

# IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ZONAS DE ALTO RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLIVAR, ANTIOQUIA, MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO

Sebastián Restrepo Arango – srestrepoar@unadvirtual.edu.co

Luis Alfonso Mayo García – lamayog@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Yetfersson Arley Serrato Velosa – yetferon.serrato@unad.edu.co

## Resumen

Este proceso geoespacial de convertir capa ráster a capa vectorial es importante porque permite transformar datos espaciales de un formato que está basado en cuadrículas es decir (ráster) a otro que está basado en geometrías vectoriales (puntos, líneas, polígonos), esto facilita que puedan ser manejados de forma más precisa y detallada. Tiene una utilidad para realizar los análisis, y para que exista una mayor precisión, en donde se puedan representar elementos geográficos, tal es el caso de los mapas donde se demuestra el uso del suelo, como también datos de elevación, lo que permite que sean integrados con otros datos vectoriales y análisis espaciales que tienen cierto grado de complejidad. La metodología utilizada fue seleccionar el tipo de conversión, el geoprocésamiento, la herramienta de conversión, la configuración de parámetros, y la ejecución, los resultados permite tomar decisiones en situaciones en donde intervienen varios criterios o variables geoespaciales. Ayuda a evaluar diferentes alternativas considerando múltiples factores simultáneamente, lo que es especialmente útil en ámbitos como la planificación territorial, la gestión de recursos, la selección de ubicaciones, entre otros.

*Palabras claves:* Análisis Espacial, Riesgo de Inundación, Zonas Vulnerables, Gestión Territorial, Sistemas de Información Geográfica

## Introducción

Colombia se caracteriza por su topografía, en donde cuenta con tres cordilleras, pero hace contraste con sus áreas planas, las cuales gran parte de ellas son inundables, debido a fenómenos recurrentes y multifactoriales, que son influenciados por varios factores, naturales, sociales y económicos. Entre las causas por las que ocurren las inundaciones se encuentra el ciclo hidrológico dinámico pues el país al estar ubicado en el trópico y ya que el predominio de la zona de confluencia es intertropical y los procesos que ocurren en los

océanos Pacífico, Atlántico y mar Caribe, ocasionan variaciones en la distribución de espacio y tiempo de las precipitaciones, de la temperatura y de otras variables climatológicas. El volumen de agua disponible anualmente en Colombia es de 2.100 km<sup>3</sup> y representa el 4,5% del agua mundial, situando al país entre los primeros 10 productores del líquido, y teniendo en cuenta que la superficie periódicamente inundable es de 11 millones de ha (es decir el 9,2% del territorio), esto hace prever que los desastres más frecuentes y de mayor impacto económico sean las inundaciones, por otro lado, el fenómeno La

Niña puede generar aumentos en los caudales mensuales de los ríos de hasta un 60% en los trimestres más lluviosos.

Existen otros factores que también influyen en las causas de inundación en Colombia, por ejemplo, el cambio climático ha alterado los patrones climáticos en muchas regiones del país, lo que genera un aumento en la frecuencia y la intensidad de las lluvias en algunas áreas; la deforestación en las cuencas hidrográficas y zonas de montaña contribuye a la erosión del suelo, lo que reduce la capacidad de absorción de agua en el terreno, esto provoca una mayor escorrentía superficial, que aumenta el riesgo de inundaciones, finalmente la tala ilegal y la expansión de la frontera agrícola también son responsables de esta problemática.

Como antecedentes tenemos que el fenómeno de La Niña ha causado pérdidas significativas en Colombia, incluyendo daños a infraestructuras, pérdidas de cultivos y afectaciones a la economía local. Según el Banco Mundial (2012, como se citó en Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, s.f) el 58% de las muertes por fenómenos naturales en Colombia están asociadas a eventos hidrometeorológicos como La Niña.

Los sistemas de información geográfica (SIG), juegan un papel muy importante en la gestión de inundaciones; y su uso se ha incrementado debido a su habilidad para integrar y analizar grandes cantidades de datos espaciales de manera eficiente en el estudio de inundaciones, entre estas herramientas se encuentra la modelación de inundaciones pues, se pueden crear modelos digitales de elevación (MDE) que permiten simular cómo se comporta el agua durante una inundación, teniendo en cuenta factores como la topografía, el tipo de suelo, la densidad de vegetación y las infraestructuras existentes.

Estas simulaciones son fundamentales para predecir las áreas más vulnerables y ayudar en la toma de decisiones preventivas. Por otro lado, están el mapeo de zonas inundables, la identificación de áreas que general están en riesgo de inundación mediante el análisis de datos históricos y modelos predictivos. Este mapeo es fundamental para el desarrollo de planes de uso de suelo y políticas de planificación territorial, permitiendo evitar la construcción de viviendas y otras infraestructuras en zonas de alto riesgo.

los SIG permiten monitorear en tiempo real la evolución del evento, lo que ayuda a coordinar esfuerzos de evacuación, asignación de recursos y asistencia humanitaria, también permiten la visualización de rutas de evacuación y la localización de refugios y suministros. Son utilizados para evaluar los daños causados por las inundaciones en la infraestructura, la agricultura, los ecosistemas y las comunidades. A través de análisis espacial, se pueden identificar las áreas más afectadas y planificar la recuperación.

En el caso del municipio de Ciudad Bolívar en el departamento de Antioquia, éste no es ajeno a las afectaciones causadas por las inundaciones, es por eso que a través de este análisis se puede evidenciar que existe riesgo en gran porcentaje del municipio que está ubicado en áreas bajas o planas cerca de los ríos y quebradas.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar y evaluar las zonas de alto riesgo de inundación en el municipio de Ciudad Bolívar, Antioquia, mediante un análisis multicriterio que considere las características del territorio.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar zonas de riesgo utilizando datos de precipitaciones, caudales fluviales, topografía, y uso del suelo.
- Representar gráficamente las zonas de alto riesgo para facilitar la planificación territorial y la toma de decisiones.
- Implementar un análisis multicriterio para clasificar las áreas en niveles de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto).

### **Identificación del caso de estudio**

Con una extensión de 282 kilómetros cuadrados y una temperatura promedio de 24°C, el municipio de Ciudad Bolívar se encuentra localizado la subregión del Suroeste-Departamento de Antioquia, específicamente entre las vertientes de la Cordillera Central y Occidental, conformadas por el cañón del río Cauca y la cuenca del río San Juan. (Alcaldía de Ciudad Bolívar, 2019). En relación al relieve, es montañoso debido a que se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera Central de los Andes. Su terreno es accidentado o quebrado, y se caracteriza las por montañas, cañones y valles. Esto hace que el municipio tenga un relieve variado desde áreas de gran pendiente hasta zonas más suaves en los valles.

El río Bolívar atraviesa el municipio, favoreciendo la actividad agrícola y también generando riesgos de inundaciones en las temporadas de lluvias intensas. La altitud promedio del municipio es de aproximadamente 1,200 metros sobre el nivel del mar (msnm). (Alcaldía de Ciudad Bolívar, 2014). El clima de Ciudad Bolívar es tropical de montaña, lo que significa que tiene temperaturas moderadas debido a su altitud. Las temperaturas promedio oscilan entre 16 y 20°C, con variaciones estacionales y micro climáticas dependiendo de la ubicación y la altitud.

El río Bolívar es el principal cuerpo de agua del municipio. Este río y sus afluentes son fundamentales para la agricultura local, en especial para los cultivos de café que se realizan en las zonas montañosas. Esta región cuenta con varios nacimientos de agua y quebradas, especialmente en las áreas de mayor altitud.

Las principales especies maderables son el nogal, la guadua, el cedro, el guayacán, predominado el Bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) que incluye la mayor área del territorio equivalente a un 54%, y el Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) que Comprende aproximadamente el 34% del territorio. (Alcaldía de Ciudad Bolívar, 2014)

La temperatura promedio se mantiene constante, pero en las horas nocturnas puede haber caídas de temperatura que provocan un ambiente más fresco, especialmente en áreas más altas. Las temperaturas mínimas pueden llegar a 12°C en la temporada más fría. La región tiene una distribución de lluvias relativamente uniforme durante el año, aunque con algunas variaciones estacionales.

En términos generales, el clima de Ciudad Bolívar es húmedo, con un régimen de lluvias que se concentra principalmente en dos periodos: uno en la temporada de lluvias, de mayo a noviembre, y otro periodo de sequía de diciembre a marzo.

Ciudad Bolívar recibe una precipitación anual de aproximadamente 2,500 mm, lo que lo convierte en una región con alta pluviosidad. Este nivel de precipitaciones es una de las características que alimenta la vegetación exuberante de la zona.

El Municipio de Ciudad Bolívar tiene como antecedente de olas invernales como por ejemplo la que se presentó en el año 1992 en la vereda la Arboleda, donde por la intensidad de las lluvias se dio un fenómeno raro para esta

región denominado “La tromba marina” en la cual se vieron afectadas aproximadamente 38 familias, causando estragos en vidas humanas aproximadamente 37 personas de igual forma a viviendas ganado y cultivos. (Secretaría De Obras Públicas, Vivienda, Planeación Y Valorización de Ciudad Bolívar, Antioquia, 2017).

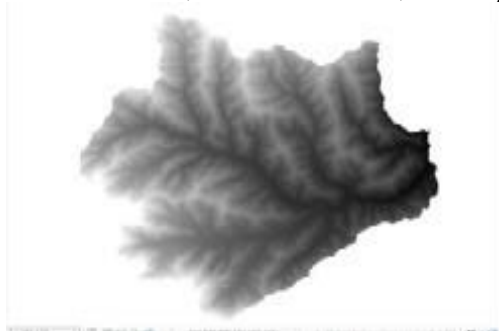
Teniendo en cuenta todas estas características topográficas, ambientales y meteorológicas del municipio de Ciudad Bolívar, además del análisis multicriterio realizado podemos decir que; las altas precipitaciones en el periodo Mayo – Noviembre en la región, combinadas con su relieve montañoso y la presencia de ríos y quebradas en el municipio se pueden presentar inundaciones, y tener un impacto significativo en la infraestructura local y en la agricultura. Estas precipitaciones acumuladas en un corto período de tiempo provocarían desbordamientos del río Bolívar y quebradas, lo que ocasionaría inundaciones en las zonas bajas.

## Metodología

### Factores de Análisis

#### Figura 1

DEM - Raster, Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia

#### Figura 2

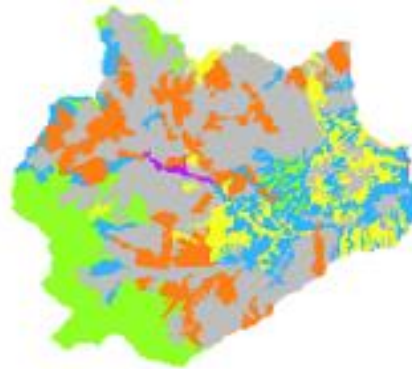
Pendientes, Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia

#### Figura 3

Cobertura de Tierras, Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia

#### Figura 4

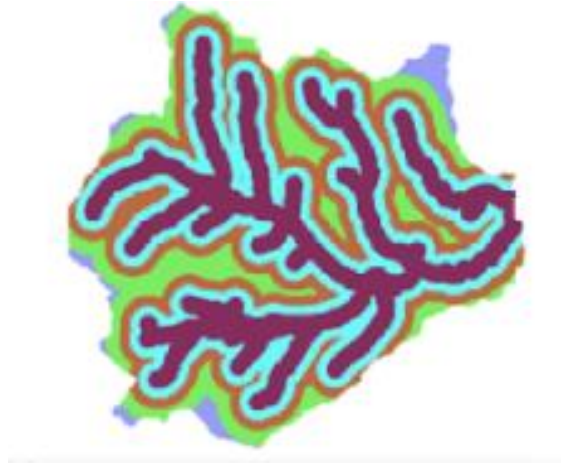
Precipitación, Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia

### Figura 5

Distancia entre canales, Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia

La metodología que se llevó a cabo se basa en evaluar diferentes alternativas o escenarios considerando múltiples criterios (multicriterio):

- Definición del problema y los objetivos  
El problema es el riesgo por inundación en el municipio de Ciudad Bolívar en el departamento de Antioquia, para determinar las áreas con mayor riesgo de inundación por los ríos y quebradas que nacen y cruzan por el municipio.

- Selección de las variables

Establecer las variables y criterios que se van a tomar en cuenta para evaluar el riesgo de inundación, los cuales están basados en factores ambientales y físicos

- Precipitaciones y caudales de los ríos, Información histórica y registros anuales de lluvias, así como el caudal de los ríos

principales, para determinar el potencial de desbordamiento.

- Topografía: La altitud, pendientes y forma del relieve influyen en la acumulación de agua y su desplazamiento. Las áreas planas son más propensas a inundarse.

- Uso del suelo y cobertura vegetal: Las áreas urbanizadas o deforestadas tienen mayor probabilidad de sufrir inundaciones debido a la reducción de la capacidad de absorción del suelo.

- Red hidrográfica: La proximidad a ríos, quebradas y lagunas. Las zonas cercanas a estos cuerpos de agua tienen mayor probabilidad de inundarse.

- La obtención de datos espaciales

- Mapas topográficos, de uso de suelo, redes hidrográficas, mapas de inundación históricos, imágenes satelitales, y datos meteorológicos.

- Datos de precipitaciones y caudales de estaciones meteorológicas locales.

- Preparación y procesamiento de los datos

- Normalización de las capas de datos: Asegurarse de que todas las capas estén en el mismo sistema de coordenadas.

- Clasificación o recategorización de las capas de datos: Convertir las variables continuas (como la pendiente o el caudal) en categorías discretas como: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

- Relleno de vacíos o corrección de errores en los datos.

- Asignación de pesos a los criterios

- Determinación de la importancia de cada criterio

- Ponderación subjetiva

- Normalización de los pesos

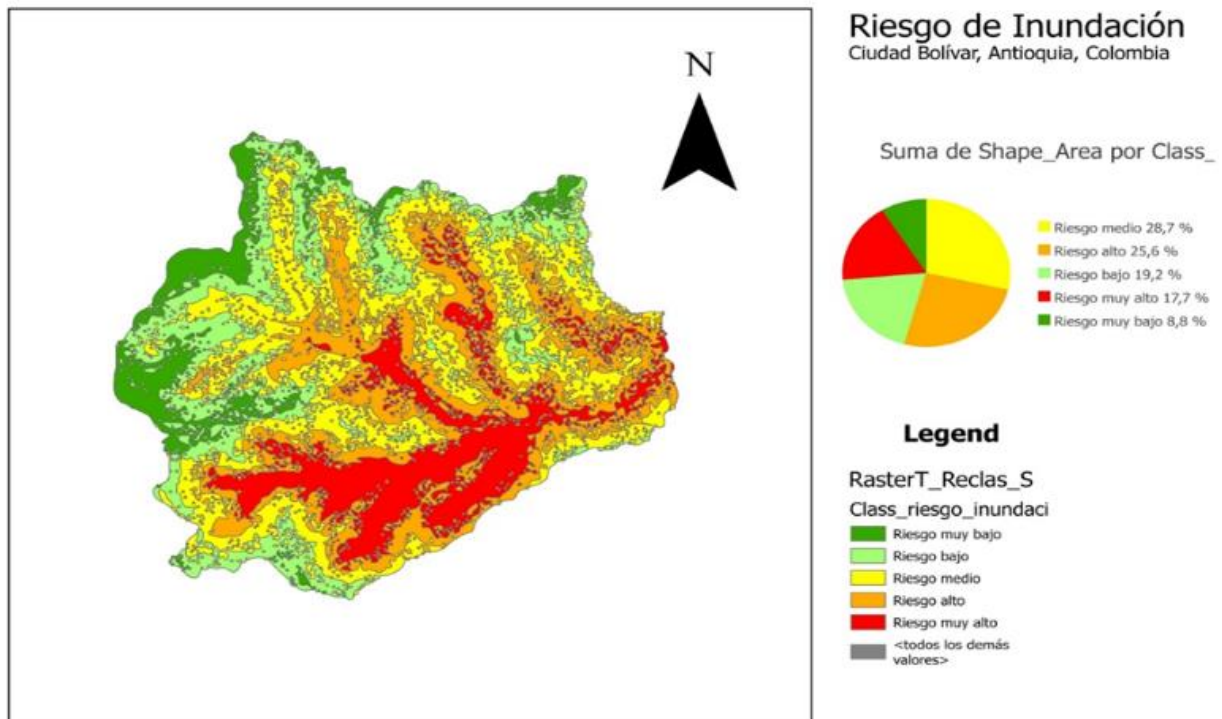
- Análisis multicriterio

- Análisis espacial

- Suma ponderada
- Generación de mapas
- Creación de un mapa de riesgo que refleje las áreas con alta, media y baja probabilidad de inundación.
- Evaluación y elaboración de recomendaciones:

### Figura 5.

Mapa de riesgo de inundaciones municipio Ciudad Bolívar, Antioquia.



Fuente. Autoría Propia.

- Interpretación de resultados: Analizar las áreas de alto riesgo de inundación y evaluar la viabilidad de posibles medidas de mitigación.
- Decisiones y recomendaciones: Con base en los resultados, generar recomendaciones sobre cómo manejar el riesgo de inundación.

### Resultados

El análisis multicriterio para la evaluación de inundaciones en el municipio de Ciudad Bolívar, nos ha permitido evaluar los escenarios y factores involucrados en los riesgos de inundación, además incluir la evaluación de varias variables, como la vulnerabilidad de las áreas, la probabilidad de que ocurran inundaciones, los impactos socioeconómicos, el riesgo ambiental. Es así como se priorizan o clasifican las zonas de

riesgo según los resultados y se clasifican en porcentajes de acuerdo al área de cubrimiento del riesgo.

Zonas de alto riesgo: Áreas cercanas a ríos con pendientes bajas. 17,7%

Zonas de riesgo alto. 25.6%

Zonas de riesgo moderado: Áreas con drenaje deficiente y exposición a lluvias intensas. 28.7%

Zonas de bajo riesgo: Áreas elevadas con buena infraestructura de drenaje. 19.2%

Zonas de riesgo muy bajo. 8.8%

### **Impacto socioeconómico de las inundaciones**

Siendo una región cafetera y analizando las zonas que pueden ser afectadas por las inundaciones, el impacto socioeconómico y social es significativo, pues gran parte de la población depende de los cultivos de café, ya sea como productor o como empleado de las fincas.

Según la distribución por el área del municipio, se puede evidenciar que hay una gran cantidad del territorio con riesgo de inundación, por lo que las autoridades deben prever esta situación sobre todo en la temporada de alta precipitación, el municipio en su mayor parte cuenta una vasta área libre de riesgo de inundación, debido a que es un terreno montañoso.

**Tabla 1.** Clase de riesgo según el área

Clase de riesgo_inundación	Área_km2
Riesgo muy bajo	22,54003143
Riesgo bajo	49,72512618
Riesgo medio	74,83539982
Riesgo alto	66,1685893
Riesgo muy alto	45,33518499

Fuente. Autoría propia.

El análisis multicriterio evidencia que, además de las áreas cercanas al río Bolívar y sus afluentes, uno de los corregimientos más afectados sería San Bernardo de Los Farallones, debido a su proximidad a cuerpos de agua como la quebrada El Ardedero y otras cascadas en los Farallones del Citará. Este corregimiento, reconocido por su biodiversidad y sus zonas montañosas, experimenta riesgos elevados de crecientes súbitas que podrían ocasionar deslizamientos y afectaciones a su infraestructura básica y actividades agrícolas locales

En la cabecera municipal, los barrios más próximos a quebradas y áreas con infraestructura de drenaje insuficiente presentan un riesgo significativo durante la temporada de lluvias intensas. Esto pone en peligro la seguridad de los habitantes y podría generar desbordamientos que impactarían la conectividad vial y los cultivos cercanos.

### **Conclusiones**

El análisis multicriterio nos ha demostrado que los múltiples factores que influyen en el riesgo de inundación, como la topografía, el uso del suelo, el clima, la infraestructura y la densidad de la población se pueden dirigir a un enfoque que permita una evaluación del problema, teniendo en cuenta las interacciones entre diferentes variables y se pueden identificar y clasificar las áreas más vulnerables a las inundaciones en el municipio de Ciudad Bolívar, esto lo que demuestra es que existen zonas con alto riesgo de ser inundadas por el río Bolívar además de los otros afluentes como quebradas, principalmente en las épocas o temporadas de mayor precipitación durante el año, por lo tanto, hay que estar alertas, con

especial monitoreo en las zonas vulnerables o en riesgo de inundación.

Estos resultados, obtenidos a través del método de análisis multicriterio para inundaciones demuestran que, en el municipio de Ciudad Bolívar, existen zonas con alto riesgo de ser inundadas por el Bolívar y sus afluentes en temporada de alta precipitación o por fenómenos ambientales como el de la niña.

### Recomendaciones

Teniendo en cuenta los resultados del análisis multicriterio de inundaciones del municipio de Ciudad Bolívar, es relevante considerar, la implementación de sistemas de monitoreo meteorológico en tiempo real para proporcionar alertas tempranas sobre posibles inundaciones. Esto permitirá actuar con anticipación y reducir los daños.

Identificar áreas donde la restauración ecológica (como la reforestación de cuencas hidrográficas) puede ayudar a reducir la velocidad del agua de escorrentía y disminuir el riesgo de inundación.

Hacer partícipes a las comunidades en el proceso de planificación, proporcionando herramientas que les ayuden a entender el riesgo y participar en la gestión del mismo.

### Referencias bibliográficas

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (s.f). Diez Respuestas Sobre El Fenómeno De La Niña Y Sus Impactos En Jurisdicción CAR. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5b4d13c218017.pdf>

Alcaldía de Ciudad Bolívar. (2019). Plan de desarrollo. Sembrando Progreso. <http://www.ciudadbolivar-antioquia.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-20162019>

Alcaldía de Ciudad Bolívar. (2014) Nuestro Municipio. [https://web.archive.org/web/20160503212234/http://www.ciudadbolivar-antioquia.gov.co/informacion\\_general.shtml#geografia](https://web.archive.org/web/20160503212234/http://www.ciudadbolivar-antioquia.gov.co/informacion_general.shtml#geografia)

Secretaría De Obras Públicas, Vivienda, Planeación Y Valorización de Ciudad Bolívar, Antioquia. (2017). Plan de Contingencia Temporada de Lluvias de 2017 En el Municipio de Ciudad Bolívar. [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/29629/PlanContingencia\\_CiudadBolivar\\_Tlluvias.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/29629/PlanContingencia_CiudadBolivar_Tlluvias.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

### Enlace De Sustentación:

<https://drive.google.com/file/d/15YrdTPyMpzfKCh26Sp4TmS644K4IvTfK/view?usp=drivesdk>