

# **Modelación De Riesgo Por Inundación En El Municipio De Palmira, Valle del Cauca En El Año 2024.**

## **Autores:**

Diana Carolina Hernandez Cuasialpud Cod: 1113695934 – dchernandezcu@unadvirtual.edu.co

Elizeth Vanesa Ibarra Rosero Cod: 1088737557 – evibarrar@unadvirtual.edu.co

Nelson Esteban Lasso Mosquera. Cod: 1113541288 – nelassomnadvirtual.edu.co

Yefersson Rivas Ayala Cod: 1144168150 – yrivasay@unadvirtual.edu.co

Yulieth Arroyo Ramirez Cod: 1000034896 – yarroyoram@unadvirtual.edu.co

## **Director:**

John Carlos Ruiz Caicedo – john.ruiz@unad.edu.co

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Mayo, 2025

## **Resumen**

Este estudio presenta la modelación del riesgo de inundación en territorio colombiano, tomando como caso de análisis el municipio de Palmira (Valle del Cauca). Para ello, se emplea el uso de Sistemas de Información Geográfico (SIG) y análisis multicriterio, basado en variables como el modelo digital de elevación (DEM), pendiente, uso del suelo, precipitación del mes de abril 2024, acumulación de flujo y distancia a drenajes.

Se generaron mapas de riesgo que permitieron identificar zonas con mayor vulnerabilidad frente a inundaciones. La metodología implementada permite armonizar, reclasificar y ponderar datos espaciales, con el fin de obtener una cartografía final de riesgo de inundación en términos cualitativos. Los resultados del análisis multicriterio evidencian diferencias significativas sobre las zonas de vulnerabilidad dentro del municipio. Con base en la clasificación del riesgo se determinó los siguientes valores a partir de la metodología empleada: riesgo muy bajo (8,44%), riesgo bajo (18,82) %, riesgo medio (21,32) %, riesgo alto (27,67) %, siendo el porcentaje más elevado en el estudio y riesgo muy alto (23,76) %.

Estos valores revelan una alta vulnerabilidad en el municipio de Palmira Valle del Cauca, atribuido específicamente a factores como la baja pendiente del terreno y su proximidad al río Cauca, abarcando corregimientos como Aguaclara, Tienda Nueva, Matapalo, Bolo San Isidro, Amaine y en el área urbana como son la Carbonera, la Trinidad y Zanjón Hondo quienes se consideran los terrenos de mayor amenaza frente a eventos adversos. En ese sentido el ejercicio cartográfico implementado constituye una herramienta fundamental para el fortalecimiento del ordenamiento territorial y la planificación agroambiental, al proporcionar información determinante para la gestión del riesgo y la toma de decisiones orientadas al desarrollo sostenible de las zonas priorizadas

## **Palabras claves**

- Inundaciones.
- Sistemas de Información Geográfico.
- Análisis multicriterio.
- Riesgo.

## **Summary**

This study presents a flood risk modeling analysis in Colombian territory, using the municipality of Palmira (Valle del Cauca) as a case study. The approach employs Geographic Information Systems (GIS) and a multi-criteria analysis based on variables such as the digital elevation model (DEM), slope, land use, April 2024 precipitation, flow accumulation, and proximity to drainage networks.

Risk maps were generated to identify areas with a higher risk of flooding. The implemented methodology enables spatial data to be harmonised, reclassified and weighted in order to produce qualitative flood risk cartography. The results of the multi-criteria analysis revealed significant differences in vulnerability zones within the municipality. Based on the risk classification, the following values were determined using the methodology: very low risk (8.44%), low risk (18.82%), medium risk (21.32%), high risk (27.67%), and very high risk (23.76%).

These values reveal high vulnerability in the municipality of Palmira, Valle del Cauca, specifically due to factors such as low terrain slope and proximity to the Cauca River. This affects villages such as Aguaclara, Tienda Nueva, Matapalo, Bolo, San Isidro and Amaime, as well as urban areas such as La Carbonera, La Trinidad and Zanjón Hondo. These areas are considered the most threatened in the event of adverse weather conditions. In this sense, the implemented cartographic exercise is a fundamental tool for strengthening land use and agro- environmental planning, providing decisive information for risk management and decision- making aimed at the sustainable development of the prioritised areas.

## **Keywords**

- Floods.
- Geographic Information Systems.
- Multicriteria analysis.
- Risk.

## **Introducción**

El análisis multicriterio se ha consolidado como una herramienta esencial en la gestión ambiental y la planificación territorial, especialmente frente a fenómenos como las inundaciones, que constituyen una de las amenazas naturales más recurrentes y destructivas en Colombia (Ordoñez et al., 2018; Salamanca et al., 2019). Estos eventos impactan gravemente a las comunidades, la biodiversidad y los sistemas productivos localizados cerca de cuerpos de agua, siendo exacerbados por el cambio climático y las características geomorfológicas del país (IDEAM, 2022).

A pesar de los avances normativos y tecnológicos, estudios han revelado que la mayoría de los desastres en Colombia se deben más a una inadecuada gestión del riesgo que a causas naturales propiamente dichas (Salamanca et al., 2019; UNGRD, 2021). La falta de enfoque preventivo, el uso inadecuado del suelo y la carencia de infraestructura resiliente han incrementado la vulnerabilidad territorial (Pérez & Ramírez, 2021). En este sentido, la cartografía temática y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen una alternativa efectiva para diagnosticar zonas de riesgo, orientar el ordenamiento territorial y planear acciones de mitigación (Ojeda et al., 2020; IGAC, 2020).

Este estudio aplica un modelo de análisis multicriterio mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el municipio de Palmira, Valle del Cauca. A través de la integración de variables físicas y climáticas, se busca generar productos cartográficos que faciliten la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones y contribuyan a una planificación territorial más resiliente y sostenible.

## **Objetivos**

### **General.**

Modelar el riesgo de inundación en el municipio de Palmira (Valle del Cauca) mediante un análisis multicriterio en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el fin de generar productos cartográficos que sirvan de apoyo en los procesos de ordenamiento territorial.

### **Específicos.**

- Integrar variables ambientales clave como la precipitación, ríos y cuerpos de agua, deforestación urbanización y variabilidad climática para el análisis del riesgo de inundación en el municipio de Palmira (Valle del Cauca).
- Generar cartografía temática que represente las zonas de riesgo de inundación en el territorio del municipio de Palmira (Valle del Cauca).
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de identificar áreas críticas susceptibles a inundaciones en el municipio de Palmira (Valle del Cauca).

## **Identificación del caso de estudio**

Palmira, situado en el valle geográfico del río Cauca, posee un relieve plano con suelos de origen aluvial, fértiles pero susceptibles a procesos de erosión e inundación durante la temporada de lluvias, especialmente en abril, cuando las precipitaciones superan los 200 mm (IDEAM, 2024). Esta situación afecta tanto áreas agrícolas como urbanas, que conviven con humedales y relictos de bosque seco tropical (CVC, 2021).

El municipio presenta un solo piso térmico cálido, con altitudes entre los 950 y 1.100 m s. n. m., temperaturas que oscilan entre 19 °C y 37 °C, y una humedad relativa promedio del 83 % (Alcaldía de Palmira, 2020; IGAC, 2023). Estas condiciones favorecen la producción de cultivos transitorios como el sorgo, cuyas cosechas se concentran en los meses de menor precipitación: junio, julio y agosto (Agrosavia, 2022; CVC, 2021).

Durante los meses de marzo, abril y noviembre, el nivel de los ríos Palmira, Amaime y Bolo aumenta considerablemente, generando riesgo de desbordamientos, especialmente en las zonas de expansión agrícola (IDEAM, 2024; UNGRD, 2023). Esta dinámica hídrica está relacionada con el uso inadecuado del suelo y la disminución de la cobertura vegetal, lo que incrementa la vulnerabilidad del territorio (Universidad del Valle, 2023).

En materia de calidad del agua, se ha identificado la presencia de contaminantes derivados de vertimientos domésticos, agroindustriales y escorrentías cargadas de fertilizantes y plaguicidas (UNAL, 2023; Ministerio de Ambiente, 2022). Esta situación compromete la salud de los ecosistemas acuáticos y limita el uso del agua para consumo y riego.

En cuanto a calidad del aire, estudios reportan concentraciones elevadas de material particulado en el casco urbano, atribuidas a fuentes móviles y quemas agrícolas, sobre todo en época seca (CVC, 2021; Alcaldía de Palmira, 2020). A pesar de estos retos, Palmira conserva zonas de alto valor ecológico como el Parque Natural Las Herosas, que contribuye a la conectividad ecosistémica y regulación climática (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2023).

## **Metodología**

El estudio se centra en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, con el objetivo de caracterizar geoespacialmente el territorio y, fundamentalmente determinar las zonas con riesgo de inundación mediante un análisis multicriterio avanzado. Todas las operaciones y productos se generaron utilizando el software ArcGIS Pro.

## **1. Fase de preparación y exploración inicial de datos.**

Esta fase constituyó el punto de partida del estudio, enfocándose en la recopilación, organización y procesamiento de la información geoespacial fundamental para el municipio de Palmira (Valle del Cauca).

**1.1. Adquisición y Carga de Datos Georreferenciados:** Se cargaron en ArcGIS Pro las siguientes capas de información, previamente verificadas y adaptadas para el área de estudio de Palmira:

- Modelo de Elevación Digital (DEM): Proporcionando la base topográfica del terreno.
- Capas de Drenajes: Información vectorial de la red hídrica principal y secundaria (drenajes dobles y sencillos).
- Límites Político-Administrativos: Capas vectoriales del departamento del Valle del Cauca y, de manera crucial, del municipio de Palmira.
- Capas de Oferta Ambiental: Datos vectoriales que describen áreas con distintas aptitudes de uso o restricciones ambientales.
- Datos de Cobertura y Uso del Suelo (CLC): Información ráster o vectorial que clasifica las diferentes coberturas del territorio (ej., cultivos, bosques, zonas urbanas).
- Datos de Precipitación: Capas ráster de precipitación para el mes de mayores lluvias, abarcando la región del Valle del Cauca para su posterior recorte a Palmira.
- Ráster de Pendientes: Obtenido a partir del DEM, o como dato de entrada, representando la inclinación del terreno.

**1.2. Configuración del Entorno de Trabajo:** Todos los proyectos y geoprocursos se configuraron bajo el sistema de coordenadas proyectadas MAGNA-SIRGAS CMT12, garantizando la coherencia y precisión espacial de los análisis en el contexto geográfico colombiano.

## **2. Fase de análisis de operaciones espaciales y caracterización ambiental.**

Esta etapa se dedicó a la aplicación de geoprocursos espaciales para extraer características y realizar análisis preliminares del territorio de Palmira, sentando las bases para la modelación de riesgos.

**2.1. Delimitación del Área de Interés:** El municipio de Palmira fue definido como la unidad de análisis principal. Para ello, todas las capas de información geográfica se procesaron mediante la herramienta (Recorte) utilizando el límite municipal de Palmira como máscara, asegurando que los análisis se enfocaran exclusivamente en esta jurisdicción.

**2.2. Análisis de Zonas de Influencia Fluvial:** Se aplicó la herramienta Buffer (Zona de Influencia) a las capas de drenajes previamente recortadas a Palmira, generando un área de 30 metros alrededor de los cursos de agua. Este producto es fundamental para identificar áreas ribereñas con alta conectividad hídrica y potencial impacto ambiental o de riesgo.

**2.3. Caracterización de Oferta Ambiental y Uso del Suelo:** La capa de oferta ambiental de Palmira fue procesada mediante las herramientas Dissolve para agrupar y simplificar sus atributos. Posteriormente, se identificaron y exportaron las "Áreas para producción" y, mediante una operación de Symmetrical Difference, se delimitaron las "Áreas de interés ambiental y de restricción legal". Se procedió al cálculo de la superficie en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>) para cada una de estas categorías, cuantificando la distribución de aptitudes del suelo en el municipio.

**2.4. Modelación Hidrológica y Delimitación de Cuencas:** Utilizando el Modelo de Elevación Digital (DEM) de Palmira, se ejecutó una secuencia de geoprocursos hidrológicos ráster para comprender el flujo del agua y delimitar microcuencas:

- Relleno (Fill): Para corregir imperfecciones del DEM.
- Dirección del Flujo (Flow Direction): Para determinar la dirección de escorrentía del agua en cada celda.
- Acumulación de Flujo (Flow Accumulation): Para cuantificar la cantidad de celdas que drenan hacia un punto.
- Vínculo de Curso de Agua (Stream Link) y Clasificación de Cursos de Agua (Stream Order - método Strahler): Para definir la red hídrica y su jerarquía.
- De Curso de Agua a Entidad (Stream to Feature): Para convertir la red hídrica ráster en una capa vectorial.
- Definición de Punto de Vertido (Snap Pour Point) y Cuenca Hidrográfica (Watershed): Se estableció un punto de vertido y se delimitó la cuenca que drena a ese punto, lo que permite un análisis detallado de las unidades hidrológicas.

### **3. Fase de modelación agroambiental: determinación del riesgo por inundación.**

Esta fase constituye el núcleo metodológico del estudio, donde se aplicó un análisis multicriterio para modelar y espacializar las zonas de riesgo por inundación en Palmira.

El proceso se desarrolló en ArcGIS Pro, integrando múltiples factores de análisis de la siguiente manera:

**3.1. Selección y Preparación de Factores de Riesgo:** Se identificaron cinco factores clave que inciden en el riesgo de inundación: DEM (Altitud), Pendiente, Precipitación, Uso del Suelo (CLC), Acumulación de Flujo y Distancia a Corrientes Hídricas. Cada una de estas capas fue preparada para su integración:

- Las capas de precipitación y cobertura de tierras fueron recortadas al área de Palmira y transformadas a formato ráster, asegurando la consistencia espacial con un tamaño de celda de 30 metros.
- La acumulación de flujo fue generada a partir del DEM, y la distancia a corrientes hídricas se calculó a partir de una reclasificación de la acumulación de flujo.

**3.2. Reclasificación de Factores:** Cada una de las capas de los cinco factores fue reclasificada en cinco rangos distintos. Esta reclasificación asignó valores de riesgo en una escala de 2, 4, 6, 8 y 10, a cada rango, de modo que un valor más alto representaba una mayor contribución al riesgo de inundación. Por ejemplo:

- En el DEM, las altitudes más bajas recibieron valores de riesgo más altos.
- En la pendiente, las áreas con menor inclinación (más planas) recibieron valores de riesgo más altos debido a la mayor probabilidad de acumulación de agua.
- Los demás factores (precipitación, uso del suelo, acumulación de flujo, distancia a corrientes hídricas) fueron reclasificados siguiendo criterios técnicos que relacionan su valor con la propensión a la inundación.

**3.3. Ponderación y Superposición Ponderada (Weighted Overlay):** Una vez reclasificadas, cada capa fue ponderada según su influencia relativa en el riesgo de inundación, reflejando la importancia diferencial de cada factor en el fenómeno. Posteriormente, se utilizó la herramienta Weighted Overlay (Superposición Ponderada) en ArcGIS Pro. Esta operación combinó todas las capas de factores reclasificados y ponderados, sumando sus contribuciones para generar un mapa de riesgo ráster que representaba la amenaza de inundación en cada celda del territorio de Palmira.

**3.4. Transformación y Afinado del Producto Final:** El mapa de riesgo ráster fue convertido a un formato vectorial mediante la herramienta Raster to Polygon. Este paso transformó las celdas ráster de riesgo en polígonos, facilitando su manejo y visualización. Para mejorar la calidad cartográfica y la legibilidad de las áreas de riesgo, los polígonos fueron suavizados con la herramienta Smooth Polygon y posteriormente simplificados con Dissolve, agrupando áreas contiguas con el mismo nivel de riesgo.

**3.5. Simbolización y Cuantificación de Áreas:** Finalmente, se aplicó una simbología por valores únicos a la capa vectorial de riesgo, clasificando los resultados en cinco niveles de riesgo de inundación: "muy bajo", "bajo", "medio", "alto" y "muy alto". Se calcularon las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo en hectáreas, proporcionando una cuantificación precisa de las zonas vulnerables en Palmira.

Y de esta manera se concluye con la cartografía riesgo por inundación para el municipio de Palmira (disponible en formatos ráster y vectorial), una tabla detallada con las áreas cuantificadas por cada nivel de riesgo.

Dicho lo anterior se procede a obtener cada una de las capas teniendo en cuenta la información que nos proporciona el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), para la obtención de información georreferenciada, a partir de estos datos se incluyó las siguientes tablas que hacen parte de del proceso de análisis geoespacial para modificar la información en datos específicos cuantitativos que influyen directamente en la elaboración de los mapas cartográficos.

**Tabla 1.**

*Criterios de análisis para generar el mapa de riesgo de inundación*

<b>Factor</b>	<b>Porcentaje</b>
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Coberturas de tierras (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente: *Tomado de la guía de aprendizaje fase 4 de la UNAD, 2025*

Como se observa en la tabla 1 para el ejercicio realizado se desarrolló un Geoproceso de superposición asignando valores a cada elemento para determinar los diversos niveles de riesgo adaptándolos a factores como topografía y precipitaciones.

**Tabla 2.***Clasificación coberturas del suelo Nivel 2*

<b>Corine Land Cover Nivel 2</b>	<b>Clasificación de valores</b>
1.1. Zonas urbanizadas	6
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	2
1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	4
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	2
2.1. Cultivos transitorios	8
2.2. Cultivos permanentes	8
2.3. Pastos	4
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	8
3.1. Bosques	2
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	4
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	6
4.1. Áreas húmedas continentales	8
4.2. Áreas húmedas costeras	6
5.1. Aguas continentales	10
5.2. Aguas marítimas	6

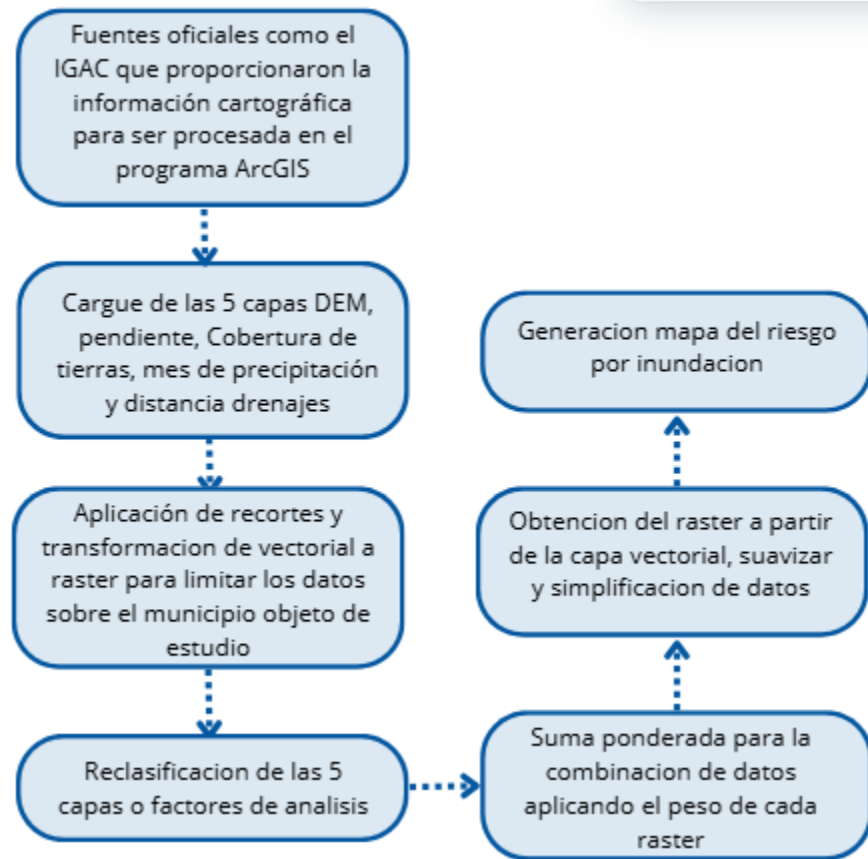
Fuente: Tomado de la guía de aprendizaje fase 4 de la UNAD, 2025

La Tabla 2 se aplicó a partir de la nomenclatura del nivel 2 de Corine Land Cover, con la finalidad de asignar valores numéricos a cada tipo de cobertura del suelo en base al nivel de influencia en el riesgo de inundación, al realizar la reclasificación de los datos se transfirieron de cualitativos a cuantitativos para identificar el comportamiento de las zonas frente a eventos hidrometeorológicos, teniendo en cuenta factores como los principales afluentes hídricos en el municipio de Palmira específicamente en áreas donde existe mayor retención de agua y menor pendiente, en ese sentido se asignaron valores de forma ascendente, de tal manera que las categorías con mayor riesgo de inundación como aguas continentales y zonas planas obtuvieron los valores más altos, por presentar un alto potencial de riesgo a posibles catástrofes.

A través de estos factores se realizó el cargue en el programa ArcGIS Pro con las 5 capas obtenidas y mediante los geoprocесamientos mencionados anteriormente se desarrolló la reclasificación empleando la parametrización de las capas determinado por el valor de influencia mediante los siguientes procedimientos como se definen en la figura 1.

**Figura 1**

*Fases de procesamiento*



Fuente: *Autoría propia, 2025*

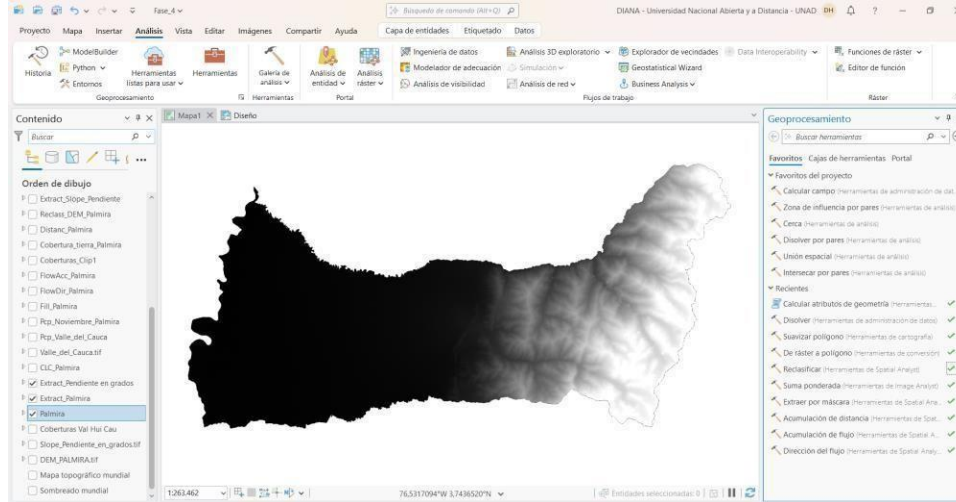
Por lo tanto, según la figura 1 se procedió a realizar los Geo procesos sobre capas específicas para determinar el grado de inundación teniendo en cuenta el uso de archivos ráster y shapefile como se muestra en los resultados.

## **Resultados**

Según lo mencionado en la metodología se obtuvo como resultado de los Geo procesos diferentes capas específicas para determinar el grado de inundación teniendo en cuenta el uso de archivos ráster y shapefile como se muestra en las siguientes figuras:

**Figura 2**

*Ráster de pendientes en el municipio de Palmira (Valle del Cauca).*

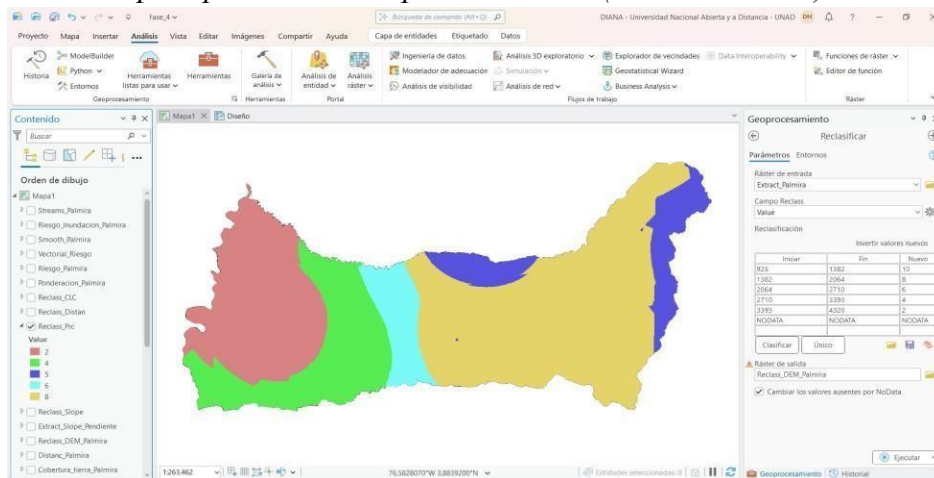


**Fuente: Autoría propia, 2025**

El ráster de pendientes permite calcular el grado de inclinación de un área aplicando el uso del modelo de elevación digital DEM para optimizar el análisis espacial y establecer las zonas según su topografía.

**Figura 3**

*Reclasificación ráster precipitación municipio de Palmira (Valle del Cauca).*

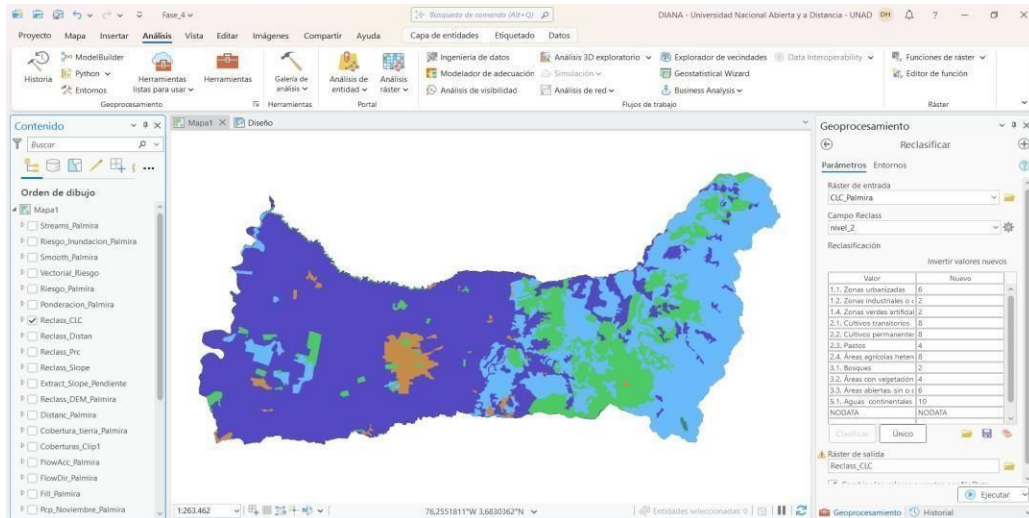


**Fuente: Autoría propia, 2025**

Se realiza la reclasificación con el archivo precipitación del mes de abril para determinar cómo influyen los factores climáticos sobre algunas áreas de menor pendiente en el municipio, igualmente se desarrolla el Geoproceso simplificando la información y reemplazando valores para desarrollar una clasificación cualitativa de lo que se desea estudiar

**Figura 4**

*Capa reclasificación coberturas de tierras en el municipio de Palmira (Valle del Cauca).*



**Fuente: Autoría propia, 2025.**

En la figura 4 se aplica la capa de Corine Land Cover para realizar una reclasificación de los datos geográficos en base a la cobertura y el uso de suelos sobre el municipio objeto de estudio de tal manera que se emplea la siguiente tabla.

**Figura 2.**

*Clasificación de riesgo de inundación en Palmira (Valle del Cauca).*

Código	Clasificación de riesgo	Área (ha)	Porcentaje %
1	Riesgo muy bajo	8,469.61	8.44
2	Riesgo bajo	18,881.42	18.82
3	Riesgo medio	21,393.34	21.32
4	Riesgo alto	27,762.98	27.67
5	Riesgo muy alto	23,843.33	23.76

**Fuente: Autoría propia, 2025**

En Palmira, el 21,32% del territorio presenta riesgo medio de inundación, seguido por un 27,67% con riesgo alto y un 18,82% con riesgo bajo. Las zonas de riesgo muy alto (23,76%) están concentradas en las riberas del río Cauca y los humedales, mientras que las de riesgo muy bajo (8,44%) se encuentran en zonas elevadas o con cobertura natural conservada.

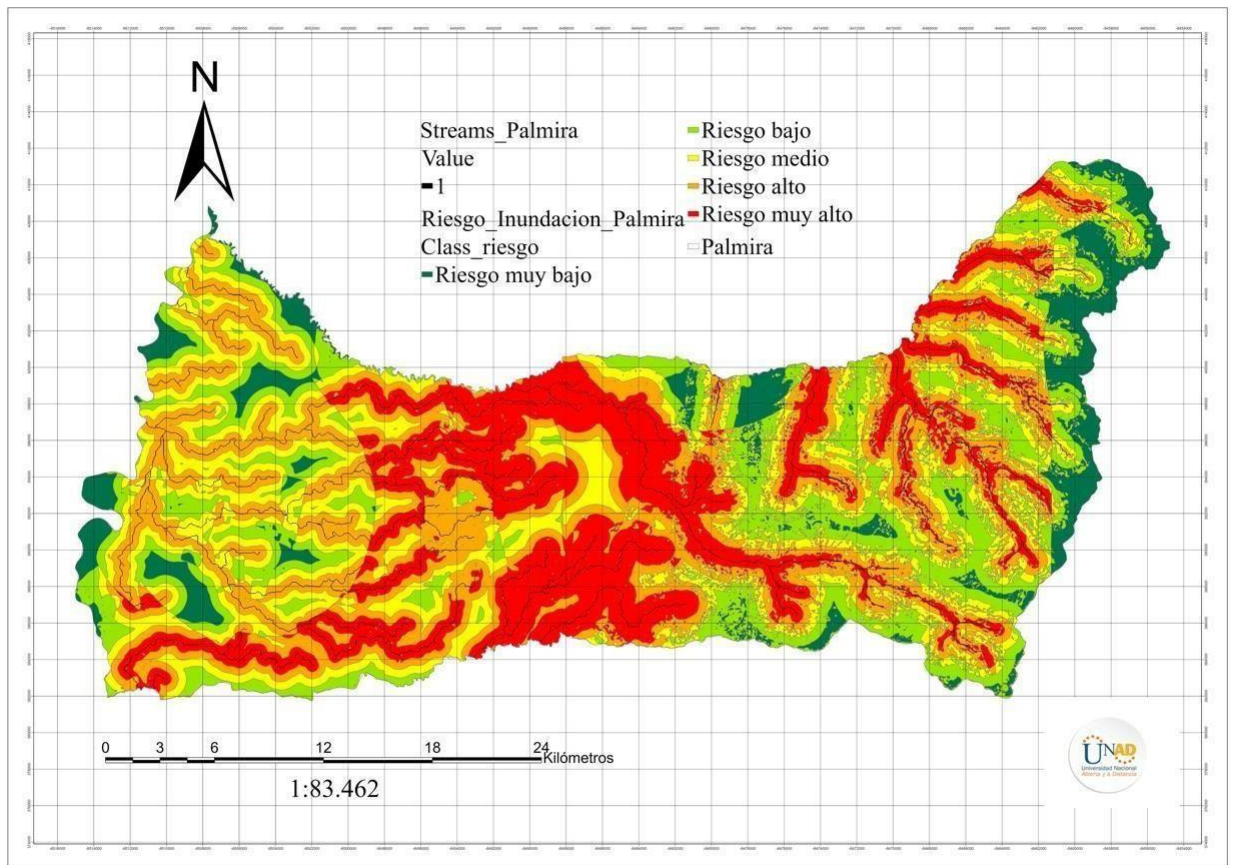
**Figura 3.** Áreas en hectáreas y porcentajes por clase de riesgo.



**Fuente:** *Elaboración propia, 2025 – ArcGIS PRO*

**Figura 4.**

*Mapa de riesgo de inundación del municipio de Palmira (Valle del Cauca)*



**Fuente:** *Elaboración propia, 2025 – ArcGIS PRO*

El municipio de Palmira cuenta con un área aproximada de 100.000 Ha, este se divide en 2 zonas el cual tiene una gran parte montañosa y otra plana, cruzando ríos como el Cauca, el Palmira, Rio Zumbacuto, Rio Aguaclara, Rio Bolo y varias quebradas menores, con una población aproximada de 361.375 habitantes. El municipio tiene una mayor probabilidad de inundación en su zona plana con cercamientos a los ríos y quebradas, donde se tiene una pendiente baja y alta densidad de drenajes.

Esta información evidencia la necesidad de intervenciones específicas en las zonas críticas, tanto en zonas urbanas como en zonas rurales en especial en sectores agrícolas y urbanos aledaños al cauce principal. El riesgo se debe a los factores físicos, antrópicos y climáticos esto lleva el aumento de la susceptibilidad del territorio frente a eventos de fenómenos climáticos.

Palmira es un municipio con la mayor parte del área plana y una pendiente baja, esto implica que cuando se presenten lluvias intensas el agua tenga dificultad para escurrirse de forma natural. Al estar tan cerca de los cuerpos de agua más importantes del municipio incrementa la probabilidad de amenaza a desbordamientos; Las acciones de las personas inadecuadas es una de las causas del riesgo al construir en zonas de alto riesgo obstruyendo los drenajes naturales reduciendo el espacio natural de los ríos en casos de crecientes.

Los siguientes corregimientos están ubicados en zonas con riesgo muy alto, principalmente debido a su localización cercana a ríos como el Cauca, Bolo y Amaime, así como a quebradas menores con alto grado de acumulación de flujo y escasa capacidad de drenaje natural:

- **Aguaclara:** zona rural aledaña al río Aguaclara, presenta suelos saturables y baja cobertura vegetal.
- **Tienda Nueva:** afectada por la cercanía al cauce del río Palmira y actividades agrícolas que han reducido la vegetación protectora.
- **Matapalo:** ubicada en un área plana y agrícola, con presencia de drenajes naturales obstruidos por intervención antrópica.
- **Bolo San Isidro:** alto riesgo por su proximidad al río Bolo, con antecedentes de desbordamientos.
- **Bolo La Italia:** expuesta a procesos de escorrentía superficial por pendiente mínima y actividades productivas sin control.
- **Amaime:** sector vinculado a la cuenca del río Amaime, con riesgo por aumento del caudal en temporadas de lluvias.

En el área urbana de Palmira se identificaron barrios que combinan alta densidad poblacional con deficiencia en drenaje pluvial, lo que incrementa su vulnerabilidad durante las temporadas de lluvias intensas:

- **La Carbonera:** barrio densamente poblado, ubicado en una zona de baja pendiente, afectado por el represamiento del agua.
- **La Trinidad:** alta exposición por su cercanía a canales urbanos y ausencia de cobertura vegetal.
- **Zanjón Hondo:** área con drenaje natural limitado y creciente expansión urbana sin planificación adecuada.

La delimitación de estas zonas de riesgo permite orientar las acciones de planificación territorial, mitigación y adaptación climática. Se recomienda priorizar estas áreas en la ejecución de medidas como:

- Rehabilitación de drenajes naturales.
- Construcción de zanjas de infiltración y terrazas.
- Reforestación ribereña con especies nativas.
- Promoción de prácticas agrícolas adaptadas a condiciones húmedas.

## **Conclusiones**

La exhaustiva caracterización geoespacial del municipio de Palmira, lograda a través de la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, ha proporcionado una comprensión profunda y multidimensional de sus complejas dinámicas agroambientales. Este esfuerzo riguroso culminó en la elaboración de un mapa de riesgo por inundación detallado, una herramienta cartográfica indispensable que trasciende la mera representación para convertirse en un activo estratégico. Su utilidad radica en la capacidad de ofrecer una visión clara de las zonas más vulnerables del territorio, permitiendo a la administración local y a las entidades pertinentes articular planes de ordenamiento territorial más informados y resilientes. Además, facilita la dirección precisa de inversiones en infraestructura y medidas de mitigación hacia las áreas críticas, así como el diseño e implementación de estrategias de adaptación agrícola proactivas. Este análisis no solo busca salvaguardar el bienestar de las comunidades palmireñas y la sostenibilidad de su producción agropecuaria, sino que también establece un precedente metodológico para la gestión proactiva de desafíos climáticos futuros, optimizando la asignación de recursos y promoviendo un desarrollo armónico del territorio.

La experiencia adquirida durante el desarrollo de este estudio va más allá del análisis técnico. Permite comprender con mayor claridad cómo las condiciones ambientales, sociales y territoriales se entrelazan cuando se trata de eventos como las inundaciones. Esta investigación

no solo dejó mapas, cifras y modelos; también despertó la conciencia sobre la urgencia de tomar decisiones responsables que involucren a las comunidades y a las instituciones en un trabajo conjunto.

Adicionalmente, el multicriterio empleado en este estudio potenciado por el uso de herramientas SIG, ha demostrado ser una metodología altamente efectiva para integrar múltiples variables ambientales y climáticas en la evaluación del riesgo de inundación. Esta integración permite no solo identificar con precisión las áreas más vulnerables, sino también priorizar intervenciones de manera estratégica y eficiente para responder proactivamente a los desafíos asociados al cambio climático y la variabilidad ambiental. En consecuencia, este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones y acciones para la toma de decisiones en el municipio de Palmira.

Según el Acuerdo 157 de 1997, la división político-administrativa de Palmira, presenta una zona plana y una zona de ladera sobre las cuales se estructuran las 16 comunas que lo conforman, distribuidas en dos zonas: una urbana que va desde la comuna No. 1 hasta la 7, estructuradas por barrios; mientras que las comunas de la zona rural que van desde 8 a la 16, y que cuentan con mayor extensión, están compuestas por corregimientos.

Por lo anterior el análisis de la amenaza por inundaciones del municipio de Palmira, la red de drenajes y las condiciones geomorfológicas que favorecen este tipo de eventos se identificó que las áreas con mayor riesgo se ubican principalmente en las cercanías de los cauces principales de los ríos Cauca, Bolo, Fraile, Guachal, Palmira, Aguaclara, Nima y Amaime, además de varios canales secundarios o zanjones que atraviesan el territorio. De igual forma, se detectaron sectores con alta susceptibilidad a inundaciones en varios corregimientos, entre ellos: Aguaclara, Bolo La Italia, Amaime, Coronado, La Herradura, Bolo-Alisal, Juanchito, Caucaseco, La Dolores, Palmaseca, Matapalo, La Torre, Guayabal y La Acequia.

## **Recomendaciones**

La gestión del riesgo en Palmira debe contemplar la implementación de estrategias de drenaje sostenible, priorizando las zonas agrícolas identificadas con riesgo alto y muy alto de inundación en el mapa final. Estas áreas, caracterizadas por topografías planas, depresiones o cercanía a cuerpos de agua con tendencia a desbordarse, requieren un enfoque particular. Se sugiere fomentar y asistir en la construcción de zanjas de infiltración, canales de drenaje superficial controlados con vegetación, y terrazas de contorno en terrenos con ligera pendiente (FAO, 2017). Estas medidas, basadas en principios de ingeniería ecológica, buscarán mitigar la saturación del suelo, facilitar la evacuación controlada del exceso de agua y proteger los cultivos.

Así mismo, es fundamental incentivar el uso de coberturas vegetales naturales y barreras vivas, ya que contribuyen significativamente a la retención del suelo y la reducción de la escorrentía superficial (Montoya & Rojas, 2019). Esta práctica debe aplicarse prioritariamente en las zonas ribereñas (identificadas con buffers de 30 metros) donde hay actividad agrícola, en áreas con riesgo medio a muy alto que muestren suelos expuestos o procesos erosivos, y en las partes altas y medias de las cuencas hidrográficas que aportan caudales significativos a los ríos y quebradas de Palmira. Las acciones específicas incluyen programas de reforestación con especies nativas a lo largo de las riberas y el establecimiento de cercas vivas y fajas de vegetación densa en linderos de parcelas (Guía de aprendizaje - Fase 3, 2025).

Adicionalmente, se promoverán prácticas de agricultura de conservación que mantengan una cobertura permanente del suelo, mejorando su estructura y capacidad de infiltración para una mejor gestión hídrica. Para las parcelas agrícolas ubicadas en las zonas clasificadas con riesgo medio a muy alto de inundación, se recomienda promover el cultivo de especies adaptadas a condiciones húmedas. Esto implica una reevaluación de los sistemas productivos actuales, brindando asesoría técnica especializada a los agricultores para diversificar o cambiar hacia cultivos tolerantes al anegamiento temporal, como ciertas variedades de arroz, caña de azúcar en sistemas de rotación específicos, o pasturas adaptadas a suelos hidromórficos (CIAT, 2020). También se puede explorar la investigación en variedades resistentes y considerar sistemas de producción innovadores y resilientes, como la acuaponía o la hidroponía elevada en microzonas específicas.

Es indispensable desarrollar programas de capacitación para los agricultores en temas de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático. Estos programas deben dirigirse a toda la comunidad agrícola de Palmira, con un énfasis particular en aquellos productores cuyas tierras se encuentren en zonas de riesgo medio a muy alto. A través de talleres interactivos y días de campo, se debe utilizar el mapa de riesgo por inundación como herramienta pedagógica, explicando las causas y consecuencias locales de las inundaciones (PNUD, 2018). La capacitación incluirá prácticas de manejo integrado de suelos y aguas, tecnologías de riego y drenaje eficientes, e interpretación de pronósticos climáticos y alertas tempranas para una mejor toma de decisiones frente a eventos extremos.

Finalmente, se sugiere coordinar acciones entre las entidades ambientales y el sector agrícola para el monitoreo y prevención de eventos de inundación mediante herramientas SIG. Esta coordinación debe involucrar activamente a la administración municipal de Palmira (Secretaría de Agricultura, Oficina de Gestión del Riesgo), la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y los gremios agrícolas. El objetivo es establecer una mesa técnica interinstitucional y un protocolo de comunicación que utilice el mapa de riesgo y otros productos SIG como base para la planificación territorial y la toma de decisiones (ESRI, 2019). Esto implica implementar y mantener sistemas de alerta temprana (SAT) basados en datos en tiempo

real (precipitación, niveles de ríos) gestionados a través de plataformas SIG (Guía de aprendizaje - Fase 6, 2025), y actualizar periódicamente los mapas de riesgo con nueva información para una gestión proactiva y dinámica del riesgo hídrico en Palmira.

**Enlace sustentación:** [https://youtu.be/52aVee8jQHQ?si=FRi6SBrbLYn\\_BIE](https://youtu.be/52aVee8jQHQ?si=FRi6SBrbLYn_BIE)

## Referencias bibliográficas

Agrosavia. (2022). [No se especifica título o URL, se asume que es una publicación de Agrosavia].

Alcaldía de Palmira. (2020). [No se especifica título o URL, se asume que es un documento o informe de la Alcaldía de Palmira].

Alcaldía de Palmira. (s.f.). DTS Gestión del Riesgo. [Archivo PDF]. Plan de Ordenamiento Territorial - POT Moderno. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://palmira.gov.co/planeacion/wpcontent/uploads/pot/potmoderno/3.%20DTS%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo.pdf>

Alcaldía de Palmira. (s.f.). Anexo 2.2: Estudios básicos de amenaza por inundaciones en suelo rural – escala 1:25.000. [Archivo PDF]. POT Moderno. Recuperado el 23 de mayo de 2025, de <https://palmira.gov.co/planeacion/wpcontent/uploads/pot/potmoderno/Anexo%202.2.%20Est%20basicos%20amenaza%20inundaciones%20suelo%20rural%2025k.pdf>

ChatGPT. (2025). Respuesta generada por inteligencia artificial basada en modelos de lenguaje de OpenAI (versión GPT-4.5). OpenAI. <https://chat.openai.com>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2022). Estudios de amenaza por inundación y avenida torrencial para centros poblados de Palmira. Convenio interadministrativo MP968 de 2021. Palmira, Valle del Cauca.

CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca). (2021). [No se especifica título o URL, se asume que es una publicación o informe de la CVC].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *Manejo sostenible del agua en la agricultura*. Roma: FAO.

Guía de aprendizaje - Fase 3. (2025). *Guía de aprendizaje- Fase 3 - Exploración y análisis de operaciones espaciales*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). [Fecha de inicio: lunes, 17 de marzo de 2025; Fecha de finalización: domingo, 13 de abril de 2025].

Guía de aprendizaje - Fase 4. (2025). *Guía de aprendizaje- Fase 4 - Modelación agroambiental del territorio*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). [Fecha de inicio: lunes, 14 de abril de 2025; Fecha de finalización: domingo, 11 de mayo de 2025].

Guía de aprendizaje - Fase 6. (2025). *Guía de aprendizaje- Fase 6 - Evaluación Final*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). [Fecha de inicio: lunes, 12 de mayo de 2025; Fecha de finalización: domingo, 25 de mayo de 2025].

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2024). [No se especifica título o URL, se asume que es un informe o publicación del IDEAM].

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). (2023). [No se especifica título o URL, se asume que es una publicación o estudio del IGAC].

Ministerio de Ambiente. (2022). [No se especifica título o URL, se asume que es un informe o política del Ministerio de Ambiente].

Montoya, J. M., & Rojas, A. (2019). *Coberturas vegetales y su rol en la regulación hídrica*. Revista de Suelos y Agua, 15(2), 45-58.

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2023). [No se especifica título o URL, se asume que es un documento o informe de Parques Nacionales Naturales].

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2018). *Guía para la reducción del riesgo de desastres a nivel local*. Nueva York: PNUD.

UNAL (Universidad Nacional de Colombia). (2023). [No se especifica título o URL, se asume que es una publicación o estudio de la UNAL].

UNGRD (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres). (2023). [No se especifica título o URL, se asume que es un informe o documento de la UNGRD].

Universidad del Valle. (2023). [No se especifica título o URL, se asume que es una publicación o estudio de la Universidad del Valle].