

Evaluación multicriterio de riesgos de inundación para la planificación agroambiental en Villavicencio, Meta

Álvaro Castrillón Jiménez acastrillonj@unadvirtual.edu.co

Raúl Castro Barrera recastrob@unadvirtual.edu.co

Cristhian Camilo Alonso Castro ccalonsoc@unadvirtual.edu.co

Ángela Milena Ramírez Aguilar amramirezag@unadvirtual.edu.co

Docente/asesor: Yeffersson Arley Serrato Velosa yeffersson.serrato@unad.edu.co

Resumen

Este estudio tiene como intención modelar el riesgo de inundación en el municipio de Villavicencio, Meta mediante un análisis multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se realiza un procesamiento y reclasificación de las capas, modelo de elevación digital DEM, pendientes, cobertura de tierras (Land cover), precipitación, distancia entre drenajes y conversión de los resultados a capas vectoriales para su análisis, cada variable fue seleccionada por su influencia en los procesos dentro del mapa y acumulación de agua en el mismo, el resultado permitió clasificar las áreas municipales en cinco niveles diferentes de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, destacándose zonas críticas hacia el occidente del municipio, los resultados obtenidos, aportan información imperativa para la toma de decisiones en la gestión del riesgo y ordenamiento territorial en el contexto del cambio climático y el desarrollo sostenible.

Palabras claves: Sistemas de información Geográfica, inundación, precipitación, pendientes, modelos de elevación digital.

Introducción

Colombia es el país con la mayor precipitación del mundo con 3240 mm de lluvia/año, ya que se localiza en la zona de convergencia intertropical, donde se encuentran grandes masas de aire cálido y húmedo (National Geographic, 2023), regiones como los llanos orientales presentan comportamientos de lluvias de tipo unimodal, ya que sus niveles máximos se concentran en unos meses del año (Jaramillo-Robledo y Chaves-Cordoba, 2000), el municipio de Villavicencio tiene uno de sus picos de lluvias en el mes de junio con precipitaciones que pueden superiores a los 500 mm (IDEAM, 2025), durante este periodo de tiempo los riesgos de presentar problemas por inundación aumentan, la inadecuada urbanización presenta consecuencias sociales y económicas notorias que conllevan a pérdidas de vidas humanas, de bienes culturales o naturales, gastos en apoyo a damnificados, inversiones de recuperación, disputas legales, descensos en la economía, incrementos en el valor de los seguros, entre otros factores (Franco, 2010). Por otro lado, Hurtado y Mesa (2015) predicen con los modelos climáticos globales de baja resolución empleados por el

IPCC, un incremento generalizado de la precipitación en Colombia para el fin de siglo, lo que conlleva a que las zonas en riesgo aumenten exponencialmente.

Entre los principales afluentes que se encuentran en el municipio de Villavicencio se encuentran los ríos Guatiquía, Guayuriba y Ocoa, así mismo los caños Parrado, Gramalote, Maizaro, Quebrada La Unión, Grande, Quebrada Honda, Buque, Rosablanca y La cuerera (Alcaldía de Villavicencio, s.f), para comprender y abordar de manera efectiva esta problemática, el análisis multicriterio que es una herramienta que permite la cuantificación de parámetros cualitativos y la ponderación de criterios de evaluación (Riera-Spiegelhalder et al, 2024) se implementa en un Sistema de Información Geográfica como una poderosa ayuda, este enfoque permite integrar y ponderar diversos criterios como las pendientes del terreno, precipitaciones y proximidad de fuentes hídricas, que contribuyen a identificar y clasificar los riesgos de inundación. Como explican Ykeizumi, Ribeiro (2024), los análisis multicriterio permiten identificar áreas prioritarias, considerando los desafíos que se enfrentan ante los cambios socio-ambientales, obteniendo una división de los problemas y formando una estructura jerárquica que permite analizar donde se ubican los riesgos.

La cartografía representa de manera visual las áreas con mayor susceptibilidad a sufrir este fenómeno natural, ubicando zonas como las agrícolas, pecuarias, urbanas, forestales y ambientales y clasificándolas según su nivel de riesgo, de esta forma se enfoca el estudio en el riesgo latente de inundación que tiene el municipio de Villavicencio en su temporada más alta de lluvias.

Objetivos

General

Identificar las zonas con mayor riesgo de inundación en el municipio de Villavicencio, Meta mediante el uso de las herramientas ArcGis Pro, a partir del análisis de variables como Modelo de elevación digital DEM, Pendientes, Cobertura de tierras (Land cover), precipitación y distancia entre drenajes

Específicos:

Analizar las variables dadas en capas que influyen en el riesgo de inundación en cada uno de los municipios, mediante la creación y procesamiento de capas raster.

Aplicar el método de suma ponderada para agrupar las variables seleccionadas y generar un mapa de riesgo con base en criterios definidos por nosotros los estudiantes o grupo de trabajo.

Comparar los resultados obtenidos entre sí del municipio para establecer patrones comunes o diferencias de cada mapa para la exposición territorial al riesgo de inundaciones.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Villavicencio con una población de 531.275 habitantes (DANE, 2018), es la capital del departamento del Meta, se encuentra ubicado en la región de los Llanos Orientales, a 86 km de la ciudad de Bogotá, esta importante ciudad, limita al norte con el municipio de Restrepo y El Calvario, al oriente con Puerto López, al sur con Acacías y San Carlos de Guaroa y al occidente con el departamento de Cundinamarca, cuenta con una superficie de 1.328 km², con una temperatura promedio de 27°C, Villavicencio se divide en dos regiones distintivas una montañosa al occidente y noroccidente donde se encuentra la Cordillera Oriental y una planicie ubicada hacia el oriente y nororiente correspondiente al piedemonte de la cordillera, los ríos Guayuriba, Ocoa y uatiquia son los más importantes de esta región, (Alcaldía de Villavicencio, s.f), se encuentra a 467 msnm, con un promedio de precipitación que ronda los 3856 mm (IDEAM, 2025), lo que lo convierte en uno de los municipios que presenta más lluvias en el país, esto sumado a los grandes ríos que atraviesan su territorio, se pueden encontrar puntos altos de riesgo por inundación.

Para este estudio, se observó que el mes de junio es uno de los meses con mayor riesgo por inundación, ya que presenta una alta incidencia de lluvias extremas, con precipitaciones que pueden superar los 500 mm, tales volúmenes hídricos no solo propician el desbordamiento de los cuerpos de agua, sino que también exacerban las condiciones de alto riesgo de inundación en la región, esta ciudad que se encuentra en constante crecimiento, tiene zonas urbanas que se encuentran en riesgo alto ya que se ha priorizado el negocio inmobiliario, se construye infraestructura vial ocasionando en detrimento de la urbanidad y el urbanismo (Cortés-Acuña y Castañeda-Pérez, 2023).

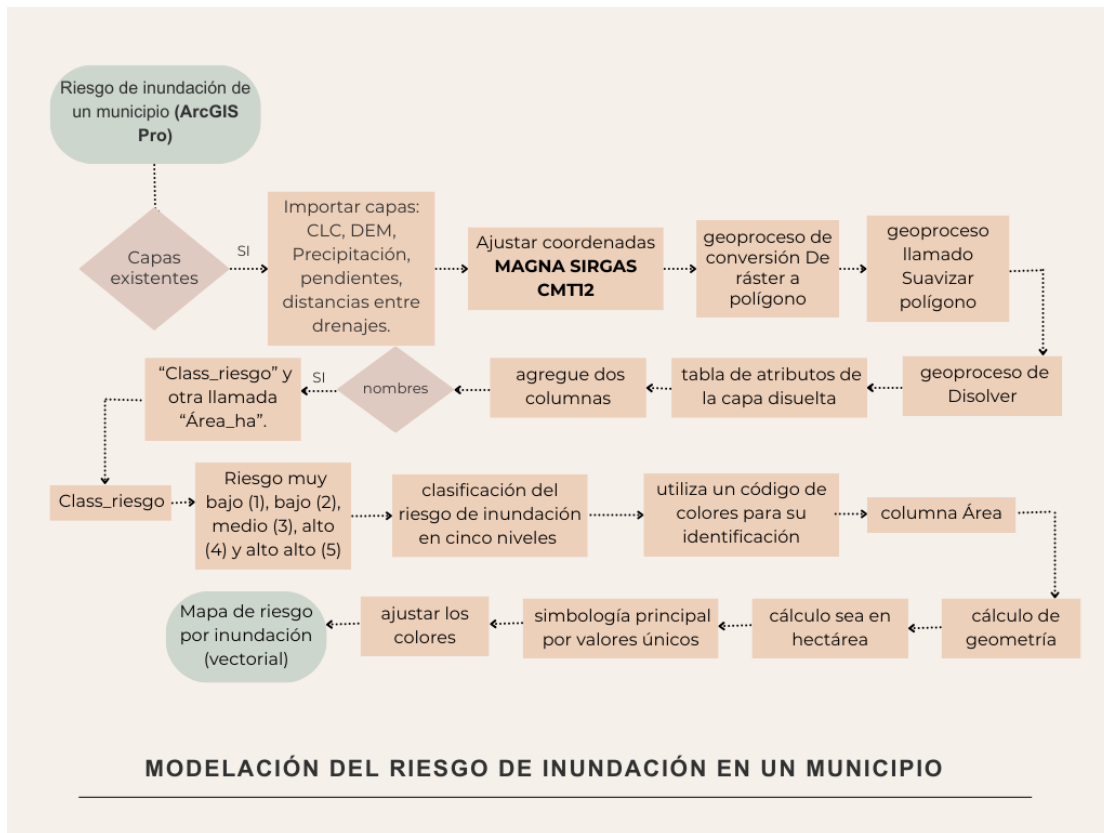
La decisión de centrar este estudio en el mes de junio se basa primordialmente en la necesidad de analizar los riesgos por inundación que pueden llegar a haber en este mes del año por la alta precipitación, teniendo en cuenta datos obtenidos históricamente, se busca generar un mapa que refleje la vulnerabilidad a inundaciones que tiene el municipio, este conocimiento permitirá diseñar e implementar estrategias adecuadas para mitigar el riesgo en las zonas más vulnerables de Villavicencio, contribuyendo a la seguridad y bienestar de sus habitantes.

Metodología

Con el objetivo de analizar las coberturas del suelo que presentan mayor vulnerabilidad frente a inundaciones en el municipio de Villavicencio, se utilizaron principalmente datos provenientes por el Sistema de Información Geográfico (SIG), por lo tanto se utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM) del área del municipio de Villavicencio, de la capa de cobertura de tierra (CLC) Corine Land Cover, se utiliza la información que fue ajustada conforme a la metodología de clasificación (Corine Land Cover) en una escala de descripción y categorización, en la etapa inicial, se llevó a cabo la edición del DEM en formato ráster mediante la importación del modelo

correspondiente al municipio de Villavicencio, por lo consiguiente también como una capa tipo shapefile que hace representación a los municipios de Colombia delimitando sus áreas, con base a esta información se llevó a cabo la obtención del ráster específico, lo cual hizo posible la creación de curvas de nivel y posteriormente la generación del mapa de pendientes del municipio (figura 1).

Figura 1. Análisis multicriterio



Fuente: Autoría propia, 2025.






Se empleó un enfoque de análisis multicriterio que integró cinco variables asociadas al riesgo de inundación, asignándoles distintos niveles de influencia: el modelo digital de elevación (DEM), la pendiente del terreno, el tipo de cobertura del suelo según de la clasificación (CLC), la cercanía a las redes de drenaje y el volumen de precipitación basado en la capa raster del mes abril, que se toma como base por su relevancia hidrológica en el contexto regional, ya que constituye el inicio del periodo de lluvias, saturación de suelos y aumento de caudales, condiciones que preceden los eventos de inundación en el mes de junio, la combinación de estos elementos facilitó la identificación del nivel de amenaza por inundaciones en la ciudad de Villavicencio.

El ráster de pendientes del municipio de riesgo muy bajo se le asignó con un valor 2, riesgo bajo con 4, riesgo medio con 6, riesgo alto con 8, y riesgo muy alto con 10, la metodología del análisis

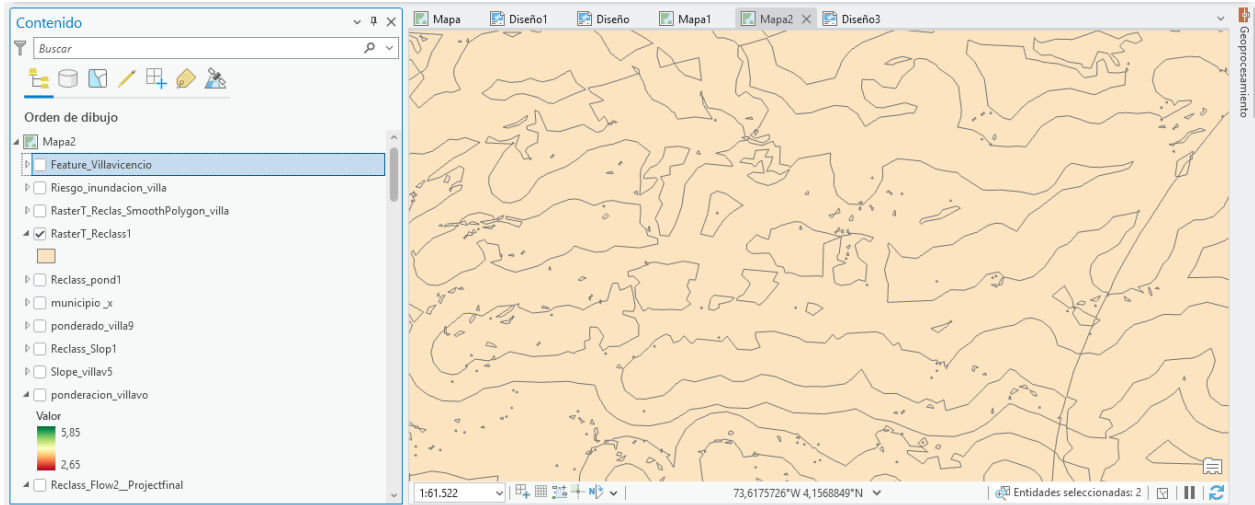
multicriterio posibilita la integración de información geoespacial, permitiendo elaborar el mapa de riesgo de inundación, esta herramienta facilita la visualización, localizando las áreas con riesgo más crítico y comparado con los distintos tipos de coberturas de tierra.

Para la elaboración del modelo de amenaza por inundación se procedió a una reclasificación de los factores implicados, utilizando tanto evaluaciones cualitativas como cuantitativas con asignación de valores numéricos, esto permitió establecer los distintos niveles de amenazas, la combinación de análisis multicriterio con herramientas de los sistemas de información geográfico SIG permitió obtener datos detallados sobre las zonas con diferentes grados de exposición a inundaciones en Villavicencio, esta metodología ayudó a mejorar la planificación territorial y facilitando la visualización de las coberturas de tierras afectadas en áreas vulnerables.

Tabla 1. Tabla de asignación de pesos para mapa de riesgo

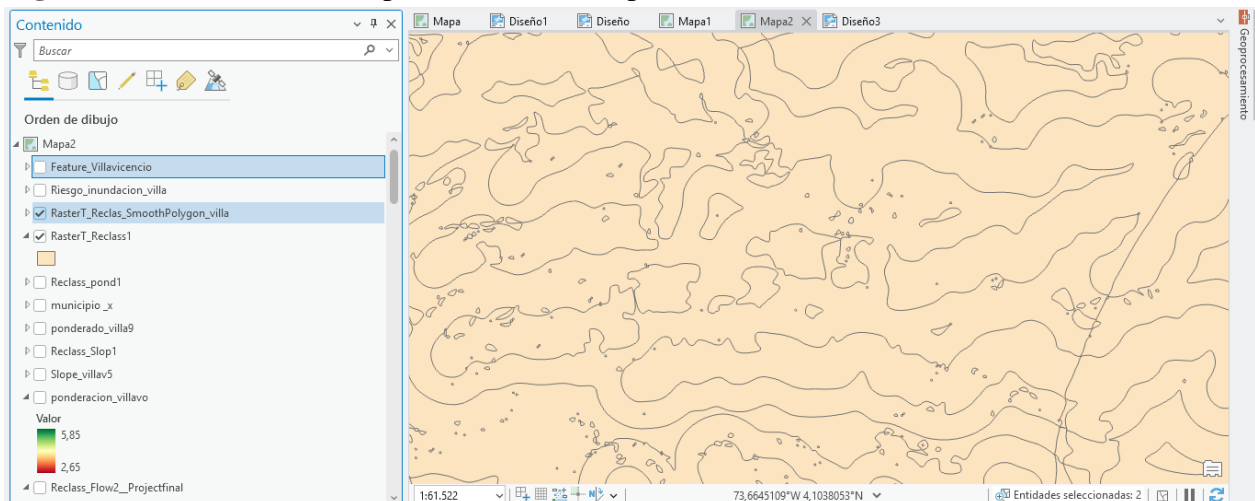
Clasificación de riesgo	Color	Peso asignado
Riesgo muy bajo		1
Riesgo bajo		2
Riesgo medio		3
Riesgo alto		4
Riesgo muy alto		5

Fuente: Autoría propia, 2025

Figura 2. Capa vectorial del Raster de la ponderación.

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

En la figura 2 se identifica la utilización de un geoproceto de conversión De ráster a polígono se puede abrir en la caja de herramientas de ArcGIS Pro, luego configurar los parámetros: Raster de entrada, entidades de polígono de salida, dar ejecutar.

Figura 3. Suavizado de la capa vectorial del mapa.

Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Proceso de transformación de raster a vectorial, para dar mejor visualización como se aprecia en la figura 3 se utiliza el geoproceto Suavizar polígono, que permite mejorar la calidad estética de la imagen obtenida, se puede abrir en la caja de herramientas de ArcGIS Pro, luego configurar los parámetros: entidades de entrada, clase entidad de salida, algoritmo de suavizado, manejo de errores topológicos: Desplegar y seleccionar “Resolver errores topológicos” y dar ejecutar.

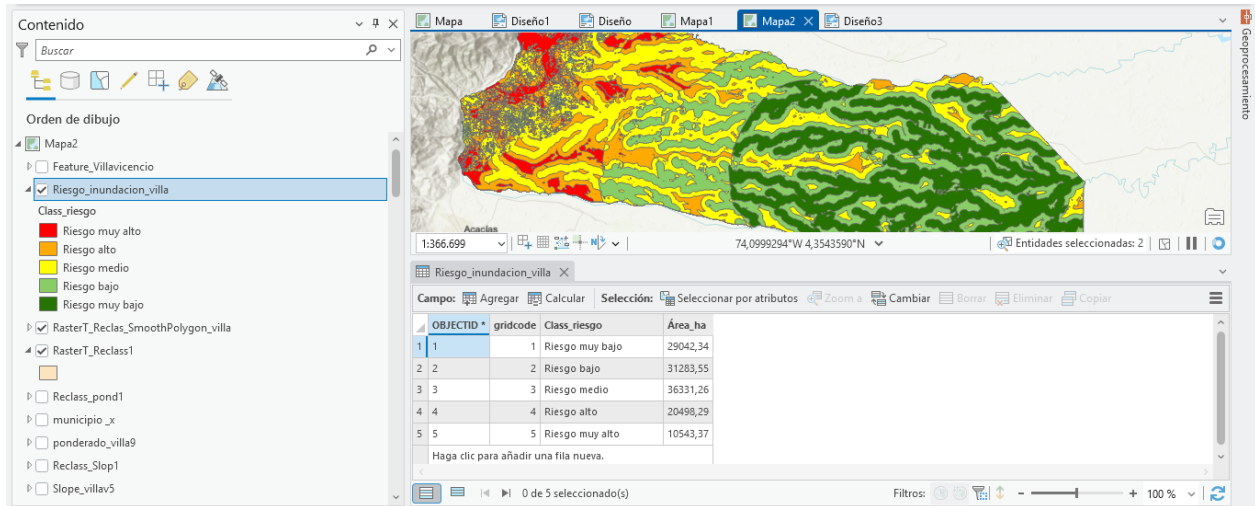
Se utiliza la herramienta Suma ponderada para realizar la combinación de los datos, dando un peso a cada riesgo de inundación como se observa en la tabla 2, estos pesos se dan para realizar un análisis multicriterio basado en la influencia de cada factor.

Tabla 2. Criterios de análisis para el riesgo de inundación

Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendiente	15%
Coberturas de tierras (Land Cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente: Autoría propia, 2025

Figura 4. Disolución, categorización y aplicación de simbología en los atributos de la capa de riesgo de inundación.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Geoproceso de Dissolve, para simplificar los datos con la configuración de los parámetros: entidades de entrada, clase entidades de salida, campos de dissolve desplegar y escoger “Gridcode” y dar ejecutar. Se abre la tabla de atributos, agregando dos columnas con los siguientes nombres “Class Riesgo” y otra llamada “Área_ha”. Para la columna de class riesgo se le van asignar valores cualitativos como lo podemos observar en la figura 4, dónde riesgo muy bajo (1), riesgo bajo (2), riesgo medio (3), riesgo alto (4) y riesgo muy alto (5), son cinco niveles para darle a cada una categoría clara y consistente.

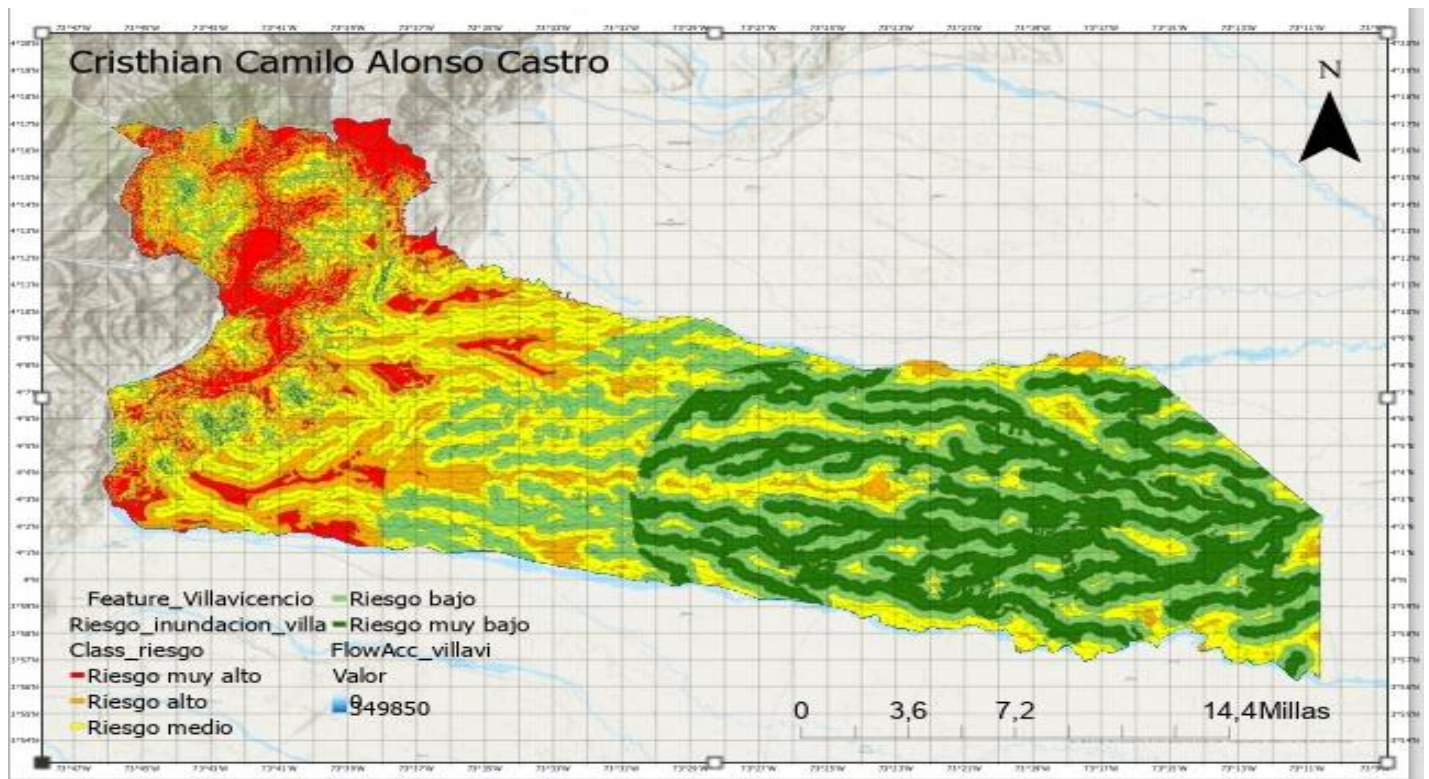
En la columna Área_ha, se debe realizar un cálculo de geometría para determinar el área de cada zona de riesgo, asegurando que la unidad de medida sea en (hectáreas) un paso muy importante para la interpretación de los resultados del mapa final.

La opción de Simbología en la capa de riesgo de inundación en el programa ArcGIS Pro, se utiliza para cambiar los valores únicos y ajustar los colores como se observa en la figura 5, donde las zonas de riesgo son:

- Riesgo muy bajo - color verde oscuro
- Riesgo bajo - color verde claro
- Riesgo medio - color amarillo
- Riesgo alto - color naranja
- Riesgo muy alto - color rojo

Se observa en la Figura 5, el mapa final del riesgo de inundación para el municipio de Villavicencio, visualizando los diferentes colores y su extensión que indica el riesgo de inundación de todas áreas que conforman este municipio.

Figura 5. Índice de riesgo por inundación municipio de Villavicencio.



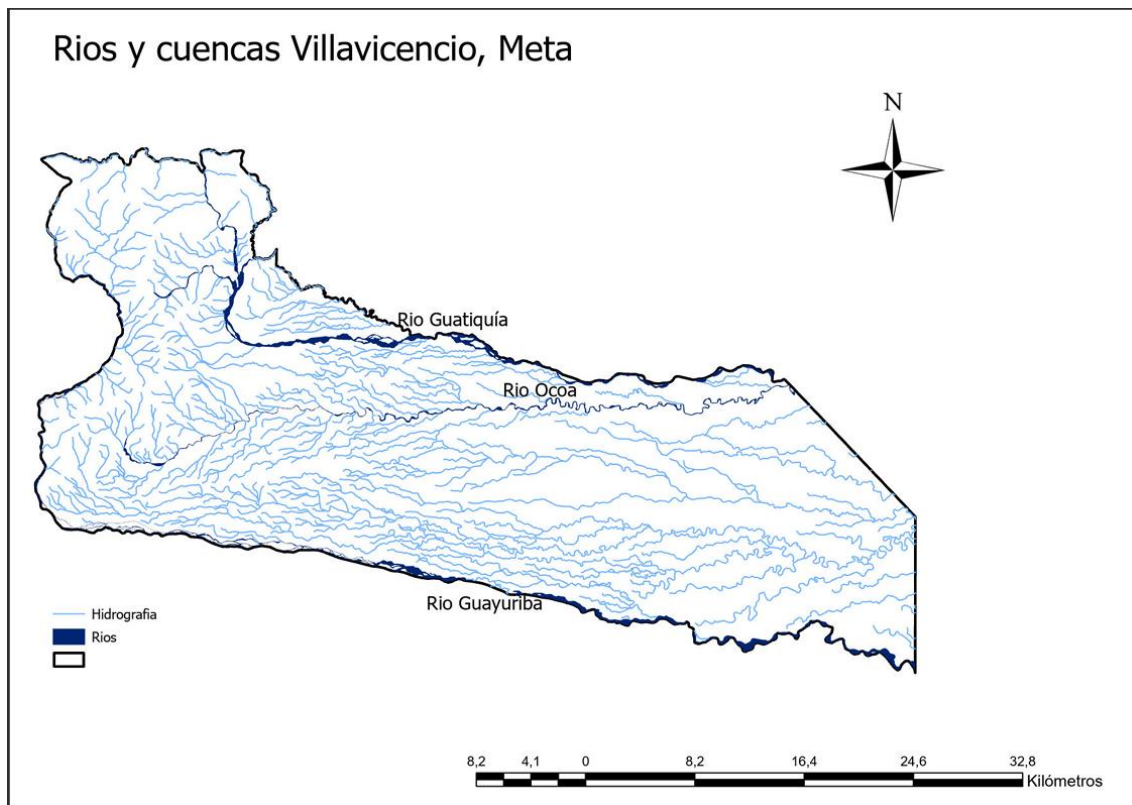
Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Resultados

Gracias a la metodología de análisis multicriterio realizada en ArcGis pro se obtuvieron los resultados que permiten clasificar e identificar las zonas con un riesgo más alto por inundación en el municipio de Villavicencio, Meta, este territorio que cuenta con una superficie de 1.328 km², se divide en dos regiones distintivas, una montañosa al occidente y noroccidente donde se encuentra la Cordillera Oriental y una planicie ubicada hacia el oriente y nororiente correspondiente al piedemonte de la cordillera (Alcaldía de Villavicencio, s.f) según el IDEAM (2025) el aumento de las lluvias para esta región se puede dar entre un 10% y 20% sobre los valores históricos, con un promedio de 3.856 mm anuales.

Para el mes de junio la precipitación es de 500 mm (IDEAM, 2025) lo cual lo sitúa como uno de los meses con mayor riesgo de inundación, en la zona occidental (Figura. 5) hacia las zonas norte y sur se encuentran los ríos Guatiquía y Guayuriba (Figura 6.), los cuales presentan un riesgo muy alto de inundación (Figura. 5).

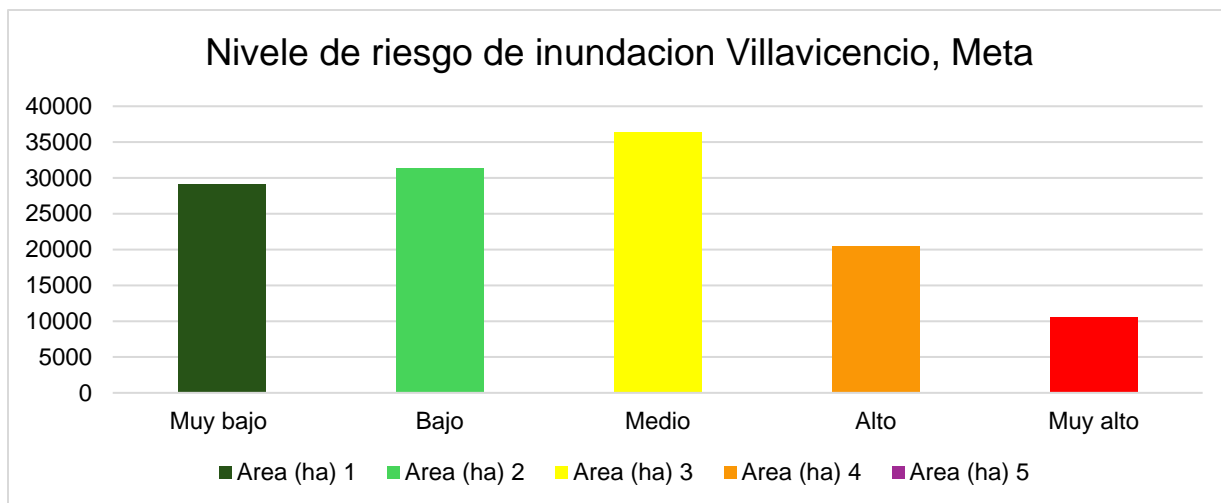
Figura 6. Ríos y cuencas Villavicencio



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

La zona urbana del municipio se encuentra en las cercanías del río Ocoa el cual al recibir las grandes lluvias del mes de junio presenta desbordamientos e inundaciones, igualmente el río negro al iniciar el periodo de precipitaciones recibe grandes cantidades de agua que provienen del río Guayuriba ocasionando desbordamientos hacia las zonas rurales de Villavicencio. (Varón y Vargas, 2019), según el DANE (2018) el 93% de la población total del municipio está ubicada en el área urbana mientras que el 7% se encuentra hacia las zonas rurales.

Figura 7. Niveles de riesgo de inundación en Villavicencio.



Fuente: Autoría propia, 2025.

Tabla 3. Tabla clasificación de riesgo por inundación

Clasificación de Riesgo	Área (ha)	Color Representativo	Peso Asignado	Porcentaje de riesgo (%)
Riesgo muy bajo	29,042.34	Verde oscuro	1	23
Riesgo bajo	31,283.55	Verde claro	2	25
Riesgo medio	36,331.26	Amarillo	3	28
Riesgo alto	20,498.29	Naranja	4	16
Riesgo muy alto	10,543.37	Rojo	5	8

Fuente: Autoría propia, 2025.

La susceptibilidad a inundación en Villavicencio se clasificó en cinco niveles de riesgo como se muestra en la tabla 3.

- Nivel muy bajo: representado con el color verde oscuro, tiene un valor equivalente a 1 y corresponde a 29042,34 ha lo que representa el 23%
- Nivel bajo: representado con el color verde claro, tiene un valor equivalente a 2 y corresponde a 31283,55 ha, lo que representa el 25%
- Nivel medio: representado con el color amarillo, tiene un valor equivalente a 3 y corresponde a 36331,26 ha, lo que representa el 28%
- Nivel alto: representado con el color naranja, tiene un valor equivalente a 4 y corresponde a 20498,29 ha, lo que representa el 16%
- Nivel muy alto: representado con el color rojo, tiene un valor equivalente a 5 y corresponde a 10543,37 ha, lo que representa el 8%

El área con riesgo muy alto y alto es equivalente al 24% del territorio, si bien no abarca una gran parte del municipio sí tiene influencia directa sobre el casco urbano, lo cual afecta al 93% de la población.

Conclusiones

El análisis que se realizó del riesgo de inundación del municipio de Villavicencio del departamento del meta mediante el uso de SIG (sistemas de información geográfica) y el uso del aplicativo ArcGIS pro nos permitió analizar y evidenciar como la integración de varias variables como el DEM, precipitación, cobertura de tierras y distancia a drenajes o líneas hídricas nos permite obtener un diagnóstico con fundamentos sobre las áreas más vulnerables del municipio de Villavicencio. Por medio del análisis multicriterio y la suma ponderada se mostró un mapa con la clasificación de zonas según su nivel de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) donde se evidencio las zonas pobladas y zonas agrícolas que son aledaños a líneas hídricas.

Este análisis nos permitió identificar a más de 31.000 hectáreas categorizadas como zona de alto y muy alto riesgo de inundación las cuales se ubican en zonas de baja altitud, por medio del aplicativo ArcGIS nos permitió crear los resultados en capas vectoriales facilitando su análisis y correlación con áreas habitadas expuestas y ecosistemas vulnerables, resultado clave para realizar estrategias de mitigación.

Este análisis resalta la necesidad de implementar acciones preventivas y planificar el ordenamiento territorial para hacer un buen uso de prácticas sostenibles con el medio ambiente.

Recomendaciones

Se recomienda que según la clasificación del riesgo las zonas de muy alto y de alto riesgo sean excluidas de actividades agrícolas y sean usadas para la reforestación o conservación de zonas ecológicas, crear sistemas agrícolas productivos que toleren la húmedas para las zonas categorizadas con riesgo medio, usar techos o coberturas para controlar la humedad y zonas de drenajes para evitar su inundación, incorporar el uso de herramientas de análisis SIG permitiendo planificar el uso del territorio creando un manejo sostenible de los recursos naturales y mejorar la prevención de los sistemas agrícolas frente a cambios climáticos.

Crear corredores ecológicos y delimitar las zonas de alto riesgo de inundación con vegetación que ayude a contraer esa acumulación de agua, ayuda a proteger la erosión del suelo, realiza una correcta rotación de cultivos que ayude a mejorar las condiciones y estructura del suelo y se sugiere la siembra de árboles productivos en sistemas agroforestales que ayuden a reducir el riesgo y contribuyan con la sostenibilidad del ecosistema.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Villavicencio. (s.f). Información del municipio.
<https://villavicencio.gov.co/municipio/informacion-del-municipio/>
- Alcaldía de Villavicencio. (s.f). Mi municipio información del municipio.
<https://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx#:~:text=Entre%20los%20principales%20afluentes%20que,y%20La%20cuerera%2C%20entre%20otros>
- Cortés-Acuña, C & Castañeda-Pérez, Y. (2023). Configuración morfológica del tejido urbano de Villavicencio (Colombia): estudio urbanístico en una ciudad intermedia fragmentada. *Ciudad y territorio Estudio territoriales. Vol., LV. No, 215*, pp. 183-202.
<https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/93820/71954>
- DANE. (2018). Villavicencio, Meta.
https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/50001_infografia.pdf
- Franco, F. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería. No. 31*, pp. 97-108.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932010000100011&script=sci_arttext
- Hurtado, A & Mesa, O. (2015). Cambio climático y variabilidad espacio - temporal de la precipitación en Colombia. *Revista EIA. Esc. Ingeniería Antioquia. No. 24*, pp. 131-150.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372015000200009&script=sci_arttext

- Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2025). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. <http://archivo.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>
- Jaramillo-Robledo, A & Chaves-Cordoba, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafé* 51(2). 102-11. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/971/1/arc051%2802%29102-113.pdf>
- National Geographic. (2023). Cuál es el país donde más llueve. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/05/cual-es-el-pais-donde-mas-llueve>
- Riera-Spiegelhalder, M., Campos Rodrigues, L. & Ferrandis Martínez, A. (2025). A Multicriteria Analysis to Integrate Stakeholder Perceptions of Ecosystem-Based Flood Adaptations in Coastal Urban Areas. *Documents d'Analisi Geografica*, 71(1), pp. 153–179. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.5565/rev/dag.933>
- Varón, S & Vargas, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, Vol. 28(1), pp. 152-174. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v28n1/2256-5442-rcdg-28-01-152.pdf>
- Ykeizumi, L & Ribeiro, E. (2024). Vulnerabilidad socioambiental urbana: Mapeo y análisis multicriterio para la toma de decisiones en la ciudad de Joinville – Santa Catarina, Brasil. *Geograficando*, 20(1), e151. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe151>

Enlace de sustentación: https://youtu.be/mEyYuO_HwMw