

Análisis del riesgo de inundación en Tuluá, Valle del Cauca

Estudiante Gustavo Adolfo Otalvaro Cruz - gaotalvaroc@unadvirtual.edu.co

Estudiante Verónica Johana Alfonso Paz - vjaljonsop@unadvirtual.edu.co

Tutor Luis Alejandro Ospina Sanchez – luisa.ospina@unad.edu.co

Director del Grupo Yetfersson Arley Serrato Velosa – yetfersson.serrato@unad.edu.co

Resumen

El artículo analiza el riesgo de inundación en el municipio de Tuluá mediante herramientas de modelamiento y análisis cartográfico espacial en ArcGIS-Pro. El objetivo fue identificar áreas críticas de inundación y evaluar su impacto en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas. La metodología clasificó el territorio en cinco categorías de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) considerando factores como proximidad a cuerpos de agua y características del terreno. Los resultados evidenciaron que las zonas de mayor riesgo se concentran en terrenos bajos y cercanos al río Tuluá y sus afluentes. Este análisis proporciona información esencial para la planificación territorial y la implementación de medidas de mitigación como sistemas de alerta temprana y estrategias de educación comunitaria.

Palabras claves: Riesgo de inundación, mapificación, geoprocésamiento, gestión territorial, vulnerabilidad.

Introducción

Las inundaciones son uno de los riesgos naturales más frecuentes y devastadores, con impactos significativos en comunidades y ecosistemas. En Colombia, factores como la compleja geografía y la variabilidad climática aumentan su recurrencia, particularmente en municipios con alta densidad hídrica como Tuluá. Estas emergencias generan daños sociales, económicos y ambientales que desafían las capacidades locales de gestión y prevención.

El presente estudio emplea ArcGIS-Pro para identificar áreas vulnerables a inundaciones en

Tuluá y analizar su impacto, contribuyendo así a la planificación territorial y a la implementación de estrategias de mitigación adaptadas a las necesidades locales.

En el ámbito nacional, entidades como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) han identificado las zonas más vulnerables e implementado medidas como sistemas de alerta temprana y monitoreo hidroclimático. Sin embargo, a nivel local, los esfuerzos por mitigar estos riesgos suelen enfrentarse a limitaciones en planificación territorial, manejo de información geoespacial y estrategias de prevención.

El presente estudio aborda esta problemática mediante el uso de ArcGIS-Pro para realizar un análisis cartográfico del riesgo de inundación en Tuluá, con el objetivo de identificar las áreas más vulnerables y su impacto potencial. Este enfoque técnico busca contribuir a una gestión territorial más eficiente, proporcionando insumos para la toma de decisiones y el diseño de medidas de mitigación adaptadas a las características locales del territorio.

Objetivos

General

Analizar las zonas de riesgo por inundación en el municipio de Tuluá mediante herramientas de modelamiento y análisis cartográfico en ArcGIS-Pro

Específicos

- Clasificar las áreas del municipio de Tuluá en diferentes niveles de riesgo por inundación utilizando herramientas de modelamiento y análisis espacial en ArcGIS-Pro.
- Identificar los factores que influyen en la vulnerabilidad de las zonas críticas, incluyendo su distribución espacial y características del terreno.
- Proponer medidas académicas orientadas a la mitigación del riesgo, tales como estrategias de educación comunitaria, planes de gestión territorial y políticas de prevención.

Identificación del caso de estudio

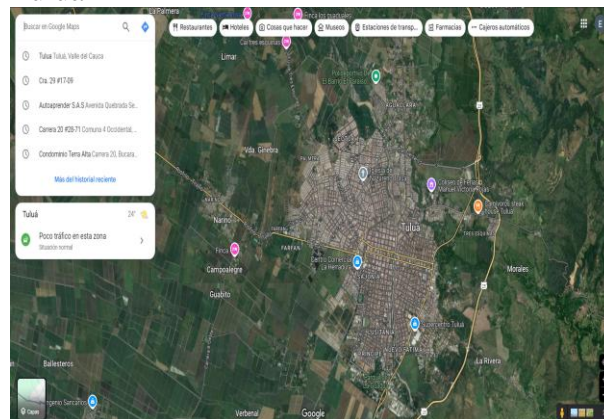
El municipio de Tuluá, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, Colombia, se encuentra en el centro del valle geográfico

del río Cauca. Tiene una extensión aproximada de 910 km² y una población cercana a los 220,000 habitantes. Su economía se sustenta principalmente en la agricultura, ganadería y comercio, con una importante dependencia de los recursos naturales y los sistemas agropecuarios.

Desde el punto de vista climático, Tuluá presenta un clima tropical monzónico, caracterizado por dos períodos de lluvias marcados: de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. El mes de noviembre, en particular, registra altos niveles de precipitación, con un promedio mensual que puede superar los 180 mm (IDEAM, 2023). Estas lluvias intensas incrementan significativamente el riesgo de inundaciones, especialmente en áreas aledañas a los ríos Tuluá y Morales, principales afluentes que atraviesan el municipio.

El territorio de Tuluá combina zonas de planicie aluvial con pendientes pronunciadas en las estribaciones de la cordillera Central, lo que genera una compleja dinámica hidrográfica. La ubicación estratégica del municipio lo convierte en un punto crítico para el análisis de riesgos asociados a inundaciones y la implementación de estrategias de gestión territorial que reduzcan su vulnerabilidad.

Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Tuluá



Fuente: Google Maps

Metodología

La cartografía en Colombia, como menciona Ullivarri (2017), se caracteriza por incluir propiedades clave del suelo, como pendiente, textura, uso, profundidad e inundación en zonas específicas. Este conjunto de características permite realizar evaluaciones precisas utilizando métodos como el análisis multicriterio, que aprovecha herramientas digitales avanzadas como ArcGIS Pro. Estas herramientas permiten realizar geoprosesos detallados y clasificados, facilitando un análisis riguroso de la información espacial.

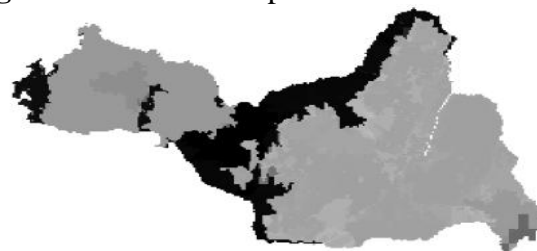
Una de las principales fortalezas del análisis multicriterio es su capacidad para integrar diversidad de factores en un proceso de evaluación. Según Contreras y Pacheco (2007), este método transforma mediciones y conceptualizaciones en una escala única, permitiendo establecer prioridades y agregar los efectos de diversos elementos en una métrica común. A diferencia de las herramientas de decisión unidimensionales, el análisis multicriterio permite considerar información multidimensional, relaciones entre datos, criterios diversos y múltiples objetivos, lo cual resulta esencial para abordar problemas complejos del mundo real (Funtowicz et al., 1998, citado por Uribe, 2001).

Además, como señalan Munda (1993) y Romero (1997), esta metodología tiene la ventaja de incluir tanto factores cualitativos como cuantitativos, lo que permite incorporar la pluralidad de percepciones de los actores involucrados. Este enfoque participativo es crucial para la toma de decisiones y la definición de alternativas que solucionen conflictos complejos, especialmente en contextos socioambientales (Chen et al., 2012).

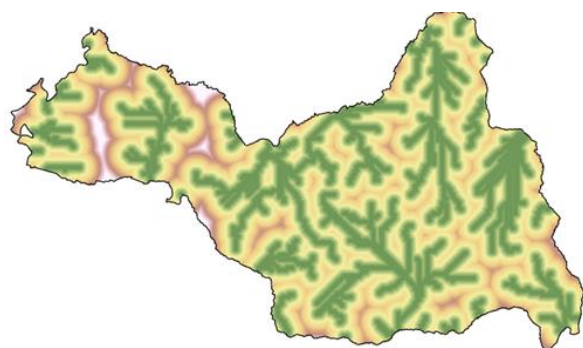
De acuerdo con Lakatos (2007), un programa de investigación es un conjunto de criterios metodológicos que guía el desarrollo de nuevas teorías y permite superar obstáculos en el camino hacia la generación de conocimiento. En este sentido, la heurística define las rutas de investigación más prometedoras y aquellas que deben evitarse, facilitando el crecimiento científico progresivo (Furio, 2005).

Con base en esta perspectiva, en el municipio de Tuluá se realizó un análisis multicriterio mediante ArcGIS Pro. Este proceso incluyó la carga de capas de cobertura de tierras, la delimitación de la zona de interés, la identificación de fuentes hídricas y drenajes, y la evaluación de áreas vulnerables a inundaciones. Los resultados revelaron que, considerando las características agroambientales de Tuluá, existen zonas con diferentes niveles de riesgo de inundación. Las áreas con mayor riesgo se localizan en terrenos planos y cercanos a cuerpos de agua, mientras que las áreas de pendiente más pronunciada presentan un riesgo significativamente menor. Estos hallazgos son esenciales para la planificación territorial y la implementación de medidas de mitigación que protejan a las comunidades, infraestructuras y ecosistemas locales.

Figura 2. DEM municipio



Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro, 2024.

Figura 3. Clasificación de drenajes

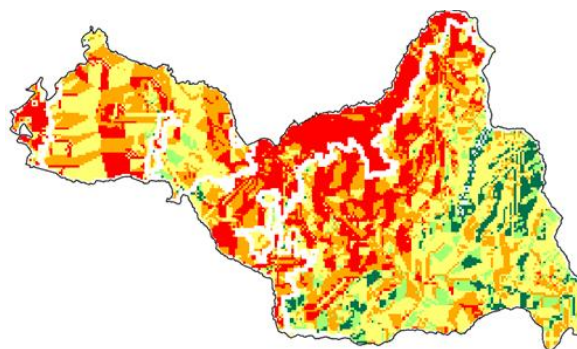
Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

Posteriormente, se evidencia en la figura 3 la clasificación de drenajes del municipio a través de ArcGIS Pro donde se identifica la distancia entre los drenajes dobles y sencillos, el cual está en 30 metros, después se realiza el proceso de disolver el gridcode para simplificar los datos de la información en donde se crea la capa vectorial y se clasifica el riesgo de inundación y se determina el área en donde nos permite la categorización de nivel de riesgo implementando la versión de Corine Land Cover del 2018.

Resultados

Con base en la información obtenida con la herramienta digital de ArcGISpro en la cual podemos identificar el riesgo de inundación en el departamento del Valle en el municipio de Tuluá por medio de geoprocesos en el cual determina el nivel de riesgo de inundación como se evidencia en la figura 3 con la clasificación de los drenajes con una distancia de 30 metros, la cual se evidencia en la figura 4 con la implementación de Corine Land Cover 2018 en donde determina la categoría de los niveles de riesgo de inundación en la figura 5, los cuales para el presente municipio nos arroja como resultado en nivel de riesgo muy bajo

identificada con el color rojo con un 25,3% del área (200,964 km²), ubicado en zonas con mayor elevación y lejos de cuerpos de agua. Con la información del plan de ordenamiento territorial POT del municipio teniendo en cuenta las características geológicas, ambientales y naturales en donde se menciona que el municipio se identifica terrenos escarpados, bien drenados y menos propensos a inundaciones debido a su altura y mayor capacidad de absorción del agua. Por lo tanto, el riesgo de inundación es muy mínimo para el municipio de Tuluá.

Figura 4. Mapa de nivel de riesgo de inundación

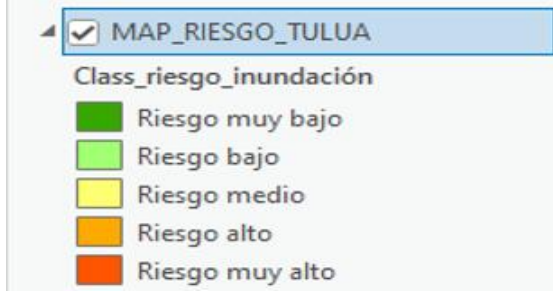
Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

Figura 5. Categoría de niveles de riesgo de inundación del municipio de Tuluá.

MAP_RIESGO_TULUA X				
Campo:		Agregar	Calcular	Selección:
OBJECTID *	gridcode	Class_riesgo_inundaci...	Área_KM2	
1	1	Riesgo muy bajo	44489925,85	
2	2	Riesgo bajo	45167724,93	
3	3	Riesgo medio	291413649,13	
4	4	Riesgo alto	213837815,34	
5	5	Riesgo muy alto	200964666,72	

Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

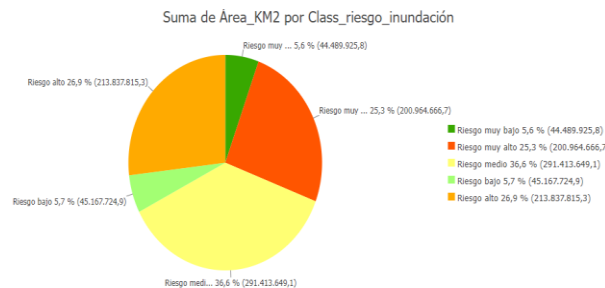
Figura 6. Clasificación de Corine Land Cover (2018)



Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

Posteriormente, se realiza la gráfica de los resultados obtenidos mediante el geoproses aplicando el método multicriterio en el municipio mencionado y se evidencia en la figura 7.

Figura 7. Nivel de riesgo de inundación en el municipio de Tuluá.



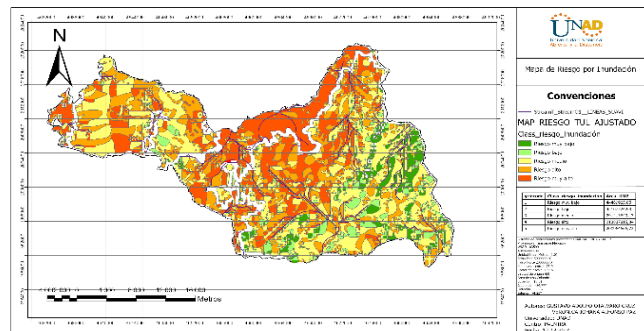
Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

La gráfica de clasificación del riesgo por inundación se representa con base en: el color verde oscuro, zonas de riesgo muy bajo con un 25.3% y una área de 200,964 km2, el color verde claro de riesgo bajo con un 5.7% y área de 45.168 km2, el color amarillo con 36.6% de riesgo medio con un área de 291.413, el color naranja identifica el riesgo alto de 26.9% de

área de 213.837 km2, y el color rojo con un riesgo muy alto con un 5.6% y una área de 44.489, por lo tanto, con esta información se identifica un diagnóstico para el municipio de Tuluá el cual no presenta una mayor amenaza en el riesgo de inundación.

Teniendo en cuenta el resultado de evaluación con el método multicriterio de riesgo de inundación muy alto, el cual corresponde el 5.6% para las zonas de afectación de mayor impacto a terrenos planos o de baja pendiente, con alta susceptibilidad a inundaciones debido al desbordamiento de ríos durante periodos de lluvias intensas, según el plan de ordenamiento territorial POT.

Figura 8. Mapa Cartográfico Municipio de Tuluá – Valle del Cauca



Fuente: Elaboración propia por medio de ArcGISpro,2024.

Los mapas de riesgo identificaron que:

- Zonas de riesgo muy alto representan un 5,6% del área total, concentrándose en terrenos planos cercanos a cuerpos de agua.
- Áreas de riesgo alto abarcan el 26,9%, también asociadas a zonas ribereñas.

- Las categorías de riesgo medio, bajo y muy bajo cubren el 67,5% restante, predominando en áreas montañosas y bien drenadas.

Conclusiones

El análisis revela que el municipio de Tuluá enfrenta un riesgo significativo de inundación en un 32,5% de su territorio (categorías alto y muy alto), lo que exige medidas urgentes de mitigación. Las áreas de riesgo medio (36,6%) también requieren atención, ya que representan zonas habitadas con moderada vulnerabilidad. Por otro lado, las zonas de riesgo bajo y muy bajo ofrecen oportunidades para un desarrollo sostenible enfocado en actividades económicas resilientes.

- Las zonas clasificadas como de alto y muy alto riesgo representan un tercio del territorio de Tuluá, lo que subraya la importancia de implementar medidas inmediatas para prevenir desastres mayores.
- Los resultados destacan la influencia de factores como la proximidad a cuerpos de agua y la pendiente del terreno en la distribución del riesgo, ofreciendo bases sólidas para futuras investigaciones.
- Las áreas de riesgo bajo y muy bajo, que comprenden un 67,5% del municipio, ofrecen oportunidades para promover un desarrollo sostenible enfocado en actividades resilientes.
- La clasificación detallada del riesgo permite priorizar esfuerzos en la protección de comunidades y ecosistemas, apoyando la planificación territorial y la reducción de vulnerabilidades.

Este análisis subraya la importancia de una planificación territorial basada en el riesgo, con énfasis en la protección de comunidades y recursos naturales vulnerables.

Recomendaciones

Con base en la topografía y la hidrografía, es fundamental priorizar las medidas de mitigación en las áreas de riesgo muy alto y alto, como la implementación de sistemas de drenaje, protección de márgenes fluviales, y estrategias de reubicación en las zonas más críticas cercanas al río Tuluá y sus afluentes.

1. Fortalecer el manejo integrado del riesgo hídrico:

- Diseñar un plan de gestión territorial que incorpore restricciones de uso del suelo en áreas de alto riesgo, promoviendo prácticas sostenibles en zonas vulnerables.
- Desarrollar políticas para conservar y rehabilitar ecosistemas ribereños como barreras naturales contra inundaciones.

2. Ampliar la cobertura de sistemas de alerta temprana:

- Implementar tecnología de monitoreo hídrico basada en sensores remotos y estaciones meteorológicas, priorizando zonas de alto y muy alto riesgo.
- Establecer protocolos de comunicación claros y accesibles para la población ante emergencias.

3. Incorporar infraestructura natural y verde:

- Promover la construcción de humedales artificiales y áreas de infiltración que regulen el caudal y reduzcan el impacto de las inundaciones.
- Incentivar la siembra de vegetación en laderas y márgenes fluviales para reducir la erosión y mejorar la absorción de agua.

4. Fortalecer la gobernanza y participación comunitaria:

- Crear comités locales de gestión del riesgo que incluyan representantes comunitarios, autoridades locales y técnicos en hidrología.
- Capacitar a la población en la interpretación de mapas de riesgo y en medidas de autoprotección.

5. Actualizar y perfeccionar los modelos cartográficos:

- Integrar modelos digitales de terreno (MDT) con resoluciones más precisas para mejorar la identificación de áreas vulnerables.
- Ampliar el uso de datos históricos de inundaciones y proyecciones climáticas para ajustar las categorías de riesgo.

6. Monitorear y evaluar continuamente las estrategias implementadas:

- Diseñar un sistema de evaluación para medir la efectividad de las medidas adoptadas en la reducción del riesgo.
- Adaptar las políticas y proyectos a nuevas condiciones climáticas y a los resultados obtenidos.

Referencias bibliográficas

Falda, G. S. (s. f.). Cartografía del suelo. Facultad de agronomía y zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado a partir de <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/Cartografia.pdf>.

Dooley, A. E., Smeaton, D. C., Sheath, G. W. & Ledgard S. F. (2009). Application of multiple criteria decision analysis in the New Zealand agricultural industry. Extraído el 18 de octubre de 2012 de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mcda.437/full>.

Uribe, T., D. A. (2001). La evaluación multicriterio y su aporte en la construcción de una función de valor económico total para los bosques en piedras blancas. (Tesis de Maestría en Bosques y Conservación Ambiental). Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

American Psychological Association. (s.f.). *Style and Grammar Guidelines*. Recuperado el 17 de enero de 2020, de Apastyle: <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>

Carrillo García, S. (2019). Artículo científico. En S. Carrillo García, L. M. Toro Calderón, A. X. Cáceres González, & E. C. Jiménez Lizarazo, *Caja de herramientas. Géneros Textuales*. Universidad Santo Tomás.

CRAI USTA Bucaramanga. (2020). *Informe de recursos y servicios bibliográficos*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.

Esri. (2024). *Análisis espacial en ArcGIS Pro*. Obtenido de esri: <https://pro.arcgis.com/es/pro>

app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm

Galvis García, R. E. (2020). *Guía Resumen del Estilo APA Séptima Edición*. Universidad Santo Tomás.

Serratos, B. E., Mora, R. D., & Posada-Vanegas, G. (2020). Evaluación estacional del riesgo por inundación en zonas agrícolas. *SciELO*, 3.

Sir Huila. (2019). Concejo Municipal de Villa Vieja- Proyecto de Acuerdo N 2.000. *Alcaldía Municipal de Villa vieja*.

Telematica; Esri. (2024). *Previsión del impacto de inundaciones*. Obtenido de Telematica: <https://www.telematica.com.pe/prevision-del-impacto-de-inundaciones/>

Enlace de sustentación:

https://youtu.be/an1Oh_vMTus