

## **Modelación del riesgo por inundación en el municipio de Palmira Valle del Cauca**

Estudiante: Luis Carlos Filigrana Cosme  
lcfilgranac@unadvirtual.edu.co

Tutor: Rolando Santos Santos rolando.santos@unad.edu.co

### **Resumen**

El objetivo general del presente estudio fue analizar metodologías de impacto ambiental y del paisaje, así como del medio habitado, mediante la modelación espacial. Se argumentó la aplicación de técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el ordenamiento agroambiental del territorio, con el fin específico de identificar áreas de riesgo por inundación en el municipio de interés delimitado en Palmira, Valle del Cauca.

La metodología aplicada para la modelación del riesgo de inundación se basó en una de las técnicas reconocidas y validadas por diversos investigadores: el análisis multicriterio. Se logró integrar datos de naturaleza vectorial y ráster. Esto incluyó una serie de geoprocursos en ArcGIS (software utilizado durante el diplomado), como la reclasificación de diversas capas temáticas y la suma ponderada (Weighted Sum) de estos ráster reclasificados, entre otros.

Los principales insumos utilizados para la modelación del riesgo fueron el Modelo de Elevación Digital (DEM), pendiente (Slope), precipitación de noviembre (criterio para el mes con mayores lluvias), y las coberturas de la tierra (nivel 2) de Palmira. Adicionalmente, se derivaron insumos fundamentales como la acumulación de flujo (Flow Accumulation) y la distancia de las celdas desde los drenajes, los cuales forman parte de los procesos normales en la delimitación de cuencas hidrográficas.

Los resultados más relevantes sobre las zonas de riesgo en el municipio, derivados del modelo final de suma ponderada, indican que las zonas de mayor riesgo por inundación (clasificadas con los valores más altos) están intrínsecamente ligadas a proximidad de los drenajes o cursos de agua (Streams) del municipio. Por esta razón, se realizó la construcción a partir de un drenaje doble que, en lo posible, atravesara todo el territorio de interés.

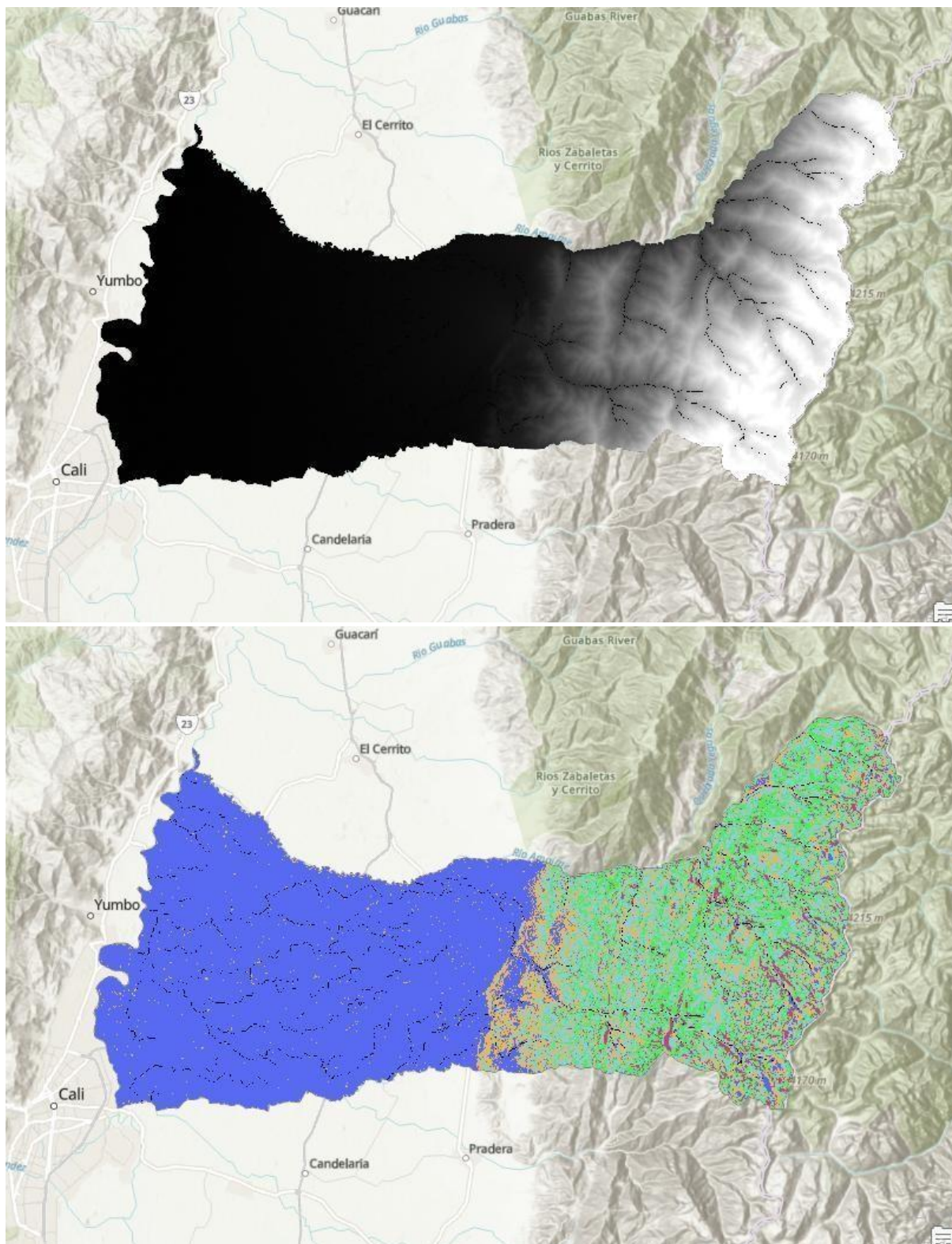
**Palabras claves:** Geoprocusamiento, Álgebra de mapas, Topografía, Drenajes, Hidrología  
**Introducción**

La relevancia intrínseca de analizar el riesgo por inundación en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, se enmarca en la necesidad imperante de implementar técnicas de modelación espacial para el ordenamiento agroambiental del territorio (esencia del Diplomado). Si todos los procesos seguidos se centran en las metodologías de delimitación de cuencas aplicadas en SIG, el contexto global sugiere que el aumento de eventos hidrometeorológicos intensos o extremos (El Niño y La Niña), a menudo vinculados al cambio climático con el agravante de las acciones antrópicas, incrementa la amenaza de inundaciones, impactando negativamente a las poblaciones, la infraestructura y las actividades productivas (Burrough et al., 2015).

En este punto se destaca la importancia de realizar estudios de riesgo por inundación en el municipio de Palmira, dado que ha tenido un crecimiento acelerado y puede derivar en que la afectación de estos eventos comprometa zonas urbanizadas, industriales o comerciales, cultivos transitorios y permanentes, categorías identificadas en las coberturas de la tierra en el municipio nivel 2. Un estudio preciso resulta vital para proteger a población y salvaguardar las áreas de producción e infraestructura local, alineándose con las políticas nacionales y locales.

En otra línea, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) demuestran ser herramientas indispensables. Los SIG facilitan la integración de datos de diversa naturaleza, tanto vectorial como ráster, para representar patrones espaciales y sus implicaciones ambientales (Burrough et al., 2015). Además, los SIG proporcionan un marco analítico completamente robusto no solo en cuanto a las herramientas disponibles, sino que también permiten integrar variables biofísicas, socioeconómicas y de gestión, lo cual favorece los análisis de ordenamiento (Longley et al., 2015).

El presente ejercicio se orienta a analizar metodologías de impacto ambiental y paisajístico mediante la modelación espacial. De forma concreta, el propósito del ejercicio consiste en aplicar un modelo de análisis multicriterio en ArcGIS para generar el mapa de riesgo de inundación del municipio de Palmira y realizar una primera interpretación de las zonas más críticas (**Figura 1**), sirviendo así para actualizar la información del territorio a una escala local.



**Figura 1.** DEM correspondiente en Palmira (arriba) y reclasificado (abajo)

## **Objetivos**

Analizar metodologías de impacto ambiental y paisajístico mediante técnicas de modelación espacial en el ordenamiento agroambiental del territorio.

### ***Específicos***

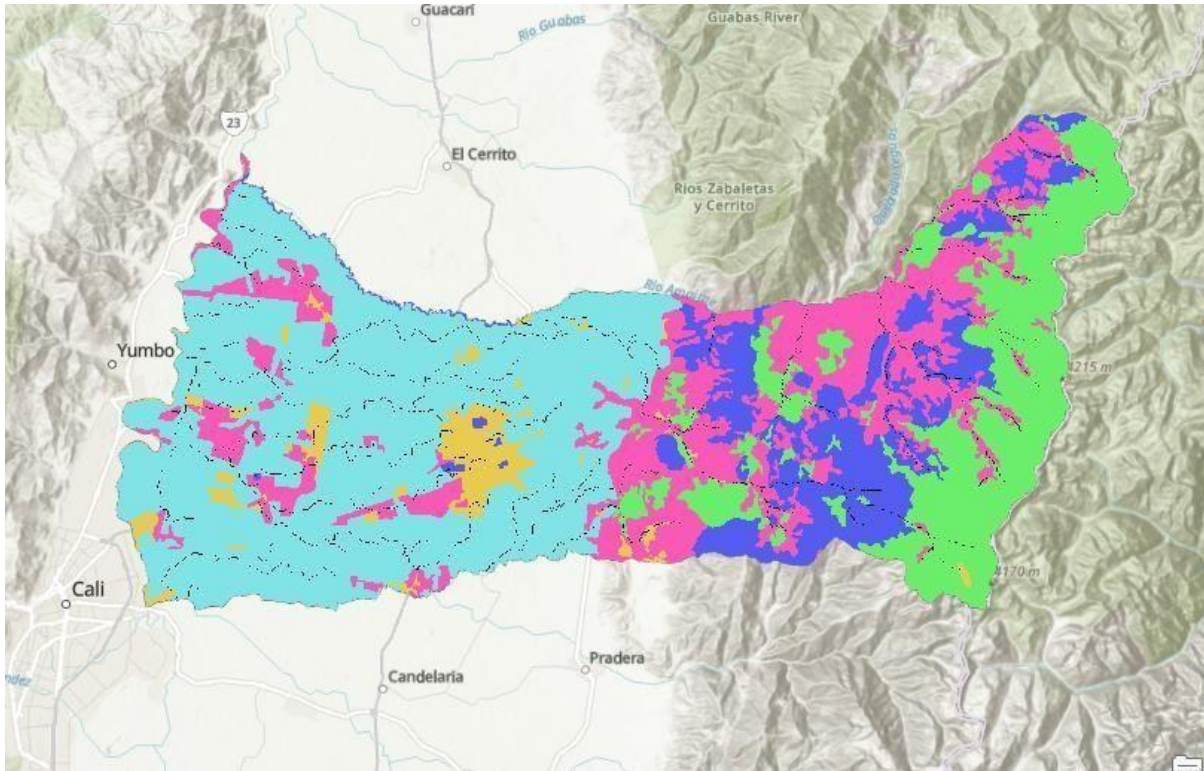
- Identificar las metodologías de impacto ambiental y paisajístico aplicables mediante técnicas de modelación espacial y geoprocesos.
- Procesar datos vectoriales para el análisis multicriterio.
- Generar las salidas cartográficas respectivas mediante geoprocesos en el software ArcGIS.

## **Identificación del caso de estudio**

El caso de estudio se centra en el municipio de Palmira, ubicado en el departamento del Valle del Cauca. El municipio fue seleccionado y se ejecutaron análisis espaciales de riesgo por inundación mediante técnicas de modelación espacial, utilizando los SIG.

### ***Ubicación Geográfica y División Político-Administrativa***

Palmira se encuentra dentro del Valle del Cauca, en Colombia. El estudio utiliza el polígono que delimita el municipio a partir de las fases anteriores sobre el cual se había trabajado. Se analizan además diferentes usos del suelo bajo la clasificación de Coberturas de la Tierra Nivel 2. Estas categorías incluyen Zonas urbanizadas y Zonas industriales o comerciales, junto con Cultivos transitorios y permanentes (**Figura 2**). También se realizó el ejercicio de identificación de áreas de Bosques, Pastos, y Áreas agrícolas heterogéneas, las cuales son de igual forma de bastante interés en el territorio (Hernández Cuasialpud et al., 2025).



**Figura 2.** Coberturas nivel 2

### *Principales Características Físicas y Ambientales*

1. En cuanto a altitud y relieve (DEM y Pendiente, respectivamente), se presenta un rango de altitud significativo, determinado y mostrado por el Modelo de Elevación Digital (DEM). Las altitudes oscilaron entre un valor mínimo de 925 y un valor máximo de 4320. La distribución respectiva del relieve muestra que la pendiente (Slope) en el municipio varió desde valores muy bajos, inferiores a 1.72, hasta pendientes muy altas, superiores a 90. La reclasificación de la pendiente utilizada para la modelación del riesgo abarcó rangos desde 0 hasta aproximadamente 80.63 grados.
2. En los drenajes se encontró la presencia de la red hídrica como paso inicial para la evaluación del riesgo de inundación. Se identificaron los drenajes o cursos de agua (Streams) a partir del análisis de la Acumulación de Flujo (Flow Accumulation) tomando como base el relleno (Fill) del DEM. En este punto, la modelación del riesgo incorporó la variable de Distancia de las celdas desde los drenajes (Distanc\_Palmira), lo cual implica que la proximidad a estos cuerpos de agua es un factor determinante en la amenaza de inundación, así como el Buffer de fases anteriores que dio cuenta de este riesgo inminente.

### ***Características Climáticas (Precipitación)***

El factor climático utilizado en la Fase 4 (fase anterior) para esta línea de la modelación fue la precipitación correspondiente al mes de noviembre, seleccionada como la mayor de todo el año según el régimen bimodal. Los datos de precipitación para Palmira en ese periodo presentaron valores que varían desde un mínimo de 99.4907 hasta un máximo de 246.686. Estos valores de precipitación de noviembre fueron reclasificados en cinco categorías para ser incorporados conforme a la debida parametrización requerida para alinear los respectivos resultados.

### **Metodología**

La modelación del riesgo por inundación en Palmira se basó en la metodología de Análisis Multicriterio (AMC), una técnica que integra múltiples capas de información geoespacial (vectorial y ráster) para generar un índice sintético de riesgo. Este enfoque utiliza el álgebra de mapas y geoprocursos en el software ArcGIS para estandarizar las variables y asignarles pesos de influencia, culminando en la herramienta de Suma Ponderada (Weighted Sum) (Hernández Cuasialpud et al., 2025).

### ***Proceso de Modelación en ArcGIS (Fase 4 y Fase 6)***

El proceso se desarrolló de forma secuencial, desde la preparación de los insumos brutos hasta la obtención del mapa final de riesgo por inundación:

1. Se prepararon y delimitaron los insumos de naturaleza ráster y vectorial para el municipio de Palmira. La definición del Área de Estudio estableció el polígono de Palmira. El geoprocusamiento inicial (Clip y Extract by Mask) utilizó la herramienta Clip para delimitar las Coberturas de la Tierra al área de Palmira. De manera similar, se aplicó la herramienta Extract by Mask para recortar capas ráster como la Precipitación de noviembre y el Modelo de Elevación Digital (DEM), asegurando que el análisis solo considerara los límites municipales. La conversión Vectorial a Ráster de las Coberturas de la Tierra, inicialmente polígonos vectoriales (Coberturas\_Palmira\_Dissolve), se realizó a formato ráster (Cober\_PolytoRaster\_P1) para permitir su uso en el álgebra de mapas.

2. Derivación de Variables de Riesgo a partir del DEM. Utilizando el DEM, se generaron factores clave que influyen en la susceptibilidad a inundación: Pendiente (Slope), calculando la inclinación del terreno, dado que las áreas con menor pendiente retienen más agua y son más susceptibles a inundarse. Acumulación y Drenajes (Flow Accumulation y Streams), calculando

la Flow Accumulation para identificar la trayectoria del flujo de agua y la ubicación de los drenajes (Streams\_Palmira). Distancia a Drenajes, calculando la Distancia de las celdas desde los drenajes (Distanc\_Palmira) utilizando la herramienta Distance Accumulation, siendo esta capa esencial dado que las zonas más cercanas a los cursos de agua tienen mayor riesgo de inundación (**Tabla 1-2**).

3. Para que todos los factores pudieran ser combinados, sus valores originales se normalizaron a una escala común (valores de 1 a 10, donde 10 representa el mayor riesgo de inundación) utilizando la herramienta Reclassify (**Tabla 3-4**).

**Tabla 1. Datos para Reclasificación**

Factor	Rangos Originales	Nuevos Valores	Racional del Riesgo
DEM (Altitud)	925 - 1381 (Mínimo)	10	Las altitudes más bajas son más susceptibles
Slope (Pendiente)	0 - 9.19 (Mínimo)	10	Pendientes planas acumulan más agua
Precipitación Nov.	215.51 - 246.68 (Máximo)	10	Mayor precipitación incrementa la amenaza
Distancia a Drenajes	0 - 351.39 (Mínimo)	10	Zonas cercanas a drenajes son más críticas
Coberturas Nivel 2	Zonas Urbanizadas; Cultivos	10; 8	Coberturas urbanizadas, cultivos: mayor vulnerabilidad

En la Tabla 1 se presentan los datos utilizados para la reclasificación de cada factor de riesgo, incluyendo los rangos originales, los nuevos valores asignados y el racional del riesgo correspondiente.

**Tabla 2. Reclasificación de Coberturas (Valores Nuevos)**

Valor Original (Cobertura)	Valor Nuevo (Riesgo)
1.1. Zonas urbanizadas	10
1.2. Zonas industriales o comerciales	10

2.1. Cultivos transitorios	8
<b>Valor Original (Cobertura)</b>	<b>Valor Nuevo (Riesgo)</b>
2.2. Cultivos permanentes	8
2.3. Pastos	6
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	6
3.1. Bosques	4
3.2. Áreas con vegetación herbácea	2
5.1. Aguas continentales	10

*Fuente: Reclasificación Coberturas nivel\_2 Palmira*

La Tabla 2 muestra la reclasificación de las coberturas del suelo según su nivel de riesgo, donde las zonas urbanizadas e industriales reciben el valor máximo de 10, mientras que las áreas con vegetación herbácea presentan el menor valor de riesgo.

4. Suma Ponderada (Weighted Sum). Una vez reclasificadas, las capas de riesgo se combinaron utilizando la herramienta Suma Ponderada. A cada factor se asignó un peso basado en su influencia percibida sobre el riesgo de inundación.

**Tabla 3. Rásters y Ponderación**

Ráster Reclasificado	Ponderación (Weight)
Reclass_DEM_Palmira	0.1
Reclass_Slope_Palmira	0.15
Reclass_Cobel (Coberturas)	0.1
Reclass_Precip_Palmira	0.35

Como se observa en la Tabla 3, la precipitación recibió la mayor ponderación (0.35), seguida de la pendiente (0.15), mientras que el DEM y las coberturas recibieron pesos iguales de 0.1.

5. Clasificación del Riesgo Final. El ráster resultante de la Suma Ponderada, que contenía valores continuos entre 3.9 y 9.8, fue reclasificado nuevamente para definir cinco categorías discretas de Riesgo por Inundación (desde 1, Mínimo Riesgo, hasta 5, Máximo Riesgo).

**Tabla 4.** *Reclasificación del Riesgo Final*

Rango de Valores Originales	Nuevo Valor (Clase de Riesgo)
3.9 - 5.704706	1
5.704706 - 6.491373	2
6.491373 - 7.391177	3
7.391177 - 8.110981	4
8.110981 - 9.8	5

*Fuente: Elaboración propia. Reclass Suma Ponderada*

La Tabla 4 presenta la reclasificación final del riesgo, donde los valores más altos (8.11-9.8) corresponden a clase 5 de máximo riesgo. El resultado final, tras la última reclasificación, muestra claramente las zonas con mayor riesgo (clase 5, color rojo), las cuales visualmente están altamente correlacionadas con la ubicación de los drenajes (**Figura 3**).

## Resultados

A continuación, se presentan y describen los principales resultados obtenidos de la modelación del riesgo de inundación mediante el Análisis Multicriterio en el municipio de Palmira.

### *1. Mapa de Riesgo por Inundación del Municipio*

El producto final es un mapa ráster clasificado en cinco categorías cualitativas de riesgo, resultado de la reclasificación de la Suma Ponderada (Weighted\_Recl1). La clasificación va de 1 (Riesgo Mínimo) a 5 (Riesgo Máximo), ver **Tabla 5** y **Figura 3**, a continuación:

**Tabla 5.** *Datos del Mapa final*

Clase	Rango de Valores Originales	Categoría de Riesgo
1	3.9 - 5.704706	Mínimo
2	5.704706 - 6.491373	Bajo
3	6.491373 - 7.391177	Medio
4	7.391177 - 8.110981	Alto
5	8.110981 - 9.8	Máximo

Como se observa en la Tabla 5, el análisis del mapa resultante (Clases de Riesgo 1 a 5) permite identificar patrones espaciales de la susceptibilidad a inundación en Palmira.

### *Zonas de Mayor Riesgo (Clases 4 y 5: Alto y Máximo)*

**Ubicación y Factores Determinantes:** Las zonas clasificadas con el Riesgo Máximo (Clase 5), representadas en color rojo, exhiben una correlación directa con la red hídrica aportada por Streams y corresponden a menor Distancia de las celdas desde los drenajes, un factor al cual se asignó una alta ponderación durante la Suma Ponderada. Cabe resaltar que además estas zonas suelen coincidir con las altitudes más bajas del municipio (925 m) y las pendientes más planas (cercasas a 0 grados), dado que la reclasificación otorgó los valores más altos de riesgo (10) a estas condiciones topográficas, lo cual resulta lógico y adyacente al mismo análisis.

**Afectaciones Potenciales:** Al relacionar estas áreas de alto riesgo con la reclasificación de las Coberturas de la Tierra Nivel 2, se infiere que las zonas más susceptibles a inundarse impactan

directamente a: 1) Comunidades e Infraestructura: Las categorías de Zonas urbanizadas y Zonas industriales o comerciales fueron reclasificadas con el valor más alto (10), indicando que, donde estas coberturas coinciden con la proximidad a drenajes y baja pendiente, la afectación a población e infraestructura resulta crítica. 2) Sistemas Agropecuarios: Las zonas de alto y máximo riesgo también comprometen Cultivos transitorios y Cultivos permanentes, reclasificadas con un valor de 8. Las inundaciones en estas áreas podrían causar pérdidas significativas a producción agrícola, una actividad fundamental en Palmira.

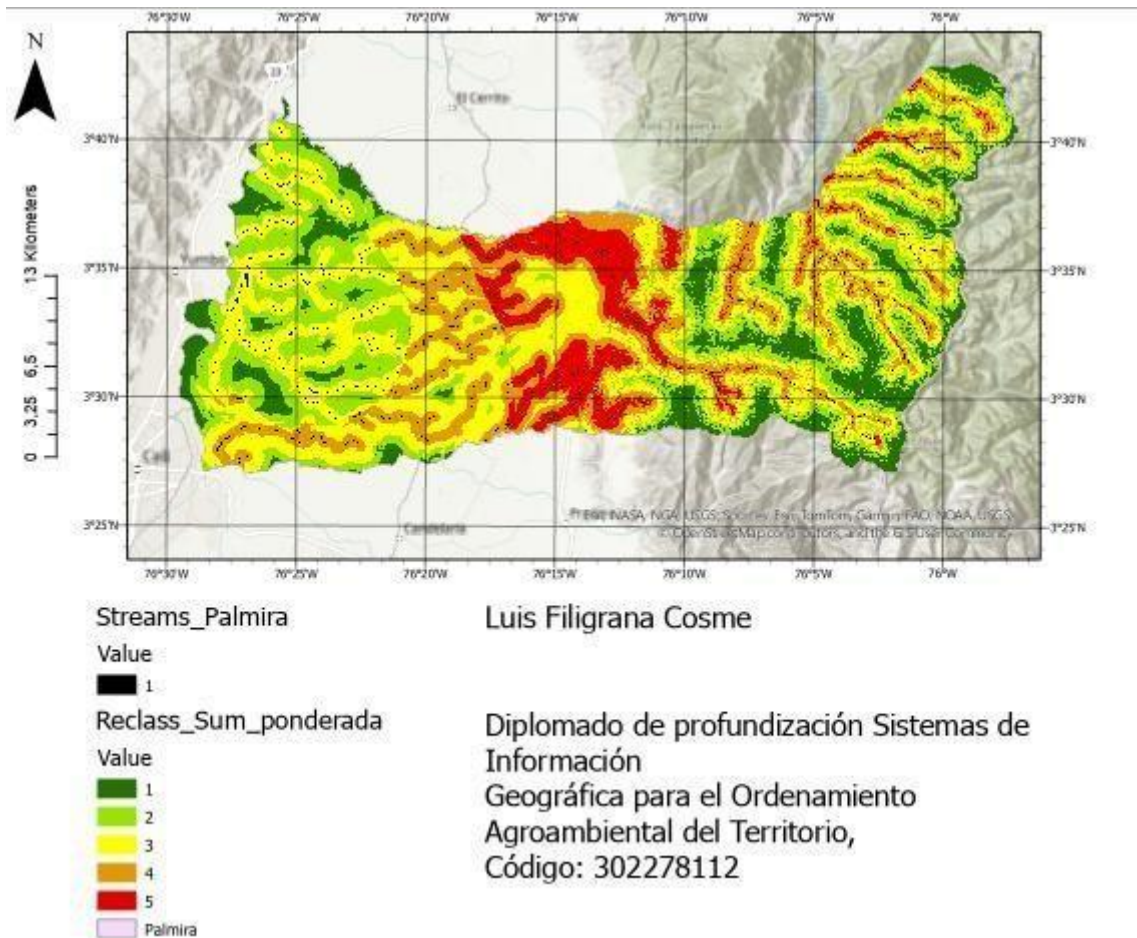
### ***Zonas de Menor Riesgo (Clase 1: Mínimo)***

Ubicación y Factores Determinantes: Las zonas de Riesgo Mínimo (Clase 1) se encuentran predominantemente alejadas de los drenajes y se localizan en las áreas con mayor altitud y pendientes más elevadas. La reclasificación del DEM asignó valores de riesgo bajos (2, 4, 6) a las altitudes más altas (hasta 4320 m).

Coberturas Menos Vulnerables: Las áreas de menor riesgo también tienden a coincidir con coberturas de la tierra con valores de riesgo bajos (2 o 4), como las Áreas con vegetación herbácea y Bosques, las cuales tienen una mayor capacidad de infiltración y absorción de agua.

### ***Comparación con Eventos Históricos***

Las fuentes de información proporcionadas no contienen datos o referencias sobre eventos históricos, estudios técnicos previos, ni evidencias de afectaciones por inundaciones pasadas en el municipio de Palmira para realizar una comparación con los resultados de la modelación. El análisis se basa puramente en la correlación de las variables biofísicas (topografía, precipitación, hidrografía y cobertura) según el modelo multicriterio aplicado.



**Figura 3.** Mapa de Riesgo por Inundación del Municipio de Palmira

**Conclusiones**

1. La espacialidad del riesgo por inundación no es aleatoria ni azarosa, sino que está intrínsecamente ligada a las condiciones topográficas e hidrológicas del municipio. Las zonas clasificadas con Riesgo Máximo (Clase 5) se concentran en las áreas de menor altitud y pendiente, mostrando una correlación directa y alta con la proximidad de los drenajes o cursos de agua (Streams) elegidos como principales para el territorio. El modelo enfatiza que, en estas zonas planas, factores como la alta precipitación de noviembre y las coberturas de uso (como las zonas urbanizadas) incrementan la vulnerabilidad, por lo cual se hace imperante tener planes de acción inmediatos.

2. El uso de los SIG y la metodología empleada siguen demostrando ser una herramienta robusta y eficiente para el análisis del riesgo de inundación. Es de resaltar nuevamente que los SIG permitieron integrar datos de diversa naturaleza (vectorial y ráster) mediante geoprocursos como la reclasificación y la Suma Ponderada, entre otros a lo largo del diplomado, por lo cual

resulta fundamental para generar salidas cartográficas que apoyan la identificación de áreas críticas.

3. Los resultados obtenidos obedecen y son de particular delimitación de las zonas de Riesgo Alto y Máximo, y cabe decir que pueden tener implicaciones fundamentales para el ordenamiento agroambiental del territorio, lo cual es la esencia de este curso, porque entre otras cosas logra conjugar las zonas de riesgo máximo con Zonas urbanizadas, Zonas industriales y Áreas de Producción (Cultivos), así como la gestión territorial que debe orientarse a priorizar proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático. Por todo lo anterior, el mapa de riesgo proporciona la base técnica para la restricción de nuevos desarrollos en áreas críticas.

### **Recomendaciones**

Desde la perspectiva y mirada del ordenamiento en cada territorio, en conjunto con el uso de la tecnología SIG, se recomiendan las siguientes acciones coherentes con los resultados de riesgo por inundación:

1. Implementación de Sistemas de Amortiguamiento Hídrico, dada la alta correlación entre el Riesgo Máximo y la proximidad a los drenajes.
2. Zonificación Agroambiental de Precisión para lograr utilizar el mapa de riesgo de inundación como una capa restrictiva clave que proporcione información rápida y oportuna.
3. Incorporación del Modelo en la Planificación Urbana y Rural donde se dé cuenta de la integración de los mapas (la capa Reclass\_Sum\_ponderada) en los instrumentos de planificación territorial (POT/EOT).

### **Enlace del video**

<https://youtu.be/dxqcepEd1ts>

**Referencias bibliográficas**

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). Principles of geographical information systems (3rd ed.). Oxford University Press.

Hernández Cuasialpud, D. C., Ibarra Rosero, E. V., Lasso Mosquera, N. E., Rivas Ayala, Y., & Arroyo Ramírez, Y. (2025). Modelación de riesgo por inundación en el municipio de Palmira, Valle del Cauca en el año 2024. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/69849/nlassom.pdf?sequence=1>

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic information science & systems (4th ed.). Wiley.