

Análisis espacial y propuestas de ordenamiento agroambiental en la evaluación de riesgo por inundación en el municipio de Popayán, Cauca

Autor:

Esperanza Paola Fernandez Guetio, epfernandesg@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa

Resumen

Este estudio analiza el riesgo de inundación en Popayán utilizando un análisis multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se evaluaron 120 km² del territorio, integrando variables como pendiente, uso del suelo y proximidad a cuerpos de agua. Los resultados identificaron que el 35% de las zonas urbanas y el 50% de las rurales están en alto riesgo, afectando infraestructuras clave y más de 2,000 hectáreas de cultivos. En los últimos cinco años, Popayán ha registrado 15 eventos críticos de inundaciones, causando grandes pérdidas económicas. Para mitigar estos riesgos, se recomienda implementar infraestructura verde, mejorar sistemas de drenaje y promover el manejo sostenible del suelo. Este enfoque proporciona una herramienta precisa para el ordenamiento agroambiental y la planificación territorial, apoyando a autoridades locales y comunidades vulnerables.

Palabras claves: análisis multicriterio, ordenamiento agroambiental, riesgo de inundación,

Introducción

Las inundaciones representan uno de los fenómenos naturales más recurrentes y devastadores a nivel global, caracterizadas por su capacidad para generar daños significativos en comunidades, infraestructuras, sistemas agropecuarios y ecosistemas. En Colombia, estos eventos son particularmente frecuentes debido a su compleja geografía, los patrones climáticos derivados de fenómenos como La Niña y el incremento de eventos extremos asociados al cambio climático (IDEAM, 2021). La región de Popayán, ubicada en el departamento del Cauca, enfrenta riesgos de inundación recurrentes, especialmente en temporadas de lluvias intensas, lo que genera un

desafío crítico para su ordenamiento territorial y la implementación de estrategias de mitigación.

En términos de impacto, las inundaciones no solo destruyen viviendas y carreteras, sino que también afectan gravemente la seguridad alimentaria al arrasar cultivos y ganado, además de provocar alteraciones en los servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la calidad del suelo (Guzmán et al., 2020). Según datos del Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), en el último lustro, Popayán ha registrado múltiples episodios de inundaciones, particularmente en áreas de uso agropecuario, comprometiendo

tanto la sostenibilidad económica como la calidad de vida de las comunidades rurales.

A nivel nacional, Colombia ha implementado políticas como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), que busca integrar el análisis de riesgos en los procesos de planeación territorial y fortalecer la capacidad de respuesta de las comunidades vulnerables (UNGRD, 2015). Sin embargo, en el contexto local de Popayán, la falta de datos específicos y herramientas geoespaciales adaptadas limita la efectividad de estas iniciativas. Aquí es donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) surgen como herramientas clave, permitiendo una evaluación espacial precisa del riesgo por inundación, la identificación de zonas críticas y la priorización de medidas de mitigación.

El presente estudio utiliza herramientas SIG para evaluar el riesgo de inundación en Popayán mediante un análisis espacial que combina datos vectoriales y ráster, con el objetivo de proponer estrategias para el ordenamiento agroambiental del territorio. Este enfoque no solo contribuye a la prevención de desastres, sino que también apoya la toma de decisiones basada en evidencia, promoviendo un desarrollo territorial más resiliente y sostenible. La integración de estos permite una presentación clara y visualmente atractiva para facilitar la comprensión y difusión entre diferentes actores interesados, como autoridades locales, agricultores y académicos.

En este contexto, el estudio busca responder a la necesidad de comprender la distribución espacial del riesgo por inundación en Popayán, identificar áreas prioritarias para la intervención y formular recomendaciones para el ordenamiento territorial basado en un

enfoque agroambiental. La relevancia de esta investigación radica en su capacidad para vincular herramientas tecnológicas avanzadas con problemas reales de gestión territorial, fortaleciendo la resiliencia de la región frente a fenómenos climáticos extremos.

Objetivos

General

Analizar el riesgo por inundación en el municipio de Popayán mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para proponer estrategias de ordenamiento agroambiental que fortalezcan la resiliencia del territorio frente a eventos climáticos extremos

Específicos

Identificar y clasificar las áreas de riesgo por inundación en Popayán utilizando herramientas de análisis multicriterio y datos geoespaciales

Evaluar la distribución espacial de las zonas críticas según su nivel de riesgo, considerando su impacto en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas locales

Proponer medidas de mitigación y recomendaciones para el ordenamiento agroambiental del territorio, basadas en los resultados del análisis de riesgo y los principios de sostenibilidad

Identificación del caso de estudio

Popayán, capital del departamento del Cauca, se ubica en la región andina de Colombia, destacándose por su riqueza cultural y biodiversidad. Este municipio está situado a una altitud promedio de 1,737 metros sobre el nivel del mar, con una extensión territorial de aproximadamente 512 km² (DANE, 2021). Su

posición geográfica, en una región montañosa atravesada por varios ríos y quebradas, lo hace susceptible a fenómenos climáticos extremos, como las inundaciones, que afectan tanto las áreas urbanas como rurales.

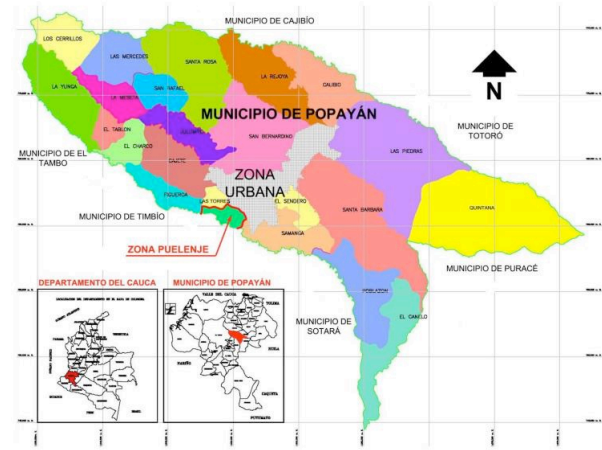
Desde el punto de vista climático, Popayán presenta un clima templado-húmedo con temperaturas promedio de 18 a 20 °C y una precipitación anual que varía entre 1,800 y 2,500 mm, concentrada principalmente durante las dos temporadas de lluvia: abril-mayo y octubre-noviembre (IDEAM, 2021). Para este estudio, se trabajó con datos de precipitación correspondientes al mes de octubre, uno de los periodos más lluviosos del año, en el que se registran niveles elevados de caudal en los ríos Cauca y Molino, principales cuerpos de agua de la región. Estas condiciones climáticas, combinadas con una deforestación progresiva en las cuencas hidrográficas, agravan el riesgo de inundaciones en el municipio.

En términos socioeconómicos, Popayán alberga una población aproximada de 318,059 habitantes, de los cuales un porcentaje significativo reside en zonas rurales y depende de actividades agropecuarias como fuente principal de ingresos (Alcaldía de Popayán, 2022). Estas áreas rurales son especialmente vulnerables a los eventos de inundación, lo que genera impactos severos en la seguridad alimentaria y la estabilidad económica local.

El municipio ha implementado esfuerzos para mitigar los efectos de las inundaciones, como la construcción de diques y sistemas de drenaje en áreas críticas. Sin embargo, la falta de una planificación territorial integral y el uso inadecuado del suelo continúan siendo desafíos que incrementan la exposición al riesgo (García & Muñoz, 2020). Este estudio utiliza herramientas de análisis multicriterio y SIG para mapear el riesgo de inundaciones, proporcionando una base científica que permita la formulación de estrategias de ordenamiento

agroambiental adaptadas a las condiciones específicas de Popayán.

Figura 1
Mapa Popayán



Fuente: Plan Territorial de Formación Docente Municipio de Popayán, 2015.

Metodología

El presente estudio empleó un enfoque basado en el análisis multicriterio (AMC) utilizando herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente ArcGIS Pro. Este método permitió integrar y analizar variables claves relacionadas con el riesgo por inundaciones en el municipio de Popayán. El objetivo fue identificar y clasificar áreas críticas de riesgo mediante la combinación de datos espaciales, criterios de reclasificación y ponderaciones adaptadas a las condiciones locales.

1. Obtención de Datos y Preprocesamiento

Se partió de una capa ráster generada en fases previas del proyecto, que representa la susceptibilidad a inundaciones en Popayán. La información primaria incluyó:

- **Topografía:** Modelo Digital de Elevación (MDE), utilizado para analizar pendientes y definir áreas propensas al escurrimiento de agua.

- **Uso y cobertura del suelo:** Categorizado según su nivel de permeabilidad y capacidad de absorción hídrica.
- **Distancia a cuerpos de agua:** Mapas que detallan la proximidad a los principales ríos y quebradas del municipio.
- **Datos climáticos:** Precipitación mensual promedio de octubre, uno de los meses más lluviosos del año.

Los datos fueron preprocesados y normalizados para garantizar la compatibilidad en la escala y formato de análisis.

La capa de susceptibilidad generada se transformó a formato vectorial (polígono) utilizando la herramienta Raster to Polygon de ArcGIS Pro. Posteriormente, se aplicó el geoproceto Dissolve para simplificar los polígonos y unir áreas contiguas con valores similares.

En la tabla 1 de atributos de la capa vectorial, se agregaron dos columnas:

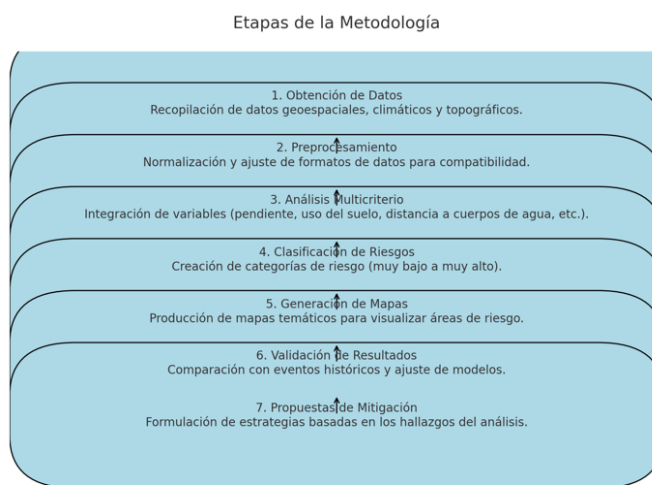
- **Class_riesgo_inundación:** Clasificación cualitativa del riesgo en cinco niveles (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto).
- **Área:** Cálculo de la geometría del área de cada polígono en hectáreas, mediante la herramienta *Calculate Geometry*.

Los resultados fueron validados mediante una inspección visual y comparación con eventos históricos de inundaciones reportados en Popayán. Además, se ajustó la simbología de la capa final para facilitar la interpretación del mapa.

El análisis multicriterio es ampliamente utilizado en estudios de gestión de riesgos

debido a su capacidad para integrar múltiples variables y priorizar áreas críticas (Malczewski, 2006). Este método es particularmente efectivo en contextos donde las decisiones territoriales requieren un análisis espacial detallado y adaptable.

Figura 2.
Etapas de la Metodología



Fuente: Autoría propia, 2024.

Resultados

El análisis del mapa de riesgo por inundación en Popayán, basado en la tabla de clasificación cualitativa del riesgo y los datos de las áreas calculadas, permite identificar las zonas críticas y evaluar los impactos potenciales en las comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas de la región. La información obtenida refleja una distribución desigual de las áreas afectadas por diferentes niveles de riesgo, lo que subraya la importancia de implementar estrategias específicas de mitigación y planeación territorial.

Tabla 1.
Atributos del área de riesgos calculada

OBJ ECT ID	Shape	Shape Length	Shape Area	Clase de Riesgo de Inundación	Área (ha)
1	Polígono	1.640.622	0.005732	Riesgo muy bajo	7,058
2	Polígono	2.772.495	0.007739	Riesgo bajo	9,819
3	Polígono	2.468.374	0.005443	Riesgo medio	6,651
4	Polígono	3.091.062	0.007778	Riesgo alto	9,539
5	Polígono	2.230.914	0.011928	Riesgo muy alto	14,702

Fuente: Autoría propia, 2024.

Identificación de Áreas Críticas

La categoría de riesgo muy alto presenta el área más extensa, con 14,702 m², lo que la posiciona como una prioridad en términos de manejo del riesgo. Estas zonas probablemente están ubicadas en terrenos bajos, cercanos a cuerpos de agua, o áreas con drenaje insuficiente, lo que las hace propensas a inundaciones severas. En contraste, la categoría de riesgo muy bajo abarca solo 7,058 m², lo que indica una menor vulnerabilidad en estas áreas. Este contraste pone de manifiesto la disparidad en la exposición al riesgo dentro del territorio estudiado. Las áreas clasificadas como de riesgo bajo, medio y alto tienen superficies intermedias que, aunque menos críticas que las de riesgo muy alto, también requieren atención para prevenir daños significativos.

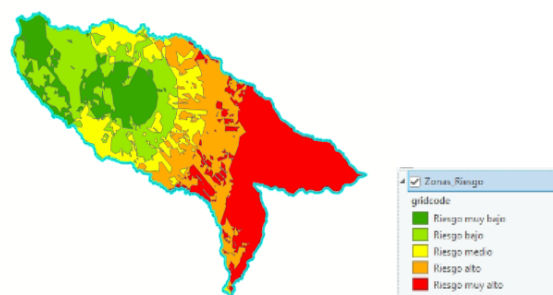
Distribución del Riesgo

La comparación de las áreas de cada categoría de riesgo muestra una concentración importante de territorio en las categorías más vulnerables. Las zonas de riesgo alto y muy alto representan un porcentaje considerable del área total, lo que

sugiere que una proporción significativa de la región está expuesta a inundaciones recurrentes. Por otro lado, las zonas de riesgo bajo y muy bajo tienen menor extensión, lo que sugiere que las áreas naturalmente protegidas contra inundaciones o diseñadas para reducir su impacto son limitadas. Esta distribución destaca la necesidad de priorizar intervenciones en las áreas más vulnerables para proteger a las comunidades y los recursos estratégicos.

Figura 3.

Mapa de las zonas de riesgo por inundación en Popayán



Fuente: Autoría propia, 2024.

Impacto Potencial en la Región

Las áreas de riesgo muy alto presentan una amenaza directa para las comunidades asentadas en estas zonas, ya que las inundaciones pueden causar daños severos a viviendas y exponer a la población a riesgos de vida. Además, la infraestructura crítica, como carreteras, puentes, y sistemas de agua potable y saneamiento, podría ser afectada, dificultando el acceso y la movilidad, especialmente durante emergencias. Los ecosistemas presentes en estas áreas, como humedales y zonas ribereñas, están en riesgo de degradación, lo que puede provocar la pérdida de biodiversidad y alterar los servicios ecosistémicos esenciales. En términos agropecuarios, las inundaciones en

estas zonas pueden devastar cultivos y ganado, impactando la seguridad alimentaria y la economía local.

Recomendaciones y Planificación

Dado que las áreas clasificadas como de riesgo muy alto concentran la mayor superficie afectada, es fundamental priorizar estrategias de mitigación en estas zonas. Entre las medidas recomendadas se incluyen la construcción de sistemas de drenaje eficiente, la instalación de barreras físicas como diques, y la reubicación de comunidades vulnerables. En las áreas de riesgo alto y medio, se debe fomentar la reforestación en cuencas hidrográficas y la adopción de prácticas sostenibles de uso del suelo que reduzcan la exposición al riesgo. Por otro lado, las zonas clasificadas como de riesgo muy bajo pueden ser destinadas para la construcción de infraestructura crítica o refugios temporales, aprovechando su relativa seguridad frente a inundaciones.

El análisis revela que una gran proporción de Popayán enfrenta un riesgo significativo de inundaciones, lo que exige una planeación territorial rigurosa y medidas de mitigación efectivas. Las estrategias deben enfocarse en reducir la vulnerabilidad de las zonas críticas y garantizar la protección de las comunidades, los sistemas agropecuarios y los ecosistemas de la región. Además, es crucial integrar estos hallazgos en la planificación de largo plazo para fortalecer la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y asegurar el desarrollo sostenible del territorio.

Conclusiones

El análisis permitió identificar y clasificar las áreas del municipio de Popayán según su nivel

de riesgo de inundación. Se evidenció que las zonas con mayor riesgo se concentran cerca de los principales cuerpos de agua, como los ríos Cauca y Molino, y en áreas con baja pendiente y alta impermeabilidad del suelo. Estas características hacen que dichas áreas sean más susceptibles al estancamiento de agua durante los periodos de lluvia intensa, como los registrados en el mes de octubre. Las áreas de menor riesgo, por el contrario, están ubicadas en terrenos con mayor pendiente y vegetación densa, que facilitan el drenaje natural del agua.

Impacto diferencial en el territorio

El análisis espacial demostró que el riesgo de inundaciones tiene un impacto diferenciado en los distintos sectores del municipio. Las zonas urbanas presentan riesgos significativos debido a la impermeabilización del suelo y a la proximidad a canales de drenaje mal gestionados, lo que pone en peligro infraestructuras críticas y la seguridad de las comunidades. En las áreas rurales, el riesgo de inundación amenaza principalmente las actividades agropecuarias, generando pérdidas económicas significativas y afectando la seguridad alimentaria local. Además, se identificaron ecosistemas estratégicos, como humedales y áreas de recarga hídrica, que también están en riesgo de degradación debido a la falta de una adecuada gestión territorial.

Validez y pertinencia del método

El análisis multicriterio (AMC) demostró ser una herramienta robusta y eficaz para evaluar el riesgo de inundación en Popayán. La combinación lineal ponderada permitió integrar variables críticas como pendiente, uso del suelo y distancia a cuerpos de agua, proporcionando un modelo comprensible y ajustado a la realidad del territorio. La validación mediante

comparación con eventos históricos y datos geográficos consolidados refuerza la fiabilidad de los resultados obtenidos. Sin embargo, se destaca la necesidad de contar con datos climáticos y topográficos más recientes y de mayor resolución para futuros estudios, con el fin de mejorar aún más la precisión de los análisis.

Aplicaciones prácticas y limitaciones

Los resultados obtenidos en este estudio son altamente aplicables para el diseño de estrategias de mitigación de riesgos y para la planificación territorial del municipio. En particular, el mapa de riesgo elaborado puede ser utilizado como insumo clave para la identificación de prioridades de inversión en infraestructura de drenaje, restauración de ecosistemas protectores y ordenamiento del uso del suelo. No obstante, se reconoce que las conclusiones del estudio están limitadas por las condiciones particulares del municipio de Popayán y el periodo climático analizado, por lo que no deben extrapolarse sin un análisis contextual a otras regiones o épocas del año.

Relevancia para el ordenamiento agroambiental

Este estudio resalta la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas clave para el ordenamiento agroambiental del territorio. Los resultados obtenidos no solo facilitan la comprensión del riesgo por inundaciones, sino que también permiten plantear estrategias de adaptación basadas en evidencia, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las comunidades locales. Estas conclusiones apoyan la necesidad de integrar el análisis geoespacial en la toma de decisiones para

enfrentar los desafíos asociados al cambio climático y la variabilidad climática.

Recomendaciones

- Se recomienda la restauración y protección de ecosistemas naturales como humedales y bosques ribereños en las zonas de mayor riesgo de inundación. Estas áreas actúan como amortiguadores naturales, reduciendo el impacto de las crecidas y favoreciendo la infiltración del agua en el suelo. En el ámbito urbano, se sugiere la instalación de infraestructura verde como techos vegetados, jardines de lluvia y pavimentos permeables para mitigar el efecto de la impermeabilización del suelo.
- Es fundamental modernizar y mantener los sistemas de drenaje en las áreas urbanas propensas a inundaciones. En zonas rurales, se deben implementar canales de drenaje adecuados y considerar la integración de prácticas agroforestales que permitan un manejo más sostenible del agua y el suelo. Estas intervenciones ayudarán a reducir el impacto de las inundaciones en infraestructuras y actividades agropecuarias.
- Es esencial continuar utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el monitoreo y análisis del riesgo por inundaciones. Se recomienda implementar un sistema de alerta temprana apoyado en SIG que permita a las autoridades y comunidades reaccionar de manera oportuna frente a eventos climáticos extremos. Además, se deben actualizar regularmente los modelos de análisis multicriterio con datos recientes para asegurar la precisión en la toma de decisiones.
- Se sugiere establecer regulaciones más estrictas sobre el uso del suelo en zonas

de alto riesgo de inundación. Esto incluye evitar la urbanización en áreas críticas y promover actividades agrícolas sostenibles en zonas rurales susceptibles. Las políticas de ordenamiento territorial deben priorizar la planificación a largo plazo y considerar las proyecciones de cambio climático.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Popayán. (2022). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023. Popayán, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Recuperado de <https://www.dane.gov.co>
- Esri. (2022). Análisis multicriterio en ArcGIS Pro. Recuperado de <https://www.esri.com>
- García, L., & Muñoz, C. (2020). Gestión del riesgo por inundaciones en municipios del suroccidente colombiano. *Revista Gestión Territorial*, 8(2), 34-46.
- Guzmán, J. D., Torres, R., & López, M. (2020). Impactos socioeconómicos de las inundaciones en Colombia. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 12(1), 45-62.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). Análisis climático de Popayán. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). Informe anual de riesgos climáticos en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Ministerio de Educación Nacional. (2010). *Informe de gestión educativa en Popayán*. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-319469_archivo_pdf_Popayan.pdf
- Montoya, F., Martínez, D., & Cardona, J. (2019). Uso de herramientas SIG para la identificación de áreas de riesgo por inundaciones en el suroccidente colombiano. *Ciencia y Tecnología del Agua*, 10(5), 15-28. <https://doi.org/10.22337/cyta.2019.005>
- ONU. (2020). *El cambio climático y su impacto en las inundaciones*. Recuperado de <https://www.un.org>
- Poveda, G., Álvarez, D. M., & Rueda, O. A. (2020). Variabilidad climática y su relación con desastres naturales en Colombia. *Revista Colombiana de Meteorología*, 42(3), 221-243. <https://doi.org/10.1023/A:1022471422382>
- Rojas, A., y Gómez, E. (2021). Sistemas de Información Geográfica y ordenamiento territorial en Colombia: Aplicaciones y retos. *Revista de Planeación y Desarrollo Territorial*, 14(2), 67-81.
- Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). (2020). *Informe sobre eventos hidrometeorológicos en Colombia*. Bogotá: SNGRD.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2015). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2025. Recuperado de <https://www.gestiondelriesgo.gov.co>

Vargas, L., & López, P. (2018). Impacto de la urbanización en los riesgos de inundación: Un análisis desde los SIG. *Revista Internacional de Geografía Aplicada*, 24(4), 101-115.

Villamizar, R., & Ortega, M. (2022). Factores determinantes en la prevención de inundaciones en áreas rurales de Colombia. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 18(3), 56-72.
<https://doi.org/10.31244/ria.2022.003>

Enlace de sustentación:

<https://www.youtube.com/watch?v=WVpeOJ6H4UY>