha ocupan la mayor parte de la planicie del municipio de Palmira, implemente sistemas para el manejo hídrico que evite el efecto generado por las actividades humanas y agrícolas, las cuales generan repercusiones en las zonas de alta probabilidad de inundación, que para el caso de estudio es la zona plana del municipio.
4. Integración de la "memoria hídrica" en el Ordenamiento Territorial (POT): Los mapas de riesgo generados deben ser vinculantes para prohibir nuevos asentamientos e infraestructuras en zonas de antiguos cauces y humedales. El estudio demuestra que el aguatiende a recuperar sus espacios históricos; por tanto, la planificación debe basarse en la evidencia geoespacial para orientar un uso del suelo acorde a la realidad hidrológica del municipio.

Nota de transparencia sobre el uso de herramientas digitales

En la elaboración de este artículo, se empleó ChatGPT-4 (OpenAI, consulta del 12 de noviembre de 2025) para asistir en la organización inicial de las mejoras de redacción en secciones específicas. Los autores revisaron críticamente, validaron y reescribieron todo el contenido generado, manteniendo la autoría intelectual y la responsabilidad académica del trabajo presentado. La

herramienta se utilizó siguiendo las políticas éticas de la universidad y las normas de transparencia académica.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Palmira. (2020). Anexo DTS 2.5. Estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Plan de Ordenamiento Territorial Moderno. <https://palmira.gov.co/planeacion/wp-content/uploads/pot/potmoderno/Anexo%20DTS%202.5.%20Estudios%20basicos%20ame-naza%20CP%20-%20Vulnerabilidad%20y%20riesgo%20K%20Barrio%20Azul.pdf>
- Alcaldía de Palmira. (2019). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres - PMGRD Palmira. Secretaría de Gobierno. <https://palmira.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/PMGRD-VF-2019.pdf>
- Alcaldía de Palmira. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial de Palmira: Diagnóstico de Gestión del Riesgo. Secretaría de Planeación Municipal. <https://www.palmira.gov.co/planeacion/pot-palmira/>
- Asocaña. (2022). Informe anual 2021-2022: El sector agroindustrial de la caña en el Valle del Río Cauca. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. <https://www.asocana.org/sector-agroindustrial/publicaciones/informe-anual/>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2025, abril). *Reporte hidroclimatológico mensual: Abril 2025*. Cali, Colombia: CVC. Recuperado de <https://portal-hidroclimatologico.cvc.gov.co/sites/default/files/Informe%20Hidroclimatologico%20Abril%202025.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. (2019). *Plan de Gestión Ambiental Regional 2015-2027: Actualización de amenazas hidrometeorológicas*. Editorial CVC. <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-10/PGAR%202015-2027%20Actualizado%202019.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC & Universidad del Valle. (2001). *Caracterización del río Cauca y tributarios: Tramo Salvajina – La Virginia*. Informe ejecutivo. Santiago de Cali, Colombia: CVC y Universidad del Valle. Recuperado de https://portal-hidroclimatologico.cvc.gov.co/sites/default/files/archivosAdjuntos/informe_ejecutivo_proy-ecto_modelacion_del_rio_cauca_cvc-univalle_0.pdf
- Escolano Utrilla, S. (2015). *La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos*. En S. Escolano Utrilla (Ed.), *Sistemas de información geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía* (pp. 47-78). Prensas de la Universidad de Zaragoza.

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*, 8, 283–316. <https://doi.org/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 Processes*, 11(9). <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica

Universidad Pontificia Bolivariana. (s.f.). *Sobre la ciudad: Palmira*. <https://www.upb.edu.co/es/universidad/nuestro-campus/sobre-la-ciudad/palmira>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2021). *Plan Estratégico para la Gestión del Riesgo de Inundación en el Valle del Cauca*. Ministerio del Interior. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Planes/Plan-Estrategico-Gestion-del-Riesgo-Valle-del-Cauca.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (s.f.). Portal de Gestión del Riesgo Colombia. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>

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

Link de la sustentación

<https://youtu.be/A97ynd7lcBA>