

Análisis geoespacial del riesgo de inundación en Cajamarca mediante modelación en ArcGIS Pro

Autores:

Andrés Camilo Rodríguez Barrios - acrodriguezba@unadvirtual.edu.co

Dago Andrés Méndez Calderón - damendezcal@unadvirtual.edu.co

Fabio Sandoval Linares - fsandovall@unadvirtual.edu.co

Luis Miguel Garzón Torres - lmgarzonto@unadvirtual.edu.co

Paola Andrea Espitia Tijaro - paespitiat@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa - gina.posada@unad.edu.co

Resumen:

El presente estudio tuvo como objetivo general modelar el riesgo de inundación en el municipio de Cajamarca, Tolima, mediante la aplicación de técnicas de análisis espacial en Sistemas de Información Geográfica (SIG) a través del software ArcGIS Pro. La metodología se fundamentó en realizar análisis multicriterio, que incluyó la preparación de datos ráster y vectoriales, la reclasificación temática y la suma ponderada de factores relevantes para la dinámica hídrica. Se destacaron el modelo de elevación digital (DEM del Municipio), el mapa de pendientes, la cobertura de la tierra, la precipitación mensual de mayor intensidad y las distancias a los drenajes principales, todos estandarizados bajo el sistema de coordenadas MAGNA–SIRGAS CMT12. A partir del procesamiento y la ponderación de estos elementos, se generó un mapa final de riesgo que permitió clasificar zonas de riesgo por inundación, riesgo muy bajo (9%), riesgos bajo (22%), riesgo medio (26%), riesgo alto (28%) y riesgo muy alto (15%). Los resultados evidenciaron áreas críticas asociadas principalmente a sectores con baja elevación, pendientes suaves y proximidad a los drenajes, condiciones que incrementan la susceptibilidad a procesos de inundación. Es esencial e importante para la planificación territorial y la gestión agroambiental del municipio de Cajamarca, Tolima.

Palabras clave: Análisis multicriterio; datos ráster; gestión del territorio; modelación espacial.

Introducción

Según ACNUR. (2023, el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos constituye una de las manifestaciones más evidentes del cambio climático a escala global. “El calentamiento global, con cambios de clima cada vez más abruptos, está incrementando el riesgo de inundaciones. Ante precipitaciones más intensas y copiosas en muchas regiones del mundo, se prevé que las inundaciones aumenten en frecuencia y magnitud. Cada vez es más probable que se produzcan eventos climáticos extraordinarios, ya sean inundaciones fluviales estacionales relacionadas con el deshielo o con un diferente uso de la tierra y del agua por parte de las poblaciones, o inundaciones costeras debidas al efecto combinado de las marejadas ciclónicas, las lluvias extremas provocadas por tormentas tropicales y huracanes, y las crecidas de los ríos”. En Colombia, estos eventos se han visto potenciados por condiciones climáticas

asociadas al fenómeno de La Niña, el cual genera anomalías significativas en la intensidad y distribución de las lluvias, además en este país “Los excesos o déficits de lluvias y de agua generan condiciones de estrés biótico en los diferentes ecosistemas en diferentes formas; además dada nuestra geología joven e inestable, los deslizamientos de tierra, los movimientos en masa, las inundaciones, las crecientes súbitas de caudales se presentan con mucha más frecuencia que en otras latitudes” UNGRD (2012). Según UNGRD (2012), entidades como la Organización Meteorológica Mundial han señalado que la combinación entre variabilidad y cambio climáticos está creando escenarios de mayor riesgo para regiones rurales y montañosas e indica que “las inundaciones forman parte de la variabilidad natural de los caudales y los niveles de agua de los ríos, y durante las últimas décadas, la tendencia de los daños por inundaciones ha aumentado exponencialmente. Esto se debe a la creciente frecuencia de precipitaciones intensas, los cambios en el uso del suelo aguas arriba y la creciente concentración de población y bienes en zonas propensas a inundaciones. Esto a menudo se ve agravado por prácticas inadecuadas de planificación y gestión de inundaciones” (Mundial, 2024), al igual se menciona que “Entre 1994 y 2013, las inundaciones afectaron a casi 2.500 millones de personas en todo el mundo, consolidándose como uno de los desastres naturales de mayor impacto humano. Además, estos eventos generan pérdidas económicas superiores a los 40 mil millones de dólares anuales a escala global. De igual manera, entre los años 2000 y 2015, la población que habita en zonas propensas a inundaciones aumentó de aproximadamente 58 millones a 86 millones de personas, lo que representa un incremento del 24 % en la exposición a este tipo de riesgo”. (Mundial, 2024).

También se puede encontrar, que estudios nacionales reportan un incremento en la exposición de la población y los sistemas productivos ante eventos hidrometeorológicos extremos, se muestra que “en el país se han identificado 190.935 km² que tienen condiciones favorables a la inundación, siendo la Orinoquía el área hidrográfica con mayor superficie con potencial inundable abarcando el 31 % del área total” (UNGRD, 2020) e indican que “el número total de personas que han sido damnificadas por inundaciones en Colombia es de 19.625.681 donde el 36% se concentran en los departamentos de Bolívar, Chocó y Magdalena.

El número total de personas fallecidas por eventos de inundación en Colombia es de 2.153 donde el 36% se han presentado en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Nariño y Chocó. Finalmente se han afectado 996.058 viviendas por eventos de inundación en Colombia donde el 35% se concentran en los departamentos de Chocó, Magdalena, Bolívar y Córdoba”. (UNGRD, 2020)

En el municipio de Cajamarca, Tolima, la ocurrencia de inundaciones representa un riesgo relevante debido a la presencia de zonas con baja elevación, pendientes suaves y áreas cercanas a drenajes naturales. El Plan de Desarrollo Municipal reconoce la vulnerabilidad de las veredas ubicadas en las márgenes de ríos y quebradas, donde históricamente se han registrado afectaciones a viviendas, cultivos, vías terciarias y actividades agropecuarias importantes en la región (Tolima A. d., 2024). Según Etulain, J. C., & López, I. (2017), de igual forma, el Esquema de Ordenamiento Territorial señala que los procesos de inundación constituyen una amenaza para la infraestructura vial y para sistemas productivos estratégicos de la agricultura en general y menciona que hay “Zonas con susceptibilidad a fenómenos naturales: Las amenazas naturales identificadas en la zona rural son de origen volcánico, geológico e hídrico. Las de origen geológico debido a la presencia de fallas, la zona de influencia de los ríos Coello, Anaime y Bermellón, presenta una alta vulnerabilidad a las inundaciones por crecientes máximas”.

Según Macías Serrat, L. (2024), en este escenario de creciente vulnerabilidad climática, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han emergido como pilares metodológicos para la caracterización y análisis del riesgo de desastres. Su valor inherente radica en la capacidad de integrar y superponer una multiplicidad de variables ambientales y socioeconómicas como lo es la pendiente del terreno, precipitación histórica, uso actual del suelo y la ubicación de infraestructuras críticas; permitiendo una representación espacial holística e intuitiva de los fenómenos estudiados. El análisis geoespacial es crucial para apoyar la toma de decisiones estratégicas en la planificación y ordenación territorial en todas las regiones del país. La literatura científica ha validado extensamente su utilidad, demostrando cómo los SIG facilitan la modelización predictiva de amenazas hidrológicas y la priorización de áreas de intervención y mitigación de manera eficiente, abarcando con igual eficacia contextos urbanos densamente poblados y paisajes rurales productivos.

Para generar un mapa de riesgo de inundación detallado específicamente para el municipio de Cajamarca, ubicado en el departamento del Tolima. El objetivo principal de este trabajo va más allá de la simple identificación de amenazas; busca realizar una interpretación inicial de las zonas más críticas. Esto es fundamental para orientar la gestión agroambiental y territorial del municipio, facilitando la identificación de medidas de prevención y mitigación que contribuyan a la resiliencia local y a la protección de los recursos naturales y humanos de este territorio estratégico.

Objetivos:

General

Modelar el riesgo de inundación en el municipio de Cajamarca (Tolima) mediante técnicas de análisis espacial en SIG y análisis multicriterio, orientando el estudio a la delimitación y evaluación de las zonas más susceptibles del territorio.

Específicos

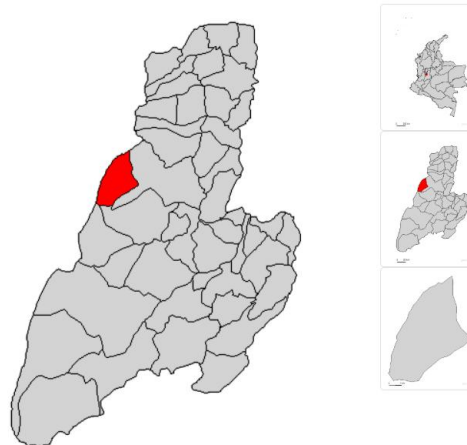
- Compilar, procesar y reclasificar las capas ambientales y geoespaciales necesarias (MDT/DEM, pendientes, cobertura del suelo, precipitación y distancia a drenajes) para su integración en el entorno SIG.
- Definir los criterios de evaluación y asignar los pesos relativos a las variables seleccionadas, aplicando la técnica de suma ponderada en el marco de un análisis multicriterio para obtener la distribución espacial del riesgo de inundación y sus niveles de susceptibilidad en el municipio.
- Convertir el resultado final a formato vectorial, calcular el área por clase de riesgo y analizar las zonas más críticas del municipio, identificando su posible afectación sobre el territorio y sus usos actuales.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Cajamarca (Figura 1), conocida como la despensa agrícola de Colombia, destaca por su diversidad de pisos térmicos y tierras fértiles, ideales para el cultivo de una amplia variedad de productos agrícolas. Entre ellos, la arracacha sobresale como un producto de calidad reconocida a nivel nacional y abundante en la región. Además de la arracacha, Cajamarca produce diversos cultivos como café, fríjol, arveja, habichuela, maíz, papa y una amplia gama de frutas de clima templado y frío, como tomate de árbol, curuba, granadilla, mora, uchuva, breva y naranja, entre otras. Es importante destacar que Cajamarca es el principal productor departamental de hortalizas, lo que resalta la relevancia de la agricultura en su economía. La ganadería y la lechería también desempeñan un papel significativo en la economía local, contribuyendo al sustento de muchas familias y a la diversificación económica de la región” (Tolima A. d., 2024). Es relevante mencionar que Cajamarca tiene un área de 520 km² (kilómetros cuadrados), de los cuales el 0,2% corresponde al área urbana (12 barrios) y un 99,8% al sector rural (42 veredas) y un corregimiento llamado Anaimé. (Tolima A. d., 2024)

Figura 1.

Ubicación geográfica municipio de Cajamarca – Tolima.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

- **Principales características biofísicas y ambientales relevantes para el riesgo de inundación en el Municipio:**

Este Municipio fue Fundado el 27 de marzo de 1913 por Monseñor Ismael Perdomo Borrero, su Altitud corresponde a 1.814 m.s.n.m, su Temperatura media: 18 C Humedad relativa: 85%, con un área de 520 Km², Provincia: Ibagué. (Tolima A. d., 2024). Por otro lado, en cuanto a la red hídrica del Municipio, “Cajamarca se encuentra situado al occidente del Departamento del Tolima estableciendo fronteras al occidente con el Quindío, al oriente con Ibagué, al sur con Rovira y Versalles y al norte nuevamente con Ibagué; por otro se va adquiriendo mayor trascendencia en la vida de los territorios que riega”, (Cortolima., 2004), Además de los ríos principales, existe una red de quebradas importantes, entre ellas Quebrada Chorros Blancos, Quebrada San Antonio,

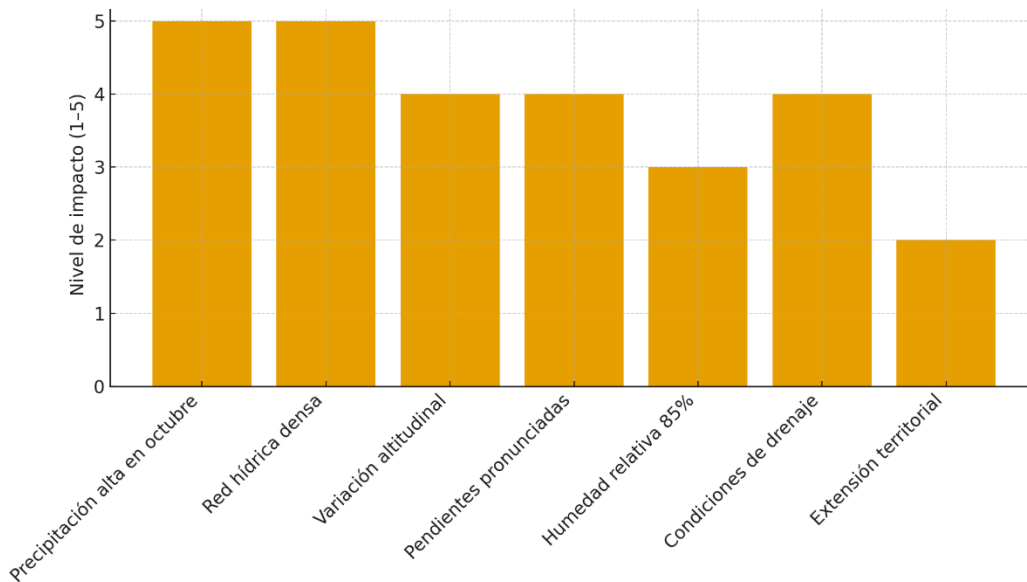
Quebrada Dantas, Quebrada Capotal, Quebrada Pajarito, entre otras que drenan las corrientes mucho más pequeñas.

Según el mapa topográfico sus extremos van de extremos que van desde aproximadamente 1.491 m hasta 3.571 m. Esa variabilidad altitudinal sugiere que el municipio abarca zonas de montaña (altas pendientes) y zonas de valle o quebradas (suaves).

Se seleccionó el mes de octubre como referencia de precipitación debido a que corresponde a uno de los periodos de mayor intensidad de lluvias en el Municipio de Cajamarca y en casi toda la región andina. Durante este mes, las condiciones climáticas incrementan la escorrentía, lo que eleva la probabilidad de desbordamientos y lo convierte en un momento adecuado para modelar el riesgo de inundación.

Figura 2

Factores que incrementan el riesgo de inundación en Cajamarca



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

Metodología

En este ejercicio se desarrolló un análisis multicriterio que integró variables como elevación, pendiente, precipitación, cobertura de tierras y distancia entre drenajes, con el objetivo de determinar las zonas de riesgo por inundación en el municipio de Cajamarca, Tolima. Para ello, se aplicaron herramientas de geoprocésamiento, procesos de reclasificación y una suma ponderada que permitió modelar espacialmente los factores de riesgo y generar productos cartográficos temáticos, facilitando así la interpretación de los resultados obtenidos en la modelación espacial. En primer lugar, se extrajo el Modelo de Elevación Digital (DEM) y el ráster de pendientes (Slope) del municipio de Cajamarca, Tolima. Posteriormente, se incorporó la capa de coberturas de suelo previamente disuelta, observándose que en este territorio predominan los bosques naturales y las

áreas con vegetación arbustiva en las zonas montañosas, mientras que las áreas agrícolas y los pastos se concentran principalmente en los valles y zonas planas.

La siguiente tabla presenta los valores de riesgo para cada cobertura del suelo. Según las condiciones ambientales, sociales y económicas del municipio, así mismo debe ajustarse.

Tabla 1. clasificación de coberturas de suelo nivel 2:

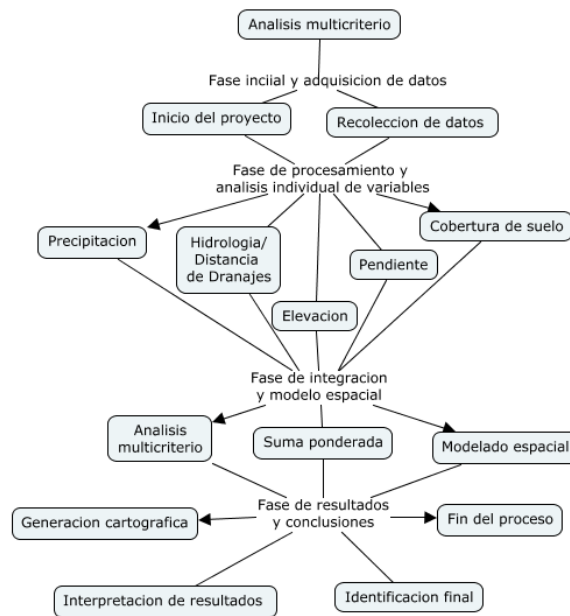
Corine Land Cover Nivel 2	Clasificación de valores
1.1 Zonas urbanizadas	6
1.2 Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	2
1.3 Zonas de extracción mineras y escombreras	4
1.4 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	2
2.1 Cultivos transitorios	8
2.2 Cultivos permanentes	8
2.3 Pastos	4
2.4 áreas agrícolas heterogéneas	8
3.1 Bosques	2
3.2 áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	4
3.3 áreas cubiertas, sin o con poca vegetación	6
4.1 áreas húmedas continentales	8
4.2 áreas húmedas costeras	6
5.1 Aguas continentales	10
5.2 Aguas marítimas	6

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

La tabla 1 indica que las coberturas del suelo muestran niveles de riesgo diferenciados según su vulnerabilidad frente a eventos hidrológicos. Por un lado, Las áreas agrícolas y los cuerpos de agua presentan los valores más altos debido a su exposición directa y a las posibles pérdidas económicas y ambientales en el Municipio. En contraste, coberturas como bosques y zonas verdes artificializadas registran valores bajos al contribuir a la infiltración y regulación hídrica que se da. Las zonas urbanizadas y mineras reflejan un riesgo intermedio, asociado a la impermeabilización del suelo y la modificación del relieve. En conjunto, esta clasificación permite comprender cómo el uso del suelo influye en la susceptibilidad del territorio ante inundaciones en Cajamarca, Tolima. Para este análisis se reclasificaron las coberturas de tierra del municipio mediante la herramienta (Reclasificar), seleccionando el campo Nivel_2 y asignaron los valores conforme a las dinámicas del territorio, ajustando cada clase a un nivel de riesgo correspondiente. El resultado permitió obtener un ráster reclasificado que refleja la susceptibilidad del territorio ante inundaciones en Cajamarca.

Figura 3:

Esquema metodológico del análisis multicriterio para la modelación espacial del riesgo de inundación.





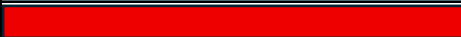


Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

Posteriormente, se realizó la extracción por máscara del mes con mayores precipitaciones en el municipio, correspondiente a octubre de 2024. Este procedimiento permitió visualizar la distribución espacial de la precipitación promedio del mes más lluvioso, evidenciando mayores acumulaciones en las zonas altas y centrales, y valores menores en los sectores más bajos. Seguidamente, se cargó y analizó la capa de acumulación de flujo, lo que permitió identificar las zonas donde se concentra el escurrimiento hídrico. Las líneas generadas representan los drenajes principales, que indican la dirección en la cual el agua superficial converge hacia los cauces naturales. A partir de esta información, se calculó la distancia entre celdas con respecto a los drenajes principales, mostrando la proximidad del territorio a los cauces. Las áreas de color verde representan zonas muy cercanas a los drenajes, mientras que los tonos amarillos y rosados indican mayor distancia.

A continuación, se efectuó la reclasificación del modelo de elevación del municipio, lo que permitió diferenciar las zonas según su altitud y el nivel de riesgo asociado a inundaciones. Las áreas de menor elevación, principalmente en las partes centrales y orientales, fueron clasificadas con riesgo alto y muy alto debido a su mayor susceptibilidad a la acumulación de agua. Posteriormente, se reclasificó el ráster de pendientes, reflejando la variabilidad del relieve en el municipio.

Tabla 2. reclasificación de riesgo por inundación:

Valores	simbología
1	
2	
3	
4	
5	

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

La tabla 2 permitió analizar la identificación de la reclasificación de riesgo por inundación y permitió organizar los resultados en cinco niveles, representados mediante una escala de colores que facilita la interpretación espacial del fenómeno. Los valores más bajos (1 y 2) se asocian a áreas con baja susceptibilidad, mientras que los niveles intermedios (3) indican zonas con condiciones moderadas. Finalmente, los valores 4 y 5 corresponden a sectores con alta y muy alta probabilidad de afectación, donde confluyen factores como pendiente suave, cercanía a drenajes y coberturas vulnerables. Esta simbología estandarizada facilita la lectura del mapa resultante y permite identificar rápidamente las zonas críticas dentro del municipio de Cajamarca, Tolima.

Con estos insumos, se procedió a la reclasificación del ráster de precipitaciones, evidenciando la variación espacial de la lluvia durante el mes de mayor humedad. Las zonas con mayor precipitación se concentraron en el centro y suroccidente del territorio, mientras que las de menor precipitación se localizaron hacia el norte y oriente. De igual manera, se reclasificó la distancia a los drenajes, mostrando que las áreas más cercanas a los cauces principales presentan los niveles de riesgo más altos debido a su propensión a inundarse durante episodios de lluvia intensa. También se realizó la reclasificación de las coberturas de tierras del municipio, permitiendo establecer la relación entre los distintos usos del suelo y su vulnerabilidad frente a inundaciones.

Tabla 3. Criterios de análisis para el riesgo de inundación:

Factor	Porcentaje	/100
Modelación de elevación digital DEM	10%	0,1
Pendientes	15%	0,15
Cobertura de tierras (Land cover)	10%	0,1
precipitación	35%	0,35
Distancia entre drenajes	30%	0,3
Total	100%	1

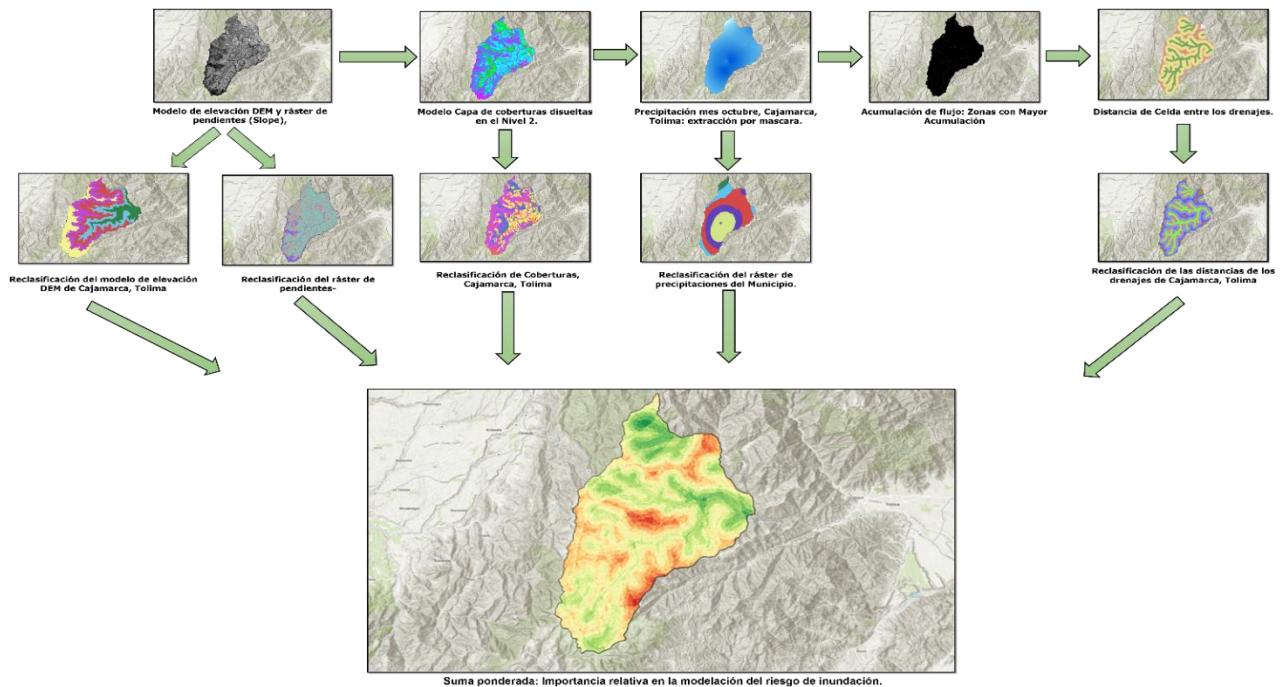
Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

En este punto se analiza la ponderación de criterios, se evidencia la relevancia diferencial de cada factor en la modelación del riesgo de inundación. La precipitación recibe el mayor peso (35%), destacando su influencia directa en la generación de caudales y acumulación de agua presente en el Municipio. Les sigue la distancia a drenajes (30%), fundamental para identificar áreas susceptibles por cercanía a cauces y posibles desbordamientos. Las pendientes (15%) y el modelo digital de elevación (10%) contribuyen a determinar la dinámica del flujo superficial y la acumulación de agua en zonas bajas. Finalmente, la cobertura de tierras (10%) complementa el análisis al incorporar la capacidad de infiltración y uso del suelo. En conjunto, estos pesos permiten obtener un modelo equilibrado que refleja las condiciones físicas y ambientales que inciden en el riesgo de inundación en el municipio.

Finalmente, antes de elaborar el producto cartográfico final, se transformó la capa ráster resultante en una capa vectorial. Dado que este proceso genera polígonos con ángulos muy cerrados, se aplicó la herramienta de suavizado de polígonos para mejorar la calidad estética y cartográfica. Consecutivamente, se simplificaron los datos obtenidos y se agregaron las columnas correspondientes a la clasificación del riesgo y al cálculo del área en kilómetros cuadrados, lo que permitió obtener un resultado final más claro, organizado y apropiado para el análisis territorial.

Figura 4:

Flujo de procesamiento y superposición de variables en la evaluación del riesgo de inundación.



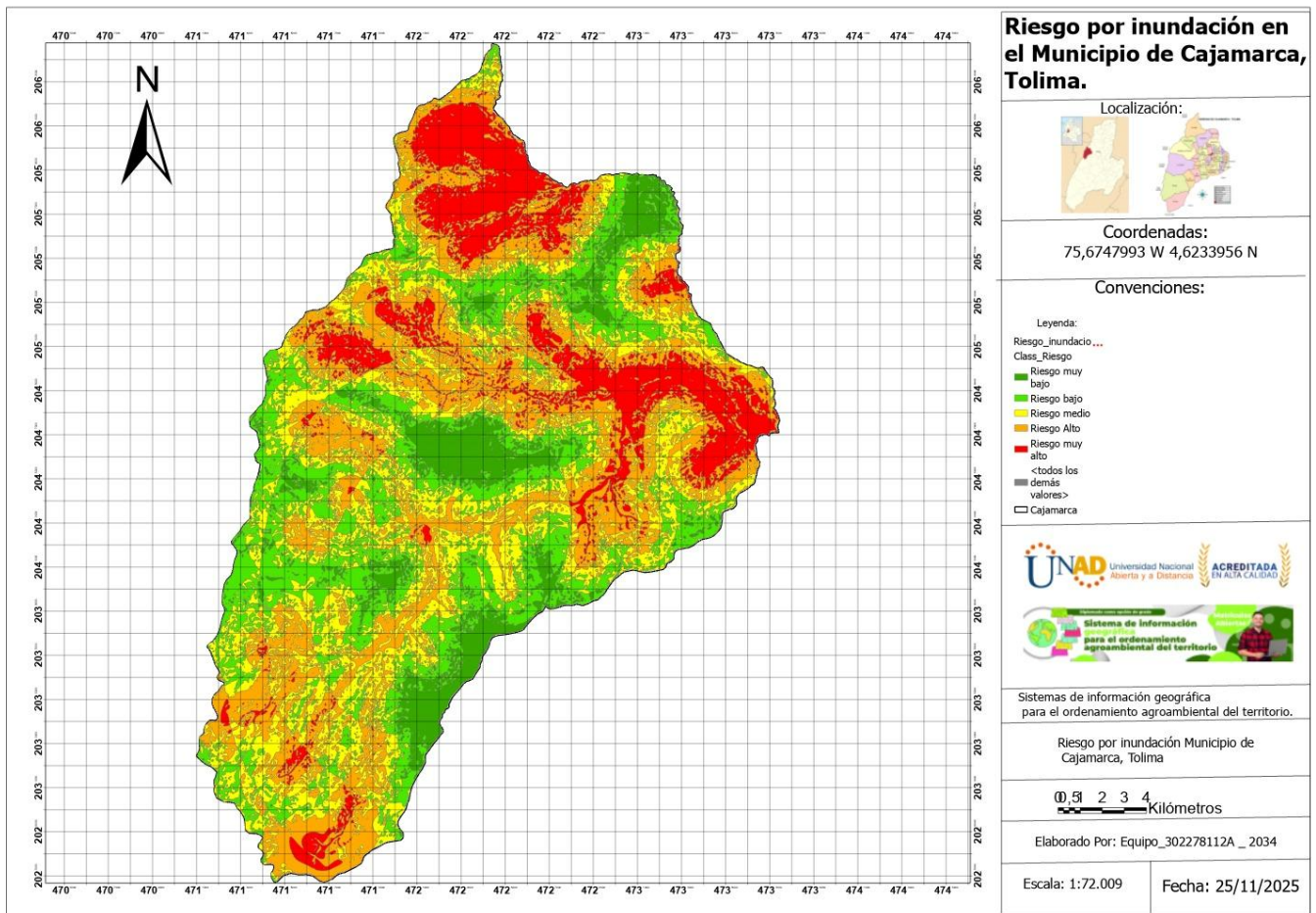
Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

Resultados

Para complementar el análisis de los factores biofísicos, climatológicos e hidrológicos descritos previamente, se elaboró un mapa temático de riesgo por inundación para el Municipio de Cajamarca, Tolima. Este insumo cartográfico permite visualizar espacialmente las zonas más susceptibles a inundación a partir de la integración de variables como altitud, pendiente, red hídrica, drenaje y precipitación, modeladas mediante análisis multicriterio en ArcGIS Pro.

El mapa resultante evidenció que las zonas con mayor ponderación (tonos rojos y anaranjados) se concentran en las partes bajas y cercanas a los drenajes principales, donde coinciden altas precipitaciones, pendientes suaves y coberturas agrícolas, identificando así las áreas más susceptibles a inundaciones.

Figura 5: Riesgo por inundación en el Municipio de Cajamarca, Tolima



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

Como resultado, se obtiene un mapa temático que representa la modelación del riesgo de inundación en el municipio de Cajamarca, generado mediante la suma ponderada de los factores topográficos, climáticos e hidrológicos. Los resultados muestran que las zonas de riesgo alto y muy alto (tonos rojos y anaranjados) se concentran principalmente en las partes bajas y aledañas a los drenajes principales, donde confluyen bajas elevaciones, pendientes suaves y alta precipitación. En contraste, las áreas de riesgo bajo y muy bajo (tonos verdes) se ubican en los sectores montañosos del occidente y sur del municipio, donde la altitud y el relieve accidentado favorecen un drenaje más eficiente.

En la tabla 4 se presenta la clasificación de cada vereda del municipio según el nivel de riesgo por inundación. La distribución evidencia que los niveles de riesgo varían significativamente entre las distintas áreas rurales, siendo más altos en sectores cercanos a cauces de ríos, zonas planas con baja capacidad de drenaje y áreas donde se identifican antecedentes de inundaciones recurrentes. Esta categorización constituye un insumo fundamental para los planes de ordenamiento territorial y los programas de gestión del riesgo.

Tabla 4. Áreas por categoría de riesgo con información del área en km² para cada clase de riesgo cualitativa.

Riesgo	Área km ²	Veredas
Riesgo muy bajo	44,779884	La Lajas, La Bolívar (sectores altos), La Ceja, zonas altas de El Diamante.
Riesgo bajo	112,03303	La Leona, Cristales La Paloma, Potosí, El Oso, La Despensa, El Diamante, La Bolívar.
Riesgo medio	133,36519	Altamira, La juca, Arenillal, La Luisa, Calamarquita, La Playa, Tunjos Bajos, Tunjos Altos, La Fonda, El rosal.
Riesgo alto	140,49124	Los Alpes, La Guamo, Rincón Placer (extensión), Altamira (sectores), La Tigarrera, Laureles, Santa Barbara.
Riesgo muy alto	74,734817	Rincón Placer, La Cecilia, La Tigarrera, Recreo Bajo, El Brasis, Coello, Santa Ana (sectores), Anaime (sectores altos)

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

Según la Tabla 4 de atributos, las categorías de riesgo que abarcan la mayor parte del área municipal corresponden a tres clases, destacándose el riesgo alto como el más extenso, con una superficie de 140,49 km², seguido del riesgo medio, con 133,37 km². Esto indica que gran parte del territorio presenta condiciones que favorecen la acumulación de escorrentía o la cercanía a drenajes naturales, aumentando la probabilidad de eventos de inundación. Las zonas de riesgo muy alto, que suman 74,73 km², corresponden a sectores críticos que deben considerarse prioritarios

para la gestión del riesgo y la planificación del uso del suelo. En contraste, las áreas de riesgo bajo y muy bajo, con 112,03 km² y 44,78 km² respectivamente, representan sectores más seguros, generalmente asociados a zonas altas o con mejor capacidad de drenaje.

Además, La Tabla 4 presenta la clasificación de las áreas del municipio según las categorías de riesgo obtenidas en el análisis multicriterio, indicando además las veredas que se ubican dentro de cada nivel cualitativo de riesgo. Esta información permite identificar cómo se distribuye la susceptibilidad en el territorio y cuáles sectores rurales se asocian particularmente a condiciones de riesgo muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto.

Cabe destacar que, el análisis de áreas por categoría de riesgo muestra una distribución heterogénea de la susceptibilidad en el municipio de Cajamarca, Tolima, donde las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto abarcan extensiones significativas, especialmente en veredas ubicadas cerca de drenajes principales (El nombre de las veredas se encuentran en la Tabla 4). En este punto, se destaca el centro poblado de Anaime, el único con el que cuenta el municipio, el cual aparece dentro de las áreas con mayor nivel de riesgo debido a su proximidad al río y a la concentración de dinámicas agrícolas y poblacionales en sectores que pueden verse afectados por crecientes súbitas, como ya ha pasado en años anteriores. Esta condición lo convierte en uno de los territorios más vulnerables frente a eventos de inundación, lo que resalta la necesidad de priorizar acciones de gestión del riesgo en esta zona.

Antecedentes para tener en cuenta:

Según el periódico el tiempo, el 21 de mayo de 2003, después de aproximadamente 15 días de lluvias intensas, una avalancha de agua destruyó la bocatoma del acueducto municipal de Cajamarca. Esto dejó a toda la población sin suministro de agua potable.

Según Caracol Radio: En 2011 se registró una emergencia porque dos quebradas en Cajamarca (afluentes llamados “Leona y Cajones”) se desbordaron, lo que dejó al menos siete viviendas destruidas. También se reportó destrucción de puentes que conectaban comunidades rurales.

En el año 2015, El periódico el espectador comenta: “desbordamiento de una quebrada en inmediaciones al peaje de Cajamarca (Tolima), permanece cerrada la vía al Alto de La Línea”, al igual elevaron un llamado a la comunidad ribereña al río Anaime para estar atentos ante el crecimiento del caudal.

En el año 2017 “Evacúan a familias en Cajamarca por desbordamiento del río Anaime” (cronista, 2017).

Según sitio web, alerta Tolima en el 2018, se reportaron deslizamientos e inundaciones en la zona rural de Cajamarca, incluyendo derrumbes que arrastraron viviendas y causaron pérdidas humanas y daños materiales.

Emisora Ondas de Ibagué en el 2019 publicó en su sitio web: “80 familias en residentes en el Cañón de Anaime en Cajamarca y que se encuentran en alto riesgo por inundaciones y deslizamientos, están a la espera de su reubicación”.

en el 2021 se reporta la noticia “Veredas de Cajamarca nuevamente pasaron la noche bajo el lodo, Los organismos de emergencia de la población se encuentran en alerta máxima por el desbordamiento de ríos y quebradas” (Tamalio, 2021).

Además, caracol Radio también no cuenta que, en 2021, fuertes lluvias en una vereda de Cajamarca provocaron la creciente de un río, afectando a unas 30 personas en lo que se reportó como una emergencia hídrica.

En el 2024, el sitio web, don Tamaleo, publico que la Defensa Civil reportó aumento de caudales en veredas de Cajamarca, por las lluvias intensas En el corregimiento de Anaime y las veredas Potosí y El Cajón. Se reportó que durante varios días se presentaron varias situaciones de emergencia en Cajamarca, sector La Trucha, donde hubo una parte de inundación, además de aumentos de caudales en algunos ríos y quebradas, como consecuencia de las fuertes lluvias y el aumento de caudales de quebrada

Y el evento más reciente se presenta en octubre de 2025, donde las intensas lluvias y deslizamientos cerraron temporalmente la vía que comunica Cajamarca con el municipio de Calarcá, Quindío, un evento que resalta la vulnerabilidad del municipio ante eventos extremos durante lluvias intensas.

En las gráficas se evidencia que las zonas de riesgo alto y muy alto representan un área significativa del municipio, lo que indica una alta vulnerabilidad a inundaciones donde se deben implementar medidas de prevención, monitoreos periódicos y desarrollo de planes de contingencia.

Análisis de resultados:

En las zonas urbanas del municipio se observa un riesgo alto, debido a la presencia de áreas construidas muy próximas a ríos y quebradas. El territorio también cuenta con zonas de extracción minera y escombreras, las cuales presentan un riesgo medio, ya que suelen ubicarse en laderas o en sectores con drenaje alterado. En cuanto a los cultivos ubicados en áreas intermedias y en los valles, el riesgo es alto, principalmente por su cercanía a los ríos Anaime y Bermellón. Los pastos en zonas bajas utilizados para ganadería muestran un riesgo medio, pues el impacto por inundación es moderado en comparación con otras áreas. Las áreas agrícolas heterogéneas, que son comunes en este municipio, presentan un riesgo medio-bajo, determinado por factores como la altitud y la capacidad de drenaje. Por su parte, los bosques, ubicados en zonas altas o con buena filtración, se clasifican también con un riesgo medio-bajo. De igual manera, las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva presentan un riesgo medio-bajo, debido a la baja afectación por escorrentía.

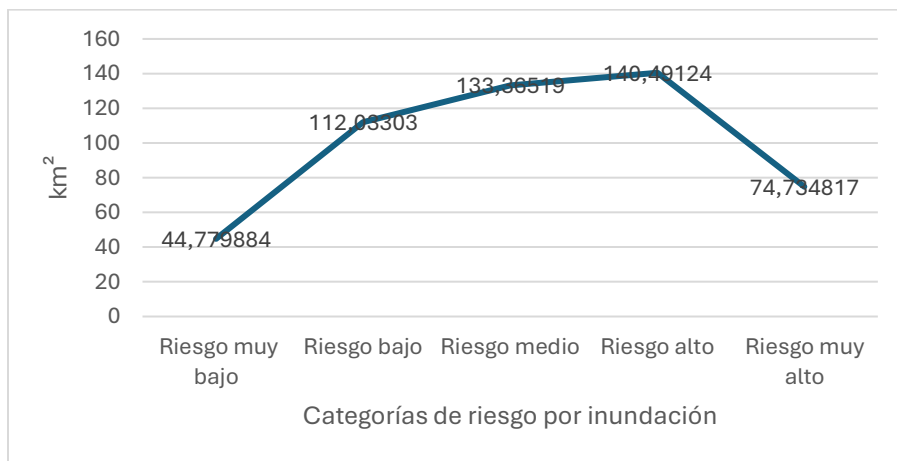
Finalmente, las aguas continentales como ríos, quebradas, lagunas y humedales se clasifican con riesgo muy alto, ya que corresponden directamente a los cuerpos de agua donde se originan los procesos de inundación.

En conjunto, el análisis revela que Cajamarca presenta una vulnerabilidad considerable frente a inundaciones, lo que resalta la importancia del mapa como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en prevención, manejo del territorio y protección de la población.

Ejemplos claros del tema encontramos que: en el año 2017 “Evacúan a familias en Cajamarca por desbordamiento del río Anaimé” (cronista, 2017), en el 2021 se reporta la noticia “Veredas de Cajamarca nuevamente pasaron la noche bajo el lodo, Los organismos de emergencia de la población se encuentran en alerta máxima por el desbordamiento de ríos y quebradas” (Tamalio, 2021). Estas situaciones evidencian que los eventos de desbordamiento y movimientos en masa no son hechos aislados, sino manifestaciones reiteradas de la vulnerabilidad territorial del municipio, lo que resalta la importancia de seguir fortaleciendo las medidas de gestión del riesgo y planificación preventiva.

La Figura 6 presenta la superficie total del área municipal clasificada según categorías de riesgo de inundación (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), expresadas en kilómetros cuadrados. Estos datos se obtuvieron mediante análisis espacial en ArcGIS Pro utilizando información cartográfica y modelos de riesgo derivados de curvas de nivel, redes hidrológicas y eventos de precipitación histórica (Autoría propia, 2025). La intención de esta figura es mostrar visualmente cómo se distribuyen las distintas clases de riesgo en el territorio municipal identificando que las zonas con riesgo medio y alto ocupan la mayor proporción del área, y servir como base para la priorización de medidas de gestión de riesgo y planificación de emergencias en las zonas más vulnerables del municipio.

Figura 6: Superficie (km²) por categoría de riesgo de inundación en el área municipal

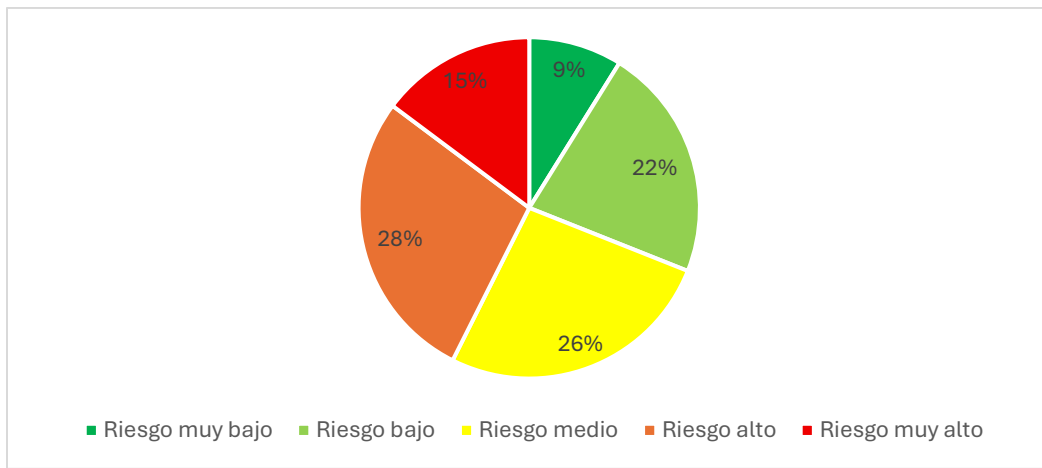


Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020)

La Figura 7 ilustra la distribución porcentual de las clases de riesgo de inundación para el área municipal, lo que permite comprender, de manera proporcional, qué fracción del territorio se encuentra bajo cada nivel de riesgo. Esta representación circular facilita una comparación inmediata entre categorías, evidenciando que las clases de riesgo medio y alto comprenden la mayor parte del área total, lo que confirma tendencias observadas en el análisis de superficies absolutas (véase Figura 6). La visualización contribuye a reforzar la necesidad de enfocar la atención en las zonas con mayores porcentajes de riesgo para orientar estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático (Autoría propia, 2025).

Figura 7:

Distribución porcentual de las clases de riesgo de inundación

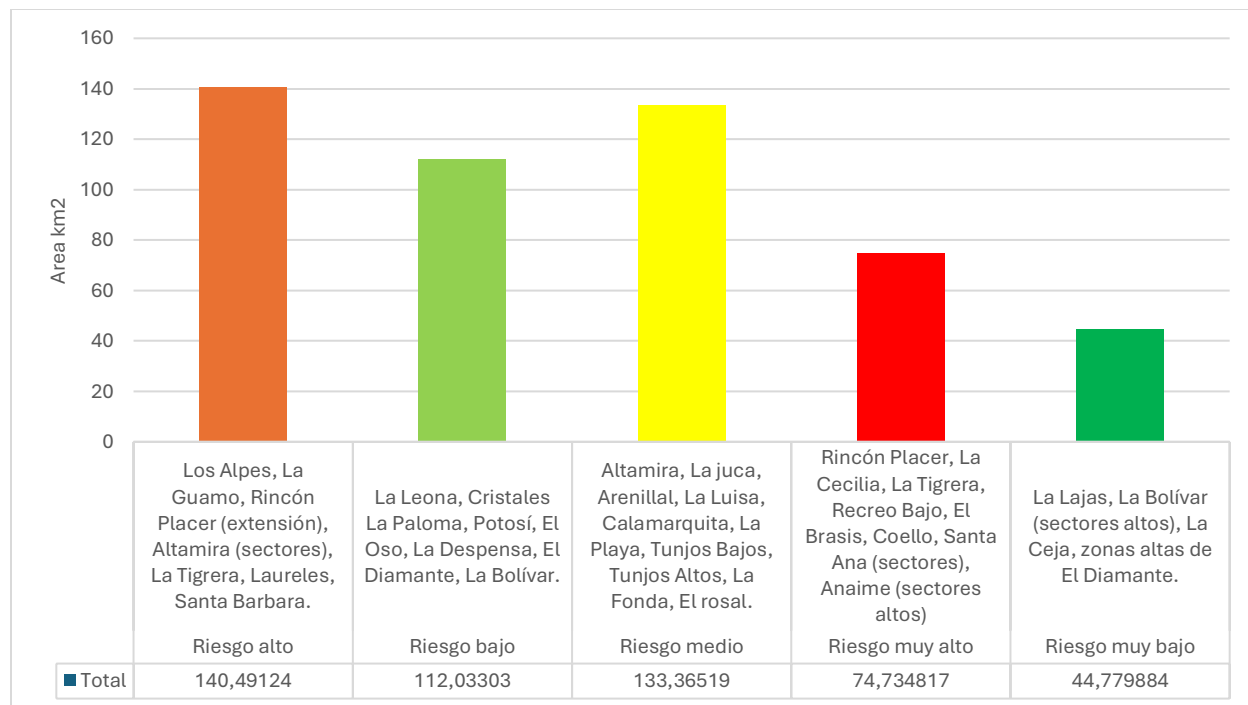


Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020).

La Figura 8 presenta las áreas en km² correspondientes a cada clase cualitativa de riesgo con la asignación específica de sectores del municipio incluidos en cada clase. Esta gráfica de barras ayuda a identificar no solo la extensión espacial de cada clase de riesgo, sino también los sectores geográficos afectados, lo cual es esencial para la planificación sectorial de medidas preventivas. El análisis detallado de estas áreas permite priorizar intervenciones en sectores con mayor extensión de riesgo alto y muy alto (Altamira, La Junca, Arenillal, entre otros) con el fin de optimizar los recursos y acciones de gestión del riesgo (Autoría propia, 2025).

Figura 8:

Áreas por clase de riesgo con información del área en km² para cada clase de riesgo cualitativa.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro) o Adaptado de Informe de recursos y servicios bibliográficos (CRAI, 2020)

Conclusiones

- El análisis multicriterio permitió identificar con claridad la distribución espacial del riesgo por inundación en el municipio de Cajamarca, evidenciando que las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto se concentran principalmente en las áreas de baja elevación, pendientes suaves y proximidad directa a los drenajes principales (ríos Coello, Anaime y Bermellón). Estas condiciones físicas, sumadas a los altos niveles de precipitación registrados en el mes de octubre de 2024, explican la alta susceptibilidad del territorio frente a eventos de inundación.
- La integración de factores como precipitación, distancia a drenajes, pendiente, elevación y cobertura del suelo demostró ser un enfoque metodológico adecuado, ya que permitió priorizar las variables más influyentes en la dinámica hídrica del municipio. Este proceso generó un mapa de riesgo robusto, visualmente claro y replicable, que puede emplearse como insumo técnico en procesos de planificación territorial y gestión agroambiental.
- La clasificación del riesgo por veredas, presentada en la Tabla 4, evidencia una variación significativa en los niveles de susceptibilidad, destacándose que sectores como Rincón Placer, La Cecilia, La Tigrera, Recreo Bajo y áreas de Anaime presentan riesgo muy alto, mientras que veredas ubicadas en zonas elevadas como La Ceja y sectores altos de La Bolívar muestran riesgo muy bajo. Esta diferenciación territorial permite focalizar

esfuerzos institucionales en zonas críticas y orientar acciones de mitigación según la estructura ambiental y socioeconómica de cada área.

- El análisis confirma que una porción amplia del municipio (43%) se encuentra en riesgo alto o muy alto, lo que implica que la amenaza de inundación constituye un problema ambiental persistente. Este hallazgo se refuerza con antecedentes históricos de emergencias registradas en 2003, 2011, 2017, 2018, 2021, 2024 y 2025, lo que confirma que los eventos de inundación no son hechos aislados, sino tendencias recurrentes vinculadas a la variabilidad climática y al uso actual del suelo.
- El mapa final de riesgo no solo cumple una función académica, sino que constituye una herramienta estratégica para la gestión del riesgo, al facilitar la identificación de zonas donde deben implementarse medidas prioritarias de prevención, monitoreo y ordenamiento territorial. Su utilidad radica en que permite orientar decisiones como reubicación de viviendas, regulación de actividades productivas y diseño de obras de mitigación en las áreas más vulnerables.
- Finalmente, se concluye que la modelación espacial realizada bajo el sistema MAGNA-SIRGAS CMT12 y ArcGIS Pro es completamente pertinente y aporta un diagnóstico confiable, capaz de guiar a las autoridades locales, entidades ambientales y comunidades hacia una gestión más efectiva del riesgo de inundación. El estudio resalta la necesidad de continuar fortaleciendo la recopilación de información, monitoreo hidrometeorológico y análisis espacial para mejorar la resiliencia del municipio frente a eventos climáticos intensos.

Recomendaciones

- Las autoridades municipales deben traducir el 43% del área crítica identificada en acciones concretas. Esto incluye la revisión de permisos de uso del suelo, la implementación de infraestructura de mitigación (p. ej., canalizaciones, barreras naturales) y el desarrollo de rutas de evacuación claras para las veredas ubicadas en las márgenes de los ríos.
- Las zonas identificadas con riesgo alto y muy alto deben ser designadas como áreas de restricción para nuevos asentamientos humanos o actividades productivas de alto valor que sean susceptibles a inundaciones, salvaguardando la población y los sistemas productivos estratégicos mencionados en la introducción.
- Dada la mención de la intensificación de eventos hidrometeorológicos (fenómeno de La Niña, cambio climático), se sugiere encarecidamente la instalación de un sistema de monitoreo hidrometeorológico local. La combinación de datos en tiempo real (nivel de ríos, precipitación actual) con el mapa de riesgo espacial generado permitiría emitir alertas tempranas precisas y reducir el impacto humano y económico de las inundaciones.
- Fomentar prácticas agroambientales que mejoren la capacidad de infiltración del suelo en las zonas de cabecera de cuenca. La conservación de bosques naturales y la

implementación de sistemas agroforestales pueden ayudar a regular los caudales y reducir la velocidad del escurrimiento superficial hacia las zonas bajas, complementando las medidas de ingeniería civil.

- El objetivo es que comprendan la lectura e interpretación de los mapas de riesgo generados. Un conocimiento profundo de su propio territorio y de las áreas de peligro facilitará una mejor gobernanza local, promoviendo la resiliencia comunitaria y asegurando que las decisiones de uso del suelo a nivel de base estén alineadas con los hallazgos técnicos del análisis geoespacial.

Referencias bibliográficas

- ACNUR. (2023). Inundaciones causadas por la crisis climática provocan nuevos desplazamientos. Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados. Obtenido de <https://www.acnur.org/noticias/historias/inundaciones-causadas-por-la-crisis-climatica-provocan-nuevos-desplazamientos>
- American Psychological Association. (s.f.). Style and Grammar Guidelines. Recuperado el 17 de enero de 2020, de Apastyle: <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines>
- Carrillo García, S. (2019). Artículo científico. En S. Carrillo García, L. M. Toro Calderón, A. X. Cáceres González, & E. C. Jiménez Lizarazo, Caja de herramientas. Géneros Textuales. Universidad Santo Tomás.
- Cortolima., C. A. (2004). Características del área de estudio: POMCA Río Coello. Fase II – Diagnóstico. Obtenido de https://cortolima.gov.co/images/reduccion-cargas-contaminantes/MUNICIPIOS_Y_CENTRO_POBLADOS/7._CAJAMARCA.pdf#:~:text=Teniendo%20en%20cuenta%20el%20seguimiento%20por%20parte,DBO5%20Y%20SST%20L%C3%8DNEA%20BASE%2C%20A%C3%91O%202023.
- Cronista, E. (2017). Evacúan a familias en Cajamarca por desbordamiento del río Anaime. Obtenido de <https://elcronista.co/region/evacuan-a-familias-en-cajamarca-por-desbordamiento-del-rio-anaim>
- Diaz, D. (2017). Modelado y simulación de sistemas climáticos: desde la escala global hasta los microclimas. Abrir este documento utilizando ReadSpeaker docReaderEn F. Cala (Ed), Modelado y simulación de sistemas naturales (pp. 11-40). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-modelado_y_simulacion_-completo-_fisico.pdf
- Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., y Paulik, R. (2024). Flood Impacts on Agriculture under Climate Change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *Economics of Disasters and Climate Change*, Vol. 8, pp. 283–316. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s41885-024-00147-3>
- Duckham, M. (2024). Chapter 8. Cartography and geovisualization. En M. Duckham., Q. Sun y M. Worboys (Eds), *GIS A Computing Perspective. Third Edition* (pp. 307-347). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://directory.doabooks.org/handle/20.500.12854/112608>

- Efraimidou, E., y Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Process*. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>
- Escolano Utrilla, S. (2015). Primera parte. 2. La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos. En S. Escolano Utrilla (Ed), *Sistemas de información geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía* (pp. 47-78). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/44840>
- Etulain, J. C., & López, I. (2017). Inundaciones urbanas. Mapas de riesgo y lineamientos de ordenamiento territorial en la región del gran La Plata: Aspectos teóricos-metodológicos y propositivos. <https://revistas.unlp.edu.ar/Habitat/article/view/3754/4043>
- Galvis García, R. E. (2020). *Guía Resumen del Estilo APA Séptima Edición*. Universidad Santo Tomás.
- Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- Kurowska, K., y Kowalczyk, C. (2022). *Rural Space Modeling*. Editorial MDPI. <https://www.mdpi.com/books/reprint/5285-rural-space-modeling>
- Macías Serrat, L. (2024). Colonialidad epistémica y desafíos geoespaciales: una crítica al uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). https://ru.atheneadigital.filos.unam.mx/jspui/bitstream/FFYL_UNAM/10090/1/8.%20Mac%20c3%20adas%20Serrat.pdf
- Martínez, F., y Gallegos, A. (2017). *Programación de bases de datos relacionales. RA-MA* Editorial. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7098ae01-b331-386a-b25f-0fce72c8575f>
- Morales, A., Ledesma-A, M., Coronel, C., y Metternicht, G. (2012). Capítulo 8. La explotación de la información geográfica. En M. Bernabé y C. Lopez, *Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales* (pp. 117-130). UMP Press Universidad Politécnica de Madrid. <https://www.ign.es/web/libros-digitales/fundamentos-ide>
- Moreno, A., Buzai, G., y Fuensalida, M. (2017). Parte 1. Técnicas y tecnologías geográficas para el diagnóstico socio-territorial y ambiental. En Moreno, A. Buzai, G. y Fuensalida, M. *Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales*. 2ª edición. RA-MA Editorial. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=0c7f5c3f-5c9a-32c5-99b8-f27d15dff3e8>
- Mundial, O. M. (2024). Inundaciones. Obtenido de <https://wmo.int/topics/floods>
- Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, (8), 15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3113707&orden=232431&info=link>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica
- Polania Betacour, A. P., Malagón Pulido, J. R., Guerrero Vargas, O. A., Mielles Benavidez, J. A., & Vargas Gutiérrez, J. L. Identificación de Zonas de riesgo de inundación del municipio de Cabuyaro, Departamento del Meta, a partir de la implementación de los sistemas de información geográfica ArcGIS Pro.

- <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/69582/oaguerrero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sosa-Franco, I., Pérez-Guerra, G., Machado-García, N., & Elena-Ruiz Pérez, M. (2023). Method for query processing in a geographic information system. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 32(2), pp. 1–9. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3>
- Suaza Martínez, E. (2021). Conocimiento local agrícola sobre la arracacha entre las familias campesinas en Cajamarca, Tolima. https://repository.cinde.org.co/bitstream/handle/20.500.11907/2891/Estefany%20Suaza%20Martinez_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GADM. (s/f). Gadm.org. Recuperado el 8 de diciembre de 2025, de <https://gadm.org/maps/COL/tolima/cajamarca.html>
- Tolima, A. d. (2024). Acuerdo 007 – Plan de Desarrollo 2024-2027. Alcaldía Municipal de Cajamarca, Tolima. Obtenido de https://cajamarcatolima.micolombiadigital.gov.co/sites/cajamarcatolima/content/files/000637/31834_acuerdo-007-plan-de-desarrollo-20242027.pdf
- Tolima, A. M. (2018). ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. Obtenido de https://cajamarcatolima.micolombiadigital.gov.co/sites/cajamarcatolima/content/files/000025/1203_esquema-de-ordenamiento-territorial--cajamarca-tolima.pdf
- UNGRD, U. N. (2020). ¿Cuál es el riesgo por inundaciones en Colombia? Obtenido de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>
- UNGRD., U. N. (2012). Evaluación de daños, pérdidas e impactos por el fenómeno La Niña 2010–2011. Gobierno de Colombia. Obtenido de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Manejo/EVALUACION-DANOS-PERDIDAS-IMPACTOS-FENOMENO-LA-NINA.pdf>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2020). Instructivo para la usabilidad de Normas internacionales de citación APA 7a Edición. Abrir este documento utilizando ReadSpeaker docReaderRepositorio Institucional UNAD. https://repository.unad.edu.co/static/pdf/Norma_APA_7_Edicion.pdf

Enlace de sustentación: <https://www.youtube.com/watch?v=sVF9sOkfQxE>