

# Zonas de riesgo de inundación en Bucaramanga Santander mediante análisis multicriterio con ArcGIS Pro

Estudiantes autores:

Erika Alexandra Lizarazo Fonseca

[elizarazof@unadvirtual.edu.co](mailto:elizarazof@unadvirtual.edu.co)

Pilar Smith Soler León

[Pssolerl@unadvirtual.edu.co](mailto:Pssolerl@unadvirtual.edu.co)

Carmen Astrid Ordoñez Lebaza

[caordonezl@unadvirtual.edu.co](mailto:caordonezl@unadvirtual.edu.co)

Jesús Oswaldo Torres Niño

[jotorresn@unadvirtual.edu.co](mailto:jotorresn@unadvirtual.edu.co)

Jenny Katherine Mateus Ramos

[Jkmateusr@unadvirtual.edu](mailto:Jkmateusr@unadvirtual.edu)

Tutor: Javier Eduardo Ríos Miranda

[Javier.rios@unad.edu.co](mailto:Javier.rios@unad.edu.co)

## Resumen

Este artículo presenta un análisis del riesgo de inundación para el municipio de Bucaramanga, Santander (Colombia), con el objetivo de identificar, clasificar y representar espacialmente las zonas de mayor y menor riesgo por inundación en el municipio, empleando un modelo cualitativo y cuantitativo basado en variables topográficas, climáticas, hidrológicas y de cobertura del suelo. El análisis fue desarrollado en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante el uso de **ArcGIS Pro**, donde se aplicaron geo-procesos que integran datos de precipitación, modelo digital de elevación, cobertura del suelo (CORINE Land Cover), pendientes y distancias a cuerpos de agua. La metodología permitió generar mapas temáticos que identifican zonas con diferentes niveles de riesgo, lo que constituye una herramienta esencial para la planificación urbana, la gestión del riesgo y la toma de decisiones. Mediante este modelamiento se encontró que el 17,4% del área del municipio presenta un riesgo muy alto de inundación, mientras el 17,1% está en zona de alto riesgo de inundación. Los resultados evidencian la utilidad del enfoque multicriterio para la prevención de desastres y la formulación de planes de contingencia frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

**Palabras claves:** Análisis multicriterio, ArcGIS Pro, riesgo de inundación, AHP, zonificación.

## 1. Introducción

El análisis multicriterio (AMC) integrado con sistemas de información geográfica (SIG) es ampliamente utilizado para identificar y mapear zonas de riesgo, especialmente ante amenazas naturales como inundaciones, incendios,

deslizamientos y terremotos. El uso combinado de AMC y SIG permite evaluar múltiples factores de riesgo, ponderarlos según su importancia a través de un proceso analítico jerárquico y generar mapas detallados que facilitan la toma de decisiones para la gestión y mitigación de desastres (Celemín, J. P. 2014).

Esta herramienta ha demostrado ser fundamental en contextos territoriales complejos, al integrar variables físicas, sociales y económicas que inciden directamente en los niveles de vulnerabilidad.

En este sentido, la aplicación de geoprocесamientos mediante herramientas como ArcGIS Pro permite desarrollar análisis espaciales detallados que facilitan la identificación de zonas de riesgo por inundación en el municipio de Bucaramanga, Santander. Bucaramanga presenta condiciones climáticas intensas en determinados meses del año, lo que incrementa la susceptibilidad a eventos hidrometeorológicos extremos. La integración de datos geográficos como modelos digitales de elevación, pendientes, uso del suelo y cobertura vegetal, junto con capas de sedimentos e infraestructura, permite una evaluación integral del territorio y de los factores que agravan el riesgo de inundación.

Esta actividad se estructura en una secuencia metodológica detallada, que abarca desde la recopilación y preparación de datos espaciales hasta la generación de mapas temáticos. Las técnicas aplicadas incluyen la reclasificación de variables, la conversión de datos vectoriales a ráster, el geoenmascaramiento, y la ponderación de factores en función de su influencia en el riesgo. Según Gil & Jiménez (2019), después de realizar los geoprocесamientos se pueden elaborar mapas temáticos que clasifican el territorio en distintos niveles de riesgo, lo cual resulta crucial para la planificación territorial y la formulación de estrategias preventivas que mitiguen el impacto social y económico de las inundaciones.

En Bucaramanga, la evaluación de zonas de riesgo por inundación mediante AMC y SIG

contribuye a una gestión más efectiva del territorio, al generar información técnica que respalda la toma de decisiones en materia de ordenamiento, infraestructura y prevención. Esta metodología busca responder a la pregunta: ¿cuáles son las áreas con mayor y menor riesgo de inundación según la clasificación cualitativa del riesgo para el municipio de Bucaramanga?

Así, se promueve una visión integral y prospectiva de la planificación territorial, con base en datos precisos y criterios objetivos, fundamentales para salvaguardar vidas humanas y reducir las pérdidas materiales ante posibles eventos de inundación.

## 2. Objetivos

### 2.1. General

Desarrollar el modelo de análisis multicriterio mediante geoprocесos con ArcGIS Pro donde se puedan identificar las zonas de riesgo de inundación para el municipio de Bucaramanga.

### 2.2. Específicos

- Obtener y procesar datos geoespaciales que incluyen precipitaciones, cobertura de tierras, modelos de elevación, según los históricos de inundaciones de Bucaramanga.
- Aplicar técnicas de multicriterio en aplicativo geoespacial para ponderar y combinar todos los factores influyentes en el riesgo de inundación.
- Obtener mapas temáticos que nos puedan brindar información verídica

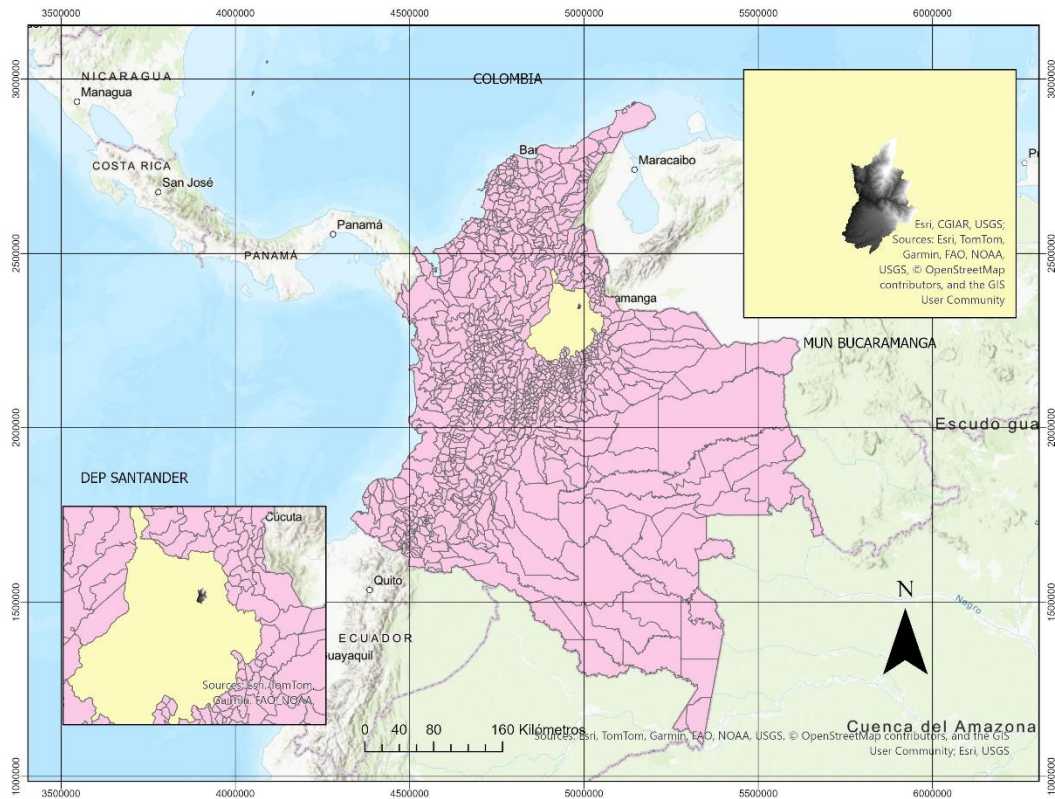
para llevar a cabo la prevención del riesgo.

### 3. Identificación del caso de estudio

El área de estudio corresponde al municipio de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, ubicado en la región nororiental de Colombia (Figura 1). Esta unidad territorial fue seleccionada por su localización geográfica en una zona montañosa de los Andes orientales, su alta densidad poblacional, y la presencia recurrente de eventos hidrometeorológicos que han generado inundaciones en sectores urbanos y rurales. Estas características hacen de Bucaramanga un caso representativo para

evaluar el riesgo por inundación en contextos urbanos interandinos.

La ciudad de Bucaramanga, capital del departamento de Santander, ha enfrentado a lo largo de su historia múltiples eventos catastróficos por inundaciones que han afectado tanto a la población como a su infraestructura (Kilô Ardila, 2020; Panqueva, Castellanos, 2020). Uno de los episodios más devastadores ocurrió en febrero de 2005, cuando, tras lluvias continuas durante más de 12 horas, se produjo el desbordamiento simultáneo de los ríos Oro y Frío, seguido de una segunda avalancha dos días después, lo cual dejó decenas de muertos y más de 20.000 afectados



**Figura 1. Localización de la zona de estudio.** Nótese el departamento de Santander representado por el polígono con relleno amarillo sólido, mientras que el municipio de Bucaramanga se representa por el polígono en escala de grises, con un aumento de escala en la esquina superior derecha (el relleno corresponde a la capa ráster del modelo digital de elevación descargado para este municipio). Mapa elaborado por Erika Alexandra Lizarazo Fonseca con ArcGIS pro.

en la ciudad y municipios cercanos. Este evento obligó a evacuar a miles de personas, revelando la vulnerabilidad de varios sectores de la ciudad y motivando a las autoridades a reconocer la necesidad urgente de implementar medidas preventivas y estudios de riesgo (Defensoría del Pueblo, 2005; Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2005).

Según estudios del Área Metropolitana de Bucaramanga, este territorio presenta una situación crítica con alrededor de 310 hectáreas, que corresponden con 102 barrios en condición de amenaza alta por inundaciones (AMB., 2017; Trujillo Ocampo, 2021), cabe aclarar que 97 barrios están distribuidos en los municipios de Girón, Floridablanca, y Piedecuesta, mientras que 5 barrios están dentro del municipio de Bucaramanga (AMB., 2017), siendo este último el municipio de interés para la evaluación de las zonas de riesgo mediante la metodología del presente trabajo. Asimismo, esta realidad para nuestra área de estudio subraya la importancia de la inclusión de sistemas de información geográfica al realizar estudios avanzados para evaluar e identificar características de riesgo que permitan informar y orientar acciones para mitigar los perjuicios ambientales, sociales y económicos.

#### 4. Metodología

El riesgo de inundación en Bucaramanga fue evaluado mediante un enfoque geoespacial basado en SIG, empleando análisis multicriterio en ArcGIS Pro 3.4.0. El procedimiento se desarrolló en cinco fases, desde la recolección de insumos hasta la modelación y representación espacial de los niveles de riesgo. Es de resaltar que esto fue posible gracias a las orientaciones de las guías del curso: Diplomado de profundización Sistemas de Información Geográfica para el Ordenamiento

Agroambiental del Territorio, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

##### 4.1. Delimitación espacial y recopilación de datos

Para el desarrollo del análisis espacial se estructuró un conjunto de datos geográficos que sirvieron como base para la modelación. El insumo principal fue un Modelo Digital de Elevación (DEM), con resolución espacial de 30 metros, el cual permitió derivar variables topográficas como altitud y pendiente. Esta información fue fundamental para entender la dinámica del flujo superficial y las condiciones de acumulación hídrica a nivel municipal.

Adicionalmente, se utilizaron archivos vectoriales en formato shapefile que delimitan tanto el perímetro del municipio como el del departamento de Santander. Estos límites administrativos fueron empleados para realizar procesos de recorte espacial (*clip*) y extracción por máscara (*extract by mask*), garantizando así la coherencia geográfica del análisis y la reducción de artefactos espaciales fuera del área de interés.

En cuanto a los aspectos climáticos, se incorporó un ráster mensual de precipitación correspondiente al mes históricamente más lluvioso en el municipio, identificado mediante consulta de registros pluviométricos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Esta variable es crítica en la determinación del riesgo hídrico, ya que permite identificar las zonas con mayor exposición a eventos de lluvia intensa.

Asimismo, se integró una capa de cobertura de la tierra a escala nacional, tipo Corine Land

Cover (CLC) nivel 2, la cual ofrece una clasificación detallada del uso y la cobertura del suelo en categorías como zonas urbanizadas, áreas agrícolas, cuerpos de agua, bosques y vegetación secundaria. Esta capa fue recortada al municipio y disuelta por tipologías para su posterior transformación en formato ráster, conservando la variable categórica *Nivel\_2* como identificador principal.

Todos los insumos geográficos fueron armonizados bajo un mismo sistema de referencia espacial, utilizando el datum Magna Sirgas CMT12, con el fin de garantizar una adecuada integración espacial de las capas y preservar la precisión métrica requerida para los análisis. La preparación de estos datos constituyó la base para el desarrollo de los siguientes pasos metodológicos orientados al modelado del riesgo de inundación.

#### 4.2. Delimitación de cuenca y red hidrográfica

La generación de la red de drenaje y la delimitación de microcuencas se realizaron a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM), mediante el uso de herramientas del módulo *Spatial Analyst* en ArcGIS Pro. El procedimiento inició con la corrección de imperfecciones en el modelo de elevación mediante el geoproceto *Fill*, el cual elimina depresiones espurias que interrumpen el flujo superficial continuo. Posteriormente, se calcularon las direcciones de flujo utilizando *Flow Direction*, lo cual permitió establecer el trayecto que seguiría el agua sobre la superficie topográfica. Con base en esta capa se obtuvo la acumulación de flujo mediante *Flow Accumulation*, generando una representación espacial de las áreas de concentración de escorrentía.

Para estructurar jerárquicamente la red de drenaje, se emplearon los algoritmos *Stream Link* y *Stream Order* (método de Strahler), los cuales identificaron y clasificaron los cauces en función de su conectividad hidrológica. Una vez generada la red en formato ráster, se utilizó *Stream to Feature* para convertirla a un formato vectorial, permitiendo su análisis y visualización como red lineal.

La delimitación de los cauces principales se realizó mediante una operación condicional basada en un umbral de acumulación mayor a 100 celdas, utilizando la herramienta *Con()*. Este umbral permitió discriminar los drenajes significativos de aquellos secundarios o esporádicos, produciendo una representación binaria que resalta únicamente los canales de escorrentía más relevantes para el análisis de riesgo de inundación.

#### 4.3. Preparación de variables para análisis multicriterio

Para la integración de los factores que influyen en el riesgo de inundación, se realizó una normalización de las variables mediante procesos de reclasificación, lo cual permitió homologarlas en una escala común de 2 (riesgo muy bajo) a 10 (riesgo muy alto), siguiendo los criterios definidos en la **Tabla 1**. Esta escala cualitativa-cuantitativa facilita la posterior combinación ponderada de las capas en el modelo de análisis multicriterio.

**Tabla 1.** Clasificación cualitativa y numérica del riesgo.

Nivel de riesgo	Valor
Muy bajo	2
Bajo	4
Medio	6

Alto	8
Muy alto	10

Los cinco factores considerados fueron: altitud (DEM), pendiente, precipitación, distancia a drenajes y cobertura del suelo. Cada uno se interpretó con base en su relación directa o inversa con la susceptibilidad a inundaciones:

- **Altitud:** las zonas con menores valores de elevación fueron consideradas de mayor riesgo, dado su potencial para acumular escorrentía.
- **Pendiente:** las pendientes planas aumentan el tiempo de concentración del agua, incrementando la probabilidad de encharcamiento y escorrentía superficial; por tanto, se asociaron con mayor riesgo.
- **Precipitación:** se utilizó el mes históricamente más lluvioso, bajo la hipótesis de que intensidades mayores de lluvia aumentan directamente el potencial de inundación.
- **Distancia a drenajes:** se partió del supuesto de que las áreas más cercanas a los cauces tienen mayor exposición a inundaciones por desbordamientos.
- **Cobertura del suelo:** se asignaron valores de riesgo cualitativo en función del uso y funcionalidad ecológica o antrópica de cada tipo de cobertura. Por ejemplo, cuerpos de agua como ríos o lagunas se clasificaron con riesgo muy alto (valor 10), mientras que bosques naturales fueron considerados de riesgo muy bajo (valor 2), por su capacidad de infiltración y regulación hídrica.

La herramienta *Reclassify* del módulo *Spatial Analyst* fue utilizada para transformar cada variable continua o categórica en su

correspondiente representación discreta. Se empleó el método de clasificación de Rupturas Naturales (Jenks), el cual optimiza la segmentación de los datos al minimizar la varianza intraclase y maximizar la varianza entre clases. Esto permitió generar mapas temáticos comparables, estandarizados y compatibles con el procedimiento de ponderación posterior en la modelación del riesgo.

#### 4.4. Análisis multicriterio y modelación del riesgo

Una vez normalizadas las variables en una escala común de riesgo cualitativo, se integraron mediante un análisis multicriterio utilizando el método de *Suma Ponderada (Weighted Sum)*, disponible en el módulo *Spatial Analyst* de ArcGIS Pro. Esta técnica permite combinar capas raster con diferentes pesos relativos, reflejando su influencia diferenciada en el fenómeno de estudio (Celemín, 2014). Para facilitar la integración, cada factor fue reclasificado en valores numéricos según el nivel de riesgo que representan, como se indica en la **Tabla 1**. Se asignaron valores más altos a las condiciones que aumentan la susceptibilidad a inundaciones y valores más bajos a aquellas que la reducen, teniendo en cuenta la guía orientadora del curso, y el trabajo de Tetteh et al. (2025) donde calcularon un índice de riesgo ajustado ponderando precipitación, distancia a ríos, pendiente, modelo digital de elevación y uso de suelo en GIS, para el para un municipio de la Región Oriental de Ghana.

Con las capas estandarizadas, se definieron los pesos de cada factor considerando su incidencia relativa en la generación del riesgo por inundación. La precipitación mensual (35 %) y la distancia a los drenajes (30 %) fueron

considerados los criterios más determinantes, seguidos por la pendiente (15 %), el modelo de elevación (10 %) y la cobertura del suelo (10 %), como se muestra en la **Tabla 2**.

*Tabla 2. Pesos de criterios para análisis multicriterio.*

Factor	Peso (%)
Precipitación mensual	35
Distancia a drenajes	30
Pendiente	15
Modelo de Elevación (DEM)	10
Cobertura de tierras (CLC)	10

La herramienta *Weighted Sum* combinó los cinco factores en una única capa ráster continua, en la que cada celda representa un índice compuesto de riesgo por inundación. Esta operación consistió en multiplicar cada capa reclasificada por su peso respectivo y sumar los resultados.

Finalmente, el ráster de riesgo fue reclasificado en cinco categorías ordinales (1 a 5), correspondientes a los niveles cualitativos de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. La clasificación se realizó mediante el método de Rupturas Naturales (Jenks), y los resultados fueron representados con una simbología de colores progresivos como se expone en la **Tabla 3**, lo que facilitó su interpretación visual y la identificación de zonas prioritarias para la gestión del riesgo en el municipio de Bucaramanga.

*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	

#### 4.5. Representación vectorial, análisis espacial y visualización de resultados

El ráster final fue transformado en una capa vectorial mediante el geoproceso *Raster to Polygon*, y se le aplicó suavizado cartográfico (*Smooth Polygon*) y disolución por clase de riesgo (*Dissolve by Gridcode*). En la tabla de atributos resultante se generaron dos campos:

- *Class\_riesgo*: descripción cualitativa del riesgo según los valores de 1 a 5.
- *Área\_ha*: cálculo de geometría para cuantificar superficie en hectáreas por clase.

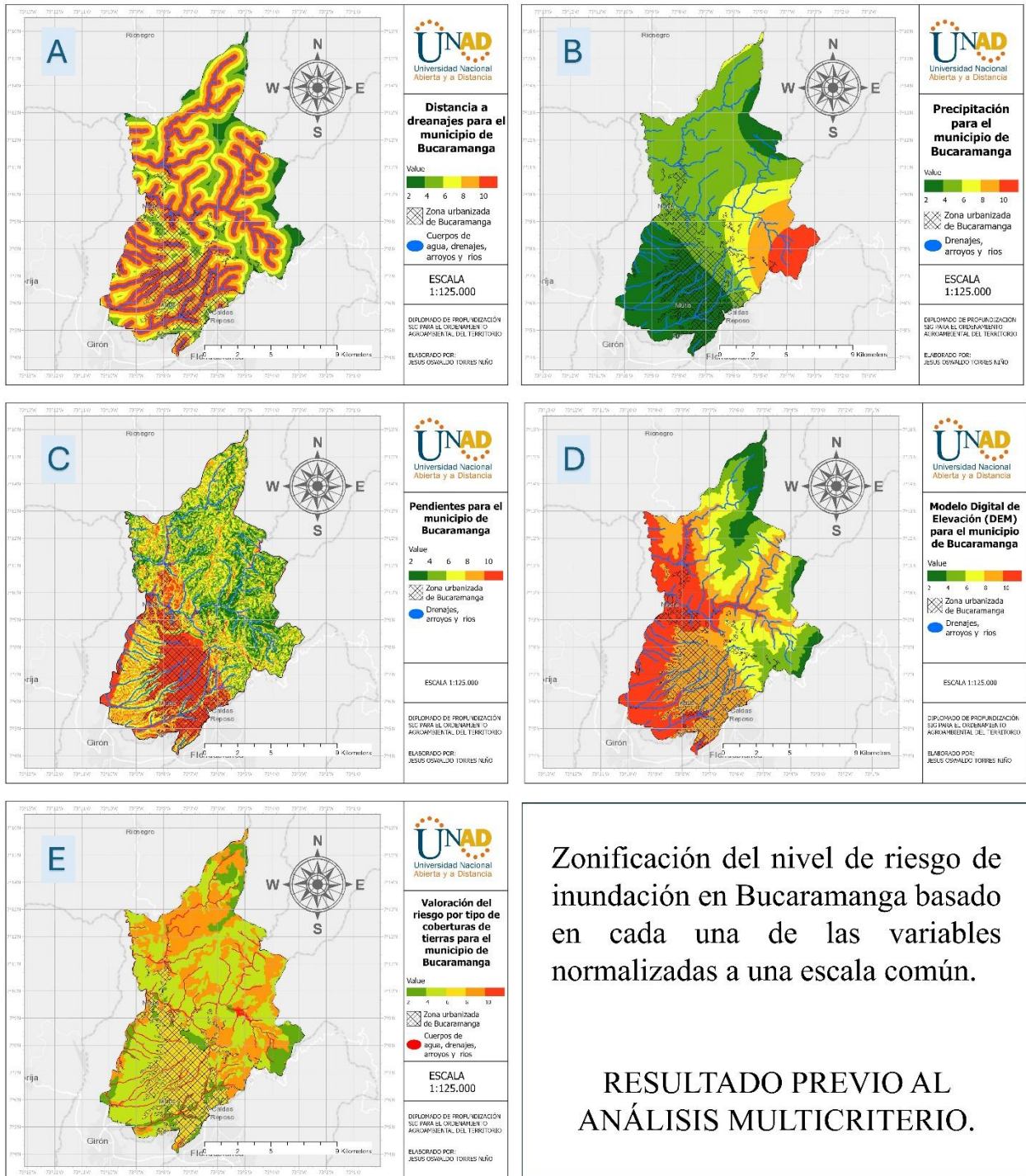
Esta información permite evaluar el impacto potencial del riesgo de inundación sobre comunidades, infraestructura, áreas agropecuarias y ecosistemas locales. Los resultados fueron representados en un mapa temático final (**Figura 4**), complementado con gráficos automatizados generados en ArcGIS Pro (**Figuras 5**), que permiten visualizar comparativamente la distribución espacial y cuantitativa de las clases de riesgo. Estos productos facilitan la interpretación técnica y la comunicación de resultados hacia públicos especializados y/o tomadores de decisiones locales en materia de gestión del riesgo y ordenamiento territorial para el municipio de estudio.

### 5. Resultados

Los productos cartográficos presentados a continuación no representan todos los pasos intermedios que fueron descritos con claridad en la metodología. Sin embargo, muestra y describe los productos clave obtenidos en cada fase analítica, especialmente los que sustentan las conclusiones principales. Todos estos mapas

están disponibles para consulta como como anexos para garantizar su calidad de resolución.

La reclasificación de las variables permitió estandarizar la escala de análisis, revelando que



Zonificación del nivel de riesgo de inundación en Bucaramanga basado en cada una de las variables normalizadas a una escala común.

RESULTADO PREVIO AL ANÁLISIS MULTICRITERIO.

Figura 2. Insumos cartográficos y variables reclasificadas. Mapas de las variables utilizadas luego de la respectiva reclasificación. A: distancia a drenajes, B: precipitación, C: pendientes, D: Modelo digital de elevación, y E: cobertura de tierras.

las zonas con menor altitud, alta precipitación y proximidad a drenajes tienden a concentrarse en áreas de mayor susceptibilidad. Se aisló la cobertura de tierra de zonas urbanizadas para solaparla con cada una de las variables y permitir una exploración visual a partir de la **Figura 2**. Esta muestra un collage con los cinco mapas ráster ya reclasificados: altitud (DEM), pendiente, cobertura de tierras, precipitación y distancia a drenajes. Como es el paso previo al análisis multicriterio, cada uno muestra la escala de riesgo (de 2 a 10) con su respectiva leyenda.

La capa de zona urbanizada permite identificar las zonas donde se concentra la población del municipio, además para cada mapa de los que compone el mapa de insumos cartográficos y variables reclasificadas, se ajustó la simbología

conforme la valoración relativa que se tendrá en cuenta para el análisis multicriterio por suma ponderada.

### 5.1. Índice ponderado de riesgo de inundación

El índice ponderado obtenido, derivado del análisis multicriterio donde se combinan las capas de datos de la **figura 2** como factores determinantes, con un peso específico de importancia relativa para la modelación del riesgo de inundación como se explica en la metodología (sección 4.4), se presenta en el mapa de la **figura 3**. Este producto cartográfico facilita la identificación de gradientes de amenaza y permite distinguir

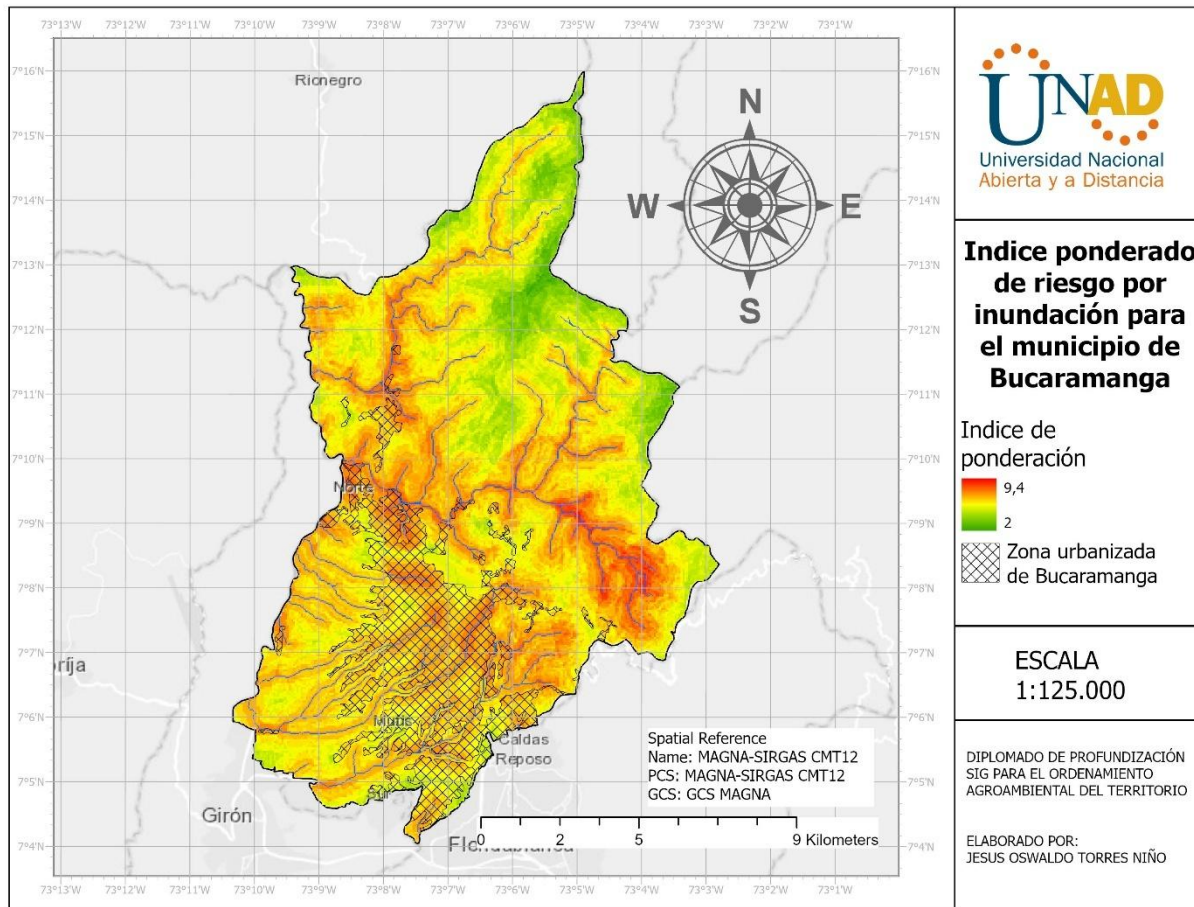


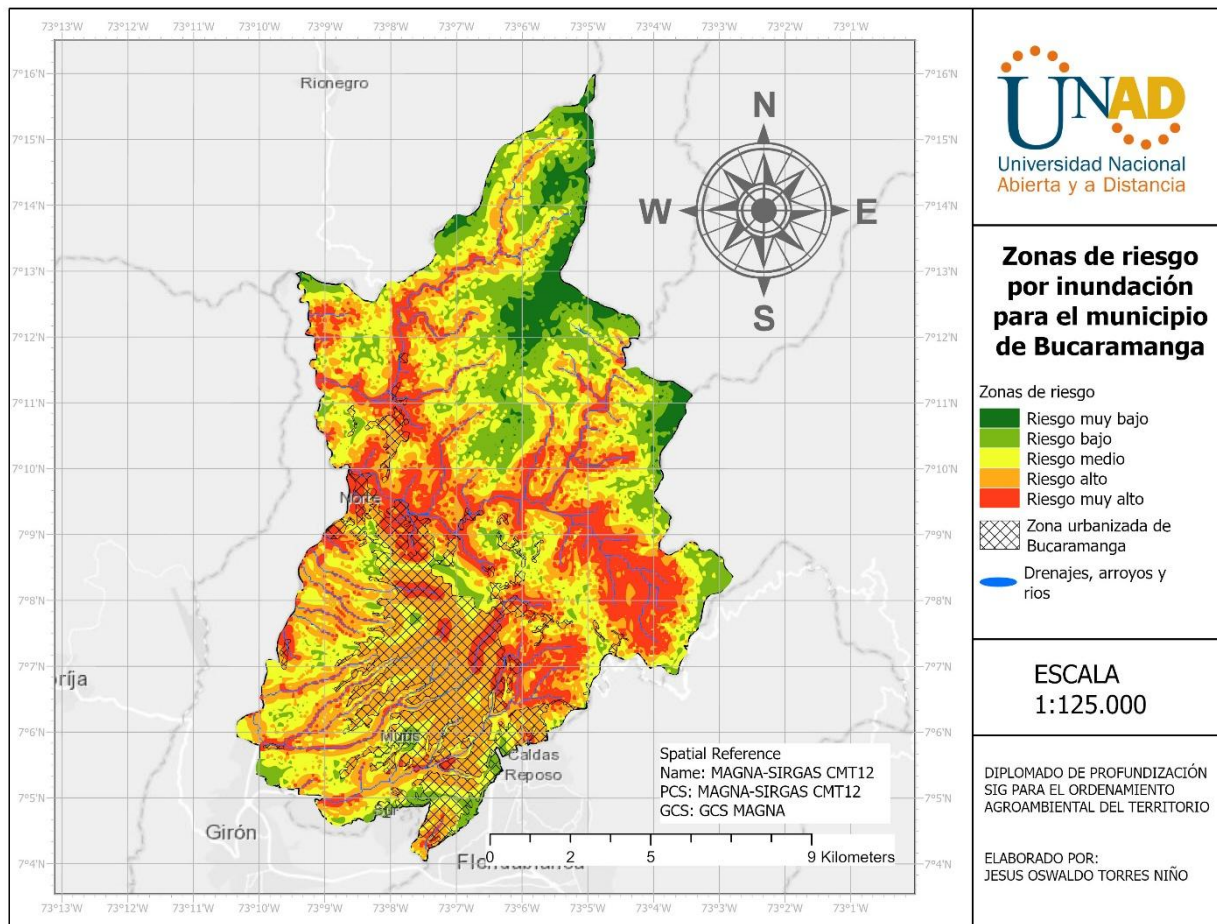
Figura 3. Mapa del índice ponderado de riesgo por inundación para el municipio de Bucaramanga.

sectores prioritarios para la gestión del riesgo, especialmente en zonas donde coinciden condiciones topográficas bajas, pendientes suaves y alta precipitación.

Los mapas de las **Figura 3** y **4** muestran una distribución espacial heterogénea del riesgo, donde los valores más altos (colores rojo y naranja) se localizan principalmente en el suroccidente y centro-sur del municipio, incluyendo áreas urbanizadas como el sector central de Bucaramanga. Estas zonas presentan condiciones físicas propensas a la acumulación de escorrentía, lo que sugiere

una alta vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos extremos. En contraste, los sectores norte y noreste del municipio evidencian un menor riesgo (tonalidades verdes), asociado a mayores elevaciones y pendientes pronunciadas que favorecen el drenaje natural. La simbología empleada permite visualizar con claridad el gradiente de riesgo, siendo útil tanto para el análisis técnico como para la comunicación a tomadores de decisiones.

La **Figura 4** representa el resultado final del modelo de riesgo por inundación, derivado de



**Figura 4.** Clasificación cualitativa del riesgo por inundación en el municipio de Bucaramanga, con jerarquización en categorías ordinales desde riesgo muy bajo hasta riesgo muy alto, se le incluye la red de drenajes y la maya de la zona urbana para facilitar su interpretación.

la reclasificación del índice ponderado generado mediante análisis multicriterio.

Es destacable que muchas de las áreas clasificadas como de riesgo alto y muy alto (colores naranja y rojo) están espacialmente asociadas a corredores hídricos y áreas de planicie adyacentes a la zona urbana central, reflejando la interacción entre los factores físicos y la presión antrópica. En contraste, los polígonos de riesgo bajo y muy bajo (en verde) se distribuyen en sectores periféricos, de mayor altitud o con menor densidad de drenaje superficial.

Los resultados cuantitativos representados en la **Figura 5** permiten analizar de manera precisa la distribución territorial del riesgo de inundación en Bucaramanga. El gráfico de barras muestra que la mayor proporción del área se concentra en las categorías de riesgo medio (4.527,79 ha; 30,0%) y riesgo alto (4.423,38 ha; 30,6%), lo cual indica una marcada exposición del territorio a niveles intermedios y elevados de amenaza hídrica. La categoría de riesgo muy alto, que representa 2.604,30 ha (17,4%), también refleja una superficie considerable, con implicaciones

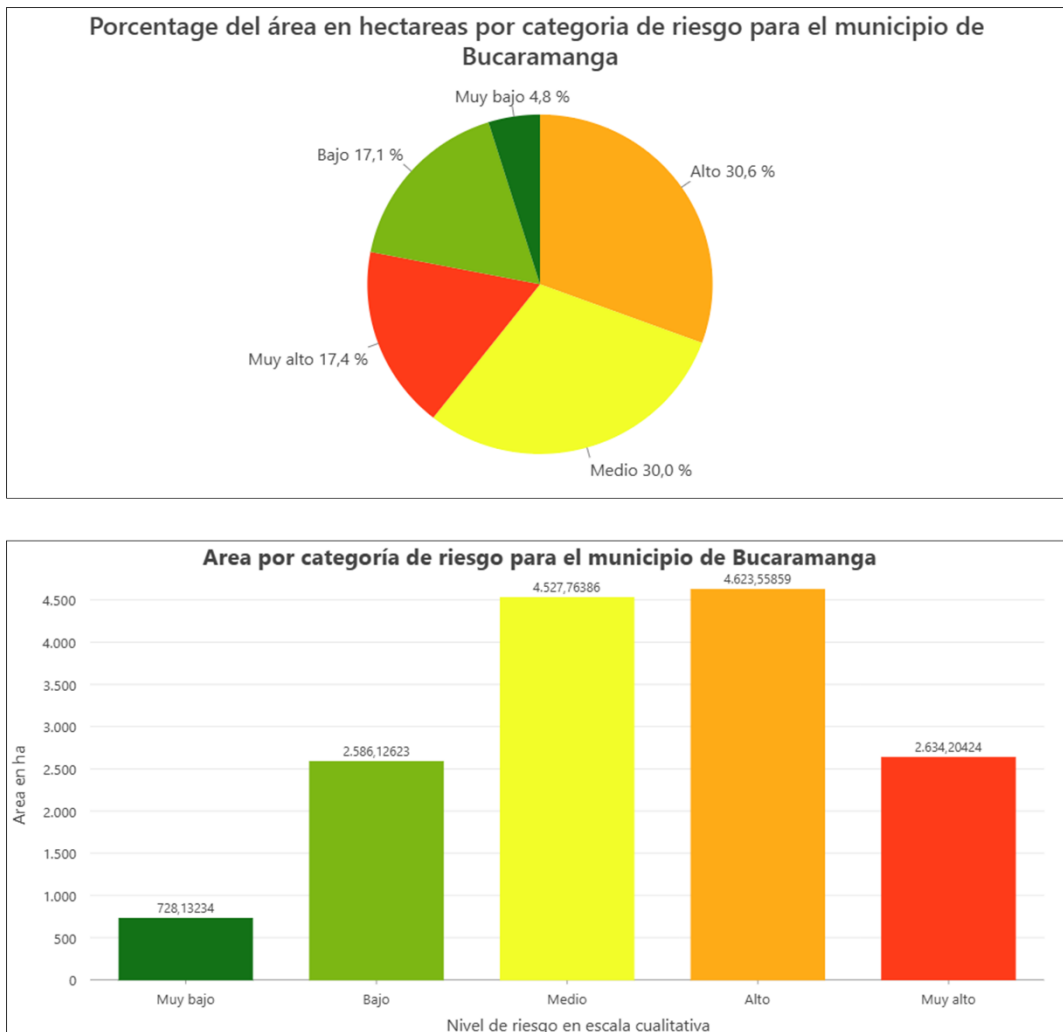


Figura 5. Distribución porcentual y absoluta del área por categoría de riesgo de inundación en el municipio de Bucaramanga.

directas sobre posibles afectaciones a infraestructuras, viviendas y áreas agrícolas localizadas en zonas bajas y cercanas a drenajes.

Por otro lado, las zonas clasificadas como de **riesgo bajo** (2.586,12 ha; 17,1 %) y **muy bajo** (728,12 ha; 4,8 %) ocupan una menor proporción del municipio, principalmente en áreas de mayor altitud o pendiente, donde las condiciones topográficas reducen la susceptibilidad a inundaciones. Esta distribución refuerza los hallazgos espaciales del modelo vectorial (Figura 4) y proporciona un insumo valioso para la toma de decisiones en la gestión del riesgo. La combinación de análisis espacial y gráfico aporta una visión integral que permite priorizar intervenciones, especialmente en sectores urbanos densamente poblados y áreas rurales con infraestructura crítica localizada en zonas de alta exposición.

## 6. Conclusiones

El presente estudio permitió identificar con claridad las zonas críticas del municipio de Bucaramanga que requieren atención prioritaria para la implementación de estrategias de mitigación frente al riesgo de inundación. La metodología aplicada demostró la efectividad de integrar información geoespacial con técnicas de análisis multicriterio en un entorno SIG, como ArcGIS Pro, lo que representa una herramienta robusta para abordar los desafíos territoriales derivados del cambio climático y la expansión urbana no planificada. En contextos urbanos densamente poblados como Bucaramanga, disponer de esta información resulta fundamental para anticipar desastres, proteger vidas humanas y reducir afectaciones sobre infraestructura y medios de subsistencia.

El análisis evidenció una distribución heterogénea del riesgo, con una alta concentración de áreas clasificadas en riesgo medio y alto, lo cual plantea la necesidad de adoptar medidas diferenciadas según el nivel de amenaza identificado. Los productos obtenidos: mapas temáticos, estadísticas y zonificaciones, constituyen insumos técnicos clave para orientar la formulación de políticas públicas, la planificación del ordenamiento territorial y la priorización de inversiones en infraestructura hidráulica. Asimismo, estos resultados fortalecen la toma de decisiones informadas orientadas a reducir la vulnerabilidad de la población ante eventos hidrometeorológicos extremos.

## 7. Recomendaciones

Priorizar la implementación de medidas de prevención y mitigación en las zonas clasificadas como de riesgo alto y muy alto, con énfasis en sectores urbanos densamente ocupados y áreas agrícolas vulnerables.

Establecer un sistema de monitoreo y actualización periódica del análisis de riesgo, especialmente en las zonas clasificadas con riesgo medio, alto y muy alto, con el fin de validar la precisión de los resultados y adaptar las estrategias de gestión territorial.

Interpretar con precaución los valores de riesgo estimados en las áreas cercanas a los bordes del polígono municipal, debido a una limitación metodológica identificada en el proceso de análisis. El modelo de distancia a drenajes tiende a subestimar el riesgo cuando los cauces principales coinciden con los límites del municipio. Este sesgo afecta particularmente al río Suratá, en los límites con Charta y Tona, y de manera más significativa al río de Oro, que marca la frontera entre Bucaramanga y Girón,

donde se han documentado eventos históricos de inundación.

Para corregir este sesgo espacial, se recomienda que futuros análisis trabajen con una máscara de recorte extendida, a través de un búfer externo al polígono municipal. Esto permitirá considerar adecuadamente los cuerpos hídricos limítrofes dentro del cálculo de distancias y mejorar la representación del riesgo en zonas fronterizas.

### Referencias bibliográficas

AMB. (2017). Área metropolitana de Bucaramanga. Obtenido de 102 Barrios del AMB tiene probabilidad de inundación en cauces de ríos Frío y de Oro.: <https://www.amb.gov.co/102-barrios-del-area-metropolitana-tienen-probabilidad-de-inundacion-en-cauces-de-rios-frio-y-de-oro-segun-estudios-del-amb/>

Celemín, J. P. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: Un análisis comparativo. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/17466>

Defensoría del Pueblo. (2005). Resolución Defensorial No. 034: Emergencia invernal en Bucaramanga y su área metropolitana. <https://www.defensoria.gov.co/documents/20123/1311006/defensorial34.pdf/d9d42d31-7913-c461-c3f5-fae0651d358c?t=1648529830362&download=true>

Gil Fernández, E. A., & Jiménez Gómez, C. (2019). Análisis en la relación Desarrollo-Riesgo-Desastre, en la zona urbana del municipio de Manizales. Universidad Católica

de Manizales. Tesis. <https://repositorio.ucm.edu.co/entities/publication/6d386c90-4f03-4bb9-a812-2ddd65d1a088>

IGAC. (s.f.). INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC. Geoportal. <https://geoportal.igac.gov.co/>

Kilô Ardila, E. (2020, enero 29). La historia se repite y no se aprenden las lecciones de las lluvias. Vanguardia. <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/2020/01/29/la-historia-se-repite-y-no-se-aprenden-las-lecciones-de-las-lluvias/>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). Natural disaster in Colombia impacts population already displaced by violence. Boletín de Desastres. <https://www3.paho.org/disasters/newsletter/292-natural-disaster-in-colombia-impacts-population-already-displaced-by-violence-148-193-es.html>

Panqueva, H., & Castellanos, A. (2020). Inundaciones en Bucaramanga y el Área Metropolitana [Especial periodístico]. Vanguardia. <https://portales.vanguardia.com/especiales-vanguardia/contenido/inundaciones-en-Bucaramanga-y-el-area/>

QGIS. (2024). QGIS. Trabajar con Datos Vectoriales: [https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user\\_manual/working\\_with\\_vector/index.html](https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user_manual/working_with_vector/index.html)

Santos, P., Reis, E., Pereira, S., & Santos, M. (2019). Un modelo de susceptibilidad a inundaciones a escala nacional basado en

análisis multicriterio. The Science of the Total Environment, 667, 325-337.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.328>

Tetteh, E. N., Rathnayake, U., & Quayeballard, J. A. (2025). Developing a fluvial flood risk index using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. Environmental Challenges, 12, 100982.  
<https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2025.06.001>

Trujillo Ocampo, J. G. (2021). Análisis e identificación de zonas con alto riesgo de inundaciones en el Área Metropolitana de Bucaramanga (Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada). Repositorio Institucional UMNG.  
[https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/208ef60c-fbe0-4569-a664-6b1acb9f6af7/content?utm\\_source=chatgpt.com](https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/208ef60c-fbe0-4569-a664-6b1acb9f6af7/content?utm_source=chatgpt.com)

**Enlace de sustentación:**

<https://youtu.be/WFvmlLvi9Xk>