

Aplicabilidad del análisis multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Yumbo, como herramienta para el Ordenamiento Agroambiental del Territorio

Andrei Mauricio Padilla Quiñones (ampadillaq@unadvirtual.edu.co)

Jairo Ernesto Giraldo Zuluaga (jegiraldoz@unadvirtual.edu.co)

Viviana Andrea Morales (vamoralesra@unadvirtual.edu.co)

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

Resumen

Este estudio analiza el riesgo de inundación en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, mediante un enfoque de análisis multicriterio, utilizando la transformación de capas ráster a vectoriales para clasificar las áreas según el nivel de riesgo. Se emplearon criterios como la proximidad a cuerpos de agua, la pendiente del terreno y la precipitación mensual, destacando el mes de mayor precipitación como el periodo crítico para las inundaciones. El análisis de los resultados, realizado a través de la calculadora de geometría en ArcGIS, permitió identificar las áreas con mayor y menor riesgo de inundación, revelando que aproximadamente el 36% del área presenta alto riesgo, mientras que solo el 9,7% muestra un riesgo muy bajo. Con base en estos resultados, se proporcionaron recomendaciones para el ordenamiento agroambiental, destacando la necesidad de una zonificación de uso del suelo, la implementación de infraestructuras de drenaje adecuadas y la conservación de ecosistemas naturales. Este enfoque busca mejorar la resiliencia del territorio y reducir la vulnerabilidad frente a futuros eventos climáticos extremos.

Palabras claves: Análisis geoespacial, ordenamiento agroambiental, inundación, precipitación.

Introducción

La creciente ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, como las inundaciones, ha generado una mayor preocupación por la seguridad y sostenibilidad de los territorios, particularmente en zonas urbanas y rurales vulnerables. En Colombia, las inundaciones son un problema recurrente, afectando tanto a las poblaciones humanas como a los ecosistemas, infraestructuras y sistemas agropecuarios (Sedano et al., 2011). Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, (en adelante IDEAM, 2011), los municipios ubicados en áreas de llanuras y cercanos a cuerpos de agua son especialmente susceptibles a este tipo de desastres. En el caso de Yumbo, Valle del Cauca, las constantes precipitaciones, particularmente en los meses de octubre y noviembre, intensifican los riesgos de inundaciones, lo que pone en riesgo las zonas urbanas y rurales del municipio.

A nivel nacional, se han implementado diversas medidas para mitigar el impacto de las

inundaciones, como la construcción de infraestructuras de drenaje, programas de reforestación en cuencas hidrográficas, y la promoción de prácticas de ordenamiento territorial que buscan disminuir la vulnerabilidad en áreas críticas. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, las inundaciones siguen siendo un desafío considerable, lo que justifica la necesidad de realizar un análisis detallado del riesgo de inundación en el municipio de Yumbo (Aragon y Villota, 2011).

Este estudio emplea una metodología de análisis multicriterio, que incluye variables climáticas, geográficas y socioambientales, para generar una clasificación precisa de las áreas de mayor riesgo, y proponer estrategias de manejo y mitigación eficaces.

Objetivos

General

Aplicar un análisis multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Yumbo como herramienta del ordenamiento agroambiental del territorio.

Específicos

1. Clasificar las capas de datos geoespaciales del análisis multicriterio, categorizando las áreas de riesgo de inundación.
2. Cuantificar las áreas correspondientes a los tipos de riesgo de inundación, con el uso de herramientas de cálculo geométrico.
3. Analizar las áreas identificadas como críticas y de bajo riesgo, evaluando su distribución y los posibles impactos en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas locales.

Identificación del caso de estudio

El presente estudio se centra en el municipio de Yumbo, ubicado en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Este municipio es reconocido por su importancia económica e industrial, pero también enfrenta desafíos significativos relacionados con riesgos naturales, particularmente inundaciones, debido a su ubicación geográfica y sus características climáticas. Su extensión territorial es de aproximadamente 227,8 km², abarcando áreas urbanas, rurales e industriales, lo que lo convierte en un territorio estratégico para el análisis de riesgos (Alcaldía de Yumbo, 2023).

Yumbo cuenta con una red hídrica variada, destacándose el río Cauca, el río Yumbo y diversas quebradas. Estos cuerpos de agua son esenciales para el suministro de recursos y el desarrollo económico del municipio; sin embargo, en temporadas de lluvias intensas, representan un alto riesgo de inundación para la población, la infraestructura y los ecosistemas locales. Además, su topografía es diversa, con áreas planas en el valle del río Cauca y zonas montañosas en la cordillera Occidental, lo que influye directamente en la distribución espacial de los riesgos (Cali cómo vamos, 2023)

El municipio presenta una variabilidad considerable que va desde un clima cálido en las zonas bajas hasta un clima templado en las áreas montañosas. Las temperaturas promedio oscilan entre 22 a 27 °C, y las precipitaciones anuales alcanzan un promedio de 1,200 mm, distribuidas en dos periodos lluviosos principales: marzo a mayo y septiembre a noviembre.

Para este análisis, se consideraron los datos de precipitación del mes de noviembre, uno de los periodos con mayores niveles de lluvia, lo que permitió estudiar escenarios críticos de riesgo de inundación (Alcaldía de Yumbo, 2023).

La elección de Yumbo como caso de estudio responde a su importancia estratégica como núcleo industrial del Valle del Cauca y su alta vulnerabilidad ante eventos de inundación, que impactan tanto a las comunidades como a la infraestructura productiva (Villota, 2019). Este análisis busca identificar áreas críticas de riesgo, que puedan sumar al diseño de estrategias de mitigación y adaptación que reduzcan los impactos potenciales de estos fenómenos, promoviendo así un desarrollo sostenible en el municipio.

Metodología

El presente estudio se desarrolló utilizando el método de análisis multicriterio en un entorno SIG, específicamente con ArcGIS Pro, para identificar y clasificar las áreas de riesgo de inundación en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca. Este método permite integrar múltiples criterios y factores relevantes en el análisis espacial, generando resultados precisos y útiles para la toma de decisiones relacionadas con la gestión del riesgo (Díaz & Zelada, 2024).

1. Recolección y preparación de datos

Se recopilaron datos geospaciales del área de estudio, incluyendo mapas topográficos, hidrológicos y climáticos, con un énfasis en los niveles de precipitación del mes de noviembre. Se procesaron capas ráster relacionadas con factores clave como la pendiente y uso del suelo.

Figura 1. Acumulación de flujo.



Fuente: propia. Fase: 4.

2. Análisis multicriterio y reclasificación de criterios

Se definieron los criterios relevantes para el riesgo de inundación: pendiente (mayor pendiente, menor riesgo), proximidad a cuerpos de agua, y tipo de suelo. Cada criterio fue reclasificado en categorías de riesgo utilizando rangos específicos, generando capas ráster donde cada celda representaba un nivel de riesgo relativo. La reclasificación se basó en valores numéricos asociados a niveles cualitativos de riesgo (1: muy bajo, 5: muy alto), como se observa en la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación cualitativa manejada para el municipio de Yumbo.

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	Verde
Riesgo bajo	2	Verde claro
Riesgo medio	3	Amarillo
Riesgo alto	4	Naranja
Riesgo muy alto	5	Rojo

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación. Fase 6. Evaluación final. UNAD.

Figura 2. Reclasificación DEM Yumbo y pendientes.



Fuente: propia. Fase: 4.

3. Suma ponderada y generación del modelo

Figura 3. Clasificación por suma ponderada (%).



Fuente: propia. Fase: 4.

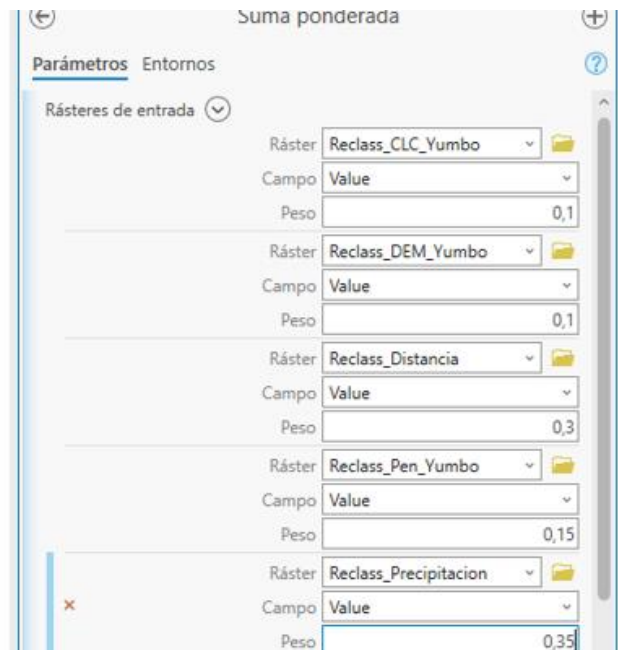
5. Adición de atributos y cálculo de geometría

En la tabla de atributos de la capa vectorial, se añadieron dos columnas:

Se asignaron pesos a cada criterio basado en su influencia relativa en el riesgo de inundación. Estos pesos fueron determinados a partir de literatura previa. Las capas ráster reclasificadas fueron combinadas mediante una suma ponderada, generando un modelo integrado que representó las áreas de riesgo en el municipio.

4. Conversión ráster a vectorial

Utilizando la herramienta De ráster a polígono en ArcGIS Pro, el modelo de riesgo fue transformado en una capa vectorial. Posteriormente, se realizó un geoproceso de disolución para simplificar los datos, consolidando áreas con igual clasificación de riesgo.



Class_riesgo_inundación y área. La primera columna clasificó cualitativamente las áreas en cinco niveles de riesgo según la reclasificación. En la columna área, se calculó la geometría

correspondiente, asegurándose de utilizar unidades de hectáreas.

6. Clasificación y representación cartográfica

Se ajustó la simbología de la capa vectorial para reflejar los niveles de riesgo mediante colores distintivos (tabla 1), facilitando la interpretación visual.

7. Modelo y soporte metodológico

El análisis multicriterio ha demostrado ser una herramienta efectiva en la evaluación del riesgo de inundación, ya que permite integrar datos de múltiples fuentes y generar modelos precisos que reflejan las condiciones locales (Malczewski, 2006). La suma ponderada

En la figura 5 se observa que posteriormente se aplicó un proceso de disolución para agrupar áreas contiguas con el mismo nivel de riesgo, simplificando la capa y reduciendo redundancias, esto resulta ser importante ya que se combinan polígonos adyacentes que comparten un atributo común, en este caso, el nivel de riesgo de inundación.

Este paso es crucial tras la conversión de un ráster a polígono, ya que los datos iniciales suelen contener múltiples polígonos fragmentados, incluso cuando corresponden a una misma categoría. Al aplicar la función de disolución, se reducen significativamente la cantidad de elementos en la capa vectorial, lo que facilita el análisis.

La disolución permitió consolidar áreas con niveles de riesgo homogéneos, generando polígonos más grandes y coherentes que

utilizada es ampliamente aceptada en estudios de gestión del riesgo por su flexibilidad y capacidad para reflejar las prioridades locales.

Resultados y análisis

1. Mapificación del riesgo por inundación

En la figura 4 se puede observar el proceso de ráster a polígono para transformar los resultados del análisis multicriterio en un formato vectorial comprensible y manejable, adecuado para evaluar el riesgo de inundación en Yumbo, Valle del Cauca. Mediante la herramienta de ArcGIS Pro, se generaron polígonos representativos de los niveles de riesgo.

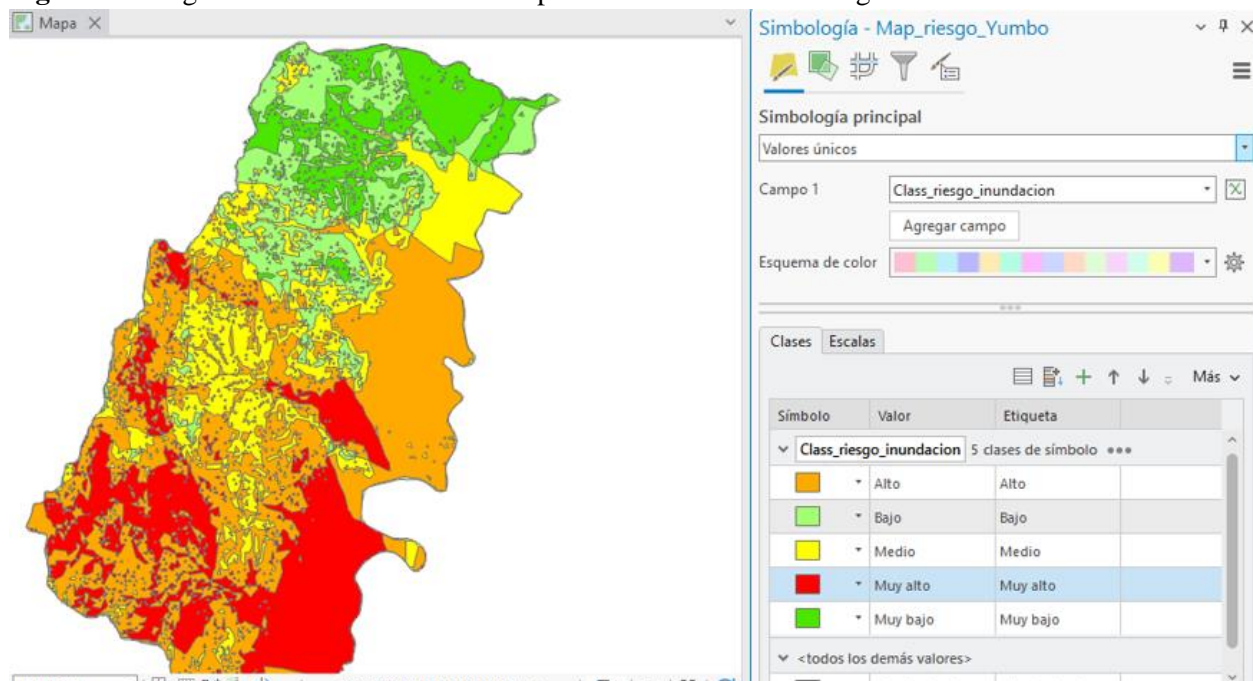
representan zonas claras de riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

La figura 6 que corresponde al municipio de Yumbo, Valle del Cauca, evidencia la representación clasificada del riesgo de inundación mediante una simbología de colores que facilita la interpretación de los datos. El mapa utiliza cinco colores distintos, cada uno correspondiente a una categoría de riesgo, de acuerdo con la tabla de reclasificación establecida (tabla 1).

La distribución espacial de estos niveles de riesgo en el mapa refleja las características geográficas y climáticas del municipio, permitiendo identificar patrones clave, como la concentración de riesgo muy alto en sectores bajos o cerca de cauces fluviales, como zonas rojas correspondientes a cercanía con el Río Yumbo. Además, la simbología facilita la comprensión visual del mapa, promoviendo una rápida identificación de las áreas críticas

para priorizar acciones de mitigación y planificación territorial.

Figura 4. Riesgo de inundación en el municipio de Yumbo con simbología de color.



Fuente: propia.

En la figura 5 se evidencia como los resultados del cálculo de geometría en el estudio de riesgo de inundación para cuantificar el área afectada, priorizar zonas de intervención, optimizar el uso de recursos, y facilitar la comunicación de los resultados.

Figura 5. Cálculo del área.

OBJECTID *	Shape *	gridcode	Class_riesgo_inundaci...	Area_km2
1	Polígono	1	Muy bajo	22,12
2	Polígono	2	Bajo	31,81
3	Polígono	3	Medio	42,55
4	Polígono	4	Alto	82,05
5	Polígono	5	Muy alto	49,67

Fuente: propia.

Es importante mencionar la generación de gráficas para determinar el riesgo de inundación

en el municipio de Yumbo. En la figura 6, se tiene una gráfica circular que representa la distribución del área del municipio de Yumbo, clasificada según los niveles de riesgo de inundación. Los colores en el gráfico indican los diferentes niveles de riesgo, con el siguiente detalle:

- Riesgo alto (amarillo): ocupa el 36 % del área total, lo que indica que una porción significativa del municipio está expuesta a un alto riesgo de inundación.
- Riesgo muy alto (rojo): representa el 21,8 % del área, mostrando que una parte considerable también tiene un riesgo muy alto.
- Riesgo medio (naranja): abarca el 18,6 %, lo que sugiere que un porcentaje intermedio del área está en un riesgo moderado.

- Riesgo bajo (verde claro): corresponde al 13,9 %, indicando que una menor área presenta un bajo riesgo de inundación.
- Riesgo muy bajo (verde oscuro): Solo el 9,7 % del área del municipio se encuentra en esta categoría, lo que

indica que una pequeña proporción tiene un riesgo mínimo de inundación.

Se tiene una alta proporción de áreas en riesgo, especialmente en las categorías alto y muy alto, lo que sugiere que las zonas más críticas requieren intervención urgente para mitigar el impacto de las inundaciones.

Figura 6. Gráfica circular de la suma de área de riesgo de inundación del municipio.



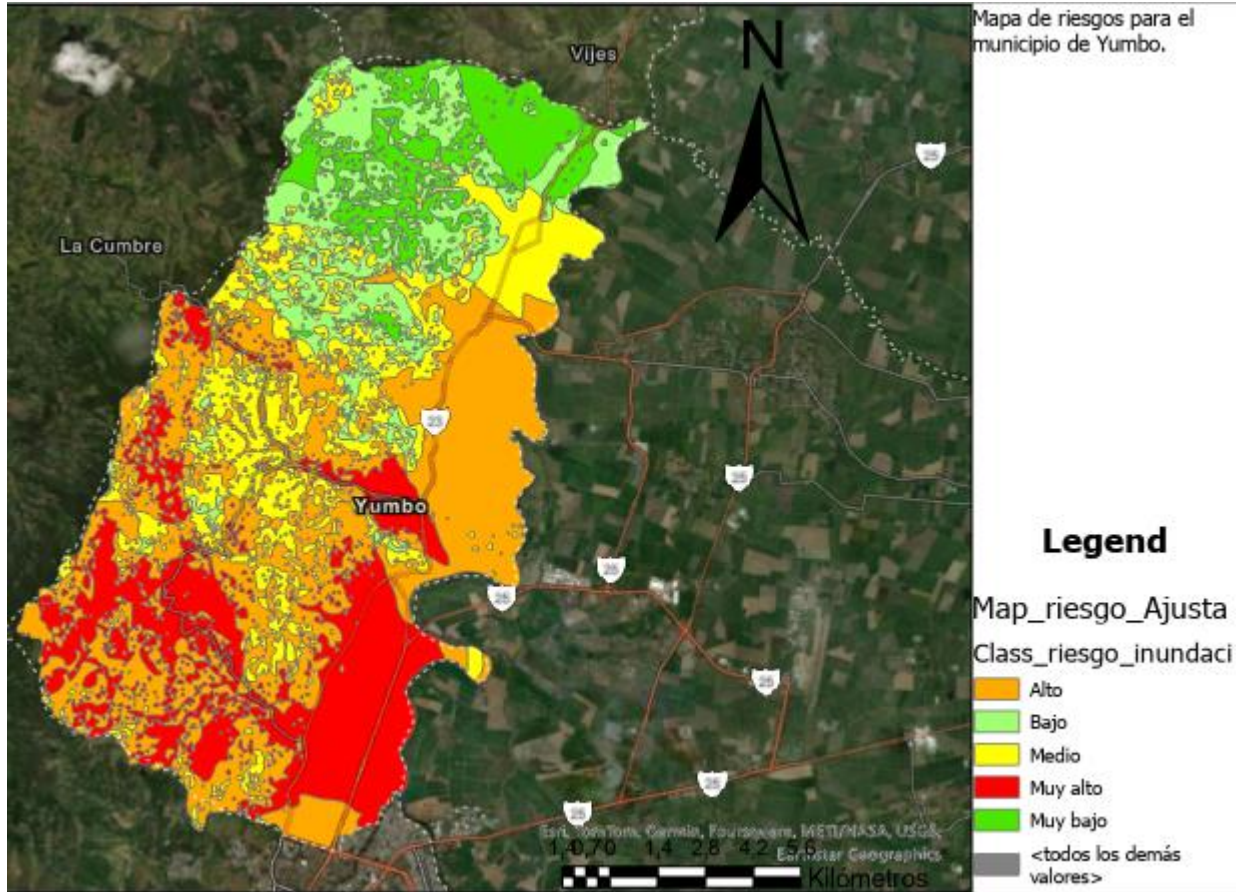
Fuente: propia.

El análisis del mapa de riesgos evidencia que en el municipio se concentra zonas clasificadas de riesgo alto, se detalla así mismo, un barrido de la cabecera municipal, donde se destacan las áreas de alto y muy alto riesgo, las cuales representan un porcentaje significativo del territorio. En la figura 7 y figura 8, se identifican áreas de alto riesgo en la cabecera municipal del municipio de Yumbo, asociadas al paso de cuerpos de agua como quebradas

derivadas del Río Yumbo, entre ellas la quebrada Arroyo Hondo, cuya dinámica hidrológica intensifica el riesgo en estas zonas. Asimismo, en la figura 9 se destacan ciertas zonas industriales ubicadas dentro de la cabecera municipal, consideradas de alto riesgo, debido a la presencia de empresas privadas como Postobón y la planta Bavaria, donde la actividad industrial y su localización

en áreas propensas a desastres incrementan la vulnerabilidad tanto ambiental como social.

Figura 7. Mapa de riesgos para el municipio de Yumbo.



Fuente: propia.

2. Análisis puntual del mapa de riesgo por inundación

Con los resultados obtenidos del cálculo del área y la clasificación de riesgo por inundación, se identificaron áreas críticas dentro del municipio de Yumbo. Según la clasificación cualitativa del riesgo, las zonas con mayor riesgo de inundación corresponden principalmente a las categorías de riesgo alto con un 36 % y riesgo muy alto con un 21,8 % (ver figura 6). Estas áreas son de gran preocupación, ya que tienen una mayor vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, como lluvias intensas, lo que puede generar inundaciones significativas. Por otro lado, las áreas con menor riesgo, que corresponden a las categorías de riesgo bajo con un 13,9 % y riesgo muy bajo con el 9,7%, están menos expuestas a estos eventos y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de sufrir daños por inundación (Sedano et al., 2011).

El análisis de la distribución espacial del riesgo es crucial para comprender cómo se distribuye la vulnerabilidad en el municipio. Las áreas de mayor riesgo suelen estar cerca de cuerpos de agua, como ríos o quebradas, lo que aumenta su susceptibilidad a inundaciones, que en este caso se asocia al Río Yumbo. En términos de impacto potencial, las áreas con alto y muy alto riesgo podrían afectar gravemente a las comunidades, infraestructuras, sistemas agropecuarios y ecosistemas locales. Por ejemplo, las inundaciones en estas áreas pueden destruir viviendas, interrumpir el acceso a servicios básicos y afectar cultivos agrícolas, lo que incrementaría la vulnerabilidad económica y social de la región. Así mismo, se puede identificar las prioridades para la

implementación de medidas de mitigación (figura 9), como la construcción de infraestructuras de drenaje, la reubicación de comunidades en zonas de alto riesgo, y la educación y concientización de la población sobre los riesgos (Olivera et al., 2011).

Conclusiones

El análisis realizado sobre el riesgo de inundación en el municipio de Yumbo ha permitido identificar áreas críticas y categorizarlas de acuerdo con su nivel de riesgo, donde el proceso de conversión de ráster a polígono y el cálculo de geometría han sido herramientas fundamentales para cuantificar y representar de manera precisa las áreas afectadas por diferentes niveles de riesgo. La clasificación y visualización de los datos mediante un sistema de simbología claro ha facilitado la comprensión de la distribución espacial del riesgo y ha resaltado las zonas con mayor vulnerabilidad, particularmente aquellas ubicadas cerca de cuerpos de agua.

El método de análisis multicriterio utilizado ha sido adecuado y pertinente, ya que permitió integrar diversos factores relevantes para la clasificación del riesgo, como la topografía, el uso del suelo y la proximidad a fuentes de agua. Este enfoque permitió obtener resultados verídicos y respaldados por datos geospaciales precisos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones.

Es importante señalar que los resultados de este estudio son específicos para el contexto del municipio de Yumbo, y podrían variar en otros lugares con condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas diferentes. El análisis no

debe considerarse como una generalización global, sino como un aporte valioso para el entendimiento de la vulnerabilidad local frente a las inundaciones. Es así, como términos de la gestión del riesgo, los resultados obtenidos sugieren que se deben priorizar las acciones de prevención y mitigación en las zonas de alto riesgo, como el fortalecimiento de infraestructuras de drenaje, la planificación del uso del suelo y la educación comunitaria sobre medidas de seguridad frente a inundaciones.

Recomendaciones

Realizar una zonificación del uso del suelo basado en el riesgo de inundación, donde las áreas con mayor riesgo, especialmente las de alto y muy alto, sean destinadas a usos no agropecuarios o a actividades agrícolas menos vulnerables. En cambio, las zonas de riesgo medio y bajo pueden permitir actividades agrícolas sostenibles, ajustadas a las condiciones de cada área. Esta zonificación contribuirá a prevenir los impactos negativos que las inundaciones pueden tener en la agricultura y las infraestructuras.

Mejorar los sistemas de drenaje agrícola, como canales y reservorios, y fortalecer las infraestructuras de drenaje urbano permitirá mitigar los efectos de las inundaciones, protegiendo tanto los cultivos como las zonas urbanas. Además, la adopción de prácticas agrícolas adaptadas al cambio climático es esencial. Fomentar el uso de cultivos resistentes a inundaciones, la agroforestería y la restauración de humedales contribuirá a aumentar la capacidad de absorción del agua y reducirá la escorrentía, protegiendo las tierras agrícolas de posibles inundaciones.

Asimismo, se debe priorizar la protección y restauración de ecosistemas naturales, como humedales y zonas ribereñas, que actúan como reguladores del ciclo hidrológico. La conservación de estos ecosistemas no solo ayuda a mitigar las inundaciones, sino que también mejora la calidad del agua y estabiliza el suelo. Es igualmente importante desarrollar programas de educación y sensibilización para los productores agropecuarios. Capacitar a los agricultores sobre técnicas de manejo sostenible del agua y conservación del suelo permitirá reducir la vulnerabilidad de los cultivos y fomentar prácticas resilientes ante el cambio climático. Finalmente, se recomienda que las autoridades locales y los sectores agropecuarios desarrollen políticas públicas orientadas a la gestión del riesgo.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Yumbo. (2023). Ecología. <https://www.yumbo.gov.co/publicaciones/75/ecologia/>

Castro, E; y Carrasco, L. Utilización de modelos matemáticos para la formulación de una propuesta de gestión ambiental en la zona noroccidental del río Cali (Trabajo de grado de especialización – Universidad tecnológica de Pereira) Repositorio UTP, ENLACE <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/78d80771-41d6-4d5f-be84-c000f5cbadb0/content>

Cali cómo vamos. (2023) De Yumbo para el mundo: lecciones para manejo de los riesgos asociados al cambio climático.

<https://www.calicomovamos.org.co/post/de-yumbo-para-el-mundo-lecciones-para-manejo-de-los-riesgos-asociados-al-cambio-climatico>

Díaz, R., y Zelada, P. (2024). Análisis multicriterio con ArcGIS para la ubicación adecuada de un relleno sanitario en la provincia de Ascope 2024. Repositorio Universidad César Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20500.12692/151879>

IDEAM. (2011). Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". [Consultado en línea].

Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, *International Journal of Geographical Information Science*, 20, 7, pp. 703-726. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658810600661508>

Olivera J., Morales, G., García, A. E., Jaimez Salgado, E., López, M. L., Estrada, R., & Miravet, B. L. (2011). El uso de los SIG y la evaluación multicriterio (EMC) para la determinación de escenarios de peligros de inundaciones en cuencas

fluviales. *Caso de estudio: Cuenca Guanabo, Ciudad de La Habana. Proyección*, 10, 143-148.

https://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador_externo/?tpl=plantilla_articulo_cle an.htm&idobjeto=13623

Sedano-Cruz, K., Carvajal-Escobar, Y., & Ávila-Díaz, Á. (2011). Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. *SEMILLAS*, 46, 47, 47-53.

<https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Avila-Diazeclimatico-y-gestion-integrada-del-riesgo-de-inundaciones-en-Colombia.pdf>

Villota, M. (2019). Metodología para el cálculo de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica por medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio–Río Mulaló (Yumbo-Colombia) (Doctoral dissertation). Repositorio Universidad Nacional de Luján.

<https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/red/unlu/755>

Enlace de sustentación:

<https://www.youtube.com/watch?v=geVsjrqiFJ8>