

Análisis de riesgo de inundación mediante la creación de un mapa multicriterio en la microcuenca de río grande perteneciente al municipio de Puracé localizado en el departamento del Cauca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el uso del programa ArcGIS Pro.

Juan Carlos Gallego Hincapié, (jcgallegohi@unadvirtual.edu.co)

Luis Miguel Muñoz Castaño, (lmunozcas@unadvirtual.edu.co)

Jean Carlos Cartagena Caro, (jccartagenac@unadvirtual.edu.co)

Paula Andrea Velasco García, (pavelascog@unadvirtual.edu.co)

Docente asesor: Luis Alejandro Ospina Sánchez, (luisa.ospina@unad.edu.co)

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas tecnológicas que permiten recopilar, analizar y visualizar datos geoespaciales. En el contexto agroambiental, su aplicación facilita la gestión sostenible de recursos naturales como el suelo, el agua y los cultivos, permitiendo la prevención de procesos erosivos, una planificación eficiente y la mitigación del impacto ambiental. En este estudio se evaluó el riesgo de inundación en la microcuenca del río Grande, municipio de Puracé (Cauca), mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el software ArcGIS Pro. Se aplicó un modelo de análisis espacial multicriterio que integró variables como altitud, pendiente, precipitación, distancia a drenajes y cobertura del suelo, normalizadas y ponderadas según su influencia sobre el riesgo de inundación. Los resultados reflejan que el 43,27% del área presenta niveles de riesgo alto o muy alto, lo cual se asocia a zonas con pendientes suaves, baja altitud y presencia de usos agrícolas y asentamientos humanos. Este mapa temático aporta insumos fundamentales para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial, destacando áreas críticas donde se deben priorizar acciones de mitigación, restauración ecológica y planificación del uso del suelo.

Palabras claves: análisis multicriterio, cartografía temática, riesgo de inundación, SIG.

Introducción

Colombia es un país con una alta diversidad geográfica y climática, lo que lo hace

particularmente vulnerable a fenómenos naturales como las inundaciones. Esta amenaza hidrometeorológica se presenta con frecuencia en amplias regiones del territorio

nacional, afectando especialmente a zonas de baja altitud, cuencas hidrográficas extensas y áreas con altos niveles de precipitación. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2018), las inundaciones constituyen una de las principales causas de desastres naturales en el país, generando pérdidas humanas, daños a la infraestructura, interrupciones en los servicios y afectaciones significativas a los sistemas productivos rurales.

Diversos estudios han documentado la recurrencia y magnitud de las inundaciones en Colombia, destacando que la creciente variabilidad climática, el uso inadecuado del suelo, la deforestación y la expansión urbana en zonas de riesgo han incrementado la frecuencia e intensidad de estos eventos (IDEAM – UNAL, 2018; DNP, 2018). Estas condiciones han generado la necesidad urgente de implementar estrategias efectivas de prevención, mitigación y adaptación. En este contexto, el uso de tecnologías geoespaciales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha emergido como una herramienta clave para la identificación, delimitación y monitoreo de zonas susceptibles a inundaciones, contribuyendo significativamente a la

Objetivo general

Analizar el riesgo de inundación mediante la creación de un mapa multicriterio en la microcuenca río grande perteneciente al municipio de Puracé localizado en el departamento del Cauca, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG),

planificación territorial y la gestión del riesgo (IDEAM, 2023; Sevillano, 2020).

Los SIG permiten la integración de múltiples variables ambientales, hidrológicas y socioeconómicas mediante metodologías de análisis espacial y modelos multicriterio, como el proceso de análisis jerárquico. Estas metodologías han sido ampliamente utilizadas para la evaluación del riesgo por inundaciones en diversas regiones del país, demostrando su efectividad para generar mapas temáticos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, los cuales sirven como base técnica para la toma de decisiones en el ordenamiento agroambiental (UNGRD, 2018; Rangel & Posada, 2023).

De acuerdo con el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC, s.f.), la cartografía de zonas potencialmente inundables es esencial para reducir la exposición de comunidades, ecosistemas e infraestructura frente a eventos extremos. Por tanto, el presente trabajo se enfoca en aplicar metodologías de análisis espacial con SIG y técnicas de evaluación multicriterio para modelar el riesgo de inundación en municipios colombianos, como aporte al manejo sostenible y seguro del territorio rural.

Específicamente el uso del programa ArcGIS Pro.

Objetivos específicos

- Obtener la información necesaria de las diferentes categorías de información geográfica para la elaboración cartográfica.

- Alcanzar las diferentes categorías con los diferentes niveles de riesgo de inundación en cuenca de río grande.
- Realizar recomendaciones con respecto al ordenamiento territorial de la microcuenca de río grande.

Identificación del caso de estudio

Puracé es un municipio situado en la cordillera Central del departamento del Cauca, Colombia, dentro de la cuenca alta del río Cauca, específicamente en la subcuenca del río Grande. Esta se ve alimentada por diversas microcuencas y afluentes como los ríos Cocuy, San Francisco, Vinagre y San Rafael. El territorio presenta un rango altitudinal significativo, que oscila entre los 2.000 y los 4.700 metros sobre el nivel del mar (Alcaldía Municipal de Puracé Cauca, 2025), lo cual influye directamente en su variabilidad climática y ecológica.

El municipio se caracteriza por un relieve predominantemente montañoso, albergando una variedad de ecosistemas estratégicos como el bosque andino, el subpáramo y el páramo. Estos ecosistemas forman parte del Parque Nacional Natural Puracé, una de las áreas protegidas más importantes del país por su biodiversidad y por ser hábitat de especies emblemáticas como el cóndor de los Andes (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2025; Andrade-C., 2011).

El clima de Puracé es mayoritariamente frío y húmedo, con temperaturas promedio que oscilan entre los 12 °C y los 16 °C en las zonas habitadas, mientras que en las áreas de mayor altitud las temperaturas pueden descender significativamente, presentándose heladas frecuentes. Según BirdLife International (2025), estas condiciones favorecen la persistencia de especies adaptadas a climas de alta montaña. La precipitación es elevada, con valores anuales que varían entre 1.800 y 3.000 mm, distribuidos de manera relativamente constante a lo largo del año, aunque con picos notables en los meses de abril–mayo y octubre–noviembre (Abud & Torres, 2016; IDEAM, 2023).

La humedad relativa supera habitualmente el 80 %, y es común la presencia persistente de niebla y nubosidad, lo cual contribuye a mantener el equilibrio hídrico del ecosistema. Estas condiciones climáticas, junto con su diversidad geográfica y ecológica, hacen de Puracé una zona de gran importancia estratégica para la regulación hídrica y la conservación ambiental en la región andina (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2004).

Metodología

El presente trabajo se desarrolló mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), enfocadas en la modelación espacial del riesgo de inundación (análisis multicriterio) en

diferentes municipios previamente seleccionados. Se utilizó el software ArcGIS Pro para realizar el procesamiento y análisis de datos espaciales, incluyendo actividades como integración de variables geospaciales como altitud, pendientes, cobertura del suelo, precipitación y distancia a drenajes. A partir de estos insumos, se realizaron procesos de reclasificación y suma ponderada para generar un mapa temáticos de riesgo. A continuación, se describen los pasos metodológicos ejecutados:

Recolección y estandarización de datos geospaciales

Inicialmente se recopilamos datos geospaciales primarios y secundarios en formato vectorial y ráster esenciales para poder desarrollar el proceso tales como, Capas vectoriales del área de estudio, Modelo Digital de Elevación (DEM), Capa ráster de pendientes del municipio, Capa ráster de precipitación del mes identificado con el periodo de mayor pluviosidad, Capas de cobertura de tierras.

Todos los datos fueron proyectados al sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 y estandarizados espacialmente en extensión y resolución para asegurar su compatibilidad durante el análisis.

1. Recopilación y preparación de datos

Inicialmente se recopilamos los siguientes datos geospaciales:

Ilustración 1 modelo de elevación digital

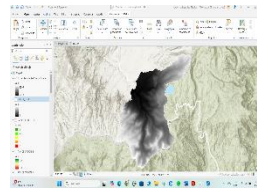


Ilustración 1 capa ráster pendientes de la microcuenca

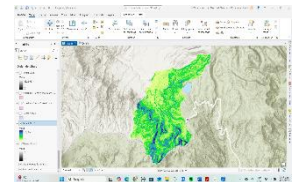


Ilustración 2 Capa ráster de pendiente del municipio

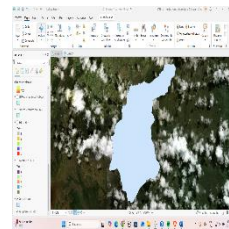


Ilustración 3 Capa ráster de precipitación del mes identificado con el periodo de mayor pluviosidad

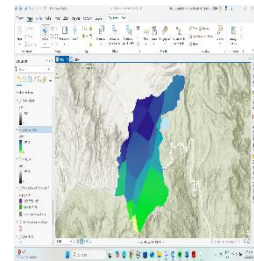
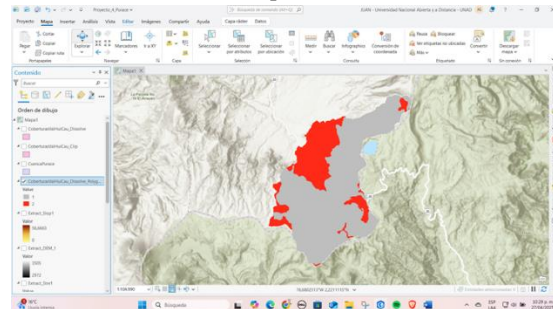


Ilustración 4 Capa de cobertura de tierra



Todos los datos fueron reproyectados al sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 y estandarizados espacialmente (tamaño de celda, extensión y formato) para asegurar su compatibilidad durante el análisis posterior.

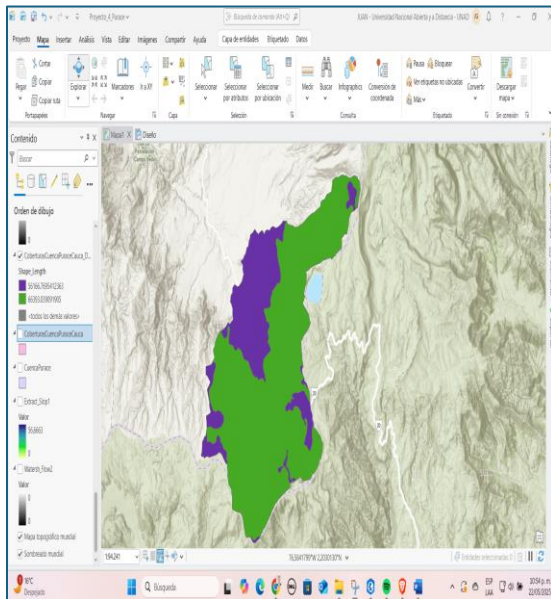
Capa de precipitación: Se recorto a nivel departamental y luego municipal. Normalizada mediante rupturas naturales (Jenks) para reflejar su contribución relativa al riesgo.

Generación de capas derivadas

A partir de los datos previamente recopilados y estandarizados se generaron las siguientes capas:

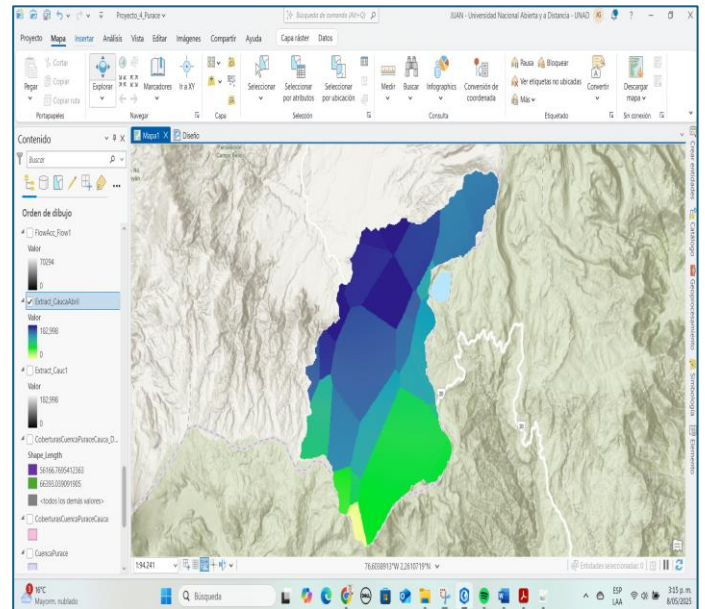
Capa de cobertura del suelo: Se recorto del área municipal, se disolvió por categoría y se convirtió en ráster y se clasificó según su susceptibilidad al riesgo de inundación.

Figura 7. Capas de cobertura de tierras.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

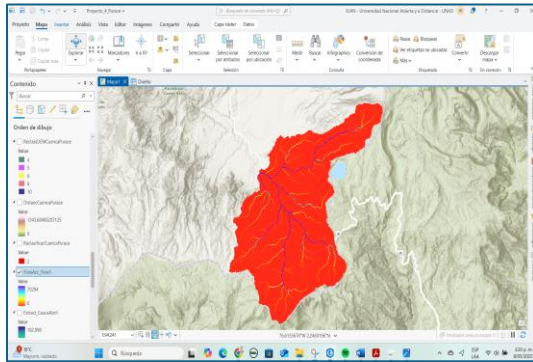
Figura 8. Capas de precipitación.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Capa de acumulación de flujo: A partir del DEM se generó el ráster de *flow accumulation*, usado para identificar drenajes principales.

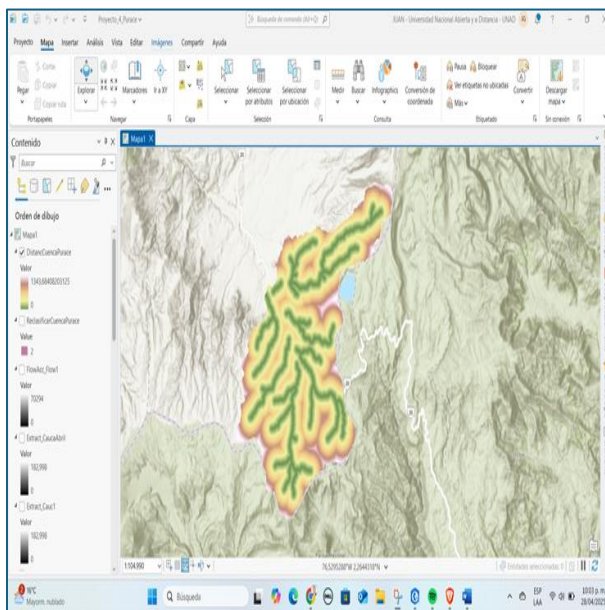
Figura 9. Capas de acumulación de flujo.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Capa de distancia a drenajes: Se calculó a partir del ráster de drenaje reclasificado por el 1% superior de acumulación de flujo.

Figura 10. Capas de distancia a drenajes.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Normalización y reclasificación de variables

Cada variable fue transformada a una escala de 2 (muy bajo riesgo) a 10 (muy alto riesgo) utilizando criterios cuantitativos y cualitativos definidos en la siguiente tabla. Esta estandarización permite la agregación comparativa de capas heterogéneas bajo una misma lógica de evaluación de amenazas.

TABLA 1. ESTIMACIÓN DE CLASIFICACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA.

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

Fuente: Guía de aprendizaje - Fase 4 UNAD, 2025.

De acuerdo con lo anterior, se definieron las siguientes clasificaciones:

Altitud (DEM): Altitudes bajas → mayor riesgo

Pendiente: Pendientes suaves → mayor riesgo

Precipitación: Precipitaciones altas → mayor riesgo

Distancia a drenajes: Cercanía a drenajes → mayor riesgo

Coberturas del suelo: Según susceptibilidad de cada clase

Análisis multicriterio ponderado (AMP)

se aplicó el modelo de suma ponderada (weighted sum) en ARCGIS, asignando pesos a cada factor, según la importancia relativa en la modelación del riesgo de inundación (ver tabla 2). este enfoque multicriterio permite identificar sinergias y efectos acumulativos entre variables.

TABLA 2. CRITERIOS DE ANÁLISIS PARA RIESGO DE INUNDACIÓN.




Factor	Peso (%)
Precipitación	35%
Distancia a cuerpos de agua	30%
Pendiente	15%
Elevación (DEM)	10%
Cobertura del suelo	10%

Fuente: Guía de aprendizaje - Fase 4 UNAD, 2025.

Clasificación final y cartografía de riesgo

El ráster resultante del análisis multicriterio fue reclasificado en cinco clases cualitativas de riesgo por inundación (ver tabla 3) utilizando el método Jenks, y simbolizado con gradientes de color que mejoran la interpretación visual. Posteriormente, se generó el mapa temático final incluyendo leyenda, escala, coordenadas y metadatos. Esta metodología integral no solo permite identificar zonas vulnerables, sino también soporta procesos de toma de decisiones en la gestión del riesgo agroambiental.

Tabla 3. Reclasificación del riesgo por inundación.

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

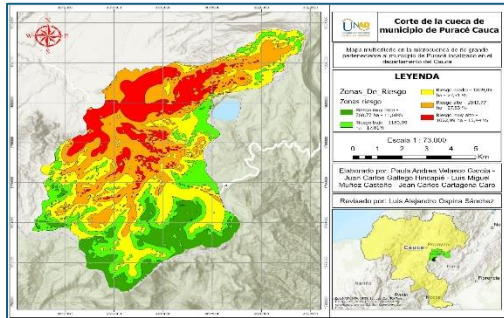
Fuente: Guía de aprendizaje - Fase 4 UNAD, 2025.

Finalmente, se evaluó la distribución espacial y porcentual de las categorías de riesgo respecto al área total municipal y en base a estos resultados, se realizó un análisis comparativo de las áreas de riesgo, identificando zonas críticas, niveles de vulnerabilidad y posibles impactos en comunidades, infraestructuras y sistemas agroambientales.

Resultados

A continuación, se relaciona el mapa de riesgo generado por el análisis espacial multicriterio y las gráficas de clasificación de riesgo por áreas (ha) y por porcentajes (%).

Figura 11. Mapa de riesgo.



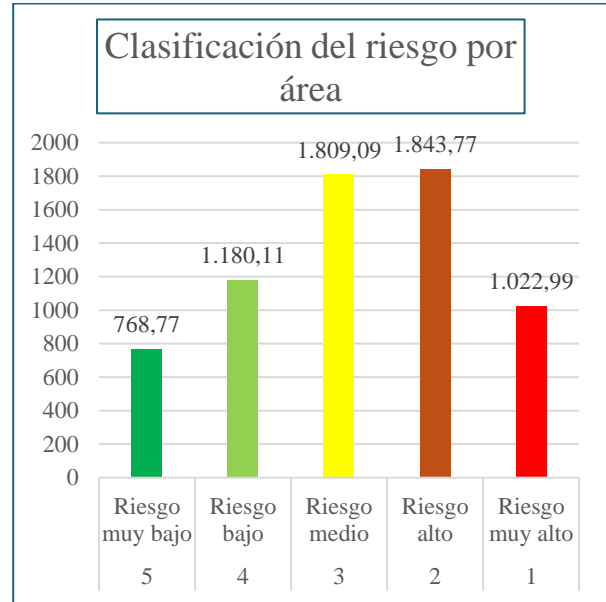
Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Tabla 4. Clasificación del riesgo por inundación en áreas y porcentajes

Clasificación cualitativa	Valores	Símbolo	Área_ha	Porcentaje
Riesgo muy bajo	2		768,77	11,60%
Riesgo bajo	4		1.180,11	17,81%
Riesgo medio	6		1.809,09	27,31%
Riesgo alto	8		1.843,77	27,83%
Riesgo muy alto	10		1.022,99	15,44%
			6.624,73 ha	

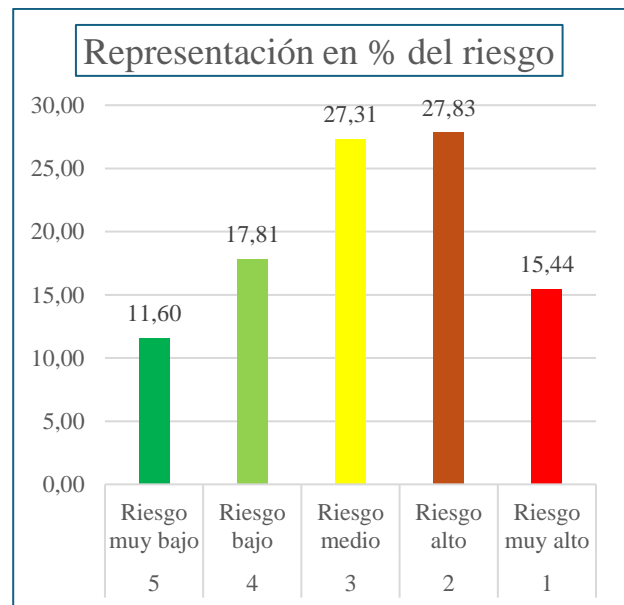
Fuente: Autoría propia, 2025

Figura 12. Clasificación del riesgo por área.



Fuente: Autoría propia, 2025

Figura 13. Representación en % del riesgo.



Fuente: Autoría propia, 2025

Analizando los datos arrojados por el mapa de riesgo correspondiente a la cuenca del municipio de Puracé se han generado una serie de resultados elaborados por la herramienta de ArcGIS Pro, donde se establecieron unos criterios y categorías según el tipo de riesgo, brindando una comprensión más clara sobre las zonas de mayor vulnerabilidad en cuanto a riesgo de inundación. Las categorías se clasificaron de 5 forma cualitativa; riesgo muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (Tabla 1).

Análisis espacial del riesgo

Al realizar el análisis espacial del riesgo de inundación, a partir del mapa realizado mediante la herramienta de ArcGIS Pro (Figura 11), se ha logrado determinar que aproximadamente el 15,44% de la cuenca tiene un riesgo muy alto de inundación y un 27,83% de riesgo alto, representando esto 1.022,99 ha y 1.843,77 ha en ese orden (tabla 4), por medio de estos datos, se logra apreciar que estos resultados son respuesta a una elevación topográfica baja “pendientes inferiores al 5%”, en relación a las demás zonas de la cuenca, estas áreas de mayor índice de inundación presentan una cercanía a cultivos agrícolas, pasturas y un asentamiento rural.

A diferencia de las zonas de alto riesgo, las zonas que fueron determinadas como riesgo bajo y riesgo muy bajo tuvieron un valor de 17,81% y 11,60% respectivamente, esto debido a que son áreas con una topografía de mayor inclinación

“superiores al 15%”, con coberturas de bosques naturales y alta cobertura vegetal, cumpliendo un papel importante en la retención del agua y regulación del caudal hídrico, proporcionan un riesgo bajo gracias a la capacidad de infiltración y control de escorrentía que caracterizan a estas zonas.

Identificación de áreas críticas

Las áreas de mayor riesgo se identificaron y se localizaron en las partes bajas de la cuenca, donde hay una mayor acumulación hídrica, la cual proporciona un mayor índice de desbordamiento. En esta zona se aprecia un incremento en la vulnerabilidad, debido a la presencia de infraestructura, vías terciarias y cultivos de uso local. En un caso eventual de una fuerte inundación puede generar afectaciones graves a la seguridad alimentaria, a la pérdida de cultivos, afectar seriamente las viviendas de la zona y el deterioro vial.

Este análisis de las zonas con mayor nivel de riesgo dentro de la cuenca hidrográfica del municipio de Puracé, podrá servir como guía para la planificación territorial comprendiendo mejor la vulnerabilidad de ciertas zonas, previniendo posibles inundaciones, pérdidas de áreas de producción o desplazamiento de los habitantes a causa de inundaciones.

Conclusiones

Se desarrolló con éxito un mapa de riesgo de inundación en la microcuenca del río Grande (Puracé), donde se emplearon sistemas de información geográfica, los cuales brindaron las herramientas necesarias para lograr hacer el análisis del riesgo de inundación en la microcuenca clasificando el territorio en cinco categorías de riesgo que permitieron identificar y priorizar áreas vulnerables.

La información necesaria para la realización del mapa se obtuvo de las diferentes plataformas de información geográfica, posterior a esta búsqueda de información sobre los criterios necesarios para la evaluación se elaboró la cartografía por medio de la herramienta de ArcGIS Pro.

Se determinaron 5 categorías de riesgo de acuerdo con la metodología planteado de análisis multicriterio en el diplomado, que corresponde a: Riesgo muy alto con un 15,44% y un total de 1.022,99ha, para el caso de riesgo alto se obtuvo un 27,83% de vulnerabilidad para cerca de 1.843,77ha, el riesgo medio equivale al 27,31% del total evaluado, abarcando 1.809,09ha, el 17,81% y el 11,60% corresponden a riesgo bajo y riesgo muy bajo, respectivamente, estos con un total de 1.180,11 y 768,77 hectáreas.

Se realizaron recomendaciones académicas en torno al ordenamiento territorial de la microcuenca, se destaca la

planificación del uso del suelo, se recomienda el monitoreo de la zona evitando desastres naturales, la pérdida de vidas y la afectación de cultivos agrícolas.

Recomendaciones

Las recomendaciones estratégicas para la gestión del riesgo en el municipio incluyen varios enfoques integrales. En cuanto a la planificación del uso del suelo, se sugiere evitar la expansión de cultivos y asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, promoviendo al mismo tiempo prácticas de agricultura sostenible y conservación de suelos para reducir la vulnerabilidad.

En materia de infraestructura verde, es fundamental implementar medidas como la construcción de zanjas de infiltración, terrazas, cercas vivas y barreras naturales que controlen la escorrentía, así como realizar acciones de restauración ecológica en zonas de recarga hídrica y amortiguación para fortalecer la resiliencia del territorio.

Para mejorar la capacidad de respuesta comunitaria, se recomienda fortalecer las redes de vigilancia climática y establecer protocolos claros de evacuación, además de integrar a las comunidades rurales en procesos participativos de mapeo de riesgos, fomentando la educación y la preparación ante eventos extremos.

Finalmente, la conservación de ecosistemas estratégicos debe ser una prioridad, protegiendo zonas de páramo,

nacimientos de agua y corredores ecológicos que actúan como reguladores naturales del ciclo hidrológico. Para ello, es importante apoyar esquemas de pago por servicios ambientales (PSA) que incentiven la preservación de estos ecosistemas clave. Estas acciones combinadas contribuirán a una gestión sostenible y efectiva del riesgo en el municipio.

Referencias bibliográficas

- Abud, H.M., & Torres, A.M. (2016). Caracterización florística de un bosque alto andino en el Parque Nacional Natural Puracé, Cauca, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 20(1), 27-39. DOI: 10.17151/bccm.2016.20.1.3 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682016000100003
- Alcaldía Municipal de Puracé Cauca. (2025). *Información del Municipio*. <https://www.purace-cauca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Andrade-C., M.G. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 35(137), 491-507,ISSN http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400008
- BirdLife International. (2025). *Important Bird Area factsheet: Puracé Natural National Park (Colombia)*. <https://datazone.birdlife.org/site/factsheet/puracé-natural-national-park-iba-colombia>
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (2018). *ABC: Adaptación bases conceptuales. Marco conceptual y lineamientos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*. https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NAP_Colombia_2018.pdf
- IDEAM. (2023). *Atlas climatológico de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/estudio_nacional_del_agua_2018.pdf
- IDEAM. (2023). *Informe de gestión 2023*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/transparencia/planeacion/informe_de_gestion_2023_ideam.pdf
- IDEAM – UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia*, Bogotá, D.C.

- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2025). *Parque Nacional Natural Puracé*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/nuestros-parques/pnn-purace/>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2004). *Plan de manejo Parque Nacional Natural Puracé*. <https://www.parquesnacionales.gov.co/wp-content/uploads/2020/10/plan-de-manejo-pnn-purace.pdf>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2020). *¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia?* <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>
- Rangel, N.G & Posada, B. (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio en la línea de costa. *Intropica*, 8(1), 29–42. <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/730>.
- Sevillano, M. E. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *GeoFocus*, 25, 47-76. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.661>
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). (s.f.). *Zonas potencialmente inundables - IDEAM*. <https://www.siac.gov.co/en/zonas-potencialmente-inundables-zpi>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD. (2018). *Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*. https://www.andi.com.co/Uploads/Atlas_Riesgo.pdf

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/V6J7O-7bBIM>