

Evaluación del Riesgo de Inundación en el Municipio de Zipaquirá Mediante Análisis Multicriterio en SIG

Autores:

Cristian Cardozo - cccardozos@unadvirtual.edu.co
Diana Carolina Reyes - dcreyesg@unadvirtual.edu.co
Lady Murcia - lmurciar@unadvirtual.edu.co
Marly Chaparro - mlchaparrob@unadvirtual.edu.co
Pedro Lombana – plombanar@unadvirtual.edu.co

Docente Asesor: William Naranjo Gutiérrez - wnaranjog@unad.edu.co

Resumen

El estudio desarrolla un modelo cartográfico digital para evaluar el riesgo de inundación en Zipaquirá mediante análisis multicriterio en SIG. Se integraron cinco variables espaciales: pendiente, uso del suelo, proximidad a cuerpos hídricos, precipitación y drenaje, aplicando ponderaciones específicas según su influencia en el fenómeno. El análisis reveló que 75,22 km² del municipio (39,3% del territorio) presentan riesgo alto y muy alto, concentrados principalmente en los sectores de los ríos Frío y Negro. Las zonas de riesgo muy alto ocupan 16,9 km² (8,8%), mientras que las de riesgo alto alcanzan 58,4 km² (30,5%). Estas áreas se caracterizan por pendientes menores a 5°, alta acumulación de flujo hídrico y uso del suelo urbano-agropecuario en zonas inundables. El modelo identificó que aproximadamente 24,65 km² del área urbana (85% de los 29 km² totales) se encuentran expuestos, afectando infraestructura, viviendas y actividades productivas. Los sectores con pendientes pronunciadas presentan riesgo bajo y muy bajo (conjuntamente 39,1% del territorio). Finalmente, se exponen recomendaciones orientadas a la gestión preventiva del riesgo, priorizando intervenciones en los sectores más expuestos y promoviendo el uso de herramientas geoespaciales como soporte para la planificación territorial y la toma de decisiones ambientales.

Palabras claves: Análisis de la distribución del riesgo; factores que representan riesgo de inundación; mapa de riesgo de inundación; prevención del riesgo.

Introducción

El calentamiento global, con cambios de clima cada vez más abruptos, está incrementando el riesgo de inundaciones (ACNUR, 2024). El agua y el cambio climático están estrechamente relacionados. El cambio climático afecta al agua presente en el planeta de formas complejas. Desde patrones de precipitación impredecibles hasta la reducción de las capas de hielo, pasando por el aumento del nivel del mar, inundaciones y sequías (ONU, s.f.). Los cambios en el clima y los fenómenos meteorológicos extremos han afectado severamente a América Latina, provocando el desplazamiento de miles de personas, numerosas muertes e importantes pérdidas económicas

ECAPMA

UNAD

(WWF, s.f.). El aumento de las temperaturas globales incrementa la humedad que la atmósfera puede retener, lo que provoca tormentas y lluvias torrenciales (Banco Mundial, 2017).

La modelación de datos geográficos para la prevención del riesgo de inundación en el municipio de Zipaquirá es primordial para determinar las áreas susceptibles a la amenaza y orientar acciones preventivas que eviten la pérdida de vidas humanas, bienes y actividades productivas esenciales para el territorio. Los SIG apoyan los esfuerzos de reducción del riesgo de desastres y el análisis de vulnerabilidad; mediante el procesamiento de datos espaciales y técnicas de modelación es posible identificar las fuentes de riesgo, reconocer las zonas más expuestas, estimar potenciales impactos y fortalecer la formulación de políticas públicas basadas en evidencia (Esri, s.f.). Las inundaciones afectan a comunidades urbanas y rurales por igual, exponiendo a la población a desbordamientos de ríos, deslizamientos y crecientes súbitas. Los daños materiales se concentran en infraestructura, viviendas, cultivos agrícolas, vías y servicios públicos, generando una presión económica significativa para el país y sus habitantes (Valuative, s.f.). En este contexto, la elaboración de un producto cartográfico digital para Zipaquirá constituye una herramienta técnica esencial para comprender la dinámica espacial del riesgo y apoyar la planificación territorial. El uso de análisis multicriterio y datos ráster y vectoriales permite integrar variables ambientales clave y representar de manera precisa los niveles de riesgo. Esta aproximación contribuye a fortalecer la gestión del riesgo local, promover intervenciones oportunas y mejorar la resiliencia del municipio frente a eventos hidrometeorológicos cada vez más frecuentes e intensos. El municipio de Zipaquirá, dadas sus características geomorfológicas y los niveles de precipitación que se producen principalmente entre los meses de abril–mayo y octubre–noviembre (según datos históricos), es susceptible a sufrir inundaciones, poniendo en riesgo a la población y sus actividades productivas. Considerando lo anterior, se destaca la importancia de conocer con certeza las zonas más vulnerables del municipio para poder realizar una gestión efectiva de acciones para prevenir el riesgo de inundación y posibles pérdidas económicas, materiales y de vidas humanas. El propósito de este ejercicio es aplicar un modelo de análisis multicriterio en un entorno SIG para integrar las variables ambientales determinantes del riesgo y generar el mapa de inundación del municipio. Con ello se busca realizar una primera interpretación espacial de las zonas más críticas, proporcionando una base técnica para orientar acciones de gestión y prevención del riesgo en Zipaquirá.

Objetivos

General

Desarrollar un modelo espacial para la evaluación del riesgo de inundación en el municipio de Zipaquirá, mediante la integración de análisis multicriterio con herramientas de Sistemas de Información Geográfica, que permita generar la cartografía digital correspondiente.

Específicos

ECAPMA

UNAD

- Construir un producto cartográfico digital, asociado a fenómenos o problemáticas agroambientales del municipio de Zipaquirá, empleando ArcGIS Pro que permite generar mapas temáticos y realizar cálculos geométricos
- Identificar criterios clave que permitan determinar la peligrosidad y vulnerabilidad ante inundaciones del municipio de Zipaquirá, aplicando los fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica
- Analizar metodologías de impacto ambiental y paisajístico, argumentando mediante el uso de lenguaje técnico y científico la aplicación de técnicas de modelación espacial en el ordenamiento agroambiental.

Identificación del caso de estudio Zipaquirá, Cundinamarca

El municipio de Zipaquirá es un municipio de Colombia; está ubicado en el departamento de Cundinamarca, sobre la cordillera Oriental de los Andes. Se localiza a aproximadamente 41 km al norte de Bogotá D.C. y forma parte de la provincia de Sabana Centro. El municipio se divide en dos grandes áreas: la zona urbana, compuesta por barrios y unidades comuneras, y la zona rural, distribuida en 10 veredas y 3 inspecciones de policía (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2023). Su posición estratégica en la región central del país lo convierte en un nodo importante de conexión vial y económica.

El clima de Zipaquirá es frío húmedo, con una temperatura promedio de 14°C y un régimen bimodal de lluvias. Los periodos más lluviosos se presentan entre abril–mayo y octubre–noviembre del 2025, según datos históricos, con precipitaciones mensuales que pueden superar los 120 mm. Estas condiciones, según el IDEAM (2015), favorecen eventos extremos de corta duración y alta intensidad, generando crecientes súbitos en quebradas y ríos, lo que consolida a la precipitación como el principal factor detonante de inundaciones en el municipio.

Zipaquirá forma parte del corredor Chingaza – Sumapaz – Guerrero, un territorio de alta montaña andina. Su topografía combina zonas de páramo, subpáramo y sectores de ladera con altas pendientes. Este relieve favorece: aceleración del escurrimiento superficial, susceptibilidad a avenidas torrenciales y menor capacidad de retención hídrica en zonas intervenidas (Espitia M., 2020).

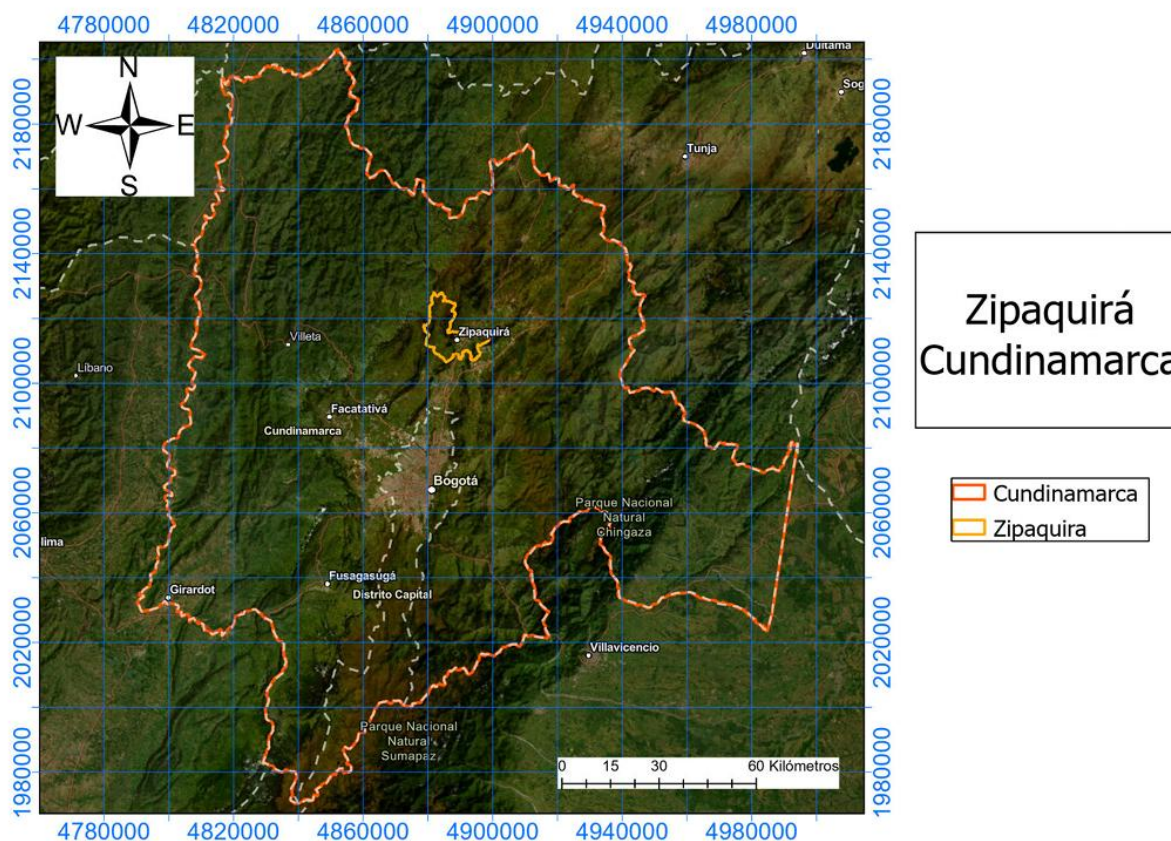
Según Espitia M. (2020), gran parte del municipio presenta una intervención agropecuaria significativa, transformación de coberturas naturales y pérdida de la vegetación. Estas condiciones generan una mayor susceptibilidad al exceso de escorrentía durante periodos de lluvia intensa.

Figura 1.

Mapa de ubicación geográfica de Zipaquirá

ECAPMA

UNAD



Fuente: Lombana P., (2025) ArcGIS Pro

Según el Plan de Desarrollo Municipal (2020–2023), Zipaquirá (figura 1) posee una extensión total de 194 km², de los cuales aproximadamente el 15% corresponde al área urbana, unos 29 km², y el 85% restante al área rural, 165 km². La población supera los 130.000 habitantes, con cerca del 85% residiendo en la cabecera municipal y el 15% en la zona rural. Estas cifras reflejan una dinámica urbana creciente, con presión sobre el suelo y los recursos hídricos (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2020). Teniendo en cuenta las pendientes pronunciadas en las partes altas del municipio, zonas planas de acumulación en el valle y una red hídrica activa constantemente, incrementa la susceptibilidad a inundaciones, especialmente en épocas de lluvias intensas. Según estudios del IDEAM (2015), la zona urbana cercana a los ríos Frío y Negro presenta amenaza por inundación, sumado a la expansión urbana no planificada o contemplada en el POT que ha reducido la capacidad natural de infiltración y aumentado la escorrentía superficial.

Metodología

El análisis multicriterio aplicado al riesgo por inundación descrito en la figura 2, permite integrar en un solo modelo diversas variables ambientales y socioespaciales que influyen en la ocurrencia de este fenómeno. Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, específicamente a través del software ArcGIS Pro de Esri, se combinan factores como la topografía, la proximidad a cuerpos hídricos, la intensidad de las lluvias, el uso del suelo y la exposición de la población, generando una representación espacial que identifica las zonas más susceptibles. Este enfoque

ECAPMA

UNAD

facilita una evaluación rápida y estructurada del riesgo, útil para la planificación territorial, la gestión preventiva y la toma de decisiones en contextos donde las inundaciones representan una amenaza recurrente.

Figura 2.

Diagrama de la metodología utilizada



Figura 3.

Ráster del modelo digital de elevación (DEM) - Slope del municipio de Zipaquirá



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro

ECAPMA

UNAD

Se incorporaron las capas base necesarias para iniciar la elaboración del mapa de riesgo por inundación. En esta etapa se cargaron el ráster del modelo digital de elevación DEM (figura 3), el ráster de pendientes derivado de dicho modelo y el polígono correspondiente al municipio de Zipaquirá, los cuales sirven como insumo fundamental para el análisis espacial.

Figura 4.

Cobertura de tierras.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

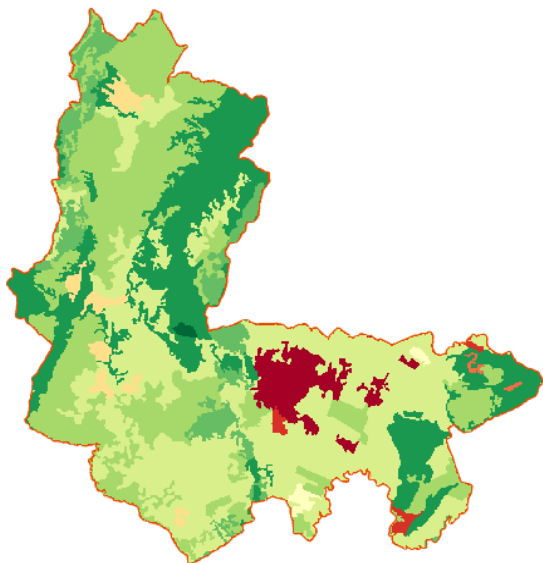
Tabla 1. Matriz de clasificación por niveles

OBJECTID	nivel_2	Shape_Length	Shape_Area
1	1.1. Zonas urbanizadas	41165,32795	7512420,129
2	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	11563,70755	1137399,861
3	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	6530,957625	322753,9667
4	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	845,8711577	17121,66018
5	2.1. Cultivos transitorios	33487,54123	4148319,314
6	2.2. Cultivos permanentes	8892,394576	1008104,007
7	2.3. Pastos	352672,979	69068000,36
8	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	301719,0009	56424560,49
9	3.1. Bosques	133041,5225	12623033,26
10	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	263110,1362	41970095,25
11	5.1. Aguas continentales	2466,07468	338824,4408

Nota: Se incorpora la capa de cobertura al proyecto (figura 3), se recorta al límite municipal y se disuelve la información para simplificarla y facilitar su manejo durante el análisis.

Figura 5.

Transformación de la capa vectorial de cobertura de tierras.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Nota: La capa vectorial de cobertura de tierras se transforma a formato ráster utilizando la herramienta *Polígono a Ráster* en ArcGIS Pro, como se observa en la figura 5, con el fin de homogenizar los datos y permitir su integración en el análisis espacial.

Figura 6.

Extracción por máscara de la precipitación



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Nota: Se realiza la extracción por máscara sobre el ráster nacional de precipitación correspondiente al mes de noviembre (figura 6), identificando este mes como el de mayor aporte pluvial para el municipio de Zipaquirá. La operación se aplica primero al departamento de Cundinamarca y posteriormente al municipio, con el fin de obtener la información recortada y lista para su integración en el análisis.

Mediante la herramienta Relleno del módulo *Spatial Analyst* en ArcGIS Pro, se corrige el modelo digital de elevación del municipio de Zipaquirá, eliminando depresiones artificiales y garantizando la continuidad del flujo superficial para los análisis hidrológicos posteriores.

Figura 7.

Acumulación de flujo.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Se calcula la acumulación de flujo para cuantificar el número de celdas que drenan hacia cada celda ubicada en pendiente descendente (figura 7). Este procedimiento, realizado mediante la herramienta Acumulación de Flujo del módulo *Spatial Analyst* en ArcGIS Pro, permite identificar zonas donde el escurrimiento superficial se concentra y, por tanto, áreas con mayor susceptibilidad a acumulación de agua e inundación.

Se reclasifica el ráster de acumulación de flujo con el propósito de aislar exclusivamente las áreas que presentan los valores más altos de concentración de escorrentía. Para ello, se descartan los valores comprendidos entre el 0 y el 1% respecto al máximo de acumulación, conservando únicamente las celdas que representan los drenajes más relevantes. Este proceso permite depurar

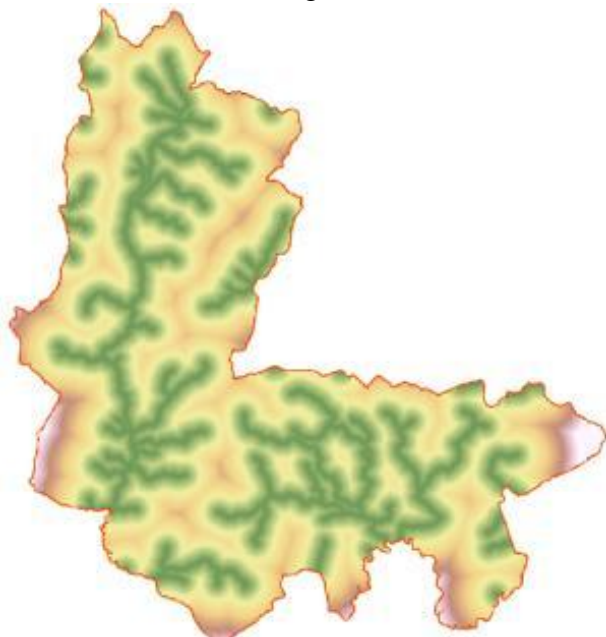
ECAPMA

UNAD

la información y resaltar de manera clara las zonas con mayor importancia hidrológica dentro del territorio.

Figura 8.

Distancias a cursos de agua.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

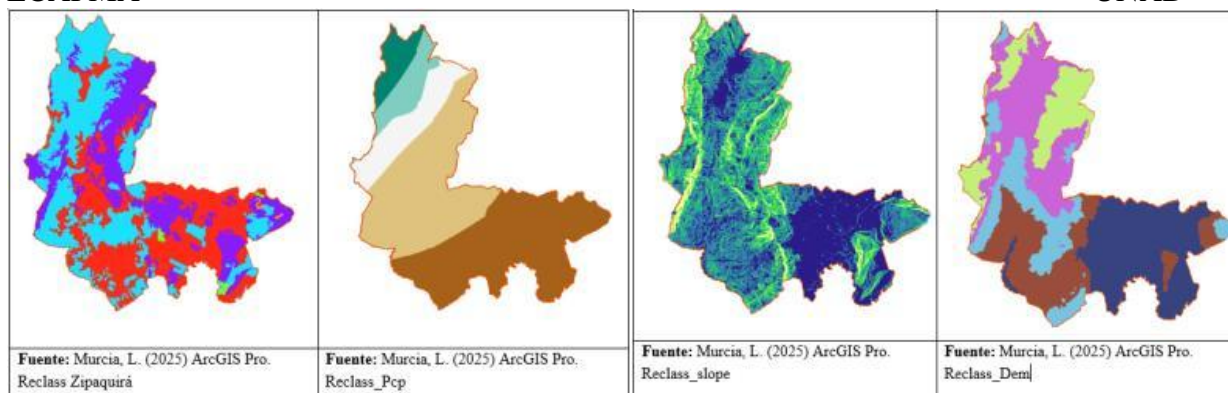
La distancia a los cursos de agua se calcula utilizando la herramienta Acumulación de Distancia del panel *Spatial Analyst* en ArcGIS Pro. Este procedimiento genera un ráster que representa, para cada celda del territorio, la distancia mínima al drenaje más cercano, como se muestra en la figura 8. El resultado permite identificar la proximidad a los cuerpos hídricos, una variable clave para evaluar la susceptibilidad a inundaciones y otros procesos asociados a la dinámica hídrica.

Segunda Parte**Figura 9.**

Reclasificación de capas ráster:

ECAPMA

UNAD



Se reclasifican las capas del modelo digital de elevación (DEM), el ráster de pendientes, el ráster de precipitaciones. Este proceso permite estandarizar sus valores en una misma escala y asegurar su adecuada integración en el modelo de análisis multicriterio para la generación del mapa de riesgo de inundación del municipio de Zipaquirá (figura 9).

La reclasificación se realiza asignando rangos y valores de riesgo a cada variable, de acuerdo con su contribución relativa al fenómeno de inundación. A continuación, se presenta la tabla con los valores establecidos para cada nivel de riesgo:

Tabla 2. Matriz de clasificación cualitativa

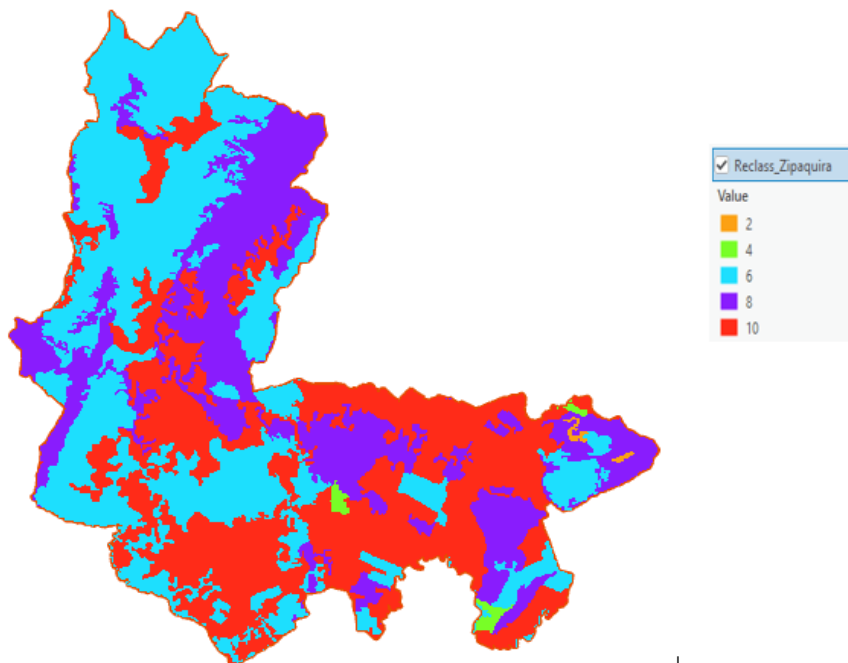
Clasificación	Valores
Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

Figura 10.

Configuración de la simbología del ráster de cobertura de tierras.

ECAPMA

UNAD



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Se ajusta la simbología del ráster de cobertura de tierras para representar adecuadamente los valores numéricos asignados durante la fase de reclasificación (figura 10). Esta configuración permite diferenciar de manera clara cada categoría de uso y cobertura del suelo, facilitando la interpretación visual de la información y su integración en el análisis de riesgo por inundación.

Tabla 3. Matriz de susceptibilidad al riesgo

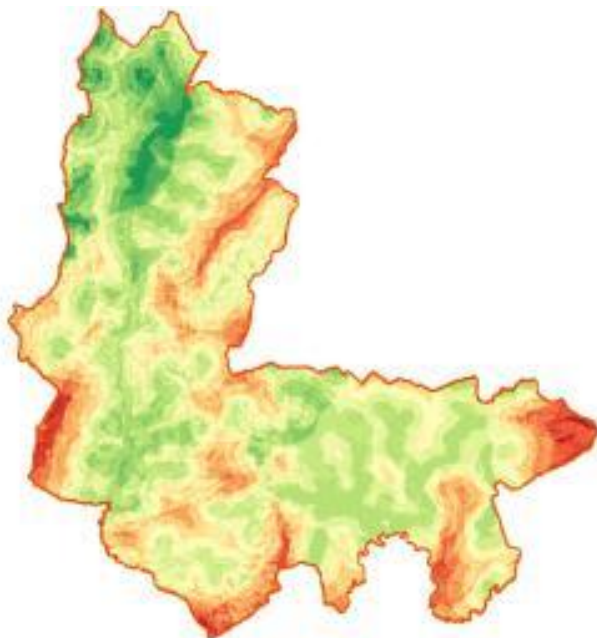
Cobertura de la tierra	Valor de riesgo
Zonas urbanizadas	10
Zonas industriales	8
Cultivos transitorios y permanentes	6
Pastos	4
Áreas agrícolas heterogéneas	6
Bosques	2
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	8
Aguas continentales	10

Nota: La tabla relaciona las categorías de cobertura del suelo (nivel 2) con los valores propuestos de clasificación de riesgo.

Figura 11.
Suma ponderada

ECAPMA

UNAD



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Este proceso permite integrar de manera conjunta las diferentes capas de información empleadas en el análisis, asignando a cada una un peso específico de acuerdo con su influencia relativa en la generación del riesgo. La combinación ponderada garantiza que los factores más determinantes tengan mayor incidencia en el resultado final del modelo. El resultado de la ponderación lo encontramos en la figura 11.

Los valores de peso asignados a cada variable se presentan en la siguiente tabla:

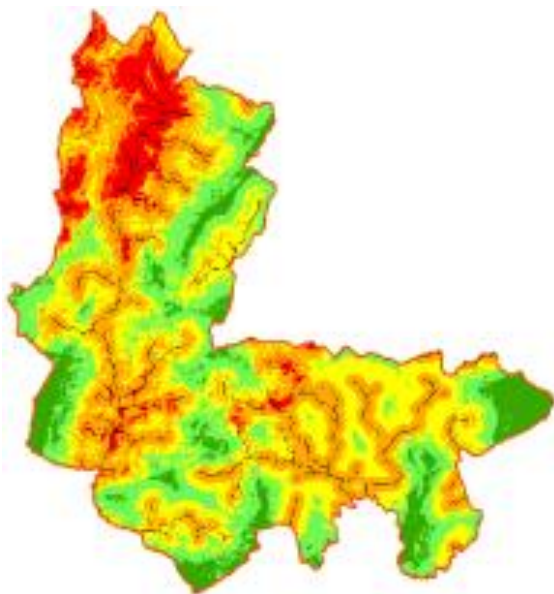
Tabla 4. Matriz de porcentajes asignados a cada factor

Factor	Porcentaje	/100
Modelo de elevación digital DEM	10%	0.1
Pendientes	15%	0.15
Coberturas de tierras (Land cover)	10%	0.1
Precipitación	35%	0.35
Distancia entre drenajes	30%	0.3
Total	100%	1

Nota: La tabla relaciona los valores de peso asignados a cada variable

Figura 12.

Reclasificación del ráster de ponderación:



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Se realiza la reclasificación del ráster resultante de la suma ponderada con el fin de asignar los valores correspondientes a los distintos niveles de riesgo, como se muestra en la figura 12. Este paso permite transformar el índice continuo obtenido en categorías interpretables, facilitando la lectura y análisis del mapa final.

Los valores asignados a cada nivel de riesgo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Matriz de clasificación por tipo de riesgo

<i>Valores</i>	<i>Simbología</i>
<i>1</i>	
<i>2</i>	
<i>3</i>	
<i>4</i>	
<i>5</i>	

Nota: La tabla relaciona las 5 categorías de riesgo de inundación, lo cual se maneja por cada nivel un color en específico.

Tercera Parte

Figura 13.

Transformación del ráster de riesgo de inundación a archivo vectorial:

ECAPMA

UNAD



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Se convierte el ráster de riesgo de inundación a formato vectorial (figura 13) mediante la herramienta De ráster a polígono. Esta transformación permite manejar la información de manera más eficiente, facilita la edición y análisis posterior, y mejora la presentación cartográfica de los resultados.

Figura 14.

Suavizar polígono



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Este geoproceto permite suavizar los ángulos demasiado marcados presentes en el archivo vectorial, como se muestra en la figura 14, generando contornos más uniformes y continuos. Su aplicación mejora la calidad estética de la cartografía y facilita una representación más limpia y legible de las zonas de riesgo.

Disolver la información del vectorial suavizado:

Se aplica el geoproceto de disolución al archivo vectorial suavizado con el fin de integrar polígonos pertenecientes a una misma categoría de riesgo. Este paso simplifica la estructura de la tabla de atributos, reduce la fragmentación y facilita su manejo en las etapas posteriores de análisis y representación cartográfica.

Editar tabla de atributos:

Se actualiza la tabla de atributos del archivo vectorial final mediante la creación de dos columnas: una destinada a registrar los niveles de riesgo de inundación asignados a cada polígono y otra para almacenar el cálculo del área correspondiente a cada categoría. Esta edición permite estructurar la información de forma clara y contribuye a una presentación más completa y útil de los resultados del estudio.

Ajuste de la simbología:

Se configura la simbología del archivo vectorial utilizando la opción de valores únicos, lo que permite asignar de manera precisa los colores correspondientes a cada nivel de riesgo. Este ajuste garantiza una representación cartográfica coherente y facilita la identificación visual de las distintas categorías en el mapa final.

Diseño de mapa:

El mapa incorpora los elementos esenciales de la cartografía, garantizando una presentación adecuada y facilitando la interpretación de los niveles de riesgo de inundación.

Diseño del gráfico de las áreas de los niveles de riesgo:

Se elabora un gráfico que representa las áreas asociadas a cada nivel de riesgo con el propósito de facilitar su análisis desde una perspectiva visual. Esta representación permite comparar de manera rápida la extensión relativa de cada categoría, identificar las zonas predominantes y apoyar la interpretación de los resultados obtenidos en el modelo de riesgo por inundación.

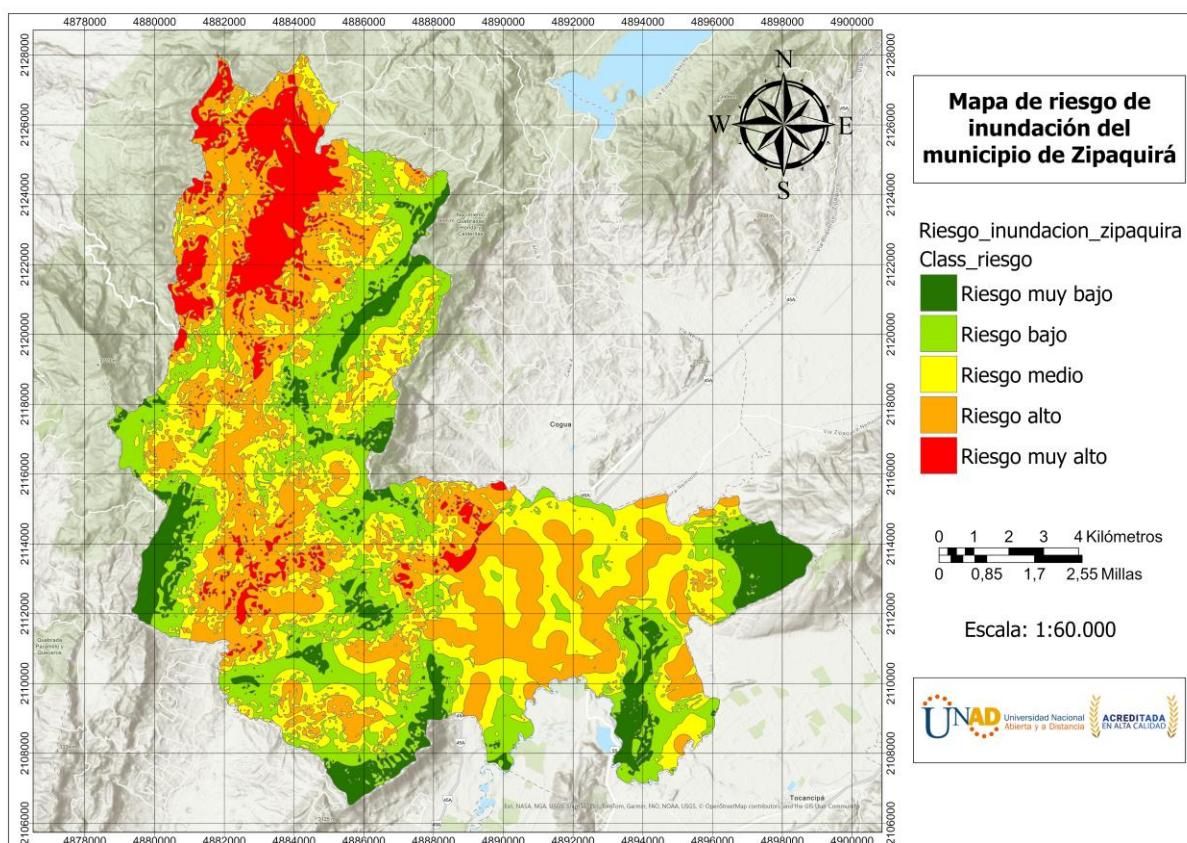
En el presente apartado, se exponen parte de los resultados obtenidos a partir de la serie de pasos definidos en la metodología, de la siguiente manera:

El proceso de análisis aplicado mediante herramientas de SIG permitió obtener el resultado de riesgo por inundación en el municipio de Zipaquirá, en el cual se ven reflejados 5 tipos de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, por escala, como se presenta en la Figura 15). La representación una variables ambientales como: pendiente, uso del suelo, proximidad a los cuerpos hídricos, precipitación y drenaje, las cuales generan una vulnerabilidad para el territorio a sufrir inundaciones causadas principalmente por grandes precipitaciones.

Además, se puede identificar la distribución del riesgo en el municipio, donde las zonas de riesgo muy alto se ubican en la parte noroccidental del territorio, con áreas de baja pendiente y cercanas a los ríos Frío y Negro. Adicionalmente, las clases de riesgo alto y medio tienen su distribución alta en zonas montañosas y planas. Por otra parte, en las clases bajas y muy bajas se ubican en el sector suroriental, cuyas pendientes son más notables y con menor tendencia a ser alterada por inundaciones.

Figura 15.

Mapa de riesgo por inundación del municipio de Zipaquirá.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro.

Tabla 6. Distribución de áreas por categoría de riesgo

Shape_Length	Shape_Area	Class_riesgo	Área_km2
225619,7162	18314239,51	1	18,31423951
636411,5509	44993409,74	2	44,99340974
900329,3643	52645132,53	3	52,64513253
737089,4207	58351703,41	4	58,35170341
242102,6288	16866629,48	5	16,86662948

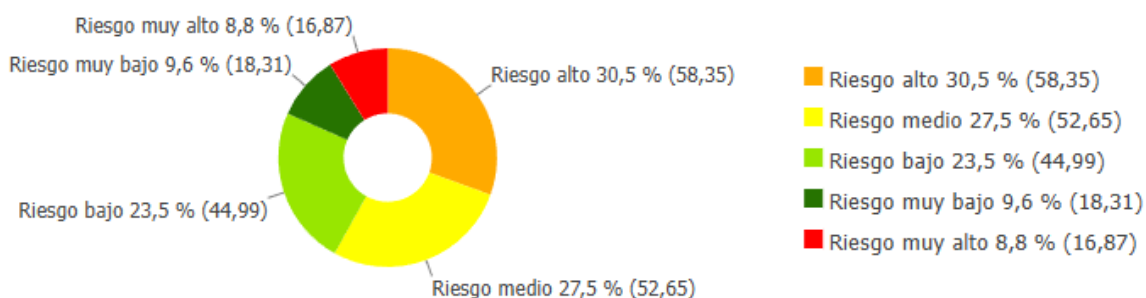
Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro

La cuantificación del área territorial se realiza para cada nivel de riesgo, donde la categoría de riesgo alto tiene la mayor extensión del municipio con 58,35 km² (30,5%) y, por otra parte, se tiene el riesgo muy alto tan solo con 16,86 km² (8,8%). Las zonas presentan características de la siguiente manera:

- Acumulación alta de flujo hídrico.
- Cuenta con topografía que tiene pendientes reducidas, menores a 5°.
- Se encuentra cercana a los ríos Frío y Negro.
- Se usa el suelo urbano y agropecuario en áreas de inundación.

Figura 16.

Distribución de área por riesgo.



Fuente: Murcia, L. (2025) ArcGIS Pro

Como se observa en la figura 16, las zonas existentes de riesgo muy alto y alto generan impacto en al menos 75,22 km² del municipio, exponiendo a la población, infraestructura y a las actividades de tipo productivo. Como se expone por la Alcaldía Municipal de Zipaquirá (2020) en el Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023, el área urbana de Zipaquirá ocupa alrededor de 29 km² y concentra el 85% de la población; en especial los situados en el margen izquierdo del río Negro y en las áreas de menor altitud del norte de la ciudad, se hallan clasificadas como de riesgo elevado

ECAPMA

UNAD

y muy elevado. Además, la comunidad queda expuesta a tener afectaciones en sus predios, tanto para los ubicados en zonas de expansión no planeada. Según Car (2015), el municipio ha presentado eventos de inundaciones debido a las temporadas en las que el río Negro ha crecido y, a consecuencia, han llegado al punto de evacuar a las familias, daños en la infraestructura y afectación de las vías de acceso; en el caso de la interrupción de vías, genera falta de accesibilidad en las veredas rurales y dificultad en los servicios de emergencia, salud, educación y otros. Estos escenarios han sido de claro ejemplo en el contexto colombiano, donde parte de las restricciones al acceso por ambiente físico han generado impactos en las vías terciarias y restringiendo el acceso, como se menciona en OCHA (2024).

Afectaciones a sistemas agropecuarios y ecosistemas

En el sector agropecuario, para el caso de Zipaquirá que tiene concentración en al menos 165 km² del área rural, tiene riesgos de inundación en siembras de maíz, papa y pastoreo para el ganado, por lo que genera a su vez la pérdida parcial de cultivos, erosión de los suelos y afectación del ganado que trae consigo impacto económico y disminución en la seguridad alimentaria (UNGRD, 2020; Sedano, K et al. 2013).

En las zonas de menor riesgo que se ubican al oriente, se alojan restos de bosque, exosistemas que resultan estratégicos; por lo tanto, dichas áreas son fundamentales para mantener fenómenos de inundaciones y reducción de escorrentía.

Relación con eventos históricos de inundación

Como se puede ver en el estudio de Car (2015), en el municipio hay varias eventualidades de inundaciones, por ejemplo, las ocurridas entre 2010 y 2011, cuyas temporadas reflejaban el fenómeno de La Niña, las cuales afectaron la zona norte y noroccidental, involucrando a las veredas aledañas a los ríos (zonas de riesgo alto y muy alto).

Además, como lo expone la UNGRD (2020), se ha evacuado a las familias, se pierden enseres, daños a nivel de los drenajes por saturación de aguas y desechos reportados en zonas donde la pendiente no es tan pronunciada. Por lo tanto, es de vital importancia incluir diferentes variables de tipo ambiental, para ver de forma estable los desafíos del fenómeno de inundaciones en los territorios. Adicionalmente, en el caso colombiano se han registrado 20.085 eventos de inundaciones entre los años 1914 y 2019 (30% del total de los desastres), con al menos 19.625.681 habitantes damnificados y 996.085 viviendas que fueron afectadas (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2020).

Conclusiones

- La distribución espacial del riesgo por inundación en Zipaquirá evidencia una clara concentración de amenazas en el sector noroccidental del municipio, donde coinciden condiciones de baja pendiente, alta acumulación de flujo y proximidad al Río Frío. El análisis permitió identificar con precisión las áreas más críticas, así como distinguir zonas de riesgo bajo y muy bajo en los sectores surorientales, caracterizados por pendientes pronunciadas y menor retención de agua. Esto demuestra que la hidrodinámica local está fuertemente condicionada por la topografía y la cercanía a la red hídrica principal.

- El uso de Sistemas de Información Geográfica y de análisis multicriterio resultó adecuado para la evaluación del riesgo de inundación en Zipaquirá, ya que permitió integrar de manera coherente múltiples variables ambientales (pendiente, uso de suelo, precipitación, distancia a drenajes y acumulación de flujo) dentro de un mismo modelo espacial. La capacidad de estandarizar, reclasificar y ponderar estas capas facilitó la obtención de un mapa de riesgo consistente, replicable y ajustado a las condiciones reales del territorio.
- Los resultados del modelo tienen implicaciones directas para la gestión del territorio y la prevención de afectaciones futuras en Zipaquirá, ya que permiten priorizar intervenciones en las zonas donde el riesgo es más alto y orientar la toma de decisiones en torno al uso del suelo, la expansión urbana y la protección de áreas expuestas. De manera cualitativa, el modelo evidencia patrones territoriales relevantes, como la concentración de riesgo en sectores con pendientes pronunciadas, zonas con alta impermeabilización del suelo y áreas donde la infraestructura de drenajes es insuficiente. Se identifican sectores donde la presión urbana supera la capacidad natural del territorio para absorber o disipar eventos extremos, lo que incrementa la vulnerabilidad local.
- Los resultados porcentuales del análisis permiten concluir que Zipaquirá enfrenta un nivel de amenaza significativo. Cerca del 39,3% del territorio municipal, equivalente a 75,22 km², se encuentra en condiciones de riesgo alto y muy alto, lo que representa más de un tercio de la extensión total del municipio. Dentro de esta proporción, el 8,8% del territorio (16,86 km²) corresponde específicamente a zonas de riesgo muy alto, ubicadas principalmente en las áreas cercanas a los ríos Frío y Negro. Estos porcentajes evidencian una concentración clara del riesgo en sectores puntuales y resaltan la necesidad de priorizar acciones de control del uso del suelo y prevención en los espacios más vulnerables, con el fin de reducir la exposición y mejorar la resiliencia territorial

Recomendaciones

Con base en los resultados del modelo multicriterio y la caracterización cuantitativa del riesgo de inundación en el municipio de Zipaquirá, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la gestión preventiva, el ordenamiento territorial y la resiliencia ambiental y social del municipio.

Dado que el 39,3% del territorio municipal (75,22 km²) se encuentra clasificado en el riesgo alto y muy alto, se recomienda establecer restricciones estrictas del uso del suelo en estas áreas, particularmente en los 16,86 km² (8,8%) de riesgo muy alto localizados cerca de los ríos Frío y Negro. Estas zonas deben ser declaradas como no urbanizadas, evitando nuevos proyectos residenciales, ampliaciones de infraestructuras y el uso que incrementen la impermeabilización del suelo.

ECAPMA

UNAD

Debido a la clara concentración de riesgo muy alto en los sectores noroccidentales del municipio, especialmente en áreas cercanas a los ríos Frío y Negro y en zonas con pendientes inferiores a 5°, se recomienda restringir la expansión urbana y actividades que incrementen la impermeabilización del suelo en estas áreas (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2020; IDEAM, 2015). Dichas zonas deben ser clasificadas como no aptas para nuevos desarrollos urbanísticos, en coherencia con los principios de gestión preventiva del riesgo establecidos a nivel nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Con el fin de reducir la velocidad de escorrentía y mejorar la infiltración, se propone restaurar los bosques riparios y establecer franjas buffer a lo largo de los ríos Frío y Negro, además de construir zanjas de infiltración en áreas agrícolas con pendientes moderadas, en especial en cultivos de maíz y papa, para reducir la erosión y controlar el flujo superficial (IGAC, 2015; FAO, 2017). Estas prácticas contribuyen a la retención natural de agua y disminuyen la carga sobre los drenajes.

Se evidenció que **24,65 km² del área urbana (85%)** se encuentran expuestos a niveles significativos de riesgo, lo cual coincide con antecedentes de afectaciones históricas y evacuaciones por desbordamientos del río Negro (Car, 2015). Por lo tanto, se recomienda modernizar y ampliar la infraestructura de drenaje, priorizando zonas críticas donde la acumulación de flujo y la baja pendiente potencian la inundación. Es fundamental incorporar obras de drenaje sostenible, limpieza periódica de alcantarillado y estructuras de conducción con capacidad acorde a los regímenes de precipitación bimodal (>120 mm/mes) reportados para el municipio (IDEAM, 2015).

Los eventos registrados durante el fenómeno de La Niña (2010–2011), que afectaron severamente la zona norte y noroccidental de Zipaquirá, evidencian la necesidad de sistemas de alerta temprana basados en datos hidrometeorológicos en tiempo real (Car, 2015; UNGRD, 2020). Por ello, se recomienda instalar estaciones automáticas de monitoreo de caudales y niveles de agua, así como sensores de precipitación en sectores estratégicos identificados como de acumulación de flujo o proximidad a drenajes.

Referencias bibliográficas

Alcaldía Municipal de Zipaquirá. (2023). *Esquema de ordenamiento territorial*. <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/7a464d5dc9fc4b35a49a7e59541e4288/about>

Alcaldía Municipal de Zipaquirá. (2020). Plan de desarrollo municipal 2020–2023. https://zipaquiracundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/zipaquiracundinamarca/content/files/000580/28960_acuerdo-municipal-n-05-de-2020_compressed_compressed.pdf

Car, U. T. A. (2015). *Inundaciones municipio Zipaquirá*. Gov.co:8443. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/handle/20.500.11762/32963>

FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. <http://www.fao.org/3/i8567es/I8567ES.pdf>

ECAPMA

UNAD

Espitia Mauricio (2020). Ficha para la inclusión de la gestión del cambio climático y la variabilidad climática en el ordenamiento territorial para Zipaquirá. MADS. Recuperado de: <https://www.conservation.org.co/media/Zipaquir%C3%A1.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2015). *Estudios de suelos y tierras de Colombia: Departamento de Cundinamarca*. <https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/TOMO%201.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del agua 2014*. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Política para la gestión del riesgo de desastres y el cambio climático. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/politica-gestion-riesgo-cambio-climatico.pdf>

OCHA. (2024). Colombia: Nueva afectación por inundación a mayor escala en la subregión de La Mojana. <https://www.unocha.org/publications/report/colombia/colombia-nueva-afectacion-por-inundacion-mayor-escala-en-la-subregion-de-la-mojana-flash-update-no-1-11072024>

Sedano, K; Carvajal, Y; & Ávila, J. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. Luna Azul, (37), 219-238. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742013000200014&lng=en&tlng=es.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2020). ¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia?. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>

UNGRD (2020). Plan Nacional de Gestión del Riesgo: una estrategia de desarrollo 2015-2025 <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/handle/20.500.11762/756>

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/R30KDTRbB40>