

Modelación multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Ibagué utilizando herramientas de análisis espacial en SIG

Braulio Enciso Repiso - bencisor@unadvirtual.edu.co

Alfredo Tobar Torres - atobart@unadvirtual.edu.co

Kevin Alexander Muñoz Álzate - kamunozal@unadvirtual.edu.co

Gabriel Ricardo Ramírez Murillo - grramirez@unadvirtual.edu.co

Docente/Asesor: Yetfersson Arley Serrato Velosa - yetfersson.serrato@unad.edu.co

Resumen

En este estudio se emplea la herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGIS Pro, y se aplica un análisis multicriterio con el objetivo de identificar áreas propensas a inundaciones en el municipio de Ibagué, se utilizan datos espaciales de fuentes como el POT, IDEAM, Cortolima y USGS. Se usa el Modelo de Elevación Digital (DEM) del municipio de Ibagué, Tolima. A partir de los resultados obtenidos se generan gráficas y representaciones cartográficas que muestran los niveles de riesgo por inundación, este tipo de análisis permite contribuir en el ordenamiento agroambiental del territorio, la toma de decisiones, la resolución de problemas medioambientales, y en la prevención de desastres por inundación en Ibagué.

Palabras claves: Riesgo de inundación, análisis multicriterio, sistemas de información geográfico, ordenamiento agroambiental.

Introducción

Las inundaciones se posicionan entre los eventos naturales más frecuentes y perjudiciales en Colombia, debido a la interacción de factores geográficos, climáticos y antrópicos (Valuative, s.f). El país, caracterizado por una diversidad fisiográfica que abarca desde regiones bajas y selváticas hasta sistemas montañosos y zonas costeras, presenta una alta susceptibilidad a fenómenos hidrometeorológicos extremos, especialmente durante las temporadas lluviosas. Entre los principales detonantes de las inundaciones en el territorio colombiano se encuentran los eventos asociados a variabilidad climática como La Niña, que genera incrementos significativos en la pluviosidad, saturación de suelos y aumento de caudales en ríos y quebradas (Valuative, s.f)

De acuerdo con la información recuperada del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Ibagué Vibra 20202-2023 (Alcaldía de Ibagué, 2020), en zonas de topografía accidentada, como la región Andina, el riesgo se intensifica por la propensión a deslizamientos y crecientes súbitas, especialmente en entornos urbanos densamente poblados. Municipios como Ibagué, capital

del departamento del Tolima, tiene una superficie de 1498 Km² y cuenta con 445 barrios divididos en 13 comunas en su área urbana y con 19 centros poblados y 17 corregimientos en su área rural. Esta ciudad presenta una combinación de factores físicos que elevan su nivel de vulnerabilidad. Su geografía incluye pendientes pronunciadas, cuencas hidrográficas activas como los ríos Combeima y Coello y zonas planas propensas al anegamiento. La expansión urbana sin planificación adecuada, la pérdida de cobertura vegetal y la gestión ineficiente de residuos sólidos contribuyen a una mayor exposición a este tipo de amenaza.

Frente a esta realidad, en el territorio colombiano se han formulado políticas nacionales, como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), orientadas a integrar la gestión del riesgo en los procesos de planificación territorial. A nivel municipal, el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Ibagué incluye disposiciones para la identificación, mitigación y monitoreo de riesgos naturales, aunque su efectividad depende en gran medida del uso de herramientas técnicas que permitan una evaluación espacial precisa y basada en evidencia.

En Ibagué el problema de las inundaciones se viene presentando desde hace varios años, por lo que son varios los investigadores que se han aproximado al tema. Según la UNGRD (2024) existen registros de inundaciones desde el año 2016, lo cual es un problema que afecta a la comunidad y a diferentes sectores en la ciudad, tanto en zonas urbanas como rurales. Recientemente, debido a la temporada de lluvias, la ciudad se ha visto afectada por inundaciones, según noticias de la Gobernación del Tolima, (2025). En abril de este año se presentaron más de 20 inundaciones por las fuertes lluvias, generando derrumbes, afectación a viviendas y familias damnificadas. De acuerdo con el medio local Alerta Tolima (2025), el 22 de febrero del presente año, las lluvias afectaron la ciudad de Ibagué y varios municipios del Tolima generando graves afectaciones como inundaciones, deslizamiento de tierras, emergencias viales y varias familias damnificadas, llevando a las autoridades a emitir alertas y atender emergencias de manera continua. La situación evidencia la vulnerabilidad de la región frente a fenómenos climáticos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Colombia representan una herramienta fundamental para integrar variables geoespaciales y aplicar análisis multicriterio en la gestión del riesgo por inundaciones. De acuerdo con la *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación* del IDEAM (2024), esta metodología permite combinar factores como altitud, pendiente, cobertura del suelo y proximidad a drenajes, asignándoles pesos según su influencia relativa. A través de técnicas como la suma ponderada o AHP, estas capas se procesan simultáneamente, produciendo mapas de susceptibilidad que clasifican el riesgo en niveles que van desde muy bajo hasta muy alto. El propósito de este estudio es desarrollar esta modelación espacial en Ibagué. Las representaciones cartográficas resultantes constituyen insumos técnicos y científicos esenciales para apoyar decisiones estratégicas en ordenamiento territorial, gestión ambiental y prevención de desastres por inundaciones en contextos urbanos y rurales.

Objetivos

Objetivo General

Identificar los niveles de riesgo de inundación en el municipio de Ibagué Tolima, mediante herramientas de información geográfica.

Objetivos Específicos

- Ejecutar la transformación de la capa raster del riesgo de inundación del municipio, en una capa vectorial por medio de la herramienta digital ArcGIS Pro.
- Clasificar los niveles de riesgo de inundación e identificar las zonas más críticas que tiene el área de estudio.
- Determinar las condiciones geográficas de Ibagué Tolima, enfocados en un resultado cartográfico digital en donde se emplearon herramientas que permitieron generar mapas temáticos que servirán como fuente confiable para la toma de decisiones de las autoridades competentes.

Identificación del caso de estudio

Ibagué, ciudad capital del Tolima, se localiza en la región Andina de Colombia, específicamente en el piedemonte oriental de la cordillera Central de los Andes. Su territorio se sitúa entre el cañón del río Combeima y el valle del río Magdalena, próximo al nevado del Tolima” (Alcaldía de Ibagué, 2020). Ocupa aproximadamente el 6,16% del área total del departamento y se encuentra a una altitud media de 1.285 metros sobre el nivel del mar, presentando un rango térmico que varía entre los 18°C y los 30°C (Ibíd). En cuanto a sus límites, colinda al norte con Anzoátegui y Alvarado; al este con Piedras y Coello; al sur con San Luis y Rovira; y al oeste con Cajamarca y el departamento del Quindío, registrando una Población Total de 540.046 personas (DANE, 2018), Ibagué concentra el 40,2% de los residentes del Tolima, lo que implica una elevada exposición a los impactos de eventos naturales, especialmente inundaciones, dada la densidad urbana y la expansión hacia zonas de riesgo. El municipio alberga una notable riqueza ecológica y un sistema hidrográfico complejo, destacándose cuencas como las de los ríos Coello, Totare y Opia. La diversidad en su relieve, que combina áreas montañosas con planicies, aumenta su vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos como deslizamientos, avenidas torrenciales e inundaciones súbitas (Alcaldía de Ibagué, 2020).

Para este análisis, se consideró la capa ráster correspondiente a la precipitación del mes de abril, mes que regularmente registra lluvias superiores a los promedios históricos, con anomalías

positivas entre el 10% y el 40%, principalmente en el sector oriental del municipio. Dadas estas condiciones geográficas, climáticas y poblacionales, resulta fundamental implementar un enfoque de análisis geoespacial para evaluar el riesgo de inundación en Ibagué. Este enfoque busca aportar información técnica clave para fortalecer los procesos de planificación agroambiental y gestión del riesgo en el territorio.

Metodología

En el municipio de Ibagué durante diferentes periodos, se han presentado eventos de inundaciones, deslizamiento de tierras, desbordamiento de ríos y quebradas, que han dejado como consecuencias pérdida de vidas y daños materiales. Para evaluar el riesgo de inundación en el municipio se tomaron datos geográficos de diferentes plataformas como la USGS, IGAC, IDEAM, y se empleó el análisis multicriterio para definir cada uno de los parámetros y obtener los resultados esperados, representados por cinco niveles de riesgo de inundación en el municipio.

Se ha empleado el análisis multicriterio porque este permite hacer el análisis integrando diferentes variables como son el DEM, pendientes, precipitaciones, distancia de los drenajes, y cobertura de tierras. De acuerdo con González, (2006), este tipo de análisis tiene la propiedad de dar mayor importancia o ponderar a aquellas variables que, según la experiencia de los investigadores, puedan tener mayor influencia en la ocurrencia de inundaciones y deslizamientos. Este método, según Meyer et al, (2007meyer) también permite obtener resultados cuantitativos que contribuyen a la toma de decisiones sobre la mejor alternativa para el territorio y así mismo poder plantear diferentes soluciones ante un determinado problema.

Insumos

En primer lugar, se obtienen las capas necesarias para iniciar el análisis multicriterio; la capa DEM modelo de elevación digital del municipio de Ibagué, las capas de drenajes dobles y sencillos y la capa de Cobertura de suelos. Estas se obtienen de fuentes como el Servicio Geológico De Los Estados Unidos (USGS), IGAC e IDEAM, como se indica en la tabla 1.

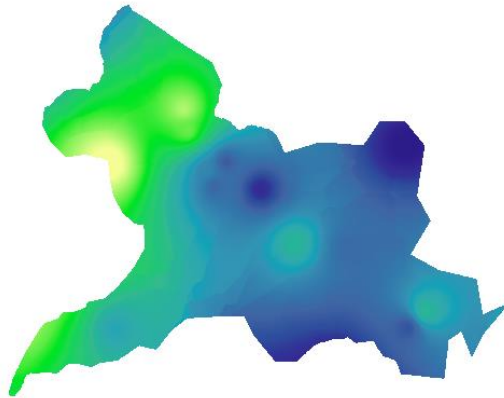
Tabla 1. Insumos utilizados

Datos	Fuentes
Modelo de Elevación Digital	USGS
Coberturas de suelo	Colombia en mapas IGAC
Precipitaciones	Normales climatológicas periodo 1991-2020 del IDEAM
Pendientes	DEM USGS
Distancias de Drenajes	Dirección de flujo del DEM

La Tabla 1 presenta los insumos geoespaciales utilizados para la elaboración del análisis multicriterio orientado a la modelación del riesgo por inundación en el municipio de Ibagué,

Tolima. Entre los datos empleados se encuentra el Modelo de Elevación Digital (DEM) proporcionado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el cual sirvió como base para derivar tanto la pendiente del terreno como la dirección de flujo utilizada en el cálculo de las distancias a los drenajes. Las coberturas de uso y cobertura del suelo fueron obtenidas a través del portal “Colombia en Mapas” del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023), mientras que los datos de precipitación se basaron en las normales climatológicas para el periodo 1991–2020, suministradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2023). Esta información fue recopilada específicamente para el área urbana y rural de Ibagué y procesada mediante un sistema de información geográfica (SIG). Adicionalmente, se generó un mapa representativo a partir de los promedios de precipitación del mes de abril, correspondiente a uno de los periodos con mayor incidencia de lluvias en la región.

Figura 1. Mapa. Precipitación, Ibagué Tolima.



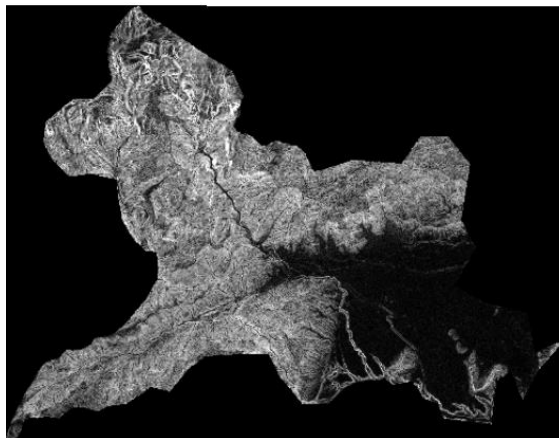
Nota. Análisis de la cobertura biofísica de la superficie de Ibagué Tolima, en donde se clasifican zonas urbanas, bosques, cuerpos de agua, etc.

Figura 2. Mapa de cobertura de suelo, Ibagué Tolima.



Nota. Mapa topográfico en donde se muestra la inclinación del terreno que tiene el caso de estudio, Ibagué Tolima.

Figura 3. Mapa. Pendientes y modelo de elevación digital, DEM Ibagué Tolima.



Nota. Se recolectaron datos hidrográficos, como drenajes dobles y sencillos de la ciudad de Ibagué Tolima, estos se obtuvieron de fuentes oficiales.

Figura 4. Mapa. Drenajes dobles y sencillos




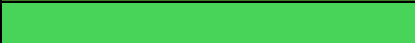



Tabla 2. Criterios de análisis para el riesgo por inundación.

Factor	Porcentaje
Modelo de Elevación Digital	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente Guía Fase 6.

Porcentajes asignados a cada uno de los factores, (DEM 10%, Pendientes 15%, Cobertura de tierras 10%, Precipitaciones 35% y Distancias de los drenajes 30%). Con estos valores se realiza la suma ponderada, posteriormente se hace la reclasificación del riesgo en 5 niveles que representan las categorías de riesgo donde cada uno es representado por un color, así: verde oscuro representa el nivel de riesgo muy bajo, verde claro para el nivel bajo, amarillo para el nivel medio, el naranja para el nivel alto y el rojo que representa el nivel muy alto, como se observa en la tabla 3. Teniendo estos datos se genera el respectivo mapa de riesgos de inundación en el municipio de Ibagué.

Tabla 3. *Reclasificación del riesgo por inundación.*

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Fuente Guía Fase 6.

Indicadores de peligro de inundación

Modelo de Elevación Digital DEM: este es un elemento básico para identificar las propiedades de un terreno, los DEM proveen información valiosa como las alturas, pendientes y dimensiones del terreno, información necesaria para poder determinar el nivel de riesgo de inundación en la zona. (IDET, s.f.)

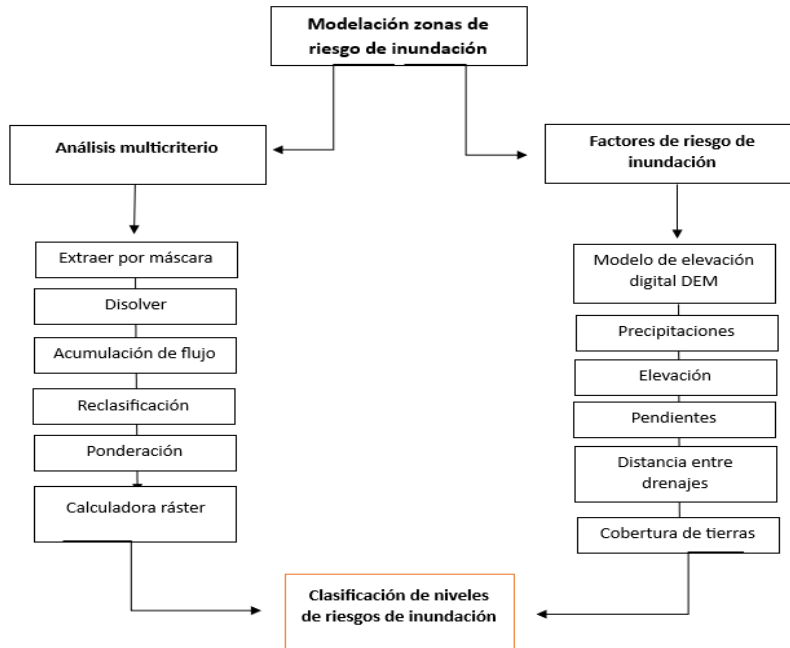
Pendientes: las pendientes son cruciales para determinar si la zona es vulnerable o no a la inundación, mientras más plano sea el terreno, más probabilidad de inundación hay, esto debido a su baja capacidad para evacuar caudales.

Cobertura de tierras: esta es una variable de suma importancia a la hora de determinar los riesgos por inundación en una zona, pues dependiendo del uso de la tierra se determina su capacidad de drenaje y absorción; en zonas urbanizadas la capacidad de absorción de agua lluvia del suelo se reduce, por el contrario, en áreas cultivadas y forestadas el suelo puede retener mayor cantidad de agua y evita que se generen las inundaciones. Cabe destacar que en Ibagué se presenta mayor riesgo de inundación en zonas de invasiones y aquellos asentamientos urbanos en zonas muy cercanas a los cuerpos de agua.

Precipitaciones: El nivel de precipitación es importante para determinar el riesgo de inundación, en Ibagué se han tomado las precipitaciones del mes de abril que es cuando se presenta la temporada de lluvias fuertes

Distancia entre los drenajes: esta es una variable determinante para identificar el nivel de riesgo de inundación, sobre todo en zonas urbanas, mientras más cerca se encuentren estas de los drenajes, las posibilidades de inundación aumentan.

Figura 5. Diagrama de la metodología

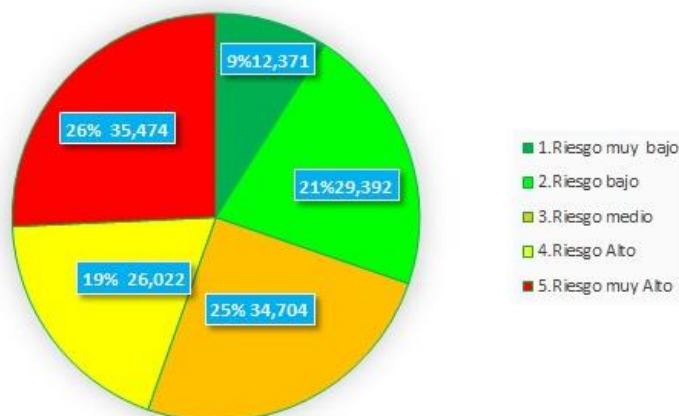


Resultados

En este análisis se logró identificar las áreas de Ibagué Tolima que presentan riesgo por inundación, se clasificaron en cinco niveles de riesgo los cuales permite entender y anteponer las actividades indispensables que ayuden a reducir aquellos impactos que se asocian al fenómeno de las inundaciones.

Figura 6. Gráfica porcentaje niveles de riesgo de inundación

Zona de Riesgo de Inundacion Ibagué Área x Ha



Riesgo muy bajo: El 9 % de la zona de riesgo abarca 12,371 hectáreas, siendo de menor complejidad, se presenta principalmente en la cabecera principal, donde empieza a descender el río Combeima.

Riesgo bajo: Este nivel de riesgo representa el 21% del municipio con 29,392 hectáreas, aunque este nivel de riesgo es tolerable y no representa mayor peligro, es importante tener en cuenta cada zona para implementar medidas de prevención.

Riesgo medio: Este tipo de riesgo abarca un 25 % con un área de 37,704 ha es el porcentaje por hectárea más elevado lo que representa una mayor probabilidad de ocurrencias de incidentes en el municipio de Ibagué, estas zonas se caracterizan por ser central en su mayoría urbana y cuentan con gran cantidad de drenajes y afluentes cercanos a la población poniendo en riesgo la integridad de las personas, y de los elementos que componen la zona, se requiere mayor atención y la implementación de medidas de prevención especialmente en temporadas de lluvias.

Riesgo alto: Este nivel de riesgo representa el 19% de la zona estudiada con un total de 26,022 hectáreas, este se da principalmente en zonas urbanas donde los sistemas de desagüe no son suficientes y en temporada de lluvias colapsan generando desbordamientos, inundando barrios y afectando directamente a la comunidad.

Riesgo muy alto: Esta zona con mayor impacto representa el 26% con una expansión de 35,474 hectáreas, este tipo de riesgo enfrenta una mayor probabilidad de ocurrencia de las inundaciones y pone en peligro diferentes sectores como zonas urbanas, rurales, zonas agropecuarias e industriales, este nivel de riesgo se da principalmente en las comunas 8 y 9 caracterizadas por ser de terreno plano, suelos arcillosos y aparte, allí recae todo el caudal de la parte alta de la cuenca generando impactos severos, es un aspecto fuerte en el municipio donde las entidades públicas han buscado alternativas para reducir el riesgo, se implementan acciones como el mantenimiento de

Jarillones, promoción de prácticas de manejo de residuos, programas de reubicaciones, restauración de las cuencas entre otros.

Figura 7. Mapa de Riesgo por Inundación Municipio de Ibagué, 2025

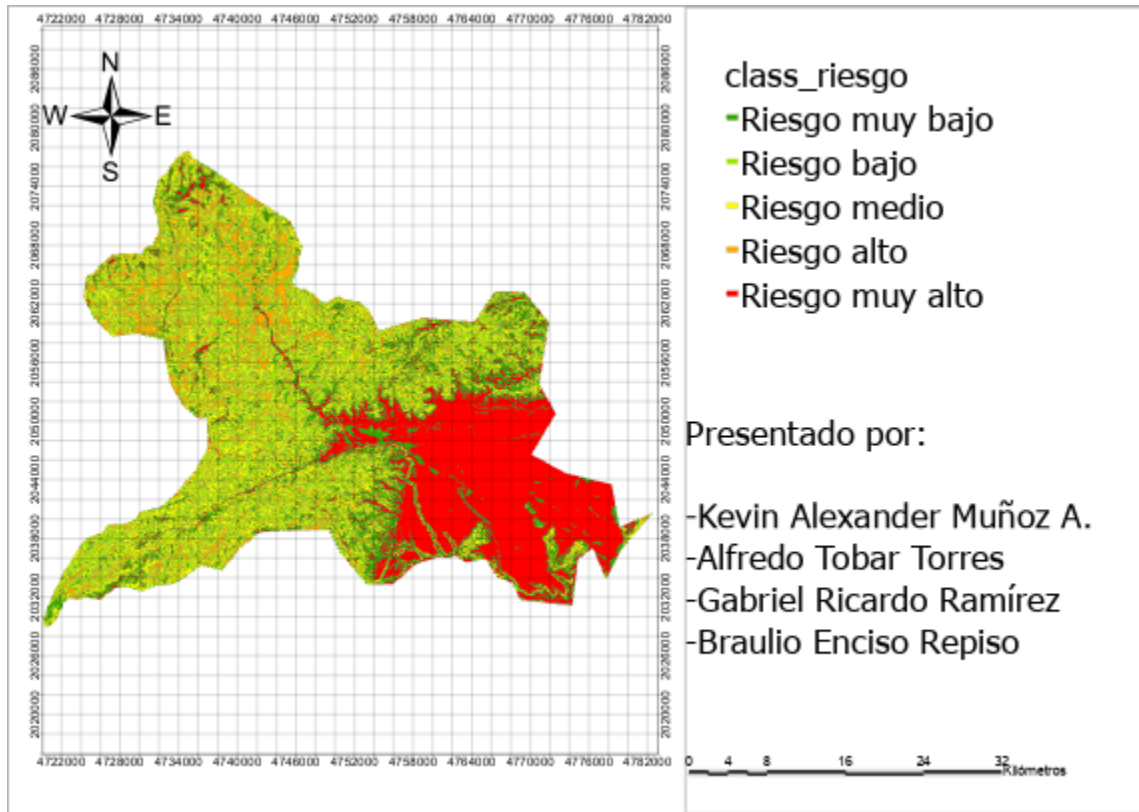


Tabla 4. Porcentajes de niveles de riesgo de inundación en Ibagué.

Zona de riesgo	Área (ha)	Porcentaje aproximado
1. Riesgo muy bajo	12.371	8,9%
2. Riesgo bajo	29.392	21,6%
3. Riesgo medio	34.704	25,4%
4. Riesgo alto	26.022	18,7%
5. Riesgo muy alto	35.474	25,5%

Nota. Los valores del área (hectáreas) son aproximados de acuerdo con resultados de análisis espacial. Fuente: autoría propia

Conclusiones

Los resultados del análisis permitieron identificar zonas críticas con alto riesgo de inundación, evidenciando que estas se concentran principalmente en sectores con intensa intervención antrópica, tanto en áreas urbanas como rurales, especialmente en cercanías a cauces hídricos como

ríos y quebradas. La presencia de asentamientos humanos en estos entornos, sumada a condiciones geomorfológicas particulares, incrementa significativamente la exposición al riesgo.

Este estudio resalta la relevancia de incorporar herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en los procesos de gestión del riesgo, ya que permiten integrar múltiples variables espaciales y generar insumos técnicos confiables. Tales herramientas facilitan la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades competentes, orientadas a la planificación del territorio y la implementación de estrategias preventivas eficaces en las zonas más vulnerables.

Finalmente, se concluye que las inundaciones no solo afectan la infraestructura física y la dinámica económica local, sino que también provocan graves alteraciones en los ecosistemas ribereños y representan una amenaza directa para la salud pública, particularmente en comunidades en condición de vulnerabilidad. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de un enfoque territorial integral y preventivo en la gestión del riesgo por inundaciones.

Recomendaciones

Las recomendaciones que se presentan a continuación, corresponden al ejercicio de proyectar este ejercicio investigativo, desde la ingeniería ambiental y desde la agronomía, campos de estudio cercanos a los investigadores. Entonces, se recomienda desde la agronomía, Diseñar sistemas de producción agropecuaria resilientes al riesgo de inundación, mediante el uso de mapas de zonificación agroecológica generados con SIG y análisis multicriterio. Esto permitirá reubicar cultivos sensibles fuera de zonas de riesgo, implementar prácticas de agricultura de conservación en áreas propensas y seleccionar especies más adaptadas a suelos anegables, asegurando la sostenibilidad de la producción y la seguridad alimentaria local. También, es posible pensar a futuro en la posibilidad de implementar bioinfraestructura agrícola inteligente, como terrazas filtrantes, canales vivos y corredores agroforestales con especies nativas multifuncionales. Estas prácticas permiten controlar escorrentías, estabilizar suelos y recuperar servicios ecosistémicos, al tiempo que incrementan la productividad agrícola, combinando conocimientos agronómicos tradicionales con tecnologías geoespaciales.

Ahora, en relación con la ingeniería ambiental, se puede desarrollar un sistema de monitoreo ambiental geoespacial en tiempo real, que integre sensores de humedad, niveles de precipitación y alertas tempranas mediante plataformas de datos abiertos. Esta solución basada en tecnologías IoT y SIG permitiría anticiparse a eventos de inundación y activar protocolos de respuesta rápida en zonas urbanas y rurales, minimizando impactos sobre ecosistemas y población. Además, diseñar e implementar soluciones basadas en la naturaleza (SbN) para el manejo del riesgo hídrico, como humedales artificiales, restauración de rondas hídricas y barreras vegetales vivas en cuencas de alta vulnerabilidad.

Referencias Bibliográficas

Alcaldía de Ibagué. (2020). Plan de Ordenamiento Territorial. Ibagué Vibra 2020-2023. <https://ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2023/12816-DOC-20230112090024.pdf>

Alerta Tolima. (2025). Emergencias en Ibagué y el Tolima: Fuertes lluvias causan inundaciones, deslizamientos y tragedias. <https://www.alertatolima.com/noticias/tolima/ibague/emergencias-en-ibague-y-el-tolima-fuertes-lluvias-causan-inundaciones>

Ideam. (2017). Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación. Bogotá. Recuperado de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/guia_metodologica_mapas_inundacion.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2023). Cobertura del suelo y usos. En Colombia en Mapas. Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE). <https://www.igac.gov.co/#:~:text=ICDE,el%20acceso%20a%20datos%20espaciales>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Normales climatológicas estándar de precipitación para el periodo 1991 – 2020. IDEAM. Recuperado de <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Normales%20clim%C3%A1ticas%20est%C3%A1ndar>

Gobernación del Tolima. (2025). Más de 20 inundaciones y un derrumbe en Ibagué por fuertes lluvias: Secretaría de Ambiente y Gestión del Riesgo del Tolima hace llamado a la prevención. Recuperado de <https://tolima.gov.co/noticias/noticias-secretaria-de-ambiente/8047-mas-de-20-inundaciones-y-un-derrumbe-en-ibague-por-fuertes-lluvias-secretaria-de-ambiente-y-gestion-del-riesgo-del-tolima-hace-llamado-a-la-prevencion>

González, V. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. En Revista Ingenierías, Vol. 5(8), 59–70. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45237/1/548359628.pdf>

Meyer, V., Haase, D., Scheuer, S. (2007). GIS based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management. Econstor, pp. 1-57. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/45237/1/548359628.pdf>

UNGRD. (2024). UNGRD visita Ibagué, ciudad que permanece en alerta naranja por lluvias. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de

<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/40982/2024-05-29-CP-UNGRD-visita-Ibague-ciudad-que-permanece-en-alerta-naranja-por-lluvias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valuative. (s.f). Riesgo de inundación en Colombia.
[https://valuative.co/admin/files/archivo/riesgo de inundacion en colombia.pdf](https://valuative.co/admin/files/archivo/riesgo_de_inundacion_en_colombia.pdf)

Enlace de sustentación: <https://www.youtube.com/watch?v=zFTxgzl5pF8&feature=youtu.be>