

## **Análisis del riesgo por inundación, identificación de áreas críticas en el municipio de Manizales del departamento de Caldas**

Camila Jaraba Duque – cjarabad@unadvirtual.edu.co  
Diana Marcela Gómez Castillo – dmgoomezcasti@unadvirtual.edu.co  
Olga Lucia Villada Ramírez – olvilladar@unadvirtual.edu.co  
Virgilio David Pérez Negrete – vdperez@unadvirtual.edu.co  
Yeny Yohanna Pérez Tovar – yyperez@unadvirtual.edu.co  
Evangelina Parra Pérez – evangelina.parra@unad.edu.co

### **Resumen**

El estudio desarrolló el análisis de riesgo por inundación en el municipio de Manizales del departamento de Caldas, mediante la aplicación del análisis multicriterio en los sistemas de información geográfica S.I.G, para ello se integraron variables ambientales, hidrológicas y topográfica, como pendientes, red de drenaje, uso del suelo y zonas urbanizadas, las cuales fueron estandarizadas y ponderadas para construir un mapa cualitativo de riesgo.

Los principales estudios que proceden del análisis de la investigación procedieron de fuentes oficiales (IGAC, IDEAM y la Alcaldía de Manizales), resultados que evidenciaron que las áreas de mayor riesgo son sectores que se localizan sobre los valles aluviales y rondas hídricas de ríos como el Chinchiná y el Olivares, así como en zonas planas adyacentes a quebradas urbanas. En contraste los sectores que se ubican sobre las laderas con mayor pendiente representan riesgo bajo debido a su drenaje rápido, aunque mantienen susceptibilidad a movimientos en masa, el estudio permitió identificar zonas críticas y/o susceptibles de afectaciones sobre viviendas, infraestructuras viales, actividades productivas aportando insumos clave para la gestión municipal del riesgo y la planificación territorial.

Los resultados del estudio demuestran la clasificación de las áreas según el nivel de riesgo de acuerdo con la probabilidad de eventos y vulnerabilidad, las cuales están cuantificadas en kilómetros cuadradas, permitiendo analizar los impactos potenciales y las posibles afectaciones en cada uno de los componentes del área de estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza comparación de la información obtenida a través de los Sistemas de Información Geográfica con los antecedentes históricos (información secundaria), obteniendo resultados más específicos del análisis de riesgo por inundación.

**Palabras claves:** Análisis, multicriterio, gestión, territorial, riesgo, vulnerabilidad, hidrológico, modelación espacial.

## **Introducción**

El aumento de la frecuencia y/o intensidad de los eventos meteorológicos asociados con el cambio climático ha incrementado cada vez más la exposición a los territorios en inundaciones y desastres derivados de la variabilidad climática, en Colombia la UNGRD (2023) identifica estos fenómenos como amenazas recurrentes que afectan de manera directa a poblaciones urbanas y rurales; Según el IPCC (2021), la intensificación de lluvias extremas es uno de los principales efectos observados en regiones tropicales de montaña, mientras que según el IDEAM (2022) advierte un incremento significativo en eventos de creciente súbita en zonas andinas.

En este contexto, el municipio de Manizales presenta una particular vulnerabilidad debido a su topografía abrupta, la presencia de numerosas quebradas urbanas y la concentración de infraestructura estratégica en zonas de ladera, estudios previos al Plan de ordenamiento territorial P.O.T (plan de ordenamiento territorial-Alcaldía de Manizales, 2017) y del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo han documentado afectaciones recurrentes por inundaciones y crecientes súbitas en corredores hídricos como el Chinchiná, Manizales y Olivares, impactando viviendas, vías y actividades productivas de la zona industrial. El uso de sistemas de información geográfica, constituyen herramientas claves en la evaluación de riesgo, permitiendo integrar múltiples variables simplificar escenarios y apoyar la toma de decisiones territoriales (Malczewski, 1999; Goodchild, 2018); es por esto que el desarrollo de este estudio aplica un análisis multicriterio en SIG para generar el mapa de riesgo por inundación de Manizales y realizar una primera interpretación de las áreas críticas y los patrones espaciales asociados.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar los riesgos por inundación, identificación de áreas críticas en el municipio de Manizales del departamento de Caldas

### **Objetivos Específicos**

Identificar las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones en Manizales mediante el análisis de factores ambientales, geográficos y urbanos.

Evaluar los posibles impactos sociales, económicos y ambientales derivados de las inundaciones en las zonas identificadas como críticas.

Proponer recomendaciones para la mitigación del riesgo basadas en los hallazgos del análisis.

## **Identificación del caso de estudio**

con base en la clasificación cualitativa de riesgo obtenida mediante el desarrollo del análisis multicriterio, se identificaron zonas con comportamientos contrastes dentro del municipio:

### **Áreas de mayor riesgo de inundación**

Corresponden principalmente a sectores con pendientes suaves, alta cercanía a la red hídrica, suelo urbanizado y baja capacidad de drenaje destacando:

- Corredor del Río Chinchiná,
- Quebrada Olivares
- Zonas bajas del barrio La Sultana y Fundadores,
- Sectores de la zona industrial y Avenida Kevin Ángel
- Áreas cercanas a las quebradas Manizales y Betania

estas zonas representan alta probabilidad de afectación sobre viviendas, vías principales, sistemas productivos y equipamientos urbanos, teniendo en cuenta aspectos presentes como; antecedentes de crecientes súbitas, registros de inundaciones por desbordamientos y deficiencias de drenaje, aumento de caudales en temporada lluvias, alta exposición por planicies aluviales

### **Áreas de riesgo medio**

Esta clasificación corresponde a las zonas de inclusión de laderas urbanas intervenidas, zonas con pendientes moderadas y coberturas mixtas por lo cual incrementa el riesgo por impermeabilización y canalización deficiente de aguas lluvias

- Barrios como Campohermoso, Palermo y Chipre
- Periferias urbanas con expansión

zonas en las cuales la infraestructura de drenaje es limitada y ocurren escorrentías rápidas que pueden converger hacia zonas bajas

### **Áreas de menor riesgo de inundación**

son las zonas de mayor pendiente, cobertura vegetal densa y/o ubicadas lejos de drenajes principales, las cuales presentan susceptibilidad a movimientos en masa, el riesgo por inundación es bajo

- Laderas altas de la zona noroccidental y nororiental
- Sectores rurales con cobertura boscosa

## Metodología

La metodología empleada en este trabajo de grado se enfocó en el procesamiento y análisis de información geoespacial para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Manizales, del departamento de Caldas. El procedimiento se desarrolló mediante varias etapas orientadas a transformar, depurar y representar los datos obtenidos en la modelación del riesgo.

### Recolección y preparación de insumos

Se recopilaron los datos espaciales requeridos, especialmente el ráster de riesgo generado en la fase 4 del proceso de modelación. Este ráster sirvió como base para la elaboración de los productos cartográficos finales.

### Transformación del modelo ráster a vectorial

Para facilitar la interpretación y manipulación de la información, se aplicó el proceso **Ráster a Polígono**, convirtiendo la superficie ráster en una capa vectorial. Esta conversión permitió trabajar con unidades espaciales delimitadas y atributos asociados a cada polígono.

### Ajuste geométrico de la capa vectorial

Luego de la conversión se observaron geometrías con ángulos muy pronunciados, propias del proceso de rasterización. Para mejorar la apariencia y coherencia espacial de los polígonos, se utilizó la herramienta **Suavizar Polígono**, que permitió obtener contornos más adecuados para su representación cartográfica.

Posteriormente, se aplicó el geo proceso **Disolver** con el propósito de agrupar áreas que compartían el mismo nivel de riesgo, reduciendo la cantidad de polígonos y facilitando la lectura del mapa.

### Construcción de atributos temáticos

Con la capa vectorial ya depurada, se incorporaron nuevos campos en la tabla de atributos:

- **Categoría de riesgo**, definida según la clasificación cualitativa utilizada en el análisis.
- **Área (km<sup>2</sup>)**, calculada para cada polígono con el fin de conocer la extensión territorial correspondiente a cada nivel de riesgo.

Estos atributos posibilitaron un análisis más preciso del comportamiento del riesgo dentro del territorio municipal.

**Elaboración del mapa final:** Por último, se procedió a ajustar la simbología de acuerdo con las categorías de riesgo y a construir la leyenda correspondiente. Con estos elementos se diseñó el **mapa vectorial final del riesgo de inundación**, que integra:

- la clasificación temática,
- la representación espacial ajustada,

- y los atributos calculados.

El producto cartográfico resultante constituye la base para la interpretación y discusión de los resultados obtenidos en esta fase del estudio.

## Resultados

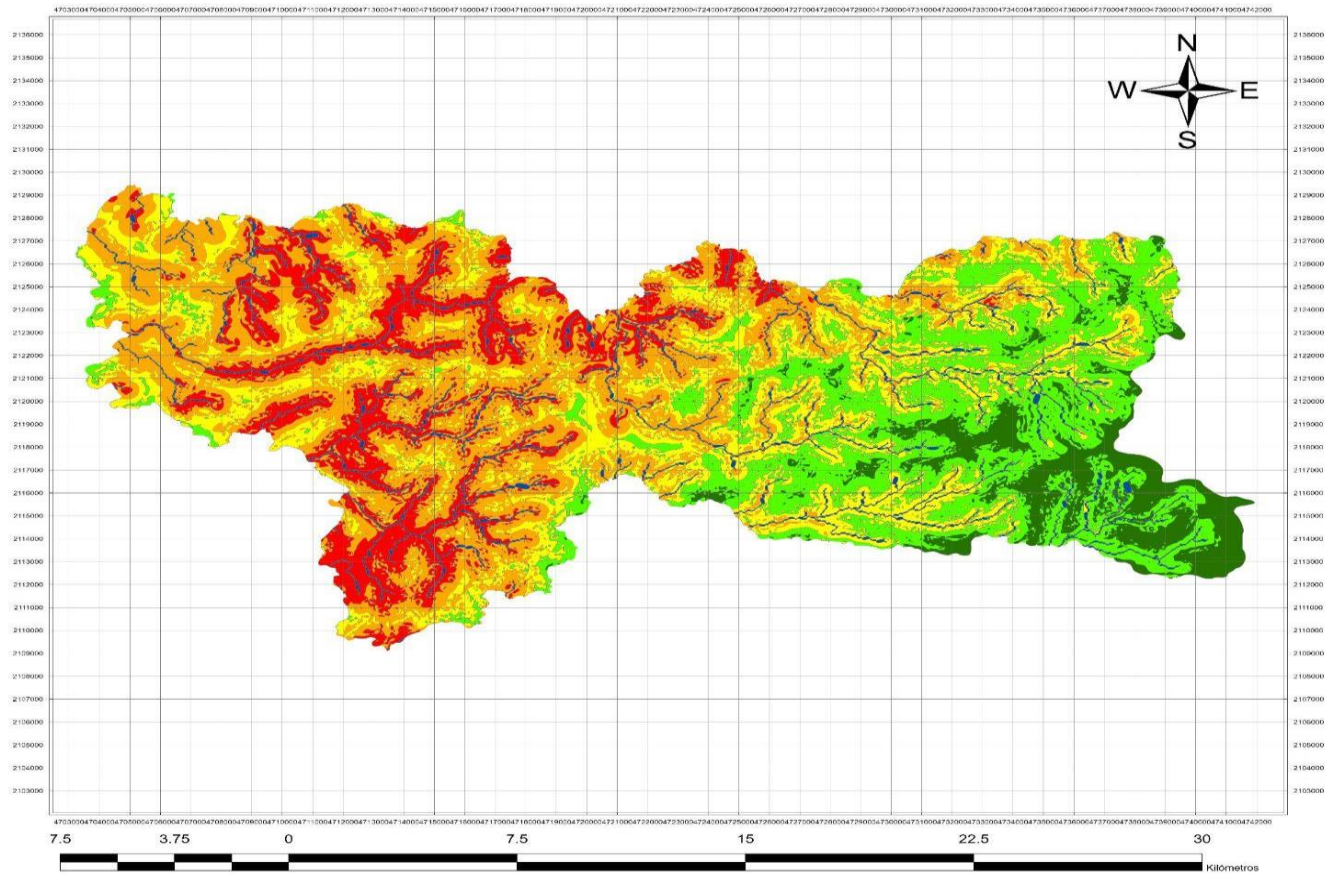
Mapa de riesgo por inundación del municipio de Manizales Caldas:

El mapa de riesgo por inundación clasifica el territorio del municipio de Manizales caldas en cinco niveles cualitativos; Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto; las categorías de mayor riesgo se establecen principalmente en los sectores occidentales y suroccidentales del municipio, coincidiendo con los fondos de valle, planicies aluviales y rondas hídricas del río Chinchiná y de quebradas urbanas como Olivares, Manizales y Betania y las zonas de menor riesgo corresponden a laderas medias y altas, caracterizadas por mayores pendientes y mejor capacidad de drenaje natural. La distribución espacial del mapa de análisis evidenciada permite la identificación las áreas críticas y constituye un soporte técnico fundamental para la planificación territorial y la gestión del riesgo.

El resultado final se obtiene del mapa vectorial depurado y simplificado del riesgo de inundación en la ciudad de Manizales, generado a partir de la capa ráster inicial obtenida en la fase previa del análisis.

Tras realizar la conversión de ráster a polígono, la información se representó en un formato vectorial compuesto por polígonos que delimitan cada una de las clases de riesgo presentes en el territorio. Durante este proceso surgieron figuras con ángulos abruptos y bordes irregulares, propios de la naturaleza cuadrículada del ráster. Para corregir este efecto y mejorar la apariencia cartográfica, se aplicó el geo proceso *suavizar polígono*, lo que permitió obtener límites más continuos, uniformes y visualmente coherentes con la morfología del terreno.

Posteriormente, se utilizó el geo proceso *dissolver* con el fin de agrupar las áreas pertenecientes a una misma categoría de riesgo. Esto permitió obtener un mapa mucho más específico, compuesto únicamente por polígonos representativos de cada clase de riesgo.



### Análisis del Riesgo por Inundación en Manizales (Caldas)

<p><b>Leyenda</b></p> <p>Riesgo_inundacion_Manizales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Riesgo muy bajo</li> <li>■ Riesgo bajo</li> <li>■ Riesgo medio</li> <li>■ Riesgo alto</li> <li>■ Riesgo muy alto</li> </ul>	<p><b>Municipio:</b> Manizales</p> <p><b>Departamento:</b> Caldas</p> <p><b>Altitud:</b> 2.150 MSNM</p> <p><b>Temperatura promedio:</b> 18°C.</p>	
<p><b>Realizado por:</b> Camila Jaraba Duque Diana Marcela Gómez Castillo Olga Lucia Villada Ramírez Virgilio David Pérez Negrete Yeny Yohanna Pérez Tovar</p>	<p><b>Fecha:</b> 08 de Diciembre 2025</p> <p><b>Diplomado de profundización Sistema de Información Geográfica (SIG)</b></p>	

*Elaboración propia, ArcGIS pro-2025*

Finalmente, en la tabla de atributos de la capa resultante se agregaron dos campos clave para facilitar el análisis espacial:

- *Class\_riesgo*, donde se consignó la categoría cualitativa correspondiente a cada polígono.
- *Área\_km2*, destinada a registrar el cálculo del área de cada unidad espacial expresada en kilómetros cuadrados.

Resultados de la tabla de áreas por categoría de riesgo con información del área en km2 para cada clase de riesgo cualitativa:

OBJECTID *	Shape *	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Clas_Riesgo	Área_km2
1	Polígono	1	428060.95646	33800909.683905	Riesgo muy bajo	33.80091
2	Polígono	2	1330119.936942	90935129.540933	Riesgo bajo	90.93513
3	Polígono	3	2116782.695381	108882815.349862	Riesgo medio	108.882815
4	Polígono	4	2154101.925029	134755845.678437	Riesgo alto	134.755846
5	Polígono	5	938325.877904	68781861.478284	Riesgo muy alto	68.781861

*Elaboración propia, ArcGIS pro-2025*

El mapa clasifica el territorio de Manizales en cinco niveles de riesgo de inundación: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. La interpretación se centrará en las categorías de mayor riesgo (Alto y Muy Alto), ya que son las que determinan las Áreas Críticas y el potencial de impacto en los elementos expuestos.

La superposición del mapa de riesgo de inundación con la división político-administrativa rural permitió la identificación de áreas más afectadas las veredas Maltería, La Linda, Kilómetro 41, Alto Bonito, El Manantial, Cuchilla del Salado y Río Blanco, así como sectores rurales y periurbanos del corregimiento de Colombia, estos territorios están representados en categorías de Riesgo Alto y Muy Alto, asociadas a baja pendiente, proximidad a cauces hídricos y acumulación de escorrentía superficial

Las áreas con **riesgo muy alto** (representadas en color rojo) se localizan de manera predominante en los sectores occidentales y suroccidentales del territorio, coincidiendo con las zonas de influencia directa del **río Chinchiná**, el **río Guacaica** y varias quebradas afluentes. Estas condiciones afectan principalmente veredas rurales y sectores periurbanos ubicados en zonas bajas y con alta susceptibilidad a desbordamientos, tales como **Maltería, La Linda, Kilómetro 41, Alto Bonito, El Manantial** y **sectores rurales aledaños a las rondas hídricas**, entre otras.

Por su parte, las áreas clasificadas con **riesgo alto** (color naranja) se distribuyen de forma continua alrededor de las zonas de riesgo muy alto, extendiéndose hacia laderas medias y terrazas aluviales, donde se identifican procesos de acumulación de escorrentía superficial y saturación del suelo. Estas áreas comprometen adicionalmente veredas con usos agropecuarios y asentamientos dispersos, incrementando el potencial de afectación sobre viviendas, vías terciarias y actividades productivas.

En conjunto, las categorías de **riesgo alto y muy alto** representan las **Áreas Críticas** del municipio frente a eventos de inundación, constituyéndose en zonas prioritarias para la implementación de medidas de gestión del riesgo, tales como restricciones de uso del suelo, fortalecimiento de rondas hídricas, obras de drenaje y planes de contingencia comunitarios.

Asimismo, la relación porcentual de cada categoría respecto al área total de Manizales (superficie total aproximada de 571,84 km<sup>2</sup>) constituye un insumo clave para la toma de decisiones, al aportar una base técnica que respalda la planificación territorial, la formulación de medidas de mitigación y la focalización de acciones preventivas frente a eventos de inundación.

El primer paso es cuantificar la superficie (en kilómetros cuadrados o hectáreas) de cada categoría de riesgo directamente desde el mapa ráster usando las herramientas de ArcGIS Pro

Esta tabla presenta la clasificación del territorio de Manizales según el riesgo de inundación, detallando el área y el porcentaje que ocupa cada nivel respecto al área total analizada 437.16 Km<sup>2</sup>

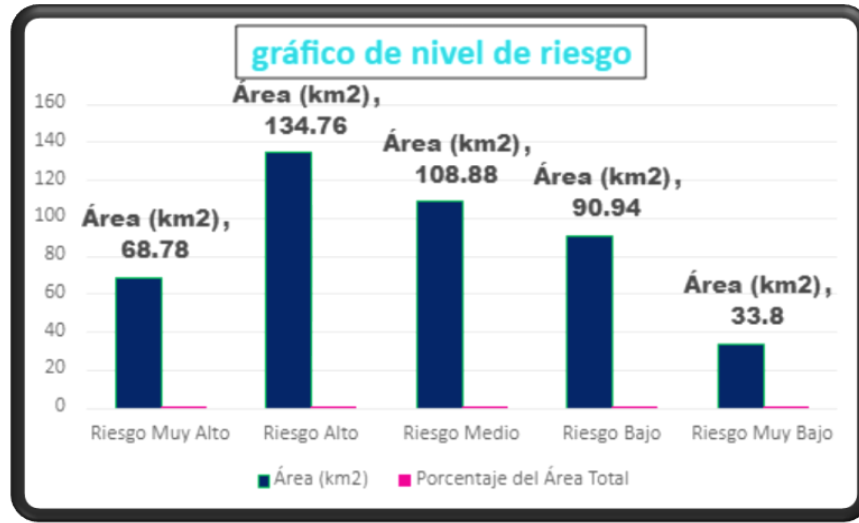
### Cuantificación de Áreas por Nivel de Riesgo

Nivel de Riesgo	Criterios de Definición	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje del Área Total
Riesgo Muy Alto	Áreas con exposición recurrente, alta probabilidad de eventos y la mayor vulnerabilidad de vidas e infraestructura crítica.	68.78	15.73%
Riesgo Alto	Áreas con alta probabilidad de ocurrencia de eventos y afectación significativa a la población e infraestructura.	134.76	30.82%
Riesgo Medio	Áreas con probabilidad moderada de eventos y una vulnerabilidad que puede ser controlada con medidas de mitigación estándar.	108.88	24.91%
Riesgo Bajo	Áreas con baja probabilidad de eventos y muy baja vulnerabilidad, donde los daños esperados son mínimos.	90.94	20.80%
Riesgo Muy Bajo	Áreas con probabilidad insignificante de eventos de inundación.	33.80	7.73%
Total		437.16	100.00%

tabla creada por Virgilio David Perez Negrete

*Elaboración propia, ArcGIS pro-2025*

**Gráfica de nivel de riesgo**



*Elaboración propia, 2025*

**Análisis del Impacto Potencial por Elemento**

Para interpretar el impacto potencial, debe superponer la capa de Riesgo de Inundación con capas temáticas de Comunidades, Infraestructura, Sistemas Agropecuarios y Ecosistemas de Manizales, Estas zonas suelen corresponder a asentamientos ubicados en las riberas o terrazas bajas de los ríos y quebradas principales, donde la topografía es menos empinada que el resto del municipio

**Zonas de Mayor y Menor Riesgo**

Basado en la clasificación cualitativa y cuantitativa (la tabla que desarrollamos), la distribución del riesgo en el municipio de Manizales es la siguiente:

**Zonas de Mayor Riesgo:**

- ❖ Los niveles de Riesgo Alto, (30.82%) y Riesgo Muy Alto (15.73%) suman casi la mitad del área de estudio (46.55%).
- ❖ Estas zonas son las de máxima prioridad para la gestión del riesgo
- ❖ **Ubicación Geográfica:** de las veredas y barrios afectados. Por lo general, corresponden a áreas cercanas a las riberas de los **ríos Chinchiná y Guacaica**, así como a las áreas con mayor densidad urbana en las partes bajas de la ciudad.

Sector (Barrio/Vereda)	Latitud	Longitud	Riesgo Principal	Nivel de riesgo
La Enea	5.03182°	-75.46306°	Inundación, Creciente Quebrada	Riesgo Muy Alto
Los Alcázares	5.05601°	-75.47458°	Inundación	Riesgo Muy Alto
La Panamericana (Sector)	5.04400°	-75.48500°	Inundación, Flujos Lodo	Riesgo Muy Alto
Bosques del Norte	5.08299°	-75.48930°	Inundación (Acumulación Agua)	Riesgo Alto
Villahermosa	5.06030°	-75.49880°	Inundación / Creciente Quebrada	Riesgo Medio
Barrio Galán	5.06200°	-75.47800°	Deslizamiento (Primario) / Inundación	Riesgo Medio
Vereda Las Palmas	5.05897°	-75.47338°	Inundación (Rural) / Vientos	Riesgo Medio

*Elaboración propia, 2025*

### Zonas de Menor Riesgo:

- Los niveles de **Riesgo Bajo** (20.80%) y **Riesgo Muy Bajo** (7.73) representan un 28.53% del área.
- Estas áreas poseen una probabilidad insignificante o muy baja de ser afectadas por eventos de inundación significativos.

**Ubicación Geográfica:** Estas zonas suelen corresponder a las **partes altas y medias de las laderas** del municipio o a áreas con coberturas naturales estables que facilitan la infiltración y el escurrimiento controlado

Sector (Barrio/Vereda)	Latitud	Longitud	Riesgo Principal	Nivel de riesgo
Barrio Chipre	5.07100°	-75.52500°	Inundación (Acumulación Agua)	Riesgo Bajo
Barrio La Sultana	5.06108°	-75.47277°	Deslizamiento (Primario)	Riesgo Muy Bajo
Barrio Lucitania	5.03077°	-75.47756°	Inundación / Monitoreo Quebrada	Riesgo Muy Bajo

*Elaboración propia, 2025*

### Posibles Afectaciones en Zonas de Mayor Riesgo

La alta concentración de riesgo en el 46.55% del territorio implica amenazas directas sobre los siguientes componentes municipales:

Componente	Posibles Afectaciones
<b>Comunidades (Vidas y Bienes)</b>	<b>Desplazamiento Forzado y Pérdida de Vidas:</b> Las zonas de riesgo Muy Alto, particularmente en asentamientos informales o cerca de la cuenca, enfrentan el peligro de inundaciones súbitas. <b>Daños a Viviendas:</b> Pérdida total o parcial de bienes y hogares, afectando la calidad de vida y generando crisis humanitarias.
<b>Infraestructura Crítica</b>	<b>Colapso de Vías:</b> Afectación de puentes, carreteras y vías urbanas por desbordamiento e inundación de los corredores viales. <b>Servicios Públicos:</b> Daño a redes de acueducto y alcantarillado (riesgo sanitario), cortes en el suministro de energía eléctrica y telecomunicaciones.
<b>Sistemas Agropecuarios</b>	<b>Pérdida de Cultivos:</b> En la zona rural o periurbana, las inundaciones pueden destruir cosechas (café, plátano, hortalizas) e inhabilitar tierras agrícolas temporal o permanentemente. <b>Afectación Pecuaria:</b> Muerte de ganado o necesidad de reubicar animales.
<b>Ecosistemas</b>	<b>Erosión y Sedimentación:</b> El exceso de agua acelera la erosión de las riberas y deposita sedimentos que alteran la flora y fauna acuática. <b>Contaminación:</b> El arrastre de basuras y aguas residuales (por colapso de alcantarillado) contamina los cuerpos de agua, afectando la biodiversidad.

*Elaboración propia, 2025*

### Comparación con Antecedentes Históricos

El estudio de riesgo actual se correlaciona con la recurrencia de eventos en Manizales. Históricamente, las zonas identificadas como de Riesgo Muy Alto han sido puntos focales de desastres.

Como por ejemplo la Inundación del Río Chinchiná en noviembre de 2011/2012

Se reportaron desbordamientos que afectaron directamente a asentamientos ubicados en las zonas ribereñas bajas de la cuenca. Este evento generó las evacuadas de 21 familia y como también el daño estructural de 8 viviendas

Esta zona de la ribera es precisamente la clasificada en el estudio como de Riesgo Muy Alto (Rojo), validando el modelo de análisis.

La Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) de Manizales reportó múltiples emergencias por inundaciones urbanas en los barrios bajos o en las zonas donde las quebradas aumentaron su caudal.

Estos eventos resaltan la vulnerabilidad de la infraestructura de alcantarillado en las zonas de Riesgo Alto (Naranja) que, aunque no están en la orilla del río principal, son propensas a inundaciones por el deficiente manejo de aguas lluvias.

## Conclusiones

El proyecto del diplomado logró satisfactoriamente identificar y cuantificar las áreas críticas por riesgo de inundación en el municipio de Manizales Caldas mediante el uso del Sistema de Información Geográfica S.I.G y a través de ArcGIS Pro. Este análisis geoespacial generó la cartografía temática y los datos cuantitativos esenciales para la interpretación del área de estudio. El análisis espacial nos permitió como grupo establecer que el riesgo de inundación en el municipio de Manizales representa una distribución fuertemente condicionada por la morfología del terreno y la estructura de la red de drenaje urbana, lo que reveló una porción significativa del municipio, de 46.55% del territorio, equivalente a 203.54 km<sup>2</sup>, se clasifica bajo niveles de Riesgo Alto y Riesgo Muy Alto. El mapa confirma que esta criticidad se concentra principalmente en los sectores occidental y central, asociados a zonas de baja pendiente y a la red hídrica. Específicamente, el Riesgo Muy Alto abarca 68.78 km<sup>2</sup> (15.73%). La clasificación de dichos sectores y la identificación de las consecuencias resaltan la necesidad de fortalecer la gestión del riesgo mediante estrategias que integren el ordenamiento territorial, la planificación urbana y la conservación ambiental.

El análisis del mapa de riesgo por inundación en el Municipio de Manizales determina el potencial de alto riesgo debido a una relación estrecha entre las condiciones topográficas y geomorfológicas del área de estudio, como por ejemplo en los sectores de la laderas, donde se localizan viviendas asentadas sobre pendientes pronunciadas y construidas en su mayoría en bahareque, se identifica inicialmente una vulnerabilidad entre baja y media, la cual tiende a incrementarse con el tiempo hasta ubicarse en rangos medios y altos. Lo cual permitió establecer que las veredas **Maltería, La Linda, Kilómetro 41, Alto Bonito, El Manantial, Cuchilla del Salado y Río Blanco**, junto con sectores del **corregimiento de Colombia**, concentran las mayores condiciones de vulnerabilidad frente a eventos de inundación en el municipio, áreas que coinciden espacialmente con zonas de fondo de valle y rondas hídricas, donde la combinación de factores geomorfológicos, hidrológicos y antrópicos que incrementan la probabilidad de afectación sobre viviendas, infraestructura vial y actividades productivas.

Las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto se localizan predominantemente en unidades geomorfológicas de fondo de valle y terrazas aluviales asociadas a las microcuencas urbanas, donde la combinación de bajas pendientes locales, alta densidad de superficies impermeables y proximidad a cauces genera condiciones favorables para la concentración de escorrentía y el desbordamiento de caudales durante eventos de precipitación intensa. Las zonas identificadas en el municipio de Manizales que tiene una mayor vulnerabilidad presentan condiciones que favorecen la acumulación o el rápido desplazamiento del agua, lo que incrementa la probabilidad de eventos de inundación. Esta susceptibilidad se ve reforzada por elementos antrópicos como el crecimiento urbano no planificado, la insuficiencia en la infraestructura de drenaje y la alteración de las coberturas vegetales.

La implementación de un modelo de evaluación multicriterio soportado en Sistemas de Información Geográfica S.I.G, basado en técnicas de superposición ponderada (weighted overlay), demostró una alta capacidad para integrar variables hidro morfológicas, antrópicas y de cobertura del suelo, permitiendo la delimitación objetiva de áreas críticas. La metodología evidenció

consistencia espacial al compararse con registros históricos de inundaciones y reportes técnicos locales, confirmando que la integración de capas temáticas mediante pesos normalizados constituye una herramienta robusta para la modelación espacial del riesgo de inundación a escala municipal, lo que es crucial para la toma de decisiones y para la planeación e intervención previa.

Por último, los resultados obtenidos durante este diplomado nos generan insumos técnicos de alta relevancia para los instrumentos de planificación territorial en Manizales, particularmente en la zonificación de amenazas y restricciones de uso del suelo. La identificación de áreas de riesgo alto y muy alto permite orientar decisiones sobre control de expansión urbana en zonas de ronda hídrica, priorización de obras de ingeniería hidráulica (canalizaciones, box culverts, sistemas de retención y laminación) y fortalecimiento de la infraestructura de drenaje pluvial. En este sentido, el estudio aporta una base técnica para la formulación de estrategias de gestión integral del riesgo, enfocadas en la mitigación estructural y no estructural frente a escenarios de precipitación extrema.

## **Recomendaciones**

Como estudiante de ingeniería ambiental debo considerar primero una zonificación agroambiental basada en el riesgo de inundación, de este modo incorporar los mapas de riesgo de inundación generados y obtenidos en este estudio como insumo técnico para la delimitación de unidades de manejo agroambiental, restringiendo el establecimiento de actividades agropecuarias en las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto. En estos sectores se recomienda priorizar usos compatibles con la dinámica hídrica, tales como franjas de protección ripiara, corredores ecológicos y áreas de restauración vegetal, reduciendo la presión antrópica sobre las microcuencas que drenan hacia el área urbana de Manizales. También la implementación de prácticas de manejo y conservación de suelos promoviendo la adopción de prácticas de conservación de suelos en las áreas rurales del municipio, especialmente en laderas con pendientes medias y altas que contribuyen al aumento de la escorrentía superficial y a los picos de caudal. Se recomienda el uso de terrazas agrícolas, siembra en curvas de nivel, barreras vivas y cobertura vegetal permanente, con el fin de disminuir la erosión hídrica, incrementar la infiltración y reducir el transporte de sedimentos hacia los cauces que alimentan las zonas críticas de inundación.

Se deben priorizar procesos de restauración ecológica en áreas identificadas como estratégicas para la regulación hídrica, especialmente en rondas hídricas, nacimientos de agua y zonas de recarga. La reforestación con especies nativas en franjas ribereñas de quebradas y microcuencas que inciden directamente sobre los sectores urbanos de Manizales contribuirá a la regulación de caudales, estabilización de taludes y reducción del riesgo de inundación aguas abajo. Articular los resultados de este estudio con los instrumentos de ordenamiento territorial rural, de manera que los planes de uso y ocupación del suelo incorporen criterios de amenaza y vulnerabilidad por inundación. Esto implica establecer límites claros a la expansión de la frontera agrícola hacia zonas inundables y fortalecer la planificación de actividades agroambientales bajo un enfoque preventivo, especialmente en las cuencas que presentan mayor aporte de escorrentía hacia los sectores críticos del municipio. Fortalecimiento del monitoreo hidrometeorológico y comunitario en zonas rurales.

Por último, cabe resaltar que como recomendación la instalación de estaciones de monitoreo de lluvia y caudal en microcuencas priorizadas, así como el fortalecimiento de esquemas de monitoreo participativo con comunidades rurales. Esta acción permitiría mejorar la toma de decisiones para el manejo agroambiental del territorio, optimizar la gestión del recurso hídrico y fortalecer los sistemas de alerta temprana frente a eventos de precipitación extrema en el municipio de Manizales.

### Referencias bibliográficas

Alcaldía de Manizales – Sistema Municipal de Gestión del Riesgo. (2022). *Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD)*. <https://www.manizales.gov.co>

Cardona, O. D. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los problemas de riesgo y desastre. *Revista de la CEPAL*, (73), 7–32. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/11119-necesidad-repensar-manera-holistica-problemas-riesgo-desastre>

CORPOCALDAS. (2019). *Estudio de amenazas por inundación y avenidas torrenciales – Río Chinchiná*. <https://www.corpocaldas.gov.co>

Goodchild, M. F. (2018). *Reimagining the history of GIS*. *Annals of GIS*, 24(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/19475683.2018.1424737>

González Orozco C., Flórez Yepes G. Y. . (21 de noviembre del 2022). *Vulnerabilidad física en viviendas de la periferia en Manizales, Colombia*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-72102022000300935](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102022000300935)

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales. (septiembre del 2019). *Aforos líquidos en ríos y quebradas de Manizales y del departamento de Caldas*. [https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines\\_ambientales/boletin160.pdf](https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin160.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2014). *Atlas de amenazas naturales de Colombia*. <http://www.ideam.gov.co>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Informe anual sobre el estado del clima en Colombia 2022*. IDEAM. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/informes-clima>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2021). *Informe climatológico anual: Región Andina – Caldas*.  
<https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/informes-climatologicos>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. (2020). *Cartografía base del departamento de Caldas*.  
<https://www.igac.gov.co>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.  
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Londoño, J., & Mesa, O. J. (2018). *Análisis hidrológico de eventos extremos en la cuenca del río Chinchiná*. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://repositorio.unal.edu.co>

Manizales, A. d. (22 de 04 de 2024). *Unidad de Gestión del Riesgo entrega recomendaciones para prevenir inundaciones en viviendas*. Obtenido de <https://centrodeinformacion.manizales.gov.co/unidad-de-gestion-del-riesgo-entrega-recomendaciones-para-prevenir-inundaciones-en-viviendas/>

Ministerio de Vivienda. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*.  
<https://www.minvivienda.gov.co>

Pava-García, N., & Monsalve, J. (2020). *Evaluación del riesgo por inundaciones en zonas urbanas de Manizales*. Universidad de Caldas.  
<https://repositorio.ucaldas.edu.co>

República de Colombia. (2015). *Decreto 1077 de 2015 – Sector Vivienda y Gestión del Riesgo*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78155>

República de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012 – Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=46941>

Servicio Geológico Colombiano – SGC. (2020). *Monitoreo hidrometeorológico y volcánico del Eje Cafetero*.  
<https://www.sgc.gov.co>

SIMAC – Sistema de Información Municipal de Manizales. (2023). *Mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundación*.  
<https://www.manizales.gov.co/simac>

Universidad Católica de Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. (2019). *Análisis climático e hidrológico de áreas abastecedoras del municipio de Manizales*.  
<https://repositorio.ucm.edu.co/server/api/core/bitstreams/a58c38b7-4e60-41eb-8260-354518ee816c/content>

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. (s.f.). *El Riesgo en el Ordenamiento Territorial: Desarrollo con Transformación*.  
<https://manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201604011312508306.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD. (2016). *Guía metodológica para la elaboración de estudios de riesgo*.  
<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co>

Wilches-Chaux, G. (1993). *Los desastres no son naturales*. La Red.  
<https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>

**Enlace de sustentación:** <https://youtu.be/2BH9ESg5b9U?feature=shared>