

Análisis Espacial Multicriterio del Riesgo de Inundación en el Municipio de Valledupar, Cesar

Autor

Beatriz Elena Quintero Benjumea

Tutor

Jhon Henry Fonseca Piedrahita

Resumen

El presente estudio desarrolla un análisis espacial multicriterio para la identificación y zonificación del riesgo de inundación en el municipio de Valledupar, Cesar, mediante la aplicación de técnicas de modelación geoespacial en el entorno ArcGIS Pro. Se integraron variables físicas y ambientales relevantes como precipitación, pendiente, elevación, cercanía a cuerpos de agua y cobertura del suelo, las cuales fueron procesadas, reclasificadas y ponderadas de acuerdo con su influencia relativa en la ocurrencia de inundaciones.

La metodología empleó un enfoque de superposición ponderada, que permitió generar un mapa temático clasificando el territorio en cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados evidencian que aproximadamente el 70 % del área municipal presenta niveles de riesgo de medio a muy alto, concentrándose principalmente en zonas ribereñas, planicies aluviales y sectores con deficiencia en infraestructura de drenaje.

El mapa de riesgo obtenido constituye una herramienta estratégica para la planificación territorial, el ordenamiento agroambiental y la gestión del riesgo en Valledupar. Su aplicación se orienta a la identificación de zonas prioritarias para la intervención, así como al diseño de medidas estructurales y no estructurales que fortalezcan la resiliencia del territorio frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Palabras Clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis multicriterio, riesgo de inundación, ordenamiento territorial, Valledupar.

Introducción

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales más frecuentes y devastadores en Colombia, afectando tanto a zonas rurales como urbanas y ocasionando pérdidas humanas, materiales y ambientales significativas. El calentamiento global y la variabilidad climática han intensificado este fenómeno, incrementando la frecuencia de lluvias extremas y desbordamientos de ríos. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022), cerca del 60% del territorio colombiano presenta algún nivel de amenaza por inundación, siendo particularmente vulnerables las regiones Caribe y Orinoquía debido a sus condiciones hidroclimáticas.

Estas inundaciones recurrentes provocan no solo pérdidas económicas y desplazamientos de población, sino también degradación de suelos, afectación de cultivos y daños a la infraestructura pública. En respuesta, la política nacional de gestión del riesgo de desastres destaca la importancia de identificar, analizar y modelar los riesgos como estrategia clave para mitigar sus impactos, promoviendo el uso de herramientas técnicas como los SIG para apoyar la planificación territorial preventiva.



Figura 1. Ubicación del estudio. Autoría propia, 2025.

En el departamento del Cesar, y especialmente en su capital Valledupar, el riesgo de inundación se ha convertido en un tema prioritario dada la recurrencia de eventos extremos recientes. En mayo de 2023, lluvias intensas provocaron el desbordamiento de canales en el corregimiento de Badillo, afectando decenas de viviendas y obligando a las autoridades municipales a declarar alerta preventiva (Alcaldía de Valledupar, 2023). Históricamente, Valledupar ha sido impactada por inundaciones severas asociadas a temporadas lluviosas fuertes, como ocurrió durante el fenómeno La Niña 2010–2011 que causó desbordamientos del río Guatapurí y afluentes regionales. Los registros oficiales reflejan que entre 1998 y 2012 las inundaciones fueron el evento natural de mayor recurrencia en el municipio, con 52.370 personas afectadas, 10.707 familias damnificadas, 118 viviendas destruidas, 2.076 viviendas averiadas, alrededor de 6.500 hectáreas inundadas y 18 km de vías dañadas en dicho período.

Este panorama evidencia la alta vulnerabilidad de las comunidades locales y sus medios de vida frente a las crecidas súbitas. En consecuencia, resulta imprescindible desarrollar estudios detallados del riesgo de inundación en Valledupar. El presente trabajo responde a esa necesidad, empleando técnicas de modelación espacial multicriterio para generar un mapa de riesgo de inundación municipal. Dicho mapa permitirá identificar las zonas más críticas y servirá de base para implementar acciones de reducción de riesgo en el marco del ordenamiento agroambiental del territorio.

Objetivos

Objetivo General

Modelar mediante un enfoque de análisis multicriterio el riesgo de inundación en el municipio de Valledupar, con el fin de apoyar la planificación ambiental y la gestión del riesgo en el territorio.

Objetivos Específicos

Generar un mapa temático que clasifique el territorio de Valledupar según niveles de riesgo de inundación (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto).

Calcular la extensión en hectáreas y el porcentaje del área municipal correspondientes a cada categoría de riesgo de inundación identificada.

Identificar las zonas críticas de riesgo alto y muy alto para priorizar intervenciones de mitigación en áreas vulnerables del municipio.

Identificación del Caso de Estudio

Valledupar es la capital del departamento del Cesar, ubicada en la región Caribe de Colombia, al nororiente del país. El municipio se sitúa en el valle del río Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta (al occidente) y la Serranía del Perijá (al oriente), conformando una planicie ligeramente inclinada hacia el sureste. Posee una extensión aproximada de 4.200–4.500 km² y una población cercana a los 500.000 habitantes, lo que la convierte en uno de los principales centros urbanos del Caribe colombiano. Climáticamente, Valledupar presenta un clima tropical de sabana cálido y seco, con temperatura media anual alrededor de 28 °C.

Las precipitaciones muestran un régimen bimodal, con dos temporadas lluviosas definidas a lo largo del año (primavera y otoño boreal) separadas por periodos secos. Esta combinación de alta temperatura y lluvias concentradas en determinados meses genera una fuerte estacionalidad hídrica, favoreciendo eventuales excedencias de caudal en ríos y arroyos locales. De acuerdo con estudios del IDEAM, octubre es habitualmente el mes más lluvioso en la zona, factor que coincide con la ocurrencia de las inundaciones más severas. Los suelos del valle son principalmente franco-arcillosos de origen aluvial, muy fértiles para la agricultura, pero susceptibles a inundación por su baja pendiente y proximidad a fuentes hídricas.

La hidrografía de Valledupar está dominada por la cuenca del río Guatapurí, principal río que atraviesa la ciudad y desemboca en el río Cesar. Esta cuenca hidrográfica juega un papel crucial en la dinámica ambiental y productiva regional, abasteciendo acueductos, riego agrícola y otros usos. Además del Guatapurí, el territorio municipal cuenta con numerosos afluentes importantes como los ríos Cesar, Badillo, Azúcar Buena, Ariguaní, Romalito y arroyos o acequias menores que drenan áreas rurales y urbanas. La presencia de esta densa red hídrica, sumada a la topografía relativamente plana del valle, hace que amplias zonas de Valledupar sean susceptibles a inundaciones.

Estudios locales han identificado áreas críticamente expuestas a inundación, especialmente los sectores ribereños adyacentes a los cauces principales y algunos barrios urbanos con infraestructura de drenaje insuficiente. Por su parte, el Plan de Ordenamiento Territorial vigente advierte que el crecimiento urbano desordenado sobre zonas inundables, la ocupación de rondas

hídricas y la falta de planes integrales de manejo ambiental han incrementado la vulnerabilidad ante inundaciones (Alcaldía de Valledupar, 2020; Concejo Municipal de Valledupar, 2015). Esto se evidencia en asentamientos informales ubicados en franjas de inundación del río Guatapurí y en la ocupación de antiguos cauces para vivienda, lo que agrava el impacto de las crecidas.

En términos socioeconómicos, Valledupar se caracteriza por una economía basada en agricultura, ganadería y servicios, con importantes áreas rurales dedicadas a cultivos de palma africana, arroz, algodón y otros productos. Paradójicamente, estas zonas productivas suelen ubicarse en tierras bajas y vegas aluviales fértiles, que son las más proclives a anegarse durante las crecientes. Las comunidades rurales y periurbanas asentadas cerca de las orillas de ríos y acequias enfrentan así un riesgo significativo, debido a que sus viviendas e infraestructura básica (vías, puentes, sistemas de acueducto) pueden ser afectadas cuando ocurren lluvias torrenciales.

Un informe de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres señala que las inundaciones han sido el fenómeno que más afecta a la población vallenata, superando a otros eventos como vendavales o deslizamientos. Este contexto general convierte a Valledupar en un caso de estudio idóneo para aplicar metodologías SIG en la evaluación del riesgo de inundación. La información resultante puede orientar tanto a las autoridades ambientales y de gestión del riesgo, como a los planificadores urbanos y sector agropecuario, en la toma de decisiones informadas para la reducción de la vulnerabilidad territorial.

Metodología

La metodología para la modelación del riesgo de inundación en Valledupar se basó en técnicas de análisis espacial implementadas con ArcGIS Pro, siguiendo las guías de aprendizaje desarrolladas en las fases previas del diplomado. En primer lugar, se definió la extensión del estudio a partir del límite administrativo del municipio (polígono municipal obtenido de cartografía oficial). Sobre esta área de estudio, se recopilaron y prepararon las capas de información temática relevantes para el análisis de inundaciones. Los datos espaciales empleados incluyeron: un Modelo Digital de Elevación (MDE) de alta resolución para derivar la pendiente y altitud del terreno, registros históricos de precipitación promedio anual, la red hidrográfica con ríos principales y arroyos (cuerpos de agua superficiales), y un mapa de cobertura del suelo o uso de la tierra actualizado.

Estas capas provienen de fuentes oficiales colombianas como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018) y el IDEAM, garantizando la confiabilidad de la información base. Cada capa fue proyectada al sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS apropiado para la zona de estudio y recortada al perímetro municipal de Valledupar para fines de consistencia espacial. Se realizaron procesos de limpieza de datos y, en el caso de la cobertura de suelo, se agruparon las clases en categorías pertinentes a retención de agua (ej. áreas impermeables vs. vegetación) para simplificar el análisis.

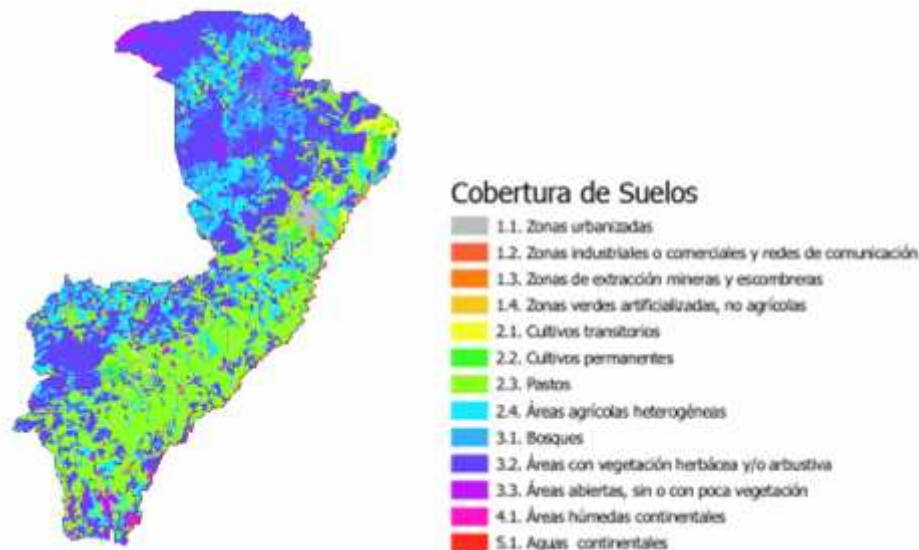


Figura 2. Cobertura del suelo en Valledupar. Autoría propia, 2025.

Este mapa muestra la distribución de 14 clases de cobertura terrestre en el municipio. Las zonas urbanas e industriales (en rojo y naranja) se concentran al norte y suroccidente, mientras que las áreas de cultivos, pastizales y mosaicos agrícolas (en verdes y azules) predominan en el centro y sur. Las coberturas naturales como bosques y herbazales se distribuyen de forma más fragmentada. Esta capa fue fundamental para identificar sectores con mayor escorrentía potencial y baja capacidad de infiltración, factores críticos para la acumulación superficial de agua.

Con las capas de factores definidas, se aplicó un enfoque multicriterio para integrar las distintas variables que inciden en el riesgo de inundación. Este enfoque consiste en asignar un peso o importancia relativa a cada factor ambiental, reflejando su influencia potencial en la ocurrencia de inundaciones. En este estudio se consideraron cinco factores principales: proximidad a cuerpos de agua, pendiente del terreno, precipitación, cobertura/uso del suelo y elevación. Siguiendo recomendaciones técnicas y bibliografía sobre amenaza por inundaciones, se estableció la siguiente ponderación de factores: precipitación (35%), cercanía a ríos/caños (30%), pendiente (15%), cobertura del suelo (10%) y elevación (10%).

Estos porcentajes suman 100% y reflejan, por ejemplo, que la lluvia y la cercanía al agua superficial son los factores más determinantes en la generación de inundaciones en la zona de estudio. Para cada capa factor, se llevó a cabo una reclasificación estandarizada a una escala de índice de riesgo común. En concreto, las variables continuas (ej. distancia a río, % de pendiente, altura) fueron clasificadas en cinco rangos y se les asignaron valores numéricos crecientes (p. ej., 2, 4, 6, 8, 10) donde 2 representa condiciones de menor riesgo y 10 condiciones de mayor riesgo.

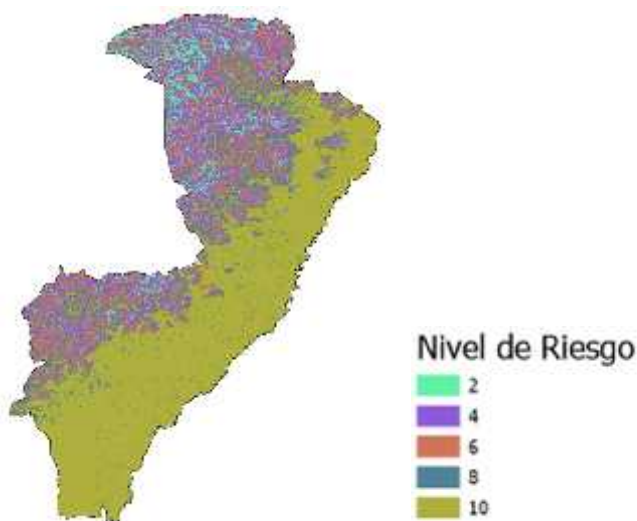


Figura 3. Reclasificación de pendientes. Autoría propia, 2025.

El mapa de pendientes clasifica el terreno de Valledupar en rangos desde pendientes suaves (0–8%) hasta fuertes (>30%). Se observa que una gran parte del municipio presenta pendientes bajas (en amarillo), especialmente en las zonas centro y norte, lo que las hace más vulnerables a la acumulación de agua. Las pendientes moderadas y altas se encuentran hacia el occidente y suroriente, donde se espera menor susceptibilidad a inundaciones por mayor capacidad de escurrimiento. Este criterio fue clave para valorar la dinámica superficial del agua lluvia.

De igual forma, se asignaron puntajes más altos a las zonas muy cercanas a ríos, a las de baja elevación absoluta y a las coberturas del suelo impermeables o que favorecen el escurrimiento (como áreas urbanizadas), en contraste con puntajes bajos a zonas alejadas de cauces, elevadas o con cobertura natural densa que facilita la infiltración. Este procedimiento de estandarización permitió combinar los factores en una ecuación de riesgo mediante la superposición ponderada (Weighted Overlay) en ArcGIS Pro. La operación se realizó a través de la calculadora ráster, multiplicando cada capa factor por su peso relativo y sumando los resultados para obtener un índice de riesgo de inundación continuo en todo el municipio.

Cabe mencionar que la selección y ponderación de los factores sigue metodologías validadas en estudios previos; por ejemplo, Gonzales (2006) y Ardila (2023) emplearon análisis multicriterio con técnica AHP para estimar amenazas de inundación en territorios colombianos, mientras que Sevillano (2020) reporta una zonificación exitosa de amenaza de inundación en Cali usando evaluación multicriterio basada en SIG. Adicionalmente, estudios más recientes en el municipio, como el de Mejía Coronel (2021), han utilizado imágenes satelitales y SIG para analizar la exposición urbana al riesgo de inundación, lo cual complementa la validez del enfoque empleado en este estudio.

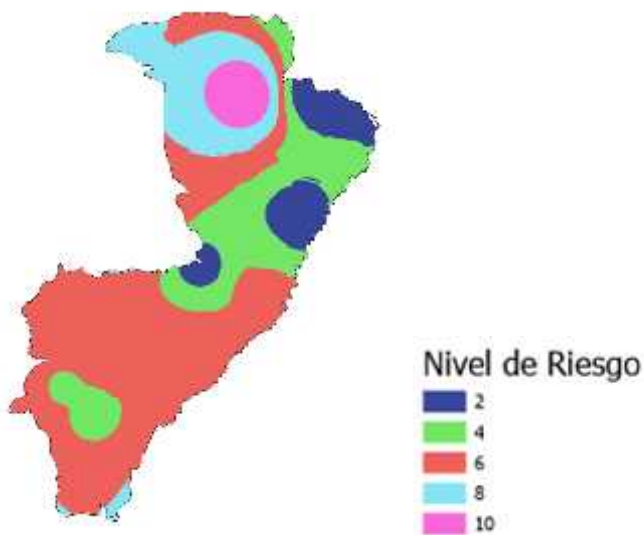


Figura 4. Reclasificación de precipitación (abril). Autoría propia, 2025.

La capa de precipitación clasifica la pluviosidad del mes de abril en cinco rangos. Se evidencian zonas con altos valores de precipitación (en rojo y fucsia) en el sur, centro y noroeste del municipio, donde superan los 140 mm, lo que incrementa notablemente el riesgo. Las áreas con menor precipitación (azules y verdes) se ubican hacia el extremo noreste. Esta capa recibió el mayor peso (35%) debido a su influencia directa en la generación de escorrentías y saturación del suelo, factores determinantes en la ocurrencia de inundaciones.

Finalmente, se procedió al post-procesamiento cartográfico y al cálculo de áreas de riesgo. El mapa ráster de índice de riesgo obtenido fue reclasificado en cinco categorías cualitativas correspondientes a niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Este paso se apoyó en los valores umbrales de la escala 2–10 previamente asignada, asegurando una clasificación coherente. Cada celda del ráster recibió una etiqueta de nivel de riesgo según su valor final, generando así un mapa temático preliminar.

Para mejorar la calidad visual y facilitar la interpretación, el ráster clasificado se convirtió a formato vectorial de polígonos mediante la herramienta Raster a Polígono de ArcGIS. Los polígonos resultantes presentaban bordes muy irregulares debido a la naturaleza pixelada del ráster, por lo que se aplicó un suavizado (herramienta Smooth Polygon) usando el algoritmo de interpolación de Bézier para estilizar los límites sin alterar significativamente las áreas. Seguidamente, se realizó un dissolve por atributo de nivel de riesgo para unir en una sola entidad todas las zonas discontiguas que compartían la misma categoría de riesgo.

De este modo, se obtuvo un conjunto simplificado de cinco polígonos principales (uno por cada nivel de riesgo), facilitando la lectura del mapa. Sobre la capa vectorial final se llevó a cabo el cálculo de geometría para determinar el área en hectáreas de cada categoría de riesgo. Esta información métrica es fundamental para cuantificar la extensión del territorio bajo distintos grados de amenaza. Adicionalmente, se integró la capa de drenajes principales (ríos y arroyos) al mapa final para contextualizar espacialmente las zonas de riesgo con respecto a la hidrografía local. El diseño cartográfico incluyó simbología graduada (de azul a rojo) para diferenciar los

niveles de riesgo, anotaciones de localidades importantes y una leyenda explicativa. Con el mapa elaborado, el equipo procedió a analizar los resultados en términos de distribución espacial del riesgo y sus posibles implicaciones, identificando áreas críticas y relacionándolas con elementos expuestos (población, infraestructura, actividades agropecuarias y ecosistemas) tal como se detalla en la siguiente sección.

Resultados

En la Figura 1 se presenta el mapa de riesgo de inundación obtenido para Valledupar, el cual clasifica el territorio municipal en cinco niveles cualitativos que van desde **muy bajo** (tonalidades azul claro) hasta muy alto (tonalidades rojo intenso). A primera vista se aprecia que las áreas con riesgo más elevado se concentran principalmente a lo largo de ciertos cursos fluviales y zonas bajas del municipio, mientras que las áreas de riesgo bajo o muy bajo se distribuyen mayormente en sectores más elevados o alejados de los ríos. La zona central y nororiental de Valledupar, correspondiente al valle plano cercano al río Cesar y la parte baja de la cuenca del río Guatapurí, exhibe amplias superficies coloreadas en rojo y naranja, indicando niveles de riesgo alto y muy alto.

En contraste, hacia las periferias occidental y sudoriental (áreas de piedemonte y lomeríos de la Sierra Nevada y Serranía del Perijá) predominan los colores azul y verde que representan riesgo muy bajo a medio. Esta diferenciación espacial sugiere una fuerte correlación entre la propensión a inundaciones y factores como la altitud, pendiente y cercanía a fuentes hídricas, coherente con las premisas del modelo. Se destaca además que el área urbana de Valledupar (cabecera municipal) muestra un mosaico de zonas con riesgo medio a alto intercaladas, reflejando la influencia local de la infraestructura de drenaje y la ocupación del suelo urbano en la modulación del riesgo.

Para cuantificar la distribución areal de los niveles de riesgo, se elaboró la Tabla 1 con el área en hectáreas y el porcentaje del territorio municipal que corresponde a cada categoría. Los resultados numéricos confirman que aproximadamente el 70% del municipio se clasifica entre riesgo medio, alto o muy alto, mientras que solo cerca de un 30% se ubica en riesgo bajo o muy bajo de inundación.

En particular, el riesgo alto abarca la mayor proporción del territorio, seguido por los riesgos bajo y medio en extensión muy similar, y por último el riesgo muy alto y muy bajo ocupando las porciones menores (aunque significativas). Estos valores ponen de manifiesto que una fracción importante del municipio –en especial sus áreas productivas planas– está potencialmente expuesta a inundaciones, lo cual merece atención prioritaria en la gestión territorial.

De igual forma, se identifican sectores de riesgo muy alto en ciertos corregimientos de la Sierra Nevada que, pese a su elevación, están ubicados junto a quebradas de respuesta torrencial. Por ejemplo, inmediaciones de poblaciones como Atánquez y Chemesquemena aparecen con nivel de riesgo elevado en el mapa, lo cual puede atribuirse a su ubicación cercana a cauces de montaña que pueden crecer súbitamente. En general, las áreas de muy alto riesgo suelen coincidir con sitios donde históricamente se han registrado inundaciones significativas: sectores ribereños del Guatapurí (incluyendo barrios urbanos en su margen derecha) y zonas bajas rurales sujetas a desbordamientos de ríos y arroyos menores. Estas son precisamente las localidades donde los

impactos potenciales sobre las comunidades e infraestructura serían más severos en caso de presentarse eventos extremos. Entre los elementos expuestos en estas áreas críticas se cuentan viviendas (algunas en asentamientos informales), vías terciarias que comunican veredas, puentes sobre ríos, sistemas de riego y acueductos veredales, así como suelos agrícolas de alto valor productivo.

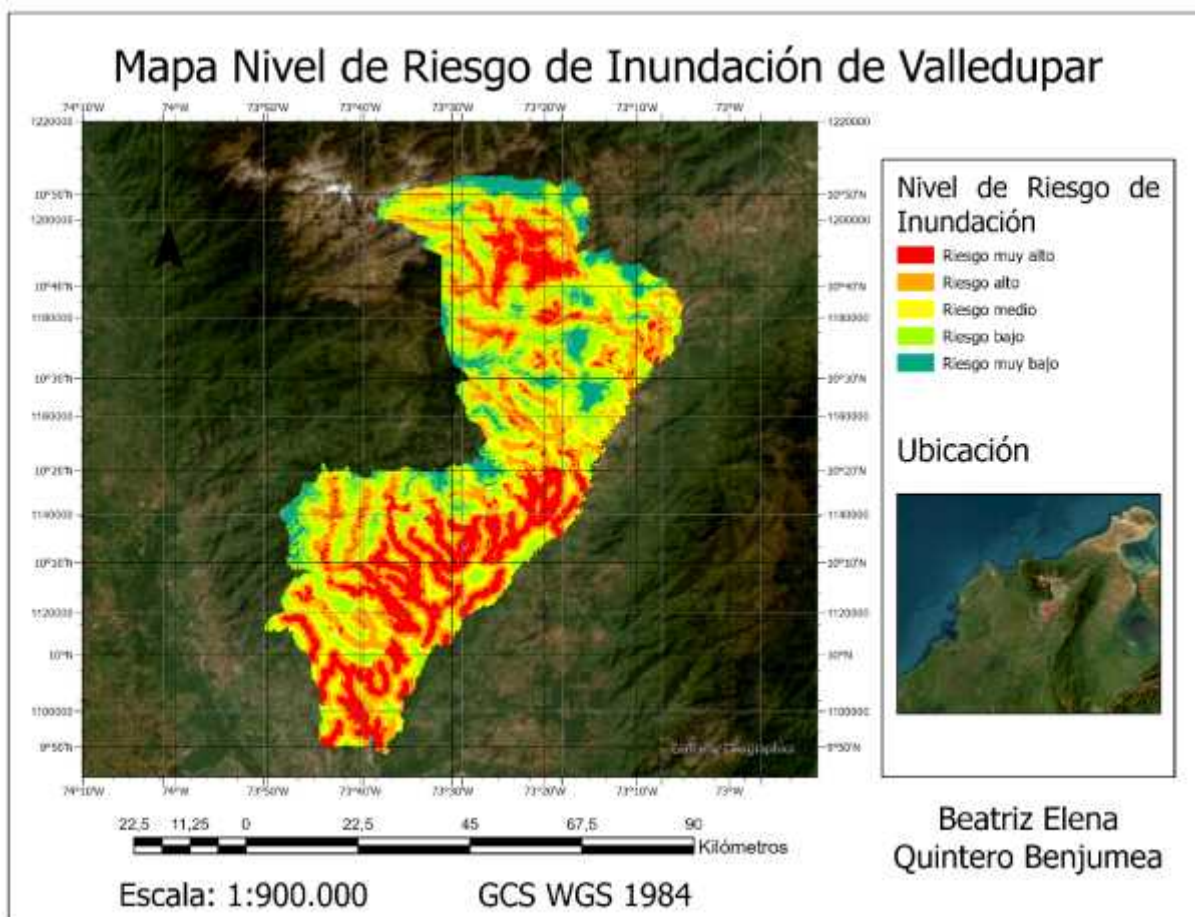


Figura 5. Mapa de riesgo de inundación municipio de Valledupar, Cesar. Autoría propia, 2025.

Del análisis espacial se identificó que las zonas de riesgo muy alto (aproximadamente 85 mil ha, equivalentes al 20% del área) se localizan principalmente en las cercanías de las fuentes hídricas mayores y en depresiones naturales propensas a acumulación de agua. Corresponden a las áreas que en el mapa (Figura 1) aparecen en rojo intenso, destacando franjas a lo largo del curso medio-bajo del río Guatapurí y en la margen del río Cesar. En estas zonas, la topografía prácticamente llana y la presencia histórica de ciénagas o planicies de inundación favorecen que, durante periodos de lluvias intensas, el agua se desborde e inunde extensiones considerables. Un ejemplo notorio es la planicie aluvial al norte de la cabecera municipal, donde el río Cesar forma meandros: dicha área muestra riesgo muy alto y coincide con terrenos dedicados a ganadería y cultivos permanentes, los cuales podrían sufrir graves anegamientos en crecientes extraordinarias.

El riesgo alto, categorizado en color naranja en el mapa, es el nivel de mayor cobertura areal (más de 111 mil ha, 26,7% del municipio) según la Tabla 1. Las zonas de riesgo alto suelen rodear o extender las de riesgo muy alto anteriormente descritas, formando amplios cinturones inundables. Geográficamente, abarcan gran parte de la llanura central del municipio y tramos medios de las cuencas hidrográficas locales. Muchos de los predios agropecuarios de Valledupar –especialmente aquellos con cultivos permanentes (p. ej. palma aceitera) o semi-permanentes– se ubican dentro de esta clase de riesgo. Esto implica que una porción importante de la producción agropecuaria está expuesta a inundaciones periódicas. Por ejemplo, las vegas del río Cesar hacia el sur del municipio, donde se desarrollan cultivos de arroz y pastos, presentan riesgo alto de inundación: en épocas de lluvias fuertes, estos campos pueden anegarse, ocasionando pérdidas económicas en cosechas y ganados.

OBJECTID *	Shape *	Área_ha	Class_Riesgo_
1	Polígono	35017,57	Riesgo muy bajo
2	Polígono	94080,37	Riesgo bajo
3	Polígono	91249,06	Riesgo medio
4	Polígono	111421,19	Riesgo alto
5	Polígono	85110,37	Riesgo muy alto

Figura 6. Extensión del territorio de Valledupar bajo cada nivel de riesgo de inundación. Autoría propia, 2025.

Igualmente, en la zona oriental cercana al límite con La Guajira, el río Romalito y otros arroyos delimitan áreas de riesgo alto que incluyen asentamientos rurales dispersos. Aunque la densidad poblacional allí es baja, las familias campesinas que habitan esas áreas podrían quedar aisladas o ver afectada su infraestructura básica (viviendas, caminos, puentes peatonales) durante una inundación severa. De acuerdo con reportes locales, las inundaciones en el municipio han dañado históricamente alrededor de 18 km de vías y destruyó cientos de viviendas, particularmente en zonas clasificadas hoy con riesgo alto (Jiménez, 2014). Estos datos respaldan la validez del mapa obtenido, pues las áreas identificadas con mayor riesgo coinciden con sitios donde se han materializado daños considerables en el pasado.

El nivel de riesgo medio (amarillo en la Figura 1) cubre aproximadamente un 22% del territorio (unas 91 mil ha, según Tabla 1). Representa la categoría más extensa después del riesgo alto, siendo dominante en paisajes de transición entre las tierras bajas inundables y las zonas altas más seguras. En Valledupar, gran parte de la periferia de la mancha urbana cae en riesgo medio: estos son barrios localizados en terrenos ligeramente elevados o con alguna protección natural, donde la probabilidad de inundación existe principalmente bajo eventos extremos poco frecuentes. También zonas con cobertura vegetal dispersa o cultivos de ciclo corto (transitorios) se clasifican como riesgo medio, dado que ofrecen cierta mitigación al escurrimiento, aunque podrían inundarse en temporadas de lluvia prolongada.

Si bien el riesgo medio implica menor amenaza que las categorías superiores, no deja de ser relevante. Áreas como la Comuna 2 de la ciudad (barrios alrededor del canal Panamá y la antigua laguna de oxidación) encajan en esta categoría: allí las inundaciones ocurren ocasionalmente cuando las obras de drenaje colapsan por basuras o sedimentación, provocando daños moderados en viviendas de un piso y pérdida de encerres. Igualmente, algunas zonas de colinas bajas y piedemontes del oriente vallenato presentan riesgo medio; en estos sitios las pendientes ayudan al drenaje, pero la escorrentía puede concentrarse en quebradas que, aunque pequeñas, pueden salir de cauce localmente. Desde una perspectiva ambiental, muchas áreas de riesgo medio mantienen suelos fértiles y bosques riparios parcialmente conservados que actúan como amortiguadores naturales. No obstante, si esas coberturas naturales se siguen degradando (por tala o expansión agrícola), es posible que dichas áreas aumenten su nivel de riesgo en el futuro. Por tanto, las zonas clasificadas con riesgo medio requieren igualmente atención en la planificación, para evitar que cambios en el uso del suelo o el clima las desplacen a categorías de mayor peligrosidad.

En cuanto a los niveles de riesgo bajo y muy bajo (tonos verde y azul en el mapa, respectivamente), juntos comprenden alrededor de una tercera parte de la superficie municipal. El riesgo bajo abarca cerca del 22,6% del territorio y el muy bajo apenas el 8,4% (Tabla 1). Estas zonas de menor riesgo se ubican principalmente en las partes altas de la cuenca –estribaciones de la Sierra Nevada y Serranía del Perijá– así como en algunos interfluvios elevados del valle. Se caracterizan por tener condiciones topográficas y de cobertura que disipan la energía de las lluvias: pendientes moderadas a fuertes, buena drenabilidad del suelo y, en muchos casos, presencia de vegetación natural o forestal. Por ejemplo, sectores de la cuenca alta del río Guatapurí donde existen bosques y selvas protectoras se clasifican como riesgo muy bajo; estas áreas son fundamentales para la regulación hídrica, ya que reducen la escorrentía y promueven la infiltración, disminuyendo la probabilidad de inundaciones río abajo. Sin embargo, aun en estas categorías bajas se deben considerar medidas de manejo: si bien la vulnerabilidad aquí es reducida, no debe asumirse que el riesgo es inexistente.

Eventos extremos excepcionales podrían generar deslizamientos o crecientes inusuales incluso en zonas normalmente seguras. Además, es crucial mantener las restricciones de uso del suelo en áreas de riesgo bajo/muy bajo para que continúen funcionando como zonas de amortiguación. Por ejemplo, si se urbanizaran sin control las laderas actualmente verdes de la periferia, se incrementaría la escorrentía superficial y podría elevarse el riesgo de inundación en áreas adyacentes más bajas. En síntesis, las zonas de riesgo bajo y muy bajo requieren principalmente acciones preventivas de conservación ambiental (protección de cuencas, reforestación, planes de manejo de suelos) para sostener su condición favorable y apoyar la mitigación del riesgo en el ámbito municipal.

Los resultados obtenidos permiten identificar áreas críticas en las que se recomienda priorizar intervenciones. Tal como muestra el mapa, las planicies aluviales adyacentes al río Guatapurí dentro y fuera de la zona urbana concentran riesgo alto a muy alto: en dichas áreas residen miles de personas (muchas en barrios populares como Pescaito, Nueve de Marzo y Nueva Colombia) cuya seguridad se vería comprometida ante inundaciones súbitas. De igual manera, los corregimientos rurales ribereños, como aquellos situados a lo largo del río Badillo y el curso bajo del Cesar, destacan en las categorías de mayor riesgo, implicando potenciales pérdidas en viviendas campesinas, cultivos y ganado durante inundaciones severas. La vulnerabilidad de la infraestructura también es evidente: puentes vehiculares y peatonales sobre el Guatapurí y el

Badillo, la vía que conecta a la zona norte del municipio, e incluso tramos de la carretera nacional que cruza el valle podrían verse afectados por cortes e inestabilidad de terrenos en temporadas de lluvias extremas.

En contraste, la infraestructura situada en zonas de riesgo bajo (por ejemplo, la planta de tratamiento de agua de la ciudad ubicada en zona alta) tiene mayor garantía de funcionamiento continuo aun en eventos críticos. En términos de sistemas agropecuarios, se observa que muchas hectáreas en riesgo alto corresponden a sembradíos de pan coger y zonas de pastoreo; una inundación extensa ocasionaría pérdida de cosechas, muerte de animales de cría y posible contaminación de fuentes de agua usadas para riego. Por otra parte, desde la óptica de los ecosistemas, las inundaciones pueden tener efectos duales: en los humedales y llanuras inundables naturales, constituyen pulsos ecológicos necesarios que nutren de sedimentos y sostienen la productividad biológica; pero cuando estos fenómenos son exacerbados por acciones humanas (como canalizaciones o rellenos inadecuados), pueden generar daños ecológicos como erosión severa de riberas, sedimentación de caños, deterioro de la calidad del agua y muerte de fauna acuática.

Un problema identificado en Valledupar es la presencia de acequias y canales artificiales cuya capacidad es excedida con frecuencia, causando inundaciones en área urbana y periurbana. La alteración de los cauces naturales (desvíos para riego, ocupación de rondas) ha disminuido la resiliencia de los ecosistemas acuáticos y aumentado la exposición de la población a las inundaciones. Por lo tanto, los resultados de este análisis espacial no solo señalan dónde existe mayor riesgo, sino que también invitan a reflexionar sobre las causas ambientales subyacentes y la necesidad de un manejo integral de cuencas. En el siguiente apartado se presentan las conclusiones más destacadas del estudio y una serie de recomendaciones orientadas a reducir el riesgo de inundación en el municipio desde la perspectiva de la ingeniería ambiental.

Conclusiones

El análisis espacial multicriterio realizado permitió identificar con precisión las zonas de mayor riesgo de inundación en el municipio de Valledupar. A través de la integración de variables ambientales en un SIG, se logró generar un mapa detallado que distingue cinco niveles de riesgo, evidenciando patrones coherentes con la geografía local. Las áreas clasificadas con riesgo alto y muy alto se encuentran mayoritariamente en las planicies aluviales y márgenes de ríos, confirmando la fuerte influencia de la cercanía a cuerpos de agua y la baja pendiente en la propensión a inundaciones. Esta concordancia entre los resultados del modelo y la experiencia histórica de eventos de inundación en Valledupar valida la metodología empleada y realza la utilidad de la modelación espacial para la gestión del riesgo.

Se determinó que más de dos tercios del territorio vallenato presenta un riesgo significativo (medio a muy alto) de inundación bajo escenarios de lluvias intensas. En particular, se concluye que la vulnerabilidad se concentra en las zonas rurales planas dedicadas a la agricultura y en ciertos sectores urbanos populosos asentados junto a cauces. Esto implica que, sin medidas adecuadas, un porcentaje importante de la población, infraestructuras y actividades económicas del municipio se vería afectado ante inundaciones de gran magnitud (Gobernación del Cesar, 2023). Por otro lado, las zonas de riesgo bajo —ubicadas en su mayoría en las partes altas de la cuenca— actúan actualmente como áreas de amortiguación hídrica, lo que resalta la importancia de conservar

dichas regiones para que continúen brindando servicios ecosistémicos de regulación y protección natural frente a eventos extremos.

En síntesis, el estudio demuestra la eficacia de los Sistemas de Información Geográfica combinados con técnicas multicriterio para evaluar amenazas ambientales y orientar el ordenamiento territorial. La cartografía de riesgo obtenida constituye una herramienta de planificación valiosa para las autoridades locales, facilitando la toma de decisiones informadas en materia de uso del suelo, infraestructura y atención de emergencias. Adicionalmente, la perspectiva agroambiental adoptada permitió visibilizar los impactos potenciales de las inundaciones no solo sobre la población y las estructuras físicas, sino también sobre los sistemas productivos agrarios y los ecosistemas. Esto refuerza la necesidad de abordar la gestión del riesgo de inundación de forma integral, articulando medidas de tipo estructural (obras de drenaje, diques) con estrategias no estructurales (educación comunitaria, protección de cuencas) para lograr un territorio más resiliente. En futuras investigaciones, se recomienda incorporar variables socioeconómicas y escenarios de cambio climático a la modelación, a fin de afinar aún más la estimación del riesgo y planificar medidas de adaptación de largo plazo para Valledupar.

Recomendaciones

-)] **Reforestar cuencas altas y zonas de recarga hídrica:** Implementar programas de reforestación y conservación de bosques en la Sierra Nevada y Serranía del Perijá para reducir la escorrentía superficial, mejorar la infiltración y disminuir los picos de caudal en épocas de lluvia.
-)] **Proteger rondas hídricas y humedales:** Delimitar y respetar las franjas de protección de ríos, quebradas y humedales en el municipio, evitando asentamientos o cultivos en estas áreas, de modo que actúen como zonas de amortiguación natural ante desbordamientos.
-)] **Mejorar la infraestructura de drenaje urbano:** Diseñar y ejecutar obras de drenaje pluvial (canales, box culverts, alcantarillado pluvial) en los barrios más vulnerables, además de mantener limpias las acequias y caños existentes, para incrementar la capacidad de conducción de aguas lluvias y prevenir inundaciones repentinas.
-)] **Ordenamiento territorial restrictivo en zonas inundables:** Fortalecer la aplicación del POT con regulaciones estrictas que prohíban nuevas construcciones en áreas identificadas de alto riesgo de inundación y reubicar progresivamente las viviendas situadas en los márgenes de ríos, combinando incentivos y sanciones para asegurar el cumplimiento.
-)] **Sistemas de alerta temprana y capacitación comunitaria:** Implementar un sistema de monitoreo hidrometeorológico local y alarmas tempranas que avisen a la población sobre crecidas inminentes, complementado con jornadas de educación y simulacros periódicos en las comunidades ribereñas para mejorar su preparación y respuesta ante eventos de inundación.

Bibliografía

Alcaldía de Valledupar. (2020). *Plan de desarrollo del municipio de Valledupar: Valledupar en orden 2020–2023*. Valledupar, Colombia: Alcaldía Municipal.

- Alcaldía de Valledupar. (2023, 18 de mayo). Oficina Municipal de Gestión del Riesgo se encuentra en alistamiento preventivo tras fuertes lluvias en Valledupar. *Sala de Prensa - Alcaldía de Valledupar*.
- Ardila, E. T. (2023). *Evaluación de la amenaza por eventos de inundación en un sector de la cuenca alta del río Bogotá empleando un enfoque de análisis multicriterio AHP* [Trabajo de grado, Universidad El Bosque]. Repositorio UNBosque.
- Consejo Municipal de Valledupar. (2015). Acuerdo N° 011 del 5 de junio de 2015: Por el cual se aprueba el segundo Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Valledupar. Concejo de Valledupar.
- Gobernación del Cesar. (2023). *Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres, Cesar 2023–2030*. Valledupar, Colombia: Gobernación del Cesar.
- Gonzales, J. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(8), 59–70.
- IDEAM. (2022). *Estudio Nacional del Agua – Resumen Ejecutivo*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (2018). Datos Abiertos de Cartografía y Geografía – GEOPORTAL. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Jiménez, C. M. (2014, 1 de abril). Inundaciones en Valledupar: riesgo latente. *El Pílon*.
- Mejía Coronel, J. F. (2021). *Estimación del riesgo por inundación en la ciudad de Valledupar utilizando imágenes satelitales y sistemas de información geográfica* [Tesis de pregrado, Universidad del Norte]. Repositorio UNINORTE.
- Sevillano, M. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (26), 122–147.

Sustentación

https://youtube.com/watch?v=_6LQ2J9ECeM&feature=shared