

Evaluación multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de El Copey, César, (Colombia)

Autores:

Deiver Eliecer Pérez Molina - deperezmo@unadvirtual.edu.co
Freddy Balbino Montes Puentes - Fbmontesp@unadvirtual.edu.co
Narly Yulieth Obando Chávez - nyobandoc@unadvirtual.edu.co
Rubén Mauricio Toledo - rmtoledo@unadvirtual.edu.co
Willy Jhojan Diaz Gutierrez - wjdiazg@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

El municipio de El Copey, ubicado en el departamento del Cesar (Colombia), presenta condiciones naturales favorables, pero también una alta vulnerabilidad frente al riesgo de inundación, asociada principalmente al aumento de las precipitaciones y a las características topográficas e hidrológicas del territorio. Ante esta problemática, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el riesgo de inundación mediante un análisis multicriterio utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente el aplicativo ArcGIS Pro.

La metodología se basó en el procesamiento y análisis de variables geoespaciales como pendientes, modelo digital de elevación, drenajes, coberturas del suelo y precipitaciones, apoyadas en información cartográfica del IGAC. A través de la reclasificación de capas y la aplicación de la técnica de suma ponderada, se generó un mapa temático que permitió identificar y clasificar las zonas según su nivel de riesgo.

Los resultados indican que aproximadamente 7.116 hectáreas del municipio se clasifican con riesgo muy alto de inundación, mientras que 30.845 hectáreas presentan riesgo alto, concentrándose principalmente en áreas cercanas a ríos y zonas de baja elevación. Estos hallazgos constituyen una herramienta clave para la gestión del riesgo y la planificación territorial, orientada a la prevención y mitigación de eventos de inundación en el municipio.

Palabras clave: Geoprocesos; inundación; Sistema de información geográfica.

Introducción

El cambio climático se ha consolidado como uno de los principales factores que intensifican la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, tales como lluvias intensas y prolongadas, las cuales incrementan significativamente el riesgo de inundaciones en diversas regiones del mundo. De acuerdo con informes internacionales, el aumento en la variabilidad climática ha generado alteraciones en los regímenes de precipitación, afectando de manera directa a los territorios con sistemas de drenaje limitados o con ocupación inadecuada del suelo (United Nations, 2017; UNESCO, 2020).

En Colombia, estas condiciones se manifiestan con mayor frecuencia en municipios que presentan cercanía a cuerpos de agua y zonas de baja elevación, donde las inundaciones representan una amenaza recurrente para la población y el entorno (Hernández et al., 2016).

En el municipio de El Copey, departamento del Cesar, el riesgo de inundación constituye una problemática relevante debido a la interacción entre factores climáticos, topográficos y antrópicos. La presencia de ríos, quebradas y áreas con pendientes suaves, sumada a actividades agrícolas y asentamientos cercanos a zonas inundables, incrementa la vulnerabilidad de la población, la infraestructura vial y las actividades productivas del territorio (IGAC, s.f.). En este contexto, el estudio del riesgo de inundación resulta fundamental para apoyar la planificación territorial y la gestión del riesgo, permitiendo anticipar posibles afectaciones y orientar medidas de prevención.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se consolidan como herramientas clave en este proceso, ya que facilitan la integración y análisis de múltiples variables espaciales para la evaluación del riesgo y la toma de decisiones informadas (Hernández et al., 2016; Maddio et al., 2023).

Según *Pardo 2022*, El análisis multicriterio puede compilar y evaluar la cantidad de datos importantes frente a los flujos de agua y el papel que juega dentro del municipio, y a su vez se obtiene un mapa temático que podrá brindar una información de observación concisa y clara, mostrando los niveles y detalles del riesgo de inundación.

En este sentido, el propósito del presente ejercicio es aplicar un modelo de análisis multicriterio mediante herramientas SIG, específicamente ArcGIS Pro, con el fin de generar un mapa de riesgo de inundación del municipio de El Copey y realizar una primera interpretación de las zonas más críticas del territorio.

Objetivos

General

Evaluar el riesgo de inundación en el municipio de El Copey, Cesar, mediante la aplicación de un análisis multicriterio apoyado en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Específicos

1. Analizar el comportamiento hidrológico del municipio, integrando datos de precipitación y variables agroambientales para estimar el flujo y acumulación del agua en eventos lluviosos.
2. Procesar y reclasificar las capas ambientales relevantes (elevación, pendiente, drenajes, precipitación, entre otras) para identificar las áreas con mayor probabilidad de presentar riesgo de inundación.
3. Elaborar un mapa temático de riesgo de inundación mediante técnicas SIG y análisis multicriterio, con el fin de fortalecer la visualización y prevención del riesgo en el municipio.

Identificación del caso de estudio

El Copey es un municipio ubicado en el departamento del César (Figura 1), en la región caribe de Colombia. Se sitúa a aproximadamente 120 kilómetros al sur de la capital del departamento, Valledupar. Su división político-administrativa incluye 75 veredas y 3 corregimientos, con una extensión total es de 968,1 km² (Gobernación del Cesar, 2025). Cuenta con una población total de 28.550 habitantes, la población se distribuye entre un área urbana que alberga 22,300 habitantes y en zonas rurales y corregimientos con 6.250 habitantes según (DANE, 2018)

Características Físicas y Ambientales

El Copey presenta una topografía variada, con altitudes que oscilan entre 300 y 1,200 metros sobre el nivel del mar. La red hídrica del municipio incluye ríos y quebradas, siendo la quebrada El Copey una de las más relevantes. Las pendientes generales del terreno son moderadas, lo que puede influir en la acumulación de agua durante eventos de lluvia intensa.

Características Climáticas

El clima en El Copey es tropical, con una época de lluvias que generalmente se extiende de abril a noviembre. Durante estos meses, las precipitaciones pueden ser significativas, alcanzando picos en mayo y octubre, donde se registran cantidades que superan los 200 mm mensuales en promedio. Este patrón de precipitación, combinado con la topografía y la red hídrica, contribuye al riesgo de inundaciones en ciertas áreas del municipio.

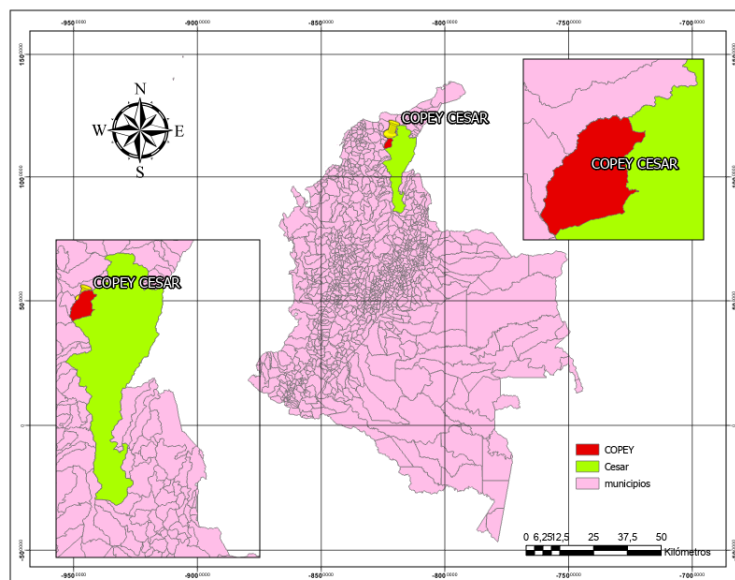
De acuerdo con el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, los cauces hídricos como las quebradas El Copey, Candela, Las Mulas y Guayacán, así como los ríos Ariguaní y Ariguanicito, representan zonas susceptibles a inundaciones tanto en la cabecera municipal como en varios corregimientos y veredas de su jurisdicción. Estos escenarios han sido identificados con

riesgo medio de inundación, debido a la interacción entre la topografía local y las fuertes precipitaciones que caracterizan la región agroclimática del norte del Cesar (Alcaldía Municipal de El Copey, 2012).

Además, las autoridades departamentales de gestión del riesgo han reportado que, durante temporadas lluviosas como las asociadas al Fenómeno de La Niña o al paso de huracanes por el Caribe, existe una probabilidad elevada de incrementos súbitos en el caudal de los ríos y quebradas que atraviesan el municipio. En episodios recientes, organismos de socorro han monitoreado y emitido alertas preventivas debido al aumento del caudal del río Ariguani y el Ariguanicito, lo cual incrementa el peligro de inundaciones en áreas rurales y urbanas cercanas a estos cuerpos de agua. Estos factores, junto con la experiencia histórica de crecientes súbitas y afectaciones a la infraestructura y vivienda, subrayan la necesidad de fortalecer estrategias de prevención y adaptación al riesgo de inundación en El Copey, dentro del marco de los instrumentos de planificación territorial y de gestión del riesgo de desastres.

Figura 1

Localización de la zona de estudio



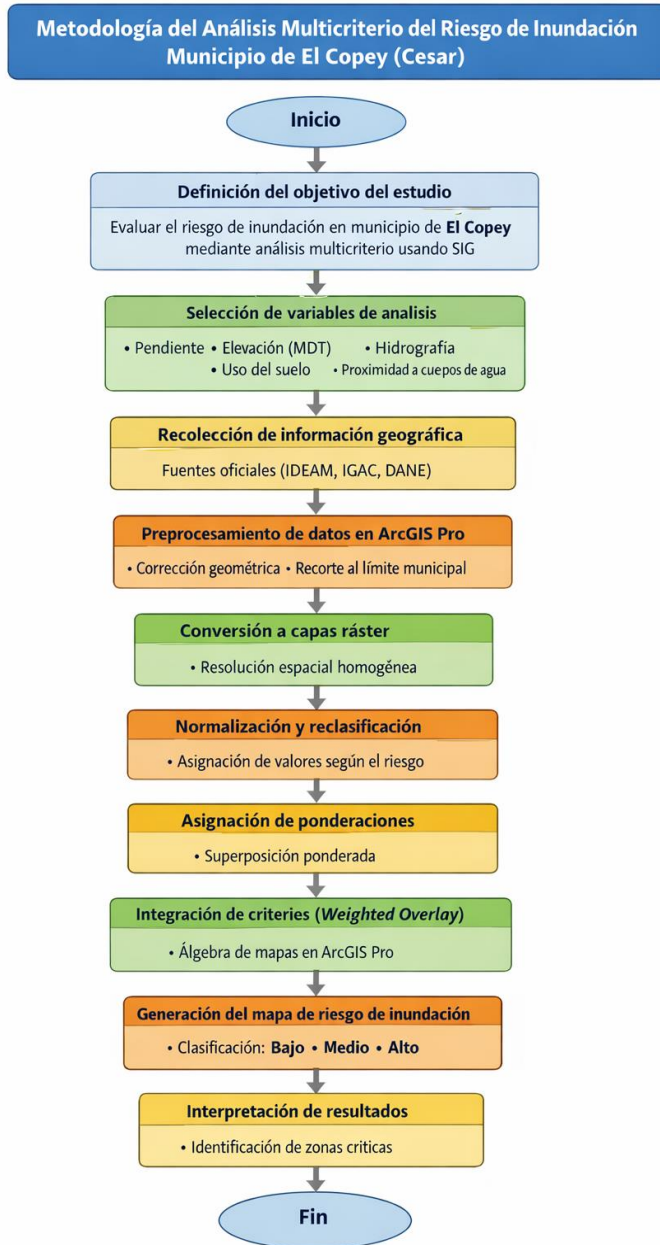
Fuente: Autoría propia, ArcGIS pro-2025.

Metodología

La metodología de análisis multicriterio constituye una herramienta fundamental en la gestión del riesgo de inundación, particularmente en los procesos de reclasificación y análisis espacial desarrollados en ArcGIS Pro. Este enfoque permite evaluar de manera integrada múltiples factores que influyen en la vulnerabilidad de un territorio, entre los cuales se incluyen la topografía, la red hídrica, el uso del suelo y las precipitaciones. Para el desarrollo del análisis multicriterio, se tomó como objeto de estudio el mes de octubre de 2024, periodo caracterizado por la ocurrencia de las precipitaciones más intensas en el municipio de El Copey.

Figura 2

Metodología del análisis multicriterio del riesgo por inundación Municipio de El Copey (Cesar).



Fuente: Autoría propia, - 2025.

Análisis de geoprocesos

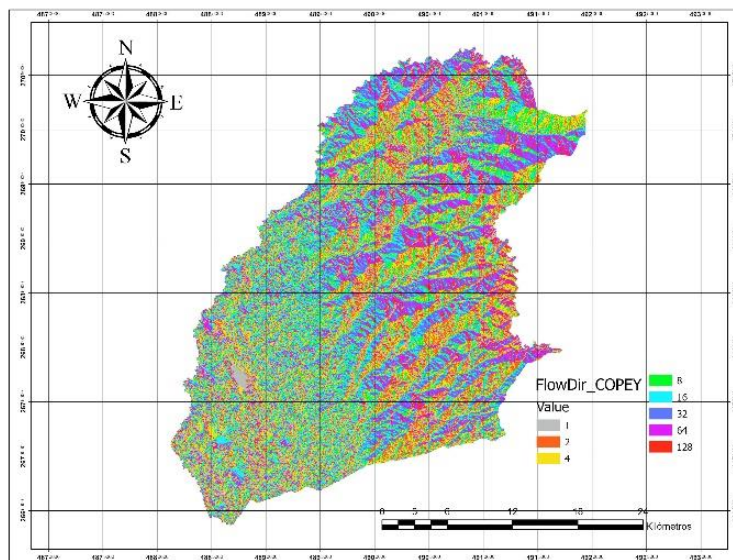
La evaluación del riesgo de inundación en el municipio de El Copey (Cesar) se realizó mediante un análisis multicriterio espacial, apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y utilizando el software ArcGIS Pro. La metodología se estructuró en fases secuenciales (Figura 2), que permitieron la preparación de datos, el análisis hidrológico y la integración de variables espaciales para la generación del mapa final de riesgo.

En primera instancia, se estableció el sistema de referencia espacial MAGNA-SIRGAS CMT12 como marco cartográfico común para todos los insumos geográficos. Posteriormente, se incorporaron al proyecto el Modelo Digital de Elevación (DEM), el ráster de pendientes, y los archivos vectoriales correspondientes al municipio de El Copey y al departamento del Cesar, garantizando la coherencia espacial y geométrica de la información.

Seguidamente, se procesó la cobertura de tierras, la cual fue recortada al límite municipal y posteriormente disuelta. Esta información vectorial fue transformada a formato ráster mediante la herramienta (Polygon to Raster), utilizando un tamaño de celda de 30 m, lo que permitió su integración con las demás variables ráster del análisis. Posteriormente, se incorporó el ráster de precipitación correspondiente al mes de mayor intensidad pluviométrica a nivel departamental. Este insumo fue procesado mediante extracciones sucesivas por máscara, primero al límite departamental y luego al límite municipal, obteniendo así el ráster de precipitación específico del municipio de El Copey, con resolución espacial homogénea y sistema de coordenadas unificado.

El análisis hidrológico se desarrolló a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) del municipio, al cual se le aplicaron de forma secuencial los procesos de dirección de flujo (Flow Direction) (Figura 3), acumulación de flujo (Flow Accumulation) (Figura 4) y delimitación de la red de drenaje (Figura 5). Estos procedimientos permitieron identificar las áreas con mayor concentración de escorrentía superficial y los principales cauces hídricos.

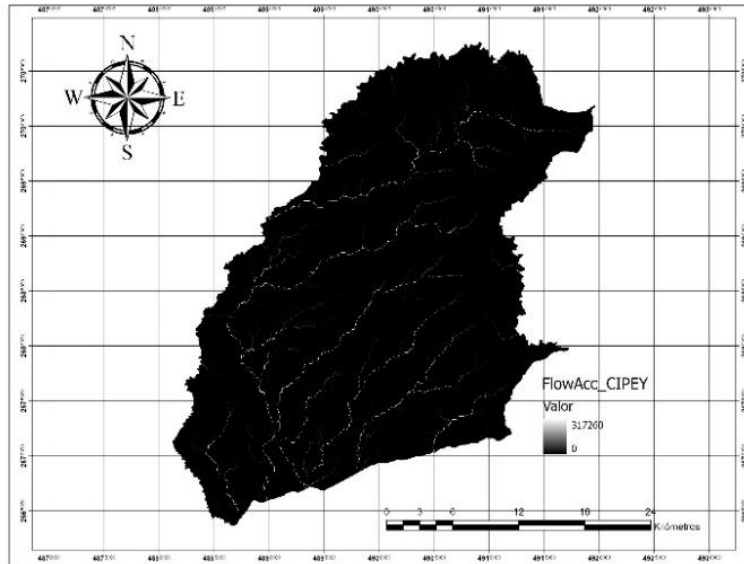
Figura 3
Capa dirección de flujo.



Fuente: Autoría propia, ArcGIS pro-2025.

Acumulación de flujo (Flow Accumulation). A partir del ráster de acumulación de flujo (Figura 4), se determinó un umbral equivalente al 1 % del valor máximo, el cual permitió reclasificar la información y aislar los drenajes principales del municipio.

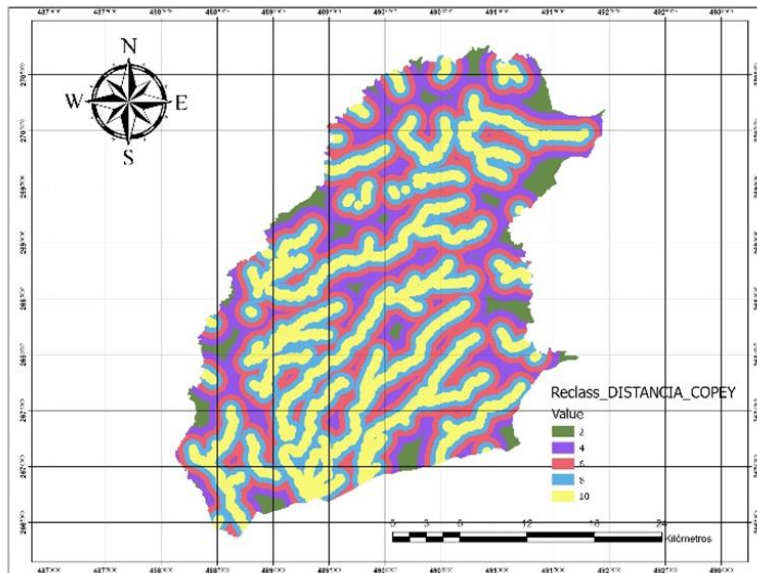
Figura 4
 Capa acumulación de flujo.



Fuente: Autoría propia, ArcGIS pro-2025.

Con base en estos drenajes, se calculó la distancia acumulada a los cauces, generando un ráster que representa la proximidad a zonas potencialmente inundables.

Figura 5
 Capa distancia acumulada de drenajes.



Fuente: Autoría propia, aplicativo ArcGIS pro2025.

Reclasificación de los datos de estudio

Después de llevar a cabo los primeros cinco geoprocesamientos, es crucial garantizar que las capas obtenidas estén bien organizadas y sean coherentes para proceder con la reclasificación (Figura 6) de la información del municipio de Copey. Este proceso de reclasificación se realiza a través de un análisis multicriterio aplicado a datos geoespaciales, lo que permite examinar y ajustar los distintos factores que impactan el territorio en relación con el riesgo de inundación. Es esencial tener en cuenta variables como la pendiente y el uso del suelo, ya que estas influyen directamente en la clasificación de la información y en la precisión de los datos al finalizar los procesos. Esto proporciona una visión más clara de las áreas con mayor vulnerabilidad a inundaciones (Gil Fernández, E. A., & Jiménez Gómez, C., 2019).

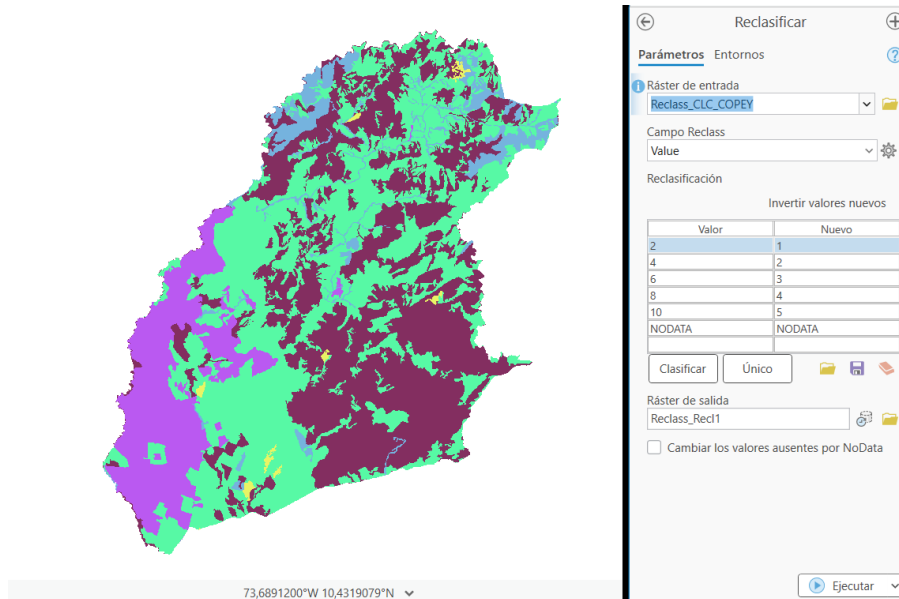
La etapa de reclasificación es fundamental para facilitar la toma de decisiones orientadas a la prevención y mitigación de riesgos en el territorio. Permite identificar con mayor exactitud las zonas que son susceptibles a inundaciones provocadas por fenómenos naturales, así como las comunidades e infraestructuras que podrían verse afectadas. Así, se obtiene una herramienta visual confiable que asiste en la elaboración de planes efectivos para disminuir el impacto de futuras inundaciones.

El análisis multicriterio de la cobertura de tierras también permite integrar diferentes tipos de datos, lo que enriquece la comprensión del territorio y sus riesgos. Al considerar múltiples variables, se pueden establecer prioridades y estrategias de intervención que se adapten a las necesidades específicas de cada área. Esta metodología no solo mejora la gestión del riesgo, sino que también fomenta un enfoque más integral en la planificación del uso del suelo.

Una clasificación de la distancia es precisa y actualizada es esencial para la efectividad de las políticas de gestión del riesgo. Esto asegura que las acciones implementadas sean pertinentes y basadas en datos sólidos, lo que contribuye a la resiliencia de la comunidad frente a eventos climáticos extremos. La utilización de herramientas geoespaciales en este contexto es clave para el desarrollo sostenible del municipio y la protección de sus habitantes.

Todas las variables involucradas en el análisis como elevación, pendiente, precipitación, distancia a drenajes y cobertura de tierras, fueron reclasificadas a una escala común de valores (2, 4, 6, 8 y 10), representando niveles de riesgo desde muy bajo hasta muy alto.

Figura 6
Reclasificación de Cobertura de la tierra



Fuente: Autoría propia, aplicativo ArcGIS pro2025.

Suma Ponderada de las reclasificaciones y su importancia

De acuerdo con *Gil Fernández, E. A., y Jiménez Gómez, C. (2019)*, la suma ponderada se considera una herramienta clave en el análisis multicriterio, ya que facilita la integración de diversas capas de información en un conjunto cohesivo.

Como se observa en (Tabla 1) esta técnica se implementó en el municipio de El Copey, para evaluar múltiples factores relacionados con el riesgo de inundación. A cada factor se le asignó un peso relativo de acuerdo con su influencia en el riesgo de inundación.

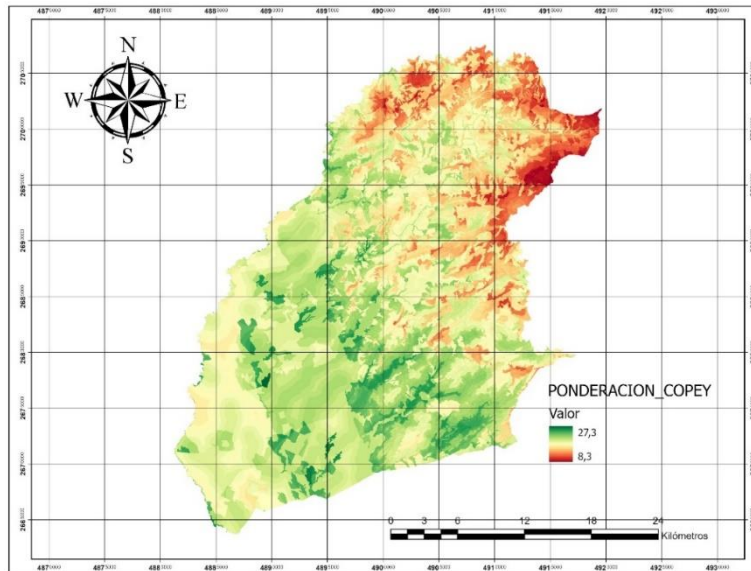
Tabla 1
Criterios de análisis para el riesgo de inundación.

Factor	Porcentaje	/100
Modelo de elevación digital DEM	10%	0,1
Pendientes	15%	0,15
Coberturas de tierra (Land Cover)	10%	0,1
Precipitación	35%	0,35
Distancia entre drenajes	30%	0,3
Total	100%	1

Nota: Adaptado de Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2025).

Este proceso es crucial para la toma de decisiones en situaciones críticas relacionadas con inundaciones. Al aplicar la suma ponderada (Figura 7), se combinan las capas que han sido reclasificadas previamente, como el uso del suelo, el modelo digital de elevación, las precipitaciones, así como las distancias y pendientes del municipio. Esto resulta en un análisis claro y exhaustivo del riesgo de inundación en la zona.

Figura 7
suma ponderada de la reclasificación








Fuente: Autoría propia, aplicativo ArcGIS pro2025.

Clasificación del riesgo de inundación.

Tras aplicar la técnica de suma ponderada al análisis del riesgo de inundación en el municipio, es necesario realizar una reclasificación adicional utilizando un sistema de codificación por colores (Tabla 2), para que la información sea presentada de manera efectiva y comprensible visualmente. Esta clasificación permite categorizar el riesgo en cinco niveles: muy bajo (1), bajo (2), medio (3), alto (4) y muy alto (5).

Tabla 2

Reclasificación del riesgo por inundación.

Valores	Simbología
1	
2	
3	
4	
5	

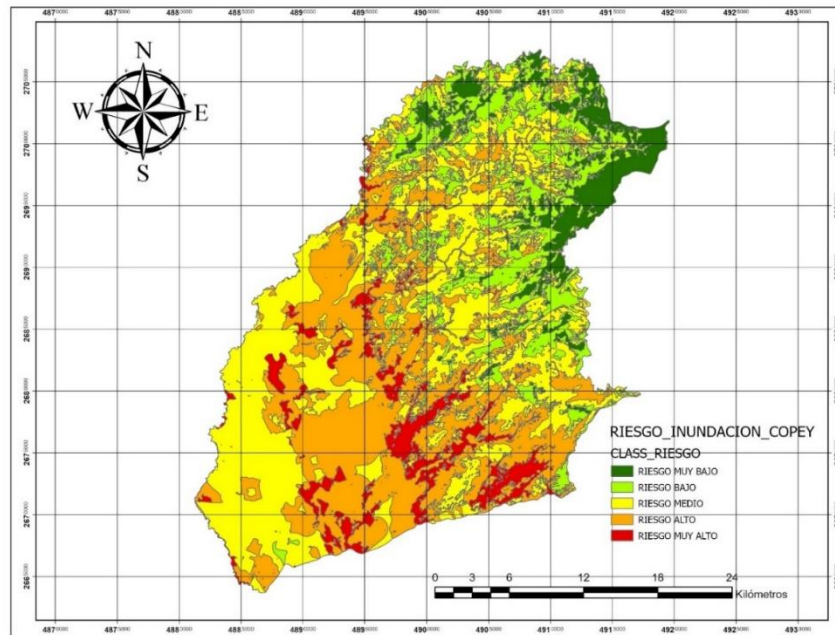
Nota: Adaptado de Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2025).

Gracias a este enfoque multicriterio realizado en el mes de noviembre del año 2025, no solo mejora la claridad de los datos, sino que también permite una interpretación más rápida y precisa de los niveles de riesgo, específicamente en las zonas que representan un mayor valor, especialmente aquellas cercanas a ríos de baja elevación, que son más susceptibles a inundaciones durante la temporada de lluvias, como está sucediendo actualmente. lo que es esencial para la planificación y gestión efectiva del territorio.

Según *Maddio 2023*, las áreas clasificadas como de bajo riesgo se encuentran en elevaciones más altas en el terreno. Sin embargo, es importante destacar que estas zonas no están completamente exentas de peligros, ya que también pueden ser vulnerables a deslizamientos de tierra. Esta reclasificación es valiosa no solo para enfocar esfuerzos en la reducción del riesgo, sino que también juega un papel crucial en la planificación y en la educación acerca de estos fenómenos.

Además, la información obtenida a través de esta clasificación (Figura 8), es esencial para desarrollar estrategias efectivas de gestión del riesgo. Al entender las diferentes categorías de riesgo, se pueden implementar medidas adecuadas para proteger a las comunidades y minimizar el impacto de futuros eventos climáticos adversos. La colaboración entre las autoridades y la población es fundamental para asegurar una respuesta adecuada ante posibles inundaciones y deslizamientos. (*Gilio, Brenda L., Franco, Nora V., & Vetrivano, Lucas, 2022*).

Figura 8
Clasificación de Riesgo de inundación.



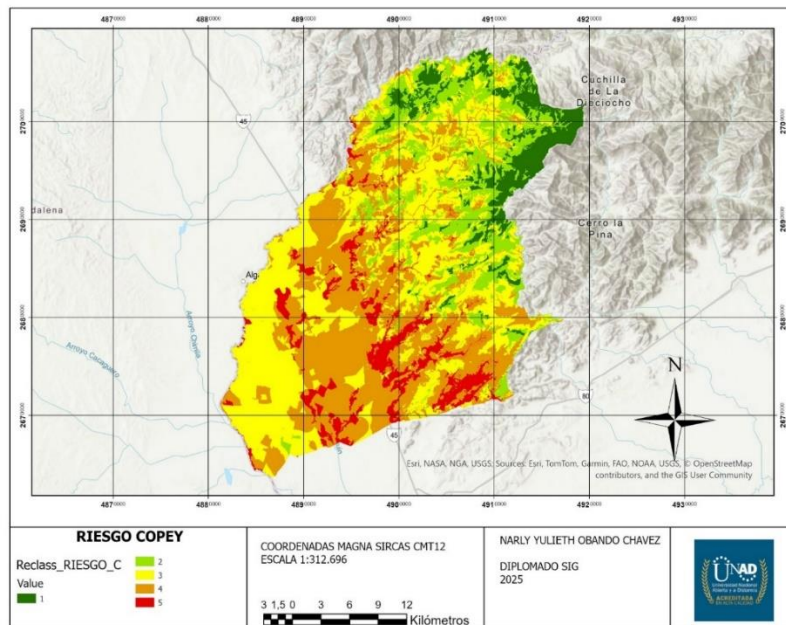
Fuente: Autoría propia, aplicativo ArcGIS pro2025.

Resultados

Mapa temático de riesgo de inundación

Una vez completada la clasificación del riesgo en el municipio de El Copey, se obtuvo como resultado un mapa temático del riesgo de inundación (Figura 9), el cual integra la información correspondiente a las precipitaciones registradas durante el mes de octubre de 2024. El análisis permite identificar espacialmente las áreas con mayor nivel de riesgo, constituyéndose en un insumo técnico relevante para la formulación de estrategias orientadas a la reducción y mitigación del riesgo de inundación en los sectores más vulnerables del municipio.

Figura 9
Clasificación de Riesgo de inundación.



Fuente: Autoría propia, aplicativo ArcGIS pro2025.

Las áreas críticas no solo abarcan el núcleo urbano de la ciudad, sino que también se extienden hacia las zonas rurales, donde los daños colaterales pueden ser mucho más severos. Esta revisión permite un análisis detallado del uso del suelo y ayuda a determinar la vulnerabilidad en cada área específica.

Al identificar estas zonas de riesgo, se permite compartir la información recopilada con las entidades encargadas de la gestión de riesgos, convirtiéndola en una herramienta esencial para prevenir posibles desastres catastróficos. Esta colaboración es fundamental para garantizar que se implementen medidas efectivas que protejan tanto a la población como a la infraestructura del municipio.

Distribución de áreas susceptibles a inundaciones

Se presenta la distribución de áreas y porcentajes de acuerdo a las categorías presentes en el análisis de riesgo del municipio.

Tabla 3

Distribución del riesgo de inundación en el municipio de El Copey.

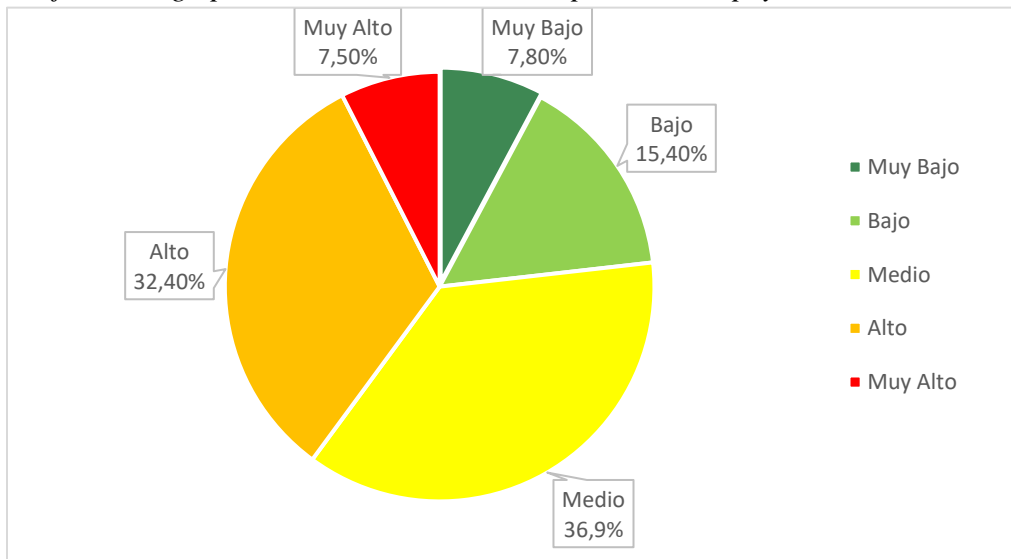
Categoría	Área (Km²)	Porcentaje
Muy Bajo	74,1	7,8
Bajo	146,36	15,4
Medio	350,84	36,9 %
Alto	308,45	32,4 %
Muy alto	71,16	7,5
Total	951.0	100 %

Nota: Autoría, propia.

Los resultados del análisis multicriterio evidencian una distribución heterogénea del riesgo de inundación en el municipio de El Copey (Tabla 3), con una superficie total analizada de 951,0 km². Las categorías de riesgo medio y alto concentran la mayor proporción del territorio, con áreas de 350,84 km² (36,9 %) y 308,45 km² (32,4 %), respectivamente, lo que indica que más del 69 % del municipio presenta condiciones de susceptibilidad significativa frente a eventos de inundación. Esta situación sugiere la influencia combinada de factores como pendientes suaves, proximidad a cuerpos de agua y condiciones hidrológicas que favorecen la acumulación de escorrentía.

Figura 10

Porcentaje de riesgo por inundación en el municipio de El Copey.



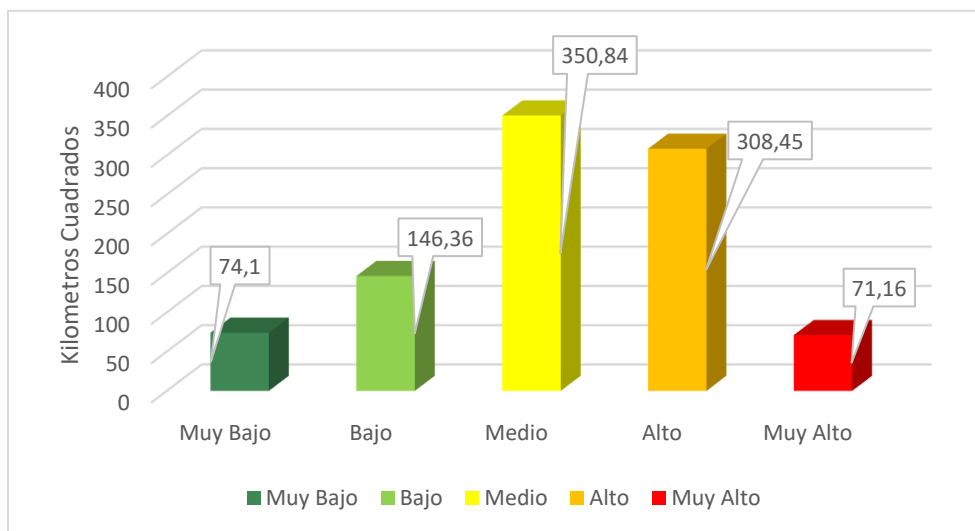
Fuente: Autoría propia

Como se observa (Figura 10), las zonas clasificadas como riesgo bajo abarcan 146,36 km² (15,4%), mientras que las áreas de riesgo muy bajo representan 74,1 km² (7,8 %), localizándose

principalmente en sectores con mayor elevación relativa, mejor drenaje natural o menor intervención antrópica. Por su parte, las áreas con riesgo muy alto, aunque ocupan una proporción menor del territorio (71,16 km²; 7,5 %), revisten especial importancia desde el punto de vista de la gestión del riesgo, debido a su alta probabilidad de afectación y al impacto potencial sobre la población, la infraestructura vial y las actividades productivas.

Figura 11

Distribución del área por categorías de riesgo de inundación



Nota: Autoría, propia.

Tomando como referencia la (Figura 11) se plantea un análisis por categoría de riesgo de inundación

Riesgo Muy Bajo

La clase de riesgo muy bajo, con una extensión aproximada de 74,10 km², se encuentra asociada a unidades del terreno que presentan condiciones morfodinámicas favorables, tales como pendientes relativamente elevadas, adecuada capacidad de infiltración y eficiencia en el drenaje superficial, lo que limita la generación de escorrentía concentrada. La baja conectividad hidrológica con la red de drenaje y la reducida acumulación de flujos contribuyen a una susceptibilidad mínima frente a procesos de inundación.

Riesgo bajo

Con una superficie cercana a 146,36 km², el riesgo bajo corresponde a áreas donde predominan regímenes hidrológicos estables, caracterizados por pendientes moderadas, mayor elevación relativa y menor influencia directa de los cauces naturales. Aunque estas condiciones atenúan la probabilidad de inundación, la respuesta hidrológica del terreno podría verse alterada bajo eventos extremos de precipitación, generando afectaciones localizadas.

Riesgo medio

El riesgo medio, que representa la mayor cobertura territorial con aproximadamente 350,84 km², se configura en sectores donde la interacción entre pendiente, uso del suelo, intensidad pluviométrica y capacidad de drenaje favorece la acumulación temporal de escorrentía. Estas áreas funcionan como zonas de transición hidrológica, en las cuales la ocurrencia de inundaciones depende principalmente de la magnitud y duración de los eventos de lluvia, evidenciando una susceptibilidad moderada a alta.

Riesgo alto

Una extensión aproximada de 308,45 km² corresponde a la categoría de riesgo alto, la cual se localiza en áreas con baja energía del relieve, alta conectividad con la red hidrográfica y significativa concentración de escorrentía superficial. La combinación de estos factores incrementa la frecuencia y severidad de los eventos de inundación, generando condiciones críticas de exposición para la población, la infraestructura y las actividades productivas, lo que justifica la priorización de medidas estructurales y no estructurales de mitigación.

Riesgo muy alto

Finalmente, el riesgo muy alto, con una superficie aproximada de 71,16 km², se concentra en planicies aluviales y zonas adyacentes a cauces principales, donde los procesos de desbordamiento y acumulación de flujo son recurrentes. La dinámica hidrológica dominante en estos sectores, sumada a la escasa capacidad de evacuación del agua, determina una probabilidad extremadamente elevada de inundación, por lo que se consideran áreas de restricción estricta de uso del suelo e intervención inmediata en el marco de la gestión integral del riesgo.

Áreas Afectadas por el Riesgo de Inundación en el Municipio de Copey, Cesar

En el municipio de Copey, varias áreas se encuentran en riesgo significativo de inundación, especialmente durante la temporada de lluvias. Las zonas cercanas a ríos y quebradas son particularmente vulnerables, ya que el desbordamiento de estos cuerpos de agua puede causar graves daños a la infraestructura y a los cultivos. La proximidad a estos cauces incrementa la probabilidad de inundaciones repentinas, lo que afecta tanto a las comunidades urbanas como rurales.

Del mismo modo, boletines recientes de IDEAM han advertido sobre condiciones inestables con probabilidad de lluvias moderadas a fuertes, que pueden favorecer la ocurrencia de tormentas, crecientes súbitas y procesos de saturación del suelo en cuencas hidrográficas relevantes para El Copey, como los afluentes del río Cesar y Ariguaní, destacando la necesidad de especial cuidado en estas zonas durante eventos hidrometeorológicos (IDEAM, agosto, 2025)

El sector urbano de Copey también enfrenta riesgos considerables, con calles y viviendas ubicadas en zonas de baja elevación. Durante eventos de lluvia intensa, estas áreas pueden inundarse rápidamente, lo que genera la evacuación de familias y la pérdida de bienes materiales. Además, la infraestructura pública, como puentes y caminos, puede verse comprometida, dificultando el acceso y la movilidad de los habitantes.

Adicionalmente, comunicados de la Gobernación del Cesar y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) señalan que durante eventos de lluvia persistente existe la probabilidad de crecientes súbitas y daño en infraestructura en municipios incluidos El Copey, lo que ha motivado la difusión de recomendaciones de precaución y preparativos ante posibles escenarios de inundaciones en la región.

En las áreas rurales, los efectos de las inundaciones pueden ser aún más devastadores, ya que los cultivos y las tierras agrícolas son susceptibles a la saturación del suelo. Esto no solo impacta la economía local, sino que también pone en riesgo la seguridad alimentaria de la comunidad. La identificación y monitoreo de estas áreas afectadas son cruciales para implementar estrategias de mitigación y prevención efectivas, asegurando así la protección de la población y sus medios de vida.

Conclusiones

La aplicación del análisis multicriterio mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica permitió evaluar de manera integral el riesgo de inundación en el municipio de El Copey, Cesar, incorporando variables físicas, hidrológicas y climáticas relevantes. Este enfoque facilitó la identificación espacial de zonas con diferentes niveles de susceptibilidad, evidenciando la utilidad de los SIG como instrumentos técnicos para el análisis territorial y la gestión del riesgo.

El análisis multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de El Copey evidencia una susceptibilidad territorial significativa, considerando un área total analizada de aproximadamente 950,91 km². La categoría de riesgo medio constituye la mayor cobertura espacial con 350,84 km² (36,9 %), lo que indica que más de un tercio del territorio funciona como zona de transición hidrológica, donde la ocurrencia de inundaciones depende de la intensidad y duración de los eventos de precipitación.

Las áreas clasificadas como riesgo alto abarcan 308,45 km² (32,4 %), reflejando sectores con alta conectividad hidrológica, baja energía del relieve y significativa concentración de escorrentía superficial, lo que incrementa la frecuencia y severidad de los eventos de inundación. Sumadas a las zonas de riesgo muy alto, que ocupan 71,16 km² (7,5 %), se concluye que el 39,9 % del territorio municipal presenta condiciones críticas, donde la exposición de la población, la infraestructura y las actividades productivas es elevada.

Por su parte, las categorías de riesgo bajo y riesgo muy bajo representan 146,36 km² (15,4 %) y 74,10 km² (7,8 %) respectivamente, acumulando 23,2 % del área municipal. Aunque estas zonas muestran condiciones geomorfológicas e hidrológicas más favorables, no se encuentran exentas de afectaciones ante eventos extremos, especialmente bajo escenarios de lluvias intensas y persistentes.

La distribución espacial del riesgo concuerda con los boletines y alertas emitidos por el IDEAM y los comunicados de la UNGRD, que advierten sobre la probabilidad de crecientes súbitas, saturación del suelo e inundaciones en cuencas asociadas a los ríos Cesar y Ariguaní. Esta situación impacta tanto al sector urbano, donde predominan áreas de baja elevación con drenaje insuficiente, como a las zonas rurales, altamente vulnerables por la afectación directa a los suelos agrícolas y la productividad local.

En conjunto, los resultados confirman que más del 69 % del territorio de El Copey se concentra en categorías de riesgo medio, alto y muy alto, lo que resalta la necesidad de fortalecer la planificación territorial y la gestión integral del riesgo, utilizando herramientas SIG y análisis multicriterio como soporte técnico para la toma de decisiones.

Recomendaciones

Fortalecimiento del ordenamiento territorial:

Se recomienda incorporar el mapa de riesgo de inundación generado mediante análisis multicriterio en los instrumentos de ordenamiento territorial del municipio, especialmente en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), con el fin de regular y restringir el uso del suelo en las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto, priorizando la protección de la población y la infraestructura crítica.

Priorización de áreas críticas:

Las zonas identificadas con riesgo muy alto, aunque representan una menor proporción del territorio, deben ser consideradas como áreas de intervención prioritaria, mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales, tales como obras de drenaje, recuperación de rondas hídricas, relocalización progresiva de asentamientos expuestos y establecimiento de franjas de protección ambiental.

Gestión integral del recurso hídrico:

Es fundamental fortalecer la gestión de los cuerpos de agua y drenajes naturales del municipio, promoviendo la conservación de planicies aluviales, la restauración de ecosistemas ribereños y el control de actividades antrópicas que alteren la dinámica natural del flujo hídrico, reduciendo así la susceptibilidad a inundaciones.

Implementación de medidas preventivas y de adaptación al cambio climático:

Dado que una alta proporción del territorio se encuentra en categorías de riesgo medio y alto, se recomienda diseñar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático, orientadas al manejo adecuado de aguas lluvias, la mejora de sistemas de drenaje urbano y rural, y la promoción de prácticas productivas sostenibles que disminuyan la escorrentía superficial.

Actualización y validación periódica del modelo SIG:

Se sugiere actualizar periódicamente el análisis multicriterio incorporando nuevos datos de precipitación, cambios en la cobertura del suelo y registros históricos de eventos de inundación, así como realizar procesos de validación en campo, con el fin de mejorar la precisión del modelo y garantizar su utilidad como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

Fortalecimiento de la gestión del riesgo y la planificación local:

Los resultados obtenidos deben articularse con los planes de gestión del riesgo de desastres, promoviendo la capacitación de actores locales y autoridades municipales en el uso de herramientas SIG, de manera que el análisis espacial del riesgo se consolide como un insumo técnico permanente para la planificación territorial.

Uso del análisis multicriterio como base para estudios futuros:

Se recomienda que el modelo desarrollado sirva como línea base para investigaciones posteriores, integrando variables socioeconómicas, demográficas e institucionales, lo que permitiría avanzar hacia una evaluación integral del riesgo, combinando amenaza, exposición y vulnerabilidad.

Referencias bibliográficas

Alcaldía Municipal de El Copey, Cesar. (2012). Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres El Copey Cesar 2012: PMGRD El Copey Cesar (Documento oficial). <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/21777>

Aliaga, Gastón. (2006). Juan Peña Llopis. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. *Revista de geografía Norte Grande*, (36), 97-101. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200007>

Álvarez-Carrillo, Faver, Rojas-Molina, Jairo, & Suarez-Salazar, Juan Carlos. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 145-150. Retrieved December 17, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062012000200004&lng=en&tlng=es

Astwood-R, Jorge Anthony, Reyes-D, Mayra Cristina, Rincón-A, Mónica Tatiana, Pachón-G, Jorge, Eslava-M, Pedro Rene, & Parra-S, Carlos Alberto. (2018). Mortalidad de reptiles en carreteras del piedemonte de los llanos orientales colombianos. *Caldasia*, 40(2), 321-334. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.67578>

Aznar unAnálisis en la relación Desarrollo-Riesgo-Desastre, en la zona urbana del municipio de Manizales. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84149>

Cabeza García, Pedro Manuel, Razo Cajas, Edgar Fernando, & Cajas Carrión, Ricardo Fernando. (2022). Caracterización de las PYMES del distrito metropolitano de Quito, mediante el sistema de Georeferenciación ArcGIS pro. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 280-290. Epub 02 de abril de 2022. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000200280&lng=es&tlng=pt.

Camino, Mariana A., Bó, María Juliana, Cionchi, José L., López de Armentia, Adriana, Del Río, Julio L., & De Marco, Silvia G.. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 73-97. Recuperado en 15 de diciembre de 2024, de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005&lng=es&tlng=es

Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 321-339. <https://doi.org/10.1080/02693799108927858>

Colombia Turismo Web. (s.f.). El Copey, Cesar — Extensión total. Recuperado de <https://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/CESAR/MUNICIPIOS/EL%20COPEY/EL%20COPEY.htm>

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). (2016). 3er Censo Nacional Agropecuario. Resultados. Tomo 2. (p. 719). <https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-deresultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2- Resultados.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2019). Censo nacional de población y vivienda 2018. <https://www.dane.gov.co>

Departamento de Gestión Ambiental. (2009). Glosario de términos ambientales. Municipalidad de San José. (p. 7). https://kipdf.com/glosario-de-terminosambientales_5ab6773f1723dd429c75f35b.html

Díaz-Granados Ortiz, Mario A., Navarrete González, Juan D., & Suárez López, Tatiana. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería*, (22), 64-75. Retrieved December 15, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932005000200008&lng=en&tlng=es.

El Copey. (s.f.). Superficie total del municipio. Datos geográficos municipales. Recuperado de https://ninos.kiddle.co/El_Copey

El Pilón. (2025). IDEAM emite alerta especial por lluvias intensas y posibles deslizamientos en Cesar y sur de La Guajira. <https://elpilon.com.co/cesar-y-la-guajira/ideam-emite-alerta-especial-por-lluvias-intensas-y-posibles-deslizamientos-en-cesar-y-sur-de-la-guajira/>

Espinoza-Ramírez, Abraham, Nakano, Mariko, Sánchez-Pérez, Gabriel, & Arista-Jalife, Antonio. (2018). Sistemas de Información Geográfica y su Análisis Aplicado en Zonas de Delincuencia en la Ciudad de México. *Información tecnológica*, 29(5), 235-244. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500235>

Esri. (n.d.). How Weighted Overlay works — ArcGIS Pro documentation. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-weighted-overlay-works.htm>

Esri. (n.d.). Weighted Overlay (Spatial Analyst) — ArcGIS Pro documentation. ArcGIS Pro. Recuperado de <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/weighted-overlay.htm>

Gilio, Brenda L., Franco, Nora V., & Vetrivano, Lucas. (2022). Modelos de movilidad humana en Patagonia centro- meridional a través del análisis de artefactos líticos y sistemas de información geográfica. *Intersecciones en antropología*, 23(2), 277-296. <https://dx.doi.org/https://doi.org/10.37176/iea.23.2.2022.768>

Gobernación del Cesar. (2025). *Relación de áreas y habitantes por municipio* (Tabla de áreas municipales). https://cesar.gov.co/d/filesmain/gesriesgo/edre_cesar.pdf

González Camila, Cabrera Olga L., Munstermann Leonard E., Ferro Cristina. Distribución de los vectores de *Leishmania infantum* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) en Colombia. *Biomédica* [Internet]. 2006 Oct [cited 2024 Dec 17] ; 26(Suppl 1): 64-72. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572006000500009&lng=en

Hernández, J., Gómez, D., & Martínez, P. (2016). Aplicación de sistemas de información geográfica en la evaluación del riesgo por inundaciones. *Revista Colombiana de Geografía*, 25(2), 45–60. <https://doi.org/10.xxxx/rcg.v25n2>

Hernández, R. E., Barrios, H., & Ramírez, A. I. (2016). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 5-25. <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/teu/article/view/1036>
<https://www.iesalc.unesco.org/2020/07/08/indice-ods-2019-para-america-latina-y-elcaribe/#.YOCWzehKiM8>

hydrological planning. South East of Spain as application scenario. *Revista de geografía Norte Grande*, (76), 303-320. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022020000200303>

Ibagué. TEUKEN BIDIKAY. *Revista Latinoamericana De Investigación En IGAC*. (s.f.). INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC. Geoportal. <https://geoportal.igac.gov.co/>

Infante Romero Herbert Augusto, Fernando Ortiz Luis. Ajuste Metodológico Al Índice De Escasez De Agua Propuesto Por El Ideam En El Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Del Río Pamplonita, Norte De Santander, Colombia. *Colomb. for.* [Internet]. 2008 Dec [cited 2024 Dec 17] ; 11(1): 165-173. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392008000100011&lng=en.

ISBN 978-92-1-161582-1. <http://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/3559>

Liria, J. (2008). Sistemas de información geográfica y análisis espaciales: un método combinado para realizar estudios panbiogeográficos. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(1), 281-284. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532008000100024&lng=es&tlng=es.

Maddio, Rafael Adrián, Dufilho, Ana Cecilia, & Gandini, Marcelo Luciano. (2023). Estimación de la recarga potencial de agua subterránea de un acuífero mediante teledetección y sistemas de información geográfica. *Revista de geología aplicada a la ingeniería y al ambiente*, (50), 67-80.

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.

Montoya M. Yimmy, Acosta Yeimi, Zuluaga Elizabet. Evolución De La Calidad Del Agua En El Río Negro Y Sus Principales Tributarios Empleando Como Indicadores Los Índices Ica, El Bmwp/Col Y El Aspt. Caldasia [Internet]. 2011 June [cited 2024 Dec 17] ; 33(1): 193-210. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322011000100012&lng=en.

Organizaciones, Ambiente y Sociedad, 7(8), 59-81.

Ospina Parra, Carlos Eduardo, Martínez Medrano, Juan Carlos, Contreras Valencia, Katia, & Tautiva Merchan, Luz Andrea. (2020). Análisis socioeconómico del cultivo de fríjol en Cundinamarca (Colombia), para la identificación de un Sistema Agroalimentario Localizado (SIAL). *RIVAR (Santiago)*, 7(21), 13-32. <https://dx.doi.org/10.35588/rivar.v7i21.4622>

Pardo, J. (2022). Análisis multicriterio aplicado a la gestión del riesgo de inundaciones mediante SIG. *Revista de Investigación Geográfica*, 14(1), 33–48.

Penny, J., et al. (2023). Using multi-criteria decision analysis in a geographical information system for flood risk assessment: a case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. (ejemplo de aplicación reciente y metodología MCDA–GIS).

Pérez Rodríguez, César Arturo, Palacios García, Yenny Maritza, & Herrera Estrada, Juan Carlos. (2022). A precipitation analysis for predictive rain model in Zipaquirá, Cundinamarca. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 266-272. Epub 02 de abril de 2022. Recuperado en 17 de diciembre de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000200266&lng=es&tlng=en

QGIS. (2024). QGIS. Trabajar con Datos Vectoriales: https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user_manual/working_with_vector/index.html

Rincón, D. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis. *Geosciences*, 8(8), 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>

Santovenia Díaz, J., Tarragó Montalvo, C., & Cañedo Andalia, R. (2009). Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. *ACIMED*, 20(5), 72-75. https://doi.org/http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100007&lng=es&tlng=es

Sun Earth Tools. (2024). Calculadora. <https://www.sunearthtools.com/es/tools/distance.php>

Tofiño Rivera Adriana P, Ortega Cuadros Mailen, Pedraza Claros Bertilda, Perdomo Ayola Sandra C, Moya Romero Diana Carolina. Efectividad de Beauveria bassiana (Baubassil®) sobre la garrapata común del ganado bovino *Rhipicephalus microplus* en el Departamento de la Guajira, Colombia. *Rev. argent. microbiol.* [Internet]. 2018 Dic [citado 2024 Dic 17]; 50(4): 426-430. Disponible en: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412018000400014&lng=es. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.10.005>

UNESCO. (2020). Índice ODS 2019 para América Latina y el Caribe.

United Nations. (2017). Marco para el desarrollo de las estadísticas ambientales (MDEA 2013).

Uribe, M. (2016). La responsabilidad social empresarial en las empresas industriales de

USGS. (2024). U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Zambrano Joya, Diego Alejandro, Rodríguez Salazar, David Leonardo, & Rodríguez Patarroyo, Diego Julián. (2022). Centro Educativo Luis López de Mesa Metodología para el diseño de un sistema de energía híbrido con enfoque didáctico: estudio de caso Centro Educativo Luis López de Mesa. *Ingeniería*, 27(2), e400. Epub August 18, 2022. <https://doi.org/10.14483/23448393.17876>

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/HPrVDBndTv8>