

Modelación y análisis espacial del riesgo de inundación en el municipio de La Ceja (Antioquia): identificación de áreas críticas y evaluación de impactos territoriales

Fabian Humberto Estrada Bedoya - festradab@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

El objetivo de este estudio fue analizar el riesgo de inundación en el municipio de La Ceja mediante un modelo de análisis multicriterio implementado en Sistemas de Información Geográfica. La metodología integró variables topográficas, hidrológicas, ambientales y de uso del suelo, estandarizadas y ponderadas para generar un mapa de riesgo dividido en cinco categorías. Entre los insumos utilizados se incluyeron el modelo digital de elevación, la precipitación mensual representativa de un periodo de lluvias intensas, las pendientes, las coberturas del territorio y la distancia a la red hídrica. Los resultados evidencian que las zonas con mayor riesgo se concentran en el norte y noreste del municipio, asociadas a bajas altitudes, pendientes suaves y cercanía a drenajes, mientras que los sectores del sur presentan un riesgo significativamente menor. El modelo permitió identificar que aproximadamente el 13 % del territorio se clasifica en riesgo muy alto, lo cual resalta la vulnerabilidad estructural del municipio y la necesidad de fortalecer las estrategias de mitigación. La información generada constituye un insumo relevante para orientar decisiones de ordenamiento territorial, la priorización de obras hidráulicas, la gestión del riesgo y la planificación agroambiental.

Palabras claves: inundación, análisis multicriterio, SIG, riesgo, modelación espacial.

Introducción

El incremento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos se ha convertido en una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático, especialmente en regiones montañosas como los Andes colombianos (NOAA, 2025). Las variaciones en el ciclo hidrológico se reflejan en lluvias más intensas y en la alteración de los patrones estacionales, generando condiciones que favorecen la saturación rápida del suelo y el aumento del caudal en quebradas y ríos. Esta situación incrementa la exposición de los asentamientos humanos ubicados en zonas planas o de baja pendiente, donde la capacidad de drenaje natural suele ser limitada. La Ceja es un ejemplo representativo de este fenómeno debido a su ubicación topográfica y a su dinámica territorial reciente. Organismos científicos internacionales han documentado que estos cambios están asociados al calentamiento global y sus efectos sobre la atmósfera y el ciclo del agua (IPCC, 2021).

En Colombia, las inundaciones recurrentes se han consolidado como una de las amenazas naturales más frecuentes, afectando tanto áreas urbanas como rurales. La interacción entre condiciones climáticas variables, expansión urbana y presión sobre los ecosistemas ribereños ha generado escenarios de vulnerabilidad que se expresan en pérdidas económicas, daños a viviendas y afectaciones a la infraestructura vial. Municipios como La Ceja, situados en planicies aluviales y expuestos a periodos de lluvia intensa, experimentan desbordamientos asociados a la capacidad limitada de sus cauces y a la ocupación de zonas históricamente inundables. Las transformaciones del paisaje, acompañadas de procesos de impermeabilización del suelo, han reducido la capacidad de infiltración y aumentado la escorrentía superficial, factores que intensifican el riesgo. Esta situación se ha hecho evidente en eventos recientes registrados por las autoridades locales (ReliefWeb, 2022).

En este marco, el análisis multicriterio se ha consolidado como un enfoque metodológico idóneo para evaluar fenómenos territoriales complejos como el riesgo de inundación. Este tipo de análisis permite integrar múltiples variables físicas, ambientales y antrópicas en un solo modelo, asignando ponderaciones que reflejan su influencia relativa en el fenómeno. Su capacidad para transformar datos heterogéneos en escalas comparables y combinar factores en procesos de síntesis espacial facilita la identificación de patrones de susceptibilidad, la delimitación de áreas críticas y el soporte técnico a la toma de decisiones en planificación y gestión del riesgo.

Frente a este panorama, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han convertido en herramientas fundamentales para el análisis territorial y la gestión del riesgo de inundación. Su capacidad para integrar información topográfica, hidrológica y ambiental permite simular condiciones críticas y generar modelos de susceptibilidad espacialmente explícitos. Estos modelos facilitan la identificación de áreas críticas, la priorización de intervenciones y la planificación de medidas preventivas dirigidas a la reducción del riesgo. En territorios con la complejidad geomorfológica de La Ceja, el uso de SIG permite representar fenómenos que no son evidentes a simple vista y que requieren análisis multivariable para su adecuada comprensión. Además, estas herramientas apoyan la toma de decisiones basada en evidencia y fortalecen los procesos de planificación territorial en contextos donde los eventos hidrometeorológicos tienden a intensificarse (Valderrama, 2018).

Objetivos

General

Modelar el riesgo de inundación en el municipio de La Ceja a través de técnicas de análisis espacial que permitan identificar áreas críticas y comprender sus impactos territoriales.

Específicos

Caracterizar la distribución espacial de las categorías de riesgo de inundación a partir de la cartografía temática generada.

Identificar las áreas críticas del municipio mediante el análisis de superficies clasificadas y su relación con eventos históricos registrados.

Evaluar los posibles impactos del riesgo de inundación sobre comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas del territorio.

Identificación del caso de estudio

El municipio de La Ceja del Tambo se ubica en el oriente del departamento de Antioquia, dentro de la subregión del Valle de San Nicolás, a una altitud cercana a los 2.200 m s. n. m. Su extensión aproximada de 133 km² combina una zona urbana consolidada con un amplio territorio rural dedicado principalmente a actividades agropecuarias, entre ellas la floricultura y la horticultura, que conforman una parte importante de la economía municipal (Cornare, 2011).

La configuración física del municipio está determinada por su localización en una planicie aluvial rodeada de laderas de pendiente suave a moderada, condición que favorece la acumulación de esorrentías durante episodios de lluvia intensa. La red hídrica, conformada por quebradas como La Pereira, La Grande, La Payuco y La Oscura, presenta incrementos rápidos de caudal en periodos lluviosos, lo que ha generado desbordamientos y afectaciones en zonas urbanas de baja altitud según registros locales (Cornare, 2011). La zonificación territorial indica además que amplias áreas del municipio poseen pendientes bajas y moderadas, incrementando la susceptibilidad a procesos de inundación en el centro y el norte (Cornare, 2012).

Desde el punto de vista climático, La Ceja presenta un régimen bimodal de lluvias con picos en los meses de abril–mayo y octubre–noviembre, característico de los ambientes montanos húmedos. La precipitación anual supera los 3.000 mm, con máximos registrados en mayo y octubre, lo que sitúa al municipio entre los más lluviosos de la región del oriente antioqueño (Climate-Data.org, s.f.). El mes de octubre fue seleccionado para la modelación, dado que representa condiciones hidrológicas críticas asociadas a alta probabilidad de eventos de inundación.

Metodología

El análisis del riesgo de inundación en el municipio de La Ceja se desarrolló mediante un enfoque de análisis multicriterio espacial, integrando variables ambientales, topográficas e hidrológicas para construir un modelo que permitiera identificar las áreas con mayor susceptibilidad. El método consistió en transformar y estandarizar capas geográficas relevantes, asignarles ponderaciones según su influencia en los procesos de inundación y combinarlas para producir un mapa sintético de riesgo. La metodología se estructura en cinco fases principales: preparación de datos, generación de variables temáticas, reclasificación y ponderación de factores, modelación multicriterio y análisis cartográfico del resultado.

Preparación y depuración de la información espacial

El proceso inició con la organización de las capas geográficas necesarias para la modelación. Se emplearon datos de elevación, pendientes, drenajes, distancias a cuerpos de agua, coberturas del suelo y registros de precipitación. Todas las capas fueron recortadas empleando el límite oficial del municipio, con el fin de asegurar coherencia espacial en el análisis. Esta depuración inicial

permitió que los datos compartieran la misma proyección y resolución, garantizando precisión en los cálculos posteriores.

Generación de variables derivadas

A partir del modelo digital de elevación, se calcularon dos variables claves: la pendiente y la acumulación de flujo. La primera permitió identificar zonas con topografía plana, donde el agua tiende a estancarse; la segunda permitió reconocer áreas de convergencia de escorrentía superficial. Asimismo, se calculó la distancia a drenajes, que caracteriza la proximidad de cada píxel a quebradas y cauces.

También se generaron variables temáticas adicionales:

- **Reclasificación de coberturas:** distinguiendo superficies impermeables, agrícolas y forestales, según su capacidad para infiltrar o retener agua.
- **Mapa de precipitación:** se seleccionó un mes representativo de lluvias máximas, con el fin de modelar condiciones hidrológicas críticas.

Reclasificación y estandarización de factores

Cada variable se transformó a una escala cualitativa común mediante procesos de reclasificación. Esta estandarización fue esencial para permitir la integración de los factores en un solo modelo. Las categorías se organizaron de manera ordinal, asignando valores altos a condiciones que aumentan la probabilidad de inundación.

Ejemplos de criterios aplicados:

- **Zonas bajas** (menor elevación): mayor susceptibilidad.
- **Pendientes suaves:** mayor acumulación potencial de agua.
- **Altas precipitaciones:** incremento del riesgo.
- **Proximidad inmediata a drenajes:** mayor probabilidad de desbordamientos.
- **Coberturas impermeables:** mayor escorrentía superficial.

Tabla 1. *Ejemplo de reclasificación de factores*

Factor	Categorías	Valor asignado
Elevación	Baja / Media / Alta	5 / 3 / 1
Pendiente	0–3% / 3–7% / >7%	5 / 3 / 1

Precipitación	Alta / Media / Baja	5 / 3 / 1
Proximidad a drenajes	0–100 m / 100–300 m / >300 m	5 / 3 / 1
Coberturas	Impermeables / Semi-permeables / Naturales	5 / 3 / 1

La reclasificación presentada en la Tabla 1 permite transformar cada variable en una escala ordinal común, facilitando su integración dentro del análisis multicriterio. A cada categoría se le asignó un valor entre 1 y 5, donde los valores más altos representan condiciones que incrementan la susceptibilidad a inundaciones. Así, las zonas de baja elevación, pendientes suaves, precipitaciones altas y proximidad inmediata a drenajes reciben valores elevados debido a su mayor contribución al riesgo. De igual manera, las coberturas impermeables obtienen el valor máximo, dado que generan mayor escorrentía superficial. Esta estandarización garantiza que factores de naturaleza distinta puedan compararse y combinarse de forma consistente dentro del modelo de susceptibilidad.

Asignación de ponderaciones y análisis multicriterio

Una vez estandarizados los factores, se asignaron ponderaciones que representaban la importancia relativa de cada variable en la generación de inundaciones. Estas ponderaciones fueron aplicadas mediante una suma ponderada, permitiendo obtener una superficie continua de susceptibilidad.

Tabla 2. *Ponderación empleada para el modelo de riesgo*

Factor	Peso (%)
Pendiente	15
Elevación	10
Precipitación	35
Cercanía a drenajes	30
Coberturas del suelo	10

La asignación de ponderaciones presentadas en la Tabla 2 responde a la influencia relativa que cada factor ejerce en la generación del riesgo de inundación en el municipio de La Ceja. La

precipitación fue el criterio con mayor peso (35 %), debido a su rol determinante en la saturación del suelo y el incremento de caudales durante eventos de lluvia intensa. La cercanía a drenajes recibió un 30 %, considerando que los sectores próximos a las quebradas presentan mayor probabilidad de desbordamientos. La pendiente obtuvo un 15 %, dado que las pendientes suaves favorecen la acumulación de escorrentía. Los factores de elevación y coberturas del suelo se ponderaron con un 10 % cada uno, ya que, aunque influyen en la dinámica hídrica local, su efecto es más indirecto en comparación con los factores hidrológicos principales. Estas ponderaciones fueron ajustadas para reflejar las condiciones específicas del territorio y garantizar una representación equilibrada de los procesos que inciden en el riesgo de inundación.

El resultado fue un mapa ráster continuo que clasificó cada celda del territorio según su nivel relativo de riesgo.

Conversión del resultado y análisis vectorial

Con el fin de facilitar el análisis de áreas, el ráster final fue convertido a formato vectorial. Esta conversión permitió agrupar los polígonos por categoría de riesgo y calcular con precisión la superficie correspondiente a cada clase. Posteriormente, se aplicó un suavizado geométrico para mejorar la calidad visual de los polígonos y eliminar bordes irregulares propios de la conversión automática.

Se crearon campos adicionales para identificar la clase cualitativa de riesgo y su área en kilómetros cuadrados. Esta tabla alimentó el análisis final sobre la distribución espacial del riesgo y la identificación de zonas críticas.

Diseño cartográfico y análisis interpretativo

Finalmente, se diseñó el mapa oficial de riesgo aplicando simbología por valores únicos, con una escala cromática progresiva del verde al rojo. El diseño incluyó cuadrícula de coordenadas, leyenda, norte y escala gráfica.

El análisis de este producto permitió identificar concentraciones de riesgo alto y muy alto, contrastarlas con registros históricos de inundaciones y evaluar los impactos potenciales sobre comunidades, infraestructura y sistemas productivos.

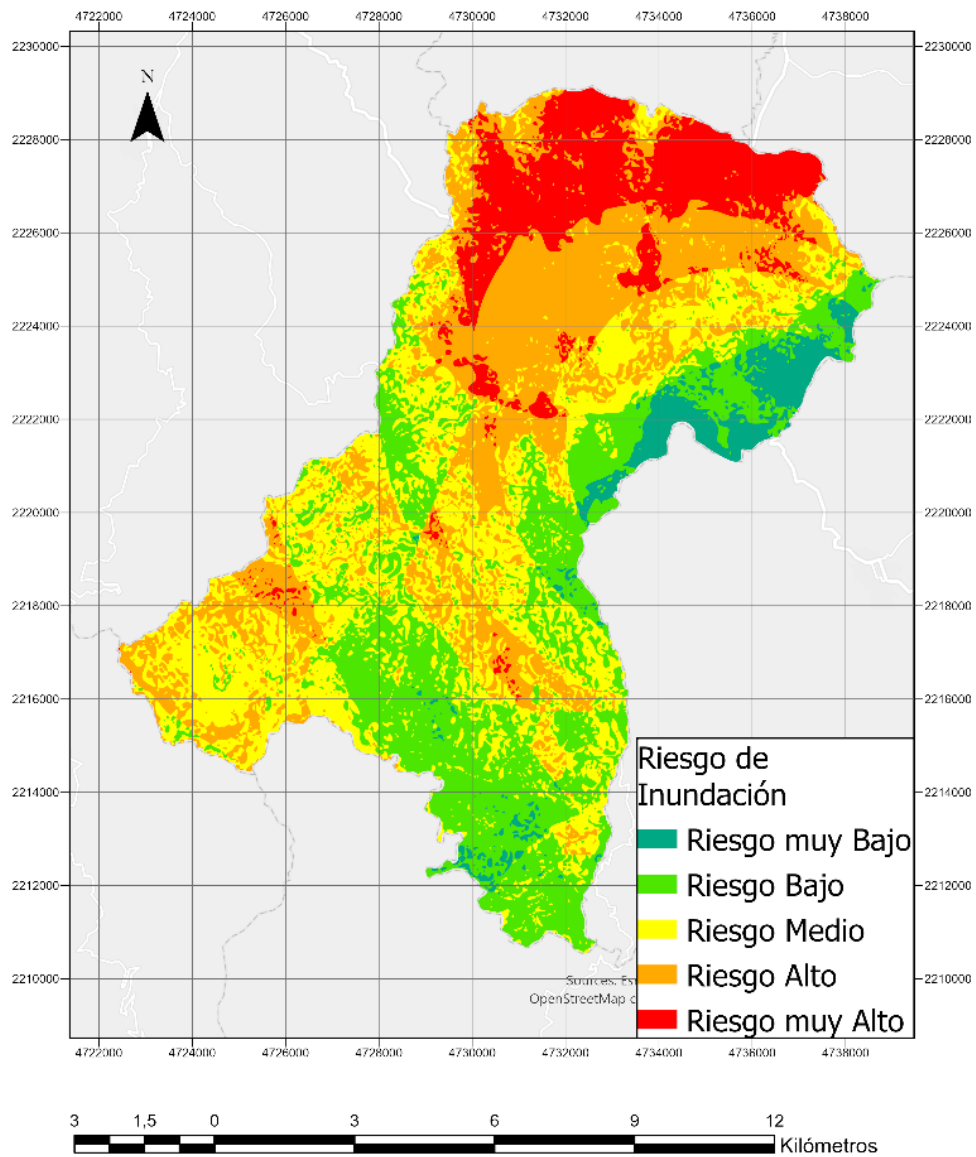
Resultados

Mapa de riesgo por inundación del municipio

El mapa de riesgo de inundación constituye el producto central del estudio, al integrar múltiples factores ambientales y territoriales mediante análisis multicriterio. En este mapa se representan cinco categorías cualitativas del riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. La cartografía fue diseñada incorporando título, leyenda, escala gráfica, flecha norte y cuadrícula de coordenadas, siguiendo lineamientos técnicos empleados en la elaboración de mapas temáticos para estudios territoriales y de riesgo (Valderrama, 2018).

El mapa evidencia una distribución espacial heterogénea del riesgo, destacándose zonas de alta susceptibilidad en áreas bajas y planas del norte y noreste del municipio. Estas áreas coinciden con la presencia de cauces principales, pendientes suaves y una mayor concentración de escorrentías superficiales. Las características geomorfológicas del municipio, descritas en estudios previos sobre la dinámica hídrica y el comportamiento de las quebradas locales, indican que las planicies aluviales presentan baja capacidad de drenaje y son propensas a desbordamientos durante eventos de lluvia intensa (Cornare, 2011).

Figura 1. *Mapa de riesgo de inundación del municipio de La Ceja*



Escala: 1:105.000

La Figura 1 presenta la distribución espacial del riesgo de inundación en el municipio de La Ceja, mostrando de manera integrada los resultados del modelo multicriterio. El mapa evidencia una gradiente de riesgo donde las zonas clasificadas como muy alto y alto se concentran principalmente en el norte y noreste del territorio, coincidiendo con áreas de baja elevación, pendientes suaves y proximidad a la red hídrica. Los sectores con riesgo medio ocupan una franja intermedia, mientras que los valores bajos y muy bajos se localizan hacia la zona sur, donde predominan condiciones topográficas más favorables para el drenaje natural. La representación cartográfica incluye elementos esenciales como cuadrícula, simbología continua y escala, lo que facilita la interpretación técnica del comportamiento espacial del riesgo y respalda la identificación de áreas críticas para la gestión territorial.

Tabla de áreas por categoría de riesgo

Los cálculos de superficie permitieron cuantificar la extensión de cada categoría de riesgo. Esta información es fundamental para estimar la proporción del territorio expuesta a inundaciones y priorizar estrategias de gestión.

Tabla 3. *Área por categoría cualitativa de riesgo*

Categoría de riesgo	Área (km²)	Porcentaje del municipio
Muy bajo	6,08	4,6 %
Bajo	33,42	25,6 %
Medio	37,93	29,0 %
Alto	36,24	27,7 %
Muy alto	17,11	13,1 %

La Tabla 3 resume la distribución territorial de las categorías de riesgo de inundación, permitiendo cuantificar la proporción del municipio expuesta a cada nivel de susceptibilidad. Los resultados muestran que las clases medio y alto representan más del 56 % del área total, lo que indica una vulnerabilidad considerable en amplias zonas del territorio. La categoría muy alta alcanza el 13,1 %, concentrándose principalmente en sectores de baja altitud y mayor influencia hidrológica. En contraste, solo el 4,6 % del municipio se clasifica como de riesgo muy bajo, evidenciando que las condiciones favorables para la mitigación del riesgo son limitadas. Este comportamiento

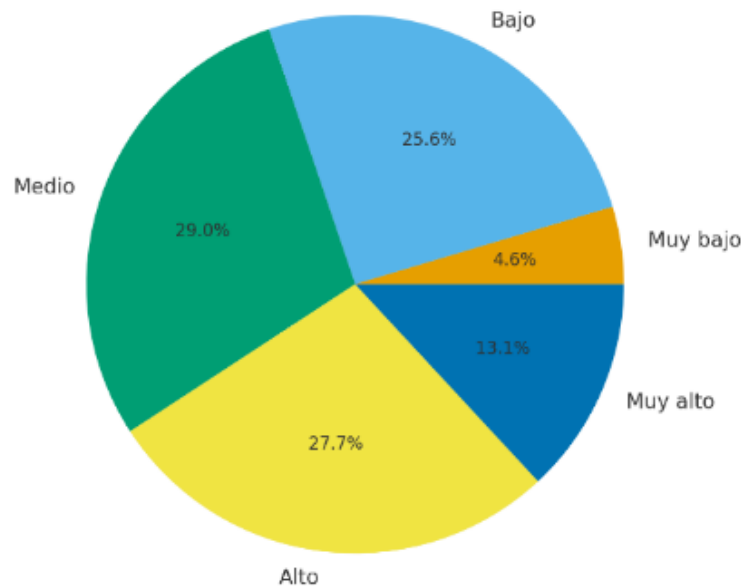
cuantitativo complementa la interpretación espacial del mapa de riesgo y refuerza la necesidad de priorizar intervenciones en las zonas más afectadas.

En conjunto, las categorías medio y alto corresponden a más del 56% del territorio, lo que sugiere una vulnerabilidad generalizada. Este patrón coincide con la zonificación física del municipio, donde se señala que amplias áreas del altiplano presentan pendientes bajas y moderadas que favorecen la acumulación de escorrentías y aumentan la susceptibilidad a procesos de inundación, especialmente durante los periodos de lluvias más intensas (Cornare, 2012).

Gráficas comparativas

Para complementar el análisis de superficies se elaboraron dos representaciones gráficas que permiten observar con claridad el peso relativo de cada categoría de riesgo.

Figura 2. *Distribución porcentual del riesgo de inundación*

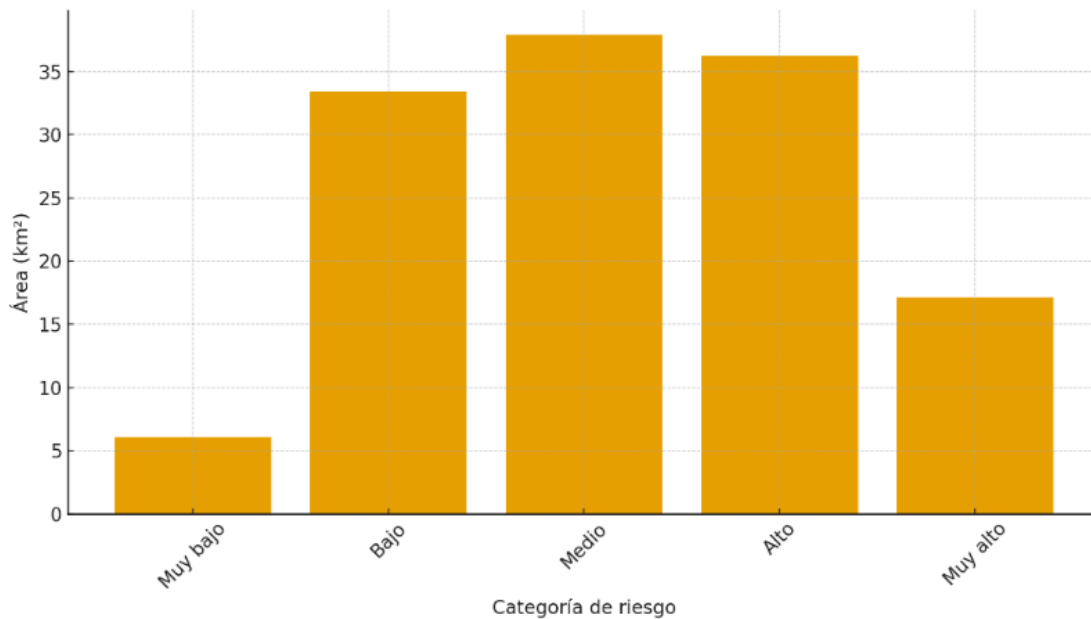


La Figura 2 muestra la distribución porcentual de las categorías de riesgo de inundación en el municipio, permitiendo visualizar de manera comparativa la proporción del territorio que corresponde a cada nivel de susceptibilidad. El gráfico evidencia que las clases medio y alto son las predominantes, con valores del 29 % y 27,7 % respectivamente, lo que confirma la amplia extensión de áreas con niveles intermedios y elevados de riesgo. La categoría bajo también representa una fracción significativa del territorio (25,6 %), mientras que los niveles muy bajo y muy alto corresponden a proporciones menores, aunque no por ello menos relevantes en términos de gestión del riesgo. Esta representación facilita la identificación de tendencias generales en el

comportamiento del riesgo y complementa el análisis espacial realizado a partir del mapa de susceptibilidad.

La Figura 3 representa el área en kilómetros cuadrados correspondiente a cada categoría de riesgo de inundación, permitiendo comparar de manera directa la magnitud territorial de cada clase. El gráfico muestra que las categorías medio y alto concentran las mayores extensiones, con valores de 37,93 km² y 36,24 km² respectivamente, lo que evidencia un predominio de zonas con susceptibilidad considerable dentro del municipio. La categoría bajo alcanza 33,42 km², mientras que los valores muy bajo y muy alto presentan extensiones menores, aunque relevantes para la priorización de intervenciones. Esta distribución refuerza los patrones observados en el mapa de riesgo y evidencia la importancia de orientar esfuerzos de gestión hacia las áreas que concentran mayores superficies susceptibles.

Figura 3. Área en km² por categoría de riesgo



Ambas figuras evidencian que las categorías de riesgo medio y alto dominan el territorio, mientras que el riesgo muy bajo representa una proporción reducida.

Análisis de resultados

Distribución espacial del riesgo

El análisis espacial revela que:

- **Mayor riesgo (alto y muy alto):** se concentra principalmente en el norte, noreste y parte del centro-oriente del municipio.

- **Riesgo medio:** presenta un patrón más extendido en zonas de transición entre áreas bajas y sectores con pendiente moderada.
- **Menor riesgo (bajo y muy bajo):** se localiza especialmente al sur y sureste, áreas caracterizadas por topografías más elevadas y drenaje natural más eficiente.

La ubicación del riesgo coincide con lo planteado por estudios ambientales que señalan que las inundaciones tienden a intensificarse en áreas con baja altitud relativa, suelos impermeables y proximidad a drenajes, condiciones que reducen la capacidad natural de infiltración y favorecen el desbordamiento durante eventos de lluvia intensa (Lake Champlain Sea Grant – University of Vermont, 2020).

Relación con posibles afectaciones a comunidades

Las zonas de riesgo alto y muy alto abarcan sectores urbanos consolidados donde residen comunidades de densidad media. La ubicación de viviendas en planicies aluviales incrementa su exposición a daños, situación que ha sido descrita en estudios sobre vulnerabilidad urbana ante eventos de inundación en contextos latinoamericanos, donde la ocupación de áreas de drenaje natural aumenta significativamente el riesgo (Aragón, 2014). Los barrios históricamente afectados, como Leomazaro, San Cayetano, San Pedro y La Paz II, coinciden con las áreas clasificadas con mayor riesgo, lo cual respalda la validez del modelo espacial.

Estas áreas pueden enfrentar afectaciones como:

- Inundación de viviendas.
- Pérdida de bienes materiales.
- Interrupción de servicios públicos.
- Riesgos sanitarios por aguas estancadas.

Impactos potenciales en infraestructura

Las infraestructuras viales y los equipamientos públicos ubicados en zonas de mayor riesgo son susceptibles a daños estructurales, procesos de erosión, taponamientos y disminución de la capacidad hidráulica de los sistemas de alcantarillado. En contextos nacionales recientes, los reportes de emergencias por lluvias intensas han evidenciado que la insuficiencia de obras de drenaje incrementa la magnitud de los daños generados por crecientes súbitas, especialmente en municipios con limitaciones de capacidad hidráulica (ReliefWeb, 2022).

En La Ceja se reportaron, por ejemplo:

- Desbordamientos en la vía La Ceja–Rionegro.
- Afectación de puentes y box–culverts en temporadas de lluvia.
- Sedimentación en canales perimetrales urbanos.

Estos eventos coinciden con las zonas clasificadas como de mayor riesgo en el mapa.

Impactos en sistemas agropecuarios

Las áreas de riesgo medio y alto abarcan superficies rurales con alta actividad floricultora, horticultora y ganadera. Las inundaciones pueden ocasionar:

- Encharcamiento prolongado de suelos.
- Pérdida de cultivos sensibles al exceso de humedad.
- Contaminación de fuentes de agua usadas para riego.
- Deterioro de caminos de acceso a parcelas.

Los análisis recientes de emergencias asociadas a lluvias intensas en zonas rurales de Colombia evidencian que los daños en los sistemas productivos dependen tanto de la intensidad como de la duración de los eventos de inundación, factores que inciden directamente en la afectación de cultivos, vías de acceso y fuentes de agua para riego. Esta relación refuerza la necesidad de incorporar criterios de gestión del riesgo dentro del ordenamiento agroambiental del municipio, especialmente en áreas sometidas a usos productivos intensivos (ReliefWeb, 2022).

Impactos sobre ecosistemas estratégicos

Los ecosistemas ribereños de La Ceja, como bosques de galería y humedales, pueden sufrir alteraciones hidrológicas y pérdida de hábitat cuando se presentan inundaciones severas. Estos ecosistemas desempeñan un papel esencial en la regulación del flujo hídrico, la estabilización de riberas y la retención de sedimentos, funciones que contribuyen a disminuir la intensidad de las escorrentías y a amortiguar el impacto de los aumentos súbitos de caudal. Cuando se deterioran o son reemplazados por usos urbanos o agrícolas, la capacidad del paisaje para mitigar inundaciones se reduce de manera significativa (Lake Champlain Sea Grant – University of Vermont, 2020).

En sectores donde la vegetación ribereña ha sido sustituida por ocupación urbana o agrícola, el impacto se intensifica.

Comparación con eventos históricos

El modelo muestra coherencia con registros de inundaciones documentadas en:

- **2021:** afectaciones en Leomazaro, San Cayetano y La Paz II.
- **2024:** inundaciones en sectores como Leo Mazaro, San Pedro y Payuco.
- **2025:** emergencias en El Hipódromo y zonas cercanas a quebradas urbanas.

La superposición entre los eventos históricos registrados en el municipio y las zonas clasificadas como de riesgo alto y muy alto refuerza la solidez del modelo desarrollado, ya que evidencia coherencia entre la predicción espacial y los patrones reales de afectación. Los informes locales

documentan inundaciones en sectores como Leomazaro, San Cayetano y La Paz II durante episodios de lluvias intensas, lo cual coincide con las áreas identificadas como críticas por la modelación geoespacial (Cornare, 2011).

Conclusiones

El análisis espacial permitió comprender que el riesgo de inundación en el municipio presenta una distribución heterogénea y estrechamente vinculada a su configuración geomorfológica. Las zonas ubicadas en el norte y noreste, caracterizadas por pendientes suaves, baja altitud relativa y cercanía a la red hídrica, concentran las categorías de riesgo alto y muy alto. A su vez, las zonas meridionales muestran menor susceptibilidad, debido a condiciones topográficas más elevadas y mejor capacidad de drenaje natural. Esta configuración coincide con los patrones descritos en la literatura sobre inundaciones en planicies aluviales andinas, donde la morfología del relieve desempeña un papel determinante en la concentración del riesgo.

El uso de Sistemas de Información Geográfica y del análisis multicriterio demostró ser altamente adecuado para modelar el riesgo de inundación, ya que permitió integrar variables topográficas, hidrológicas, climáticas y de uso del suelo en un marco sistemático y comparable. La posibilidad de reclasificar, ponderar y combinar factores mediante procesos geoespaciales facilitó la generación de un modelo robusto y consistente con los eventos históricos documentados en el municipio. La correspondencia entre el mapa proyectado y las zonas previamente afectadas confirma la utilidad de esta metodología para apoyar decisiones en gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

Los resultados evidencian que una parte importante del territorio municipal presenta condiciones que favorecen la ocurrencia de inundaciones, especialmente en zonas urbanas en expansión y áreas rurales de alta actividad productiva. La identificación de áreas críticas constituye un insumo clave para orientar políticas de uso del suelo, priorizar intervenciones en infraestructura hidráulica y definir medidas preventivas para la protección de comunidades, sistemas agropecuarios y ecosistemas estratégicos. La coincidencia entre zonas de alto riesgo y sectores históricamente afectados subraya la urgencia de fortalecer la planificación territorial con base en escenarios reales de amenaza, con el fin de reducir daños y mejorar la resiliencia del municipio.

Recomendaciones

Fortalecer Se recomienda integrar el modelo de riesgo en los planes de ordenamiento territorial y los esquemas de gestión del riesgo del municipio, de manera que las áreas de alto y muy alto riesgo sean consideradas como zonas de restricción o intervención prioritaria. Esto permitirá reducir procesos de urbanización no planificada y orientar adecuadamente el crecimiento urbano.

La modelación evidencia la necesidad de ampliar, mantener y modernizar la infraestructura destinada al manejo de aguas lluvias, especialmente en sectores donde se han presentado taponamientos, desbordamientos o fallas en box-culverts y canales. Mejorar estas estructuras reduciría la acumulación de escorrentía y mitigaría daños en épocas de lluvias intensas.

En las zonas con actividad agrícola, se recomienda promover prácticas de manejo sostenible del suelo, como la revegetalización de rondas hídricas, terrazas de control, franjas de infiltración y manejo adecuado de drenajes parcelarios. Estas prácticas disminuyen la erosión, mejoran la infiltración y contribuyen a la reducción del riesgo para los sistemas productivos.

La recuperación de bosques de galería y humedales ayudaría a mejorar la capacidad de regulación hídrica del paisaje. La restauración ecológica en zonas de inundación recurrente no solo mitiga el riesgo, sino que fortalece la resiliencia ecosistémica ante eventos climáticos extremos.

Dado que varias zonas urbanas vulnerables coinciden con sectores históricamente afectados, se recomienda implementar programas de capacitación para habitantes y actores locales sobre prevención, respuesta ante inundaciones y cuidado de la infraestructura hidráulica. La participación comunitaria ha demostrado ser un componente esencial en la reducción de afectaciones en municipios con características similares.

Referencias Bibliográficas

Aragón-Durand, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. Soluciones Prácticas – Oficina Regional para América Latina.* https://www.preventionweb.net/files/42393_42393inundacionesenzonasurbanasdecu.pdf

Climate-Data.org. (s.f.). *Clima de La Ceja, Antioquia (precipitación).* <https://es.climate-data.org/sudamerica/colombia/antioquia/la-ceja-del-tambo-130697/>

Cornare. (2011). *Informe municipal de quebradas urbanas – La Ceja.* Corporación Autónoma Regional CORNARE. <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/LA-CEJA/ANEXOS/ANEXO-2-Informe-Municipal-de-Quebradas-Urbanas-La-Ceja.pdf>

Cornare. (2012). *Zonificación de riesgo por inundación y otros fenómenos – Municipio de La Ceja.* CORNARE. <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/LA-CEJA/INFORME-FINAL-LA-CEJA.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Lake Champlain Sea Grant – University of Vermont. (2020). *Riparian forests and flood mitigation.* University of Vermont. <https://www.uvm.edu/seagrant/watershed-forestry-partnership/learn-about-riparian-forests>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2025). *Assessing the global temperature and precipitation analysis in 2025.* NOAA National Centers for

Environmental

Information.

<https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202513>

ReliefWeb. (2022). *Colombia: Floods and landslides – March 2022*. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA).

<https://reliefweb.int/disaster/fl-2022-000196-col>

Valderrama Corredor, M. L. (2018). *Evaluación de riesgos por avenidas torrenciales e inundaciones*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/33612/1/mlvalderramac.pdf>

Enlace de sustentación: <https://www.youtube.com/watch?v=4XPbHkWe--0>