

## **Análisis del Riesgo de inundación en el municipio de Pueblo Rico, Risaralda a partir de técnicas de modelación espacial**

### **Autores:**

Leivis Antonio Muñoz Montiel [lamunozmon@unadvirtual.edu.co](mailto:lamunozmon@unadvirtual.edu.co)

Luis Leonardo Murez Paut [llmurezp@unadvirtual.edu.co](mailto:llmurezp@unadvirtual.edu.co)

Maryi Rocio Abaunza Lopez [Mrabaunzal@unadvirtual.edu.co](mailto:Mrabaunzal@unadvirtual.edu.co)

Leonardo Daniel Rivero Teran [ldriverot@unadvirtual.edu.co](mailto:ldriverot@unadvirtual.edu.co)

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa - [gina.posada@unad.edu.co](mailto:gina.posada@unad.edu.co)

### **Abstract**

Flood risk constitutes one of the most recurrent hydrometeorological hazards in territories characterized by high precipitation regimes and complex topography, such as the municipality of Pueblo Rico, Risaralda. The effects of climate change have intensified the spatiotemporal variability of precipitation, promoting the occurrence of extreme events that increase the likelihood of river overflows and flash floods, with significant impacts on rural communities and productive systems (IDEAM, 2021; UNGRD, 2021). These phenomena have become more pronounced during cycles associated with the La Niña phenomenon, a period in which recurrent flooding has been recorded across extensive areas of the Colombian Pacific region (Ministry of Environment and Sustainable Development, 2022).

The study of flood risk is particularly relevant for municipalities such as Pueblo Rico, whose social and productive dynamics depend on access to road infrastructure, agricultural lands, and strategic ecosystems associated with the San Juan River basin, one of the most important in western Colombia (Risaralda Regional Autonomous Corporation – CARDER, 2020). In this context, Geographic Information Systems (GIS) have become essential tools for hazard analysis, vulnerability assessment, and support for territorial planning, through the integration and weighting of multiple environmental variables (Olaya, 2020; Sosa, Franco et al., 2023).

Within this framework, the present study applied a GIS-based multicriteria analysis model to generate the flood risk map for the municipality of Pueblo Rico, enabling the identification of critical areas and providing technical inputs to support risk management and sustainable territorial planning.

**Keywords:** Multicriteria analysis; floods; spatial modeling; environmental risk; GIS.

### **Resumen**

El riesgo de inundación constituye una de las amenazas hidrometeorológicas más frecuentes en territorios con alta pluviosidad y complejidad topográfica como el municipio de Pueblo Rico, Risaralda. Los efectos del cambio climático han intensificado la variabilidad en la precipitación, generando eventos extremos que incrementan la probabilidad de desbordamientos, crecientes

súbitos, afectaciones a comunidades rurales (IDEAM, 2021); (UNGRD, 2021); fenómenos se han hecho más evidentes durante los ciclos asociados a La Niña, en donde se han registrado inundaciones recurrentes en diversas zonas del Pacífico colombiano (Ministerio de Ambiente, 2022).

El estudio del riesgo de inundación es fundamental para municipios como Pueblo Rico, cuya dinámica productiva y social depende del acceso a infraestructura vial, territorios agrícolas y ecosistemas estratégicos de la cuenca del río San Juan, una de las más importantes del occidente colombiano (Corporación Autónoma de Risaralda, 2020); así que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se consolidan como herramientas esenciales para analizar amenazas, evaluar vulnerabilidades y apoyar la planificación territorial (Olaya, 2020); (Sosa, Franco et al., 2023).

El presente estudio aplicó un modelo de análisis multicriterio en SIG para generar el mapa de riesgo por inundación en Pueblo Rico, identificando áreas críticas y ofreciendo insumos técnicos para la gestión del territorio.

**Palabras clave:** Análisis multicriterio, Inundaciones, modelación espacial, riesgo ambiental, sistema de información geográfica

## Introducción

El presente estudio aplicó un modelo de análisis multicriterio en SIG para generar el mapa de riesgo por inundación en Pueblo Rico, identificando áreas críticas y ofreciendo insumos técnicos para la gestión del territorio.

El aumento de los eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático ha intensificado la frecuencia e impacto de las inundaciones en diversas regiones del mundo. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, la intensificación de las lluvias y la mayor variabilidad climática están directamente relacionadas con la recurrencia de inundaciones y desbordamientos de ríos en zonas tropicales (IPCC, 2022). En Colombia, regiones húmedas como el Chocó biogeográfico y el eje cafetero presentan una marcada susceptibilidad debido a las altas precipitaciones y la compleja dinámica geomorfológica (IDEAM, 2013). Diversos estudios señalan que la combinación entre cambio climático, procesos de deforestación y usos del suelo no planificados elevan significativamente la vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a las inundaciones (Djanibekov et al, 2024); (Efraimidou & Spiliotis, 2024).

El municipio de Pueblo Rico, ubicado en el occidente de Risaralda, se caracteriza por ser uno de los territorios con mayor pluviosidad del país, con registros que superan los 4.000 mm anuales (CARDER, 2020). Además, es atravesado por las cuencas de los ríos San Juan, Tatamá y múltiples quebradas afluentes que presentan episodios recurrentes de crecientes y desbordamientos. Informes recientes señalan afectaciones históricas en comunidades indígenas y campesinas de

veredas como Santa Cecilia y Purembará, donde se han documentado pérdidas materiales, afectaciones a la movilidad y daños en cultivos por inundaciones y deslizamientos (Alcaldía de Pueblo Rico, 2023), (UNGRD, 2021).

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten integrar variables ambientales, modelar escenarios de amenaza y generar productos cartográficos que apoyan la gestión del riesgo (Olaya, 2020), (Sosa-Franco et al., 2023). El propósito de este estudio fue modelar y analizar el riesgo de inundación en Pueblo Rico mediante un enfoque de análisis multicriterio en SIG, con el fin de identificar zonas críticas y aportar insumos para la planificación territorial y agroambiental del municipio.

## **Objetivos**

### **General**

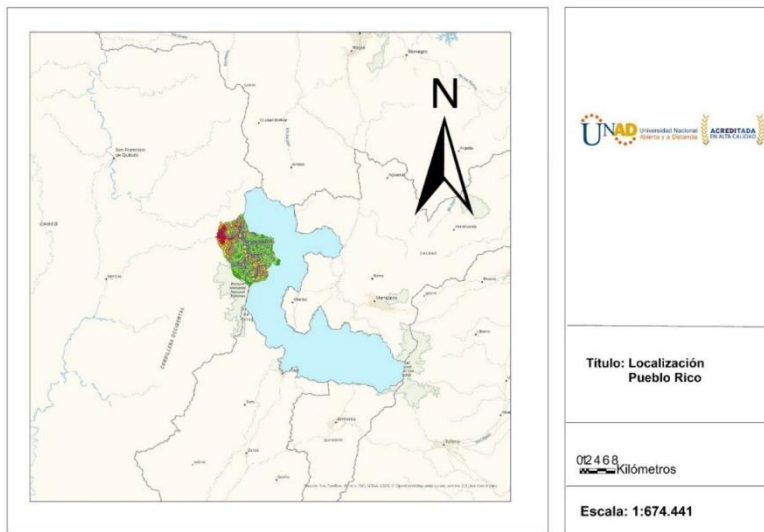
Analizar el riesgo de inundación en el municipio de Pueblo Rico mediante técnicas de modelación espacial basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis multicriterio.

### **Específicos**

- Integrar y procesar la información geoespacial relevante para la modelación del riesgo de inundación mediante técnicas de análisis multicriterio en un entorno SIG.
- Generar el mapa de riesgo de inundación del municipio mediante procedimientos de reclasificación, normalización y ponderación de las variables involucradas.
- Analizar los resultados del modelo espacial para identificar las zonas críticas de inundación y formular recomendaciones técnicas orientadas a la mitigación de los impactos asociados.

## **Identificación del caso de estudio**

El municipio de Pueblo Rico se localiza en el flanco occidental del departamento de Risaralda, dentro de la región del Chocó biogeográfico, una de las zonas de mayor biodiversidad y pluviosidad del país. Limita al occidente con el departamento del Chocó, al norte con Antioquia y al sur con el Valle del Cauca. Presenta una extensión territorial superior a los 600 km<sup>2</sup>, donde predomina el área rural, organizada en una cabecera municipal y múltiples veredas, habitadas principalmente por comunidades indígenas Emberá y población campesina. Este contexto socio territorial está estrechamente relacionado con las condiciones biofísicas que determinan la dinámica hidrológica y la susceptibilidad a eventos de inundación

**Figura 1.***Localización del municipio Pueblo Rico en Risaralda*

Fuente: autoría propia (ArcGIS pro,2025)

Desde el punto de vista climático, el municipio se caracteriza por un régimen de lluvias de alta intensidad y persistencia, propio del clima húmedo tropical influenciado por la convergencia intertropical y la humedad proveniente del océano Pacífico. Las precipitaciones medias anuales superan los 4.000 mm y en sectores de piedemonte pueden sobrepasar los 5.000 mm, con eventos de lluvia concentrados principalmente durante los períodos de mayor actividad de la Zona de Convergencia Intertropical. Este volumen de lluvias favorece procesos de saturación de suelos, incremento de escorrentía superficial y crecidas súbitas de las corrientes hídricas. Para el presente estudio, se utilizó la información correspondiente al mes de mayor precipitación histórica conforme a los registros climatológicos.

En cuanto a la topografía y geomorfología, Pueblo Rico presenta un relieve altamente accidentado, con altitudes que oscilan aproximadamente entre los 200 y los 3.900 metros sobre el nivel del mar, asociadas a las estribaciones de la Cordillera Occidental y a la presencia del complejo montañoso del Tatamá. Predominan las pendientes fuertes a muy fuertes, valles.

Desde la perspectiva edáfica, los suelos predominantes corresponden a unidades de origen volcánico y sedimentario, con texturas franco-arcillosas a arcillosas, alta porosidad, elevado contenido de materia orgánica y una marcada capacidad de retención de humedad. En sectores de menor pendiente se desarrollan suelos con drenaje deficiente, propensos a encharcamientos temporales, mientras que en laderas empinadas predominan suelos poco profundos, susceptibles a procesos de erosión hídrica y movimientos en masa. Estas características incrementan la vulnerabilidad frente a lluvias intensas, al facilitar tanto la escorrentía superficial como la inestabilidad de las laderas.

estrechos y laderas inestables, lo que favorece la concentración rápida de las escorrentías hacia los fondos de valle. La presencia de divisorias de aguas, cañones fluviales y terrazas aluviales condiciona la dinámica de inundación, especialmente en las zonas bajas y planicies de inundación. La red hídrica es densa y compleja, organizada principalmente alrededor de los ríos San Juan, Tatamá y sus múltiples afluentes de orden bajo y medio, que conforman un sistema de drenaje de tipo dendrítico. La alta densidad de drenaje, sumada a la fuerte pendiente de las cuencas, genera respuestas hidrológicas rápidas ante eventos de lluvia extrema, con incrementos súbitos de los niveles de los ríos y desbordamientos frecuentes en las zonas de llanura aluvial y terrazas fluviales. Las rondas hídricas presentan alta ocupación antrópica, lo que reduce su capacidad natural de amortiguación.

En relación con la cobertura vegetal y los ecosistemas, el municipio conserva extensas áreas de bosque húmedo tropical y bosque montano, con alta capacidad de regulación hídrica. No obstante, en zonas intervenidas se evidencia la sustitución de coberturas naturales por sistemas productivos agrícolas y pecuarios, lo cual reduce la infiltración, aumenta la compactación de los suelos y favorece el incremento de los volúmenes de escorrentía.

Los sistemas productivos predominantes corresponden a agricultura de pequeña escala, con cultivos de café en zonas de ladera, plátano, yuca, caña panelera y pancoger, así como actividades de ganadería extensiva en áreas de menor pendiente. Estas actividades, cuando no están acompañadas de prácticas de manejo sostenible (terrazas, barreras vivas, drenajes controlados), contribuyen a la degradación del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y el aumento del riesgo por inundación y erosión.

En conjunto, la interacción entre un régimen de lluvias extremadamente alto, una topografía abrupta, suelos con alta humedad natural, una red hídrica densa y procesos de transformación de la cobertura vegetal, configuran un escenario de alta susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Pueblo Rico. Esta condición se ve agravada por la ocupación de zonas de amenaza alta, especialmente en planicies de inundación y rondas de protección hídrica, incrementando los niveles de exposición y vulnerabilidad de la población y de la infraestructura productiva.

### **Metodología**

La estructura metodológica siguió un enfoque cuantitativo y descriptivo, en coherencia con los lineamientos planteados por Hernández Sampieri (2019) para investigaciones aplicadas basadas en el análisis espacial.

**Figura 2:**

*Esquema metodológico para la modelación del riesgo de inundación mediante análisis multicriterio en SIG*



**Fuente:** *autoría propia, 2025*

Para la generación del modelo de riesgo por inundación se realizó la reclasificación del Modelo de Elevación Digital (DEM) del municipio, con el fin de transformar los valores continuos de altitud en clases temáticas adecuadas para su integración dentro del análisis multicriterio. Este procedimiento permitió identificar los rangos altitudinales más susceptibles a procesos de inundación, especialmente en zonas bajas próximas a drenajes.

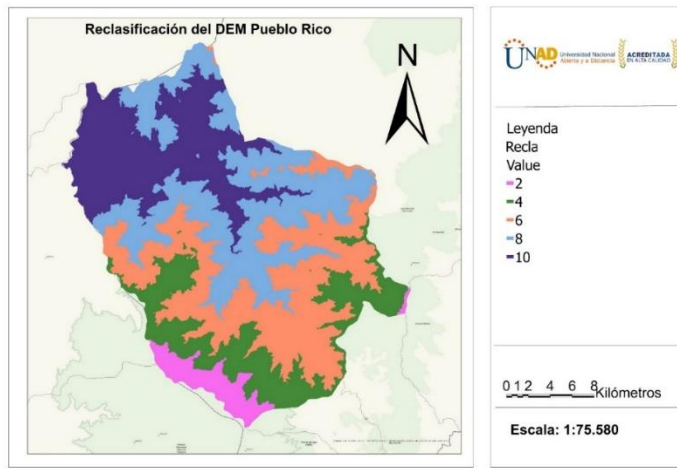
Este proceso se llevó a cabo en ArcGIS Pro mediante la herramienta Reclassify. Para ello, se ingresó a la Caja de Herramientas (Toolbox), luego al módulo Spatial Analyst Tools, posteriormente a la carpeta Reclass, y finalmente se seleccionó la herramienta Reclassify. El DEM fue cargado como capa de entrada, y a partir de su histograma y los valores altitudinales presentes en Pueblo Rico, se definieron intervalos de clasificación representativos de las condiciones del terreno. A cada rango se le asignó un valor estandarizado que identifica el nivel de susceptibilidad para el modelo, siguiendo el criterio de que las altitudes menores corresponden a áreas más propensas a inundaciones. Finalizada la reclasificación, la herramienta generó una nueva capa ráster con las categorías asignadas.

Este mismo procedimiento se aplicó a las demás variables utilizadas en el análisis multicriterio, como pendiente, distancia a drenajes, uso del suelo y precipitación, empleando la herramienta Reclassify o herramientas específicas de generación de proximidad y derivación geomorfológica. Cada mapa temático reclasificado fue posteriormente estandarizado y ponderado para integrarse en el mapa final de amenaza y, posteriormente, en el mapa de riesgo por inundación.

### Reclasificación del DEM

La reclasificación del Modelo Digital de Elevación (DEM) del municipio de Pueblo Rico se realizó con el propósito de analizar la variabilidad altitudinal del territorio y facilitar su interpretación en el marco de estudios ambientales y territoriales. El DEM original, con valores continuos de elevación, fue reclasificado en cinco categorías altitudinales, asignando valores discretos (2, 4, 6, 8 y 10), lo que nos permitió agrupar rangos de altura con características geomorfológicas similares.

*Figura 3. Reclasificación DEM*

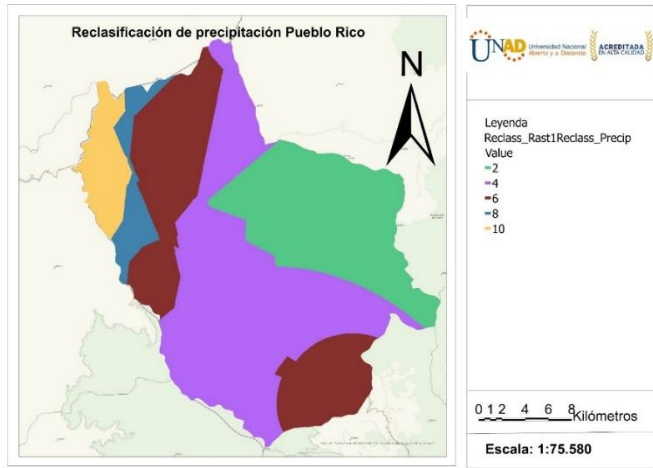


*Fuente: autoría propia, 2025*

### Reclasificación de precipitación

La reclasificación de la precipitación media en el municipio de Pueblo Rico se realizó con el fin de identificar la distribución espacial de los regímenes de lluvia y su incidencia en los procesos ambientales y territoriales. La información climática original fue reclasificada en cinco categorías, representadas mediante valores discretos 2, 4, 6, 8 y 10, lo que permitió agrupar zonas con comportamientos pluviométricos similares.

**Figura 4. Reclasificación precipitación**

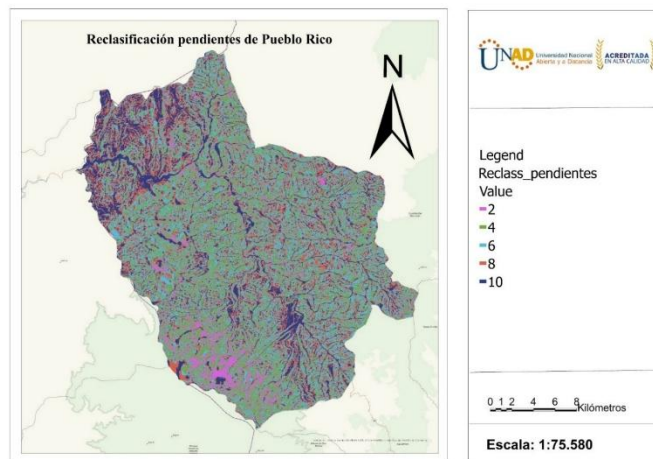


**Fuente:** autoría propia, 2025

**Reclasificación de pendientes**

La reclasificación de pendientes del municipio de Pueblo Rico se realizó a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM), con el objetivo de identificar las condiciones topográficas del territorio y su relación con la susceptibilidad a procesos de inestabilidad del terreno. El mapa de pendientes fue reclasificado en cinco categorías, representadas por los valores 2, 4, 6, 8 y 10, agrupando rangos de pendiente con comportamientos geomorfológicos similares.

**Figura 5. Reclasificaciones pendientes**



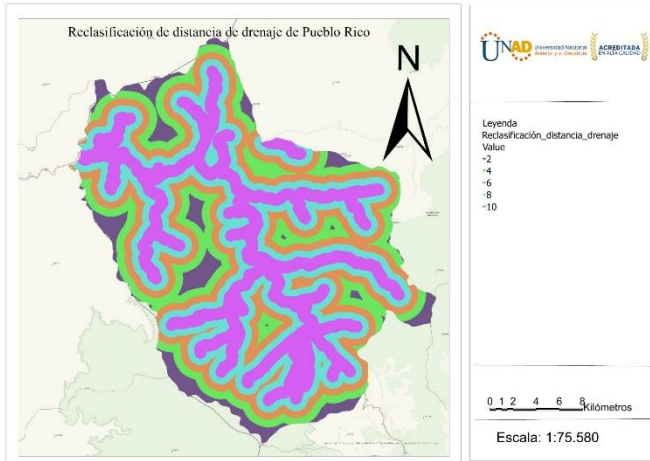
**Fuente:** autoría propia, 2025

**Reclasificación distancia de drenaje**

La Figura 6 es un análisis de reclasificación de distancia de drenaje para la zona de Pueblo Rico.

Muestra el área de estudio dividida en cinco zonas concéntricas de color (representadas por valores de -2 a -10) que indican la proximidad a la red hídrica (drenajes)

Figura 6. Reclasificación de distancia de drenaje

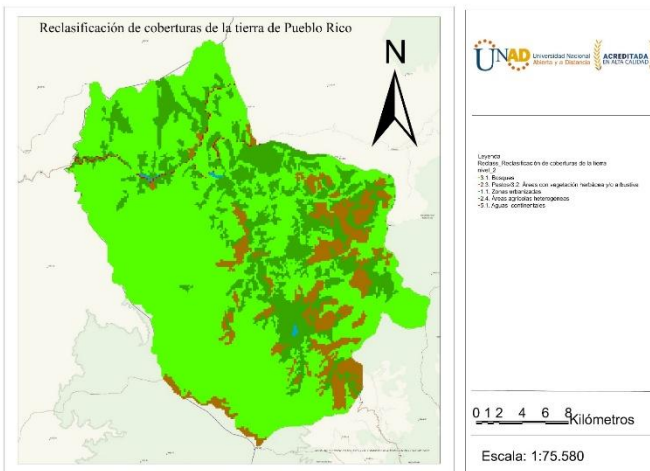


Fuente: autoría propia 2025

**Reclasificación de coberturas**

El mapa representa la reclasificación de coberturas de la tierra del municipio de Pueblo Rico, muestra la distribución espacial de bosques, áreas agrícolas, pastizales y zonas intervenidas.

Figura 7: Reclasificación de coberturas



Fuente: autoría propia 2025

**Suma lineal ponderada**

Esta técnica es fundamental en el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDM)

Su propósito principal es combinar múltiples capas ráster (factores o criterios) para generar una única capa de salida que represente una evaluación integrada. En el caso de estudio el riesgo de inundación en el municipio.

**Cálculo de áreas**

Esta tabla nos muestra el resumen de información estadística y geométrica de las diferentes clases de riesgo por inundación en el municipio de trabajo.

Tabla 1. Cálculo de áreas

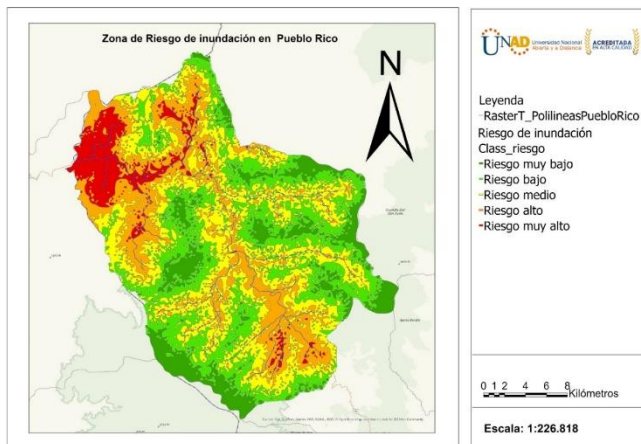
OBJECTID	gridcode	SUM _gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Class_riesgo	Área_km2
1	1	344	583923,0415	86971596,74	Riesgo muy bajo	86,97159674
2	2	1490	1469353,86	161253908	Riesgo bajo	161,253908
3	3	2364	1755168,2	183794892,6	Riesgo medio	183,7948926
4	4	2836	1123000,739	134623381,1	Riesgo alto	134,6233811
5	5	810	249161,0365	45579452,4	Riesgo muy alto	45,5794524

*Fuente: autoría propia 2025*

**Resultados**

Pueblo Rico es un municipio ubicado en el occidente de Risaralda, sobre la vertiente del Pacífico colombiano, caracterizado por un clima súper húmedo, una elevada precipitación anual y un relieve montañoso influenciado por el Parque Nacional Natural Tatamá. Esta combinación de factores genera una estructura hidrográfica compleja dominada por la cuenca del río San Juan y sus afluentes, lo que incrementa la susceptibilidad a inundaciones y procesos de remoción en masa (CARDER, 2003). La comprensión de estas condiciones físico-ambientales es fundamental para analizar el riesgo de inundación y establecer criterios adecuados para la planificación agroambiental del territorio.

*Figura 12: Mapa de riesgo por inundación*



Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025)

El mapa de riesgo evidencia un patrón espacial diferenciado en el municipio de Pueblo Rico Risaralda. Las áreas de riesgo muy alto se concentran en la región noroeste, donde confluyen altas precipitaciones, pendientes abruptas y cercanía a los ríos principales. Las zonas centro y sur presentan mayor predominancia de riesgo medio y bajo, mientras que los sectores de mayor altitud se clasifican como riesgo muy bajo.

*Tabla 2.*

*Áreas por categoría de riesgo*

<b>Clase de riesgo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje</b>
Riesgo muy bajo	86.97 km <sup>2</sup>	14.2
Riesgo bajo	161.25 km <sup>2</sup>	26.3
Riesgo medio	123.79 km <sup>2</sup>	30
Riesgo alto	134.62 km <sup>2</sup>	22
Riesgo muy alto	45.57 km <sup>2</sup>	7.4

*Fuente: Autoría propia (2025)*

A partir del análisis multicriterio desarrollado mediante la herramienta ArcGIS Pro, se realizó la clasificación del territorio del municipio de Pueblo Rico según el riesgo de inundación. Este proceso integró variables clave del entorno físico, como el relieve, la hidrología, la acumulación de flujo y la proximidad a drenajes, factores que inciden directamente en la susceptibilidad del terreno frente a eventos de inundación (ESRI, 2020; Rojas & Mejía, 2013). La combinación ponderada de estos elementos permitió obtener una representación espacial detallada del nivel de amenaza, fundamentada en metodologías recomendadas para la gestión del riesgo en Colombia (UNGRD, 2017; IDEAM, 2014).

El resultado permitió zonificar el territorio en cinco categorías de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, facilitando la interpretación del fenómeno y contribuyendo a la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial y gestión del riesgo. Esta clasificación constituye una herramienta fundamental para orientar acciones de prevención y diseñar estrategias de mitigación en áreas con mayor exposición (UNGRD, 2017; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Los resultados muestran que la mayor proporción del territorio se encuentra clasificada como riesgo bajo (161.25 km<sup>2</sup>) y riesgo medio (123.79 km<sup>2</sup>). Esta distribución refleja que una parte importante del municipio presenta condiciones relativamente favorables debido a la presencia de pendientes pronunciadas, mayores altitudes y coberturas vegetales que mejoran la infiltración y reducen el estancamiento del agua (FAO, 2011; Smith & Ward, 1998).

Sin embargo, las áreas de riesgo alto y muy alto, que suman aproximadamente 180 km<sup>2</sup>, representan zonas prioritarias, especialmente por su ubicación en sectores donde históricamente se

han registrado desbordamientos, como las comunidades cercanas al río San Juan y el corregimiento de Santa Cecilia ( IDEAM, 2014).

La coherencia del modelo se refuerza al comparar la zonificación obtenida con los registros históricos de afectaciones por inundación reportados por el IDEAM y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, los cuales evidencian que Pueblo Rico ha presentado episodios recurrentes de crecientes súbitas y desbordamientos asociados principalmente a eventos del fenómeno La Niña. Durante estos periodos, se registran aumentos significativos en los caudales de los principales ríos del municipio, afectando infraestructura vial, viviendas rurales, cultivos y territorios indígenas (UNGRD, 2021; IDEAM, 2020). Esta coincidencia confirma la validez del análisis multicriterio como herramienta predictiva y de planificación.

La presencia de riesgo muy alto en el sector noroeste representa una amenaza directa para ecosistemas estratégicos del Chocó biogeográfico, considerados de alta importancia ecológica debido a su biodiversidad y funciones de regulación hídrica. De igual forma, este nivel de riesgo afecta sistemas agropecuarios de pequeña escala, lo que incrementa la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades locales. Por el contrario, las zonas clasificadas como riesgo muy bajo se encuentran principalmente en sectores montañosos o de conservación, donde las condiciones topográficas y biológicas reducen la probabilidad de acumulación de agua y desbordamientos.

Finalmente, los resultados son consistentes con los antecedentes nacionales reportados por la UNGRD (2021), que señalan que la temporada invernal influenciada por La Niña ha generado eventos de inundación en numerosos municipios del país. En el caso de Pueblo Rico, las áreas clasificadas como riesgo alto y muy alto se localizan en zonas cercanas a drenajes y sectores históricamente susceptibles a afectaciones por precipitaciones intensas. Esto evidencia la utilidad del mapa de riesgo para priorizar intervenciones, definir medidas de reducción del riesgo y fortalecer las estrategias de adaptación al cambio climático en el municipio.

## **Conclusiones**

El análisis multicriterio permitió identificar que, aunque gran parte del territorio de Pueblo Rico presenta riesgo bajo y medio, existen alrededor de 180 km<sup>2</sup> clasificados como riesgo alto y muy alto que requieren especial atención. Estas zonas coinciden con sectores históricamente afectados por inundaciones, como las áreas cercanas al río San Juan y Santa Cecilia, lo que confirma la validez del modelo y su coherencia con los registros reportados por el IDEAM y la UNGRD. Los resultados evidencian la necesidad de priorizar intervenciones en estas áreas críticas y consolidar estrategias de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático que protejan tanto a las comunidades vulnerables como a los ecosistemas estratégicos del territorio.

El riesgo de inundación en Pueblo Rico presenta variabilidad espacial significativa, determinada por interacción entre precipitación extrema, pendiente y cercanía a fuentes hídricas. Las zonas de mayor riesgo se localizan en el noroeste del municipio, donde confluyen drenajes principales y condiciones geomorfológicas que favorecen desbordamientos. En cuanto al uso de SIG y al análisis multicriterio, nos permitió integrar y ponderar múltiples variables ambientales, generando un modelo de riesgo coherente con los antecedentes históricos reportados para la región. La metodología demostró ser eficaz para identificar áreas críticas y generar insumos aplicables al ordenamiento territorial, los ejercicios de superposición entre zonas productivas y áreas de riesgo destaca la necesidad de ajustar prácticas agroambientales y estrategias de adaptación al cambio climático. Los resultados evidencian la importancia de fortalecer la planeación del uso del suelo, mejorar el manejo de cuencas y promover sistemas productivos más resilientes.

El análisis integrado de las condiciones biofísicas del municipio de Pueblo Rico permite establecer que el territorio presenta una alta susceptibilidad y vulnerabilidad estructural frente a eventos de inundación, condicionada por la interacción de variables climáticas, geomorfológicas, edáficas, hidrológicas y antrópicas. El régimen pluviométrico extremadamente alto, caracterizado por precipitación de elevada intensidad, frecuencia y persistencia, genera procesos recurrentes de saturación del suelo, incremento de la escorrentía superficial y activación de crecientes rápidas en los sistemas de drenaje. Esta dinámica se ve intensificada por la composición de los suelos, en su mayoría de textura fina, alta porosidad y elevada capacidad de retención hídrica, presentan limitaciones funcionales para la evacuación de excesos de agua, lo que propicia condiciones de encharcamiento, inestabilidad de laderas y alta susceptibilidad a procesos de erosión hídrica y movimientos en masa. De manera complementaria, la densa y jerarquizada red hídrica, dominada por sistemas fluviales de respuesta hidrológica rápida y con alta densidad de drenaje, evidencia una marcada tendencia a desbordamientos en sectores de planicie aluvial, especialmente en condiciones de eventos extremos y lluvias acumuladas de varios días. Topografía abrupta, con pendientes fuertes a muy fuertes, que favorece la concentración de flujos hacia los fondos de valle y limita los procesos de infiltración efectiva.

El análisis multicriterio desarrollado mediante Sistemas de Información Geográfica permitió comprender con mayor precisión la dinámica del riesgo de inundación en el municipio de Pueblo Rico, un territorio cuya configuración ambiental marcada por una alta pluviosidad, una topografía abrupta, suelos con elevada humedad y una red hidrográfica densa incrementa de manera significativa su susceptibilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos. Los resultados evidenciaron que las zonas con mayor nivel de amenaza se encuentran asociadas a áreas históricamente afectadas por desbordamientos y crecientes súbitas, particularmente en las cuencas del río San Juan y en sectores rurales como Santa Cecilia, donde convergen condiciones físicas críticas y altos niveles de exposición humana y productiva.

La zonificación del riesgo obtenida demuestra la pertinencia de integrar variables topográficas, hidrológicas y climáticas en modelos espaciales para la gestión territorial. Asimismo, confirma la correspondencia entre el comportamiento histórico de inundaciones y la distribución espacial del

riesgo identificada, lo que refuerza la validez del enfoque metodológico aplicado. En este sentido, los SIG se consolidan como herramientas esenciales para la planificación ambiental y la reducción del riesgo, permitiendo priorizar intervenciones, orientar la implementación de medidas de mitigación y fortalecer los procesos de adaptación ante escenarios climáticos cada vez más variables e intensos.

En conclusión, este estudio aporta insumos técnicos fundamentales para la toma de decisiones en el ordenamiento territorial del municipio de Pueblo Rico, al evidenciar las zonas más vulnerables y señalar la necesidad de integrar criterios de gestión del riesgo en los sistemas productivos, las infraestructuras críticas y la ocupación del territorio. La identificación temprana de áreas críticas constituye un paso clave para avanzar hacia un manejo más resiliente y sostenible frente a las inundaciones, en un contexto donde la variabilidad climática y las presiones antrópicas continuarán configurando escenarios de riesgo crecientes en el corto y mediano plazo.

## **Recomendaciones**

### **Priorización de intervenciones en zonas de riesgo alto y muy alto**

Se recomienda priorizar acciones de gestión del riesgo en las áreas clasificadas como riesgo alto y muy alto, especialmente en sectores cercanos al río San Juan y al corregimiento de Santa Cecilia. Estas zonas deben ser objeto de medidas estructurales y no estructurales orientadas a la reducción del riesgo, considerando su recurrencia histórica de eventos de inundación.

### **Restricción y control del uso del suelo**

Se sugiere incorporar los resultados del mapa de riesgo dentro de los instrumentos de ordenamiento territorial POT, estableciendo restricciones para la localización de nuevos asentamientos humanos, infraestructura crítica y actividades productivas en zonas de alto y muy alto riesgo. En estos sectores, el uso del suelo debería orientarse preferiblemente hacia áreas de protección ambiental o usos compatibles con la dinámica hídrica.

### **Fortalecimiento de medidas de adaptación basada en ecosistemas**

En áreas de influencia hídrica se recomienda implementar estrategias de restauración ecológica, tales como la recuperación de rondas hídricas, reforestación con especies nativas y conservación de humedales. Estas acciones contribuyen a la regulación del flujo hídrico, disminuyen la velocidad de escorrentía y aumentan la capacidad de retención del agua.

### **Mejoramiento y mantenimiento de la infraestructura de drenaje**

Se recomienda realizar evaluaciones periódicas del estado de los sistemas de drenaje existentes, así como el diseño e implementación de obras de adecuación hidráulica en zonas críticas, asegurando que dichas intervenciones no generen efectos adversos aguas abajo (Smith & Ward, 1998; UNGRD, 2017).

**Implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana**

Es fundamental fortalecer los sistemas de monitoreo hidrometeorológico y los mecanismos de alerta temprana (Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. 2014). especialmente durante periodos asociados al fenómeno La Niña. La articulación entre entidades locales, IDEAM y comunidades permitirá mejorar la capacidad de respuesta ante eventos de inundación.

**Gestión del riesgo con enfoque comunitario**

Se recomienda promover procesos de capacitación y sensibilización dirigidos a las comunidades ubicadas en zonas de mayor riesgo, enfocados en planes de emergencia, rutas de evacuación y medidas de autoprotección. El fortalecimiento de la comunidad reduce la vulnerabilidad social frente a eventos extremos.

**Protección de ecosistemas estratégicos**

Las áreas con riesgo muy alto ubicadas en ecosistemas del Chocó biogeográfico deben ser priorizadas para su conservación, evitando actividades que alteren su capacidad de regulación hídrica. Estas zonas cumplen un papel clave en la mitigación natural de inundaciones y en la conservación de la biodiversidad.

**Actualización periódica del modelo de riesgo**

Se recomienda actualizar el análisis multicriterio de manera periódica, incorporando nueva información climática, cambios en el uso del suelo y registros recientes de eventos extremos, con el fin de mantener vigente la zonificación del riesgo y mejorar su precisión.

**Articulación institucional e intersectorial**

Es fundamental fortalecer la coordinación entre la administración municipal, la UNGRD, autoridades ambientales y organizaciones comunitarias para garantizar la implementación efectiva de las medidas propuestas y la integración del riesgo en la planificación del desarrollo local.

**Referencias bibliográficas**

Alcaldía de Pueblo Rico. (2023). Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023. <https://blog.utp.edu.co/educacion-ambiental-de-risaralda/files/2023/12/Plan-de-Desarrollo-Pueblo-Rico.pdf>

Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). *Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems*. *Journal of Hydrology*, 518, 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>.

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación Colombia. *Revista científica en ciencias ambientales y sostenibilidad*, 4(1).

<https://www.semanticscholar.org/paper/Factores-Subyacentes-de-Riesgo-de-Desastres-por-y-Chavez-Arias-Galeano/d6cf103fce94eddefaf7c2bbdb857d9331162cfc>

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.  
[https://ponce.sdsu.edu/Applied\\_Hydrology\\_Chow\\_1988.pdf](https://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf)

Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., & Paulik, R. (2024). Flood impacts on agriculture under climate change. *Economics of Disasters and Climate Change*. <https://doi.org/10.1007/s41885-024-00147-3>

ESRI. (2020). *ArcGIS Pro: Spatial Analysis Tools*. Environmental Systems Research Institute.  
<https://www.esri.com/en-us/home>

Fajardo, C. L. V. (2022). La Caracterización Hidrográfica y su Influencia en la Evaluación del Riesgo de Inundación. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(8), 1575-1594.  
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4473/0>

FAO. (2011). *Guía para la gestión de cuencas hidrográficas y reducción del riesgo de inundaciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.  
<https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820628912320/fao20manejo20de20cuencas.pdf>

IDEAM. (2013). Atlas climatológico de Colombia. [ATLAS - IDEAM](#)

IDEAM. (2014). *Guía metodológica para la evaluación del riesgo por inundaciones*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.  
[https://ideam.gov.co/sites/default/files/normatividad/e-sgi-g003\\_guia\\_de\\_administracion\\_de\\_riesgos\\_v6.pdf](https://ideam.gov.co/sites/default/files/normatividad/e-sgi-g003_guia_de_administracion_de_riesgos_v6.pdf)

IDEAM. (2020). *Estudio nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.  
<https://www.ideam.gov.co>

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.  
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/technical-summary/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Guía para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial*. Gobierno de Colombia.  
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Guia-Integracion-Gestion-Riesgo-Ordenamiento-Territorial-Octubre2015.pdf>

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>

Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library. <https://archive.org/details/2020-sig/mode/2up?ref=ol>

Patiño Rincón, D. A. (2018). *Respuesta hidrológica ante los cambios de uso y cobertura del suelo en la cuenca del río Chinchiná* (Doctoral dissertation). [https://redcol.minciencias.gov.co/Record/UNACIONAL2\\_e630e89d2b963462d8c7524f2aad9a89/Details](https://redcol.minciencias.gov.co/Record/UNACIONAL2_e630e89d2b963462d8c7524f2aad9a89/Details)

Rojas, O., & Mejía, A. (2013). *Hidrología: procesos y modelación*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/40695>

Smith, K., & Ward, R. (1998). *Floods: Physical processes and human impacts*. Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Floods%3A+Physical+Processes+and+Human+Impacts-p-9780471952480>

Sosa-Franco, I., Pérez-Guerra, G., Machado-García, N., & Elena-Ruiz Pérez, M. (2023). Method for query processing in a geographic information system. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(2), 1–9. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3>

UNGRD. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de estudios básicos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19776>

UNGRD. (2017). *Lineamientos para la gestión del riesgo de desastres en entidades territoriales*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>

UNGRD. (2021). Reporte nacional de eventos por inundaciones y movimientos en masa. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNC/PNC-2TEMPORADA-LLUVIAS-2021.pdf>

**Enlace de sustentación:**

<https://www.youtube.com/watch?v=KbkjZKUaw08>