

Análisis del riesgo de inundación empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el municipio de Puerto Libertador, Córdoba

Autores:

Julio Cesar Mercado Teherán - jcmercadot@unadvirtual.edu.co

Katherine Portillo Guzmán - kportilloguz@unadvirtual.edu.co

Neyton Lizandro Vallecilla Yépez - nvallecillay@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

El calentamiento global y la variabilidad climática han incrementado la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente las inundaciones asociadas a lluvias intensas y prolongadas (ACNUR, 2024). En el municipio de Puerto Libertador, Córdoba, estas condiciones han modificado la dinámica hídrica del río San Jorge y sus afluentes, aumentando la probabilidad de desbordamientos en zonas bajas y áreas ribereñas. Reportes del IDEAM y la CVS evidencian incrementos súbitos en los caudales, afectaciones en veredas rurales, pérdidas agrícolas y pecuarias, daños en la infraestructura vial y deterioro de equipamientos básicos, lo que resalta la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo y alerta temprana (IDEAM, 2025; CVS, 2025). El objetivo de este estudio es modelar el riesgo de inundación en el municipio de Puerto Libertador mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología se basa en un análisis multicriterio que integra variables climáticas, topográficas e hidrológicas, a partir de información hidrometeorológica oficial y cartografía temática del municipio. Los resultados permitieron identificar que el 8,4 % del territorio presenta riesgo muy alto, el 27,6 % riesgo alto y el 25,8 % riesgo medio, información clave para apoyar la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Palabras clave: Análisis multicriterio; riesgo de inundación; vulnerabilidad.

Introducción

El territorio nacional ha sido escenario de múltiples eventos de inundaciones lo han generado afectaciones y pérdidas en muchos municipios ubicados en las diferentes regiones del país. Según el IDEAM, (2025) existen altas probabilidades de que se presente el fenómeno de la niña la mayor parte de Colombia, lo que aumenta la frecuencia de fuertes lluvias y los procesos de sedimentación aluvial alterando el comportamiento de las cuencas hidrográficas. El municipio de Puerto Libertador, departamento de Córdoba, no se encuentra excluido de los eventos naturales; durante el mes de abril del año 2024, se presentaron mayormente eventos de fuertes lluvias, las cuales son causantes de impactos notables en la zona urbana, dentro de los barrios afectados por inundaciones encontramos el barrio El Puerto, el cual es afectado por las crecientes del río San Pedro, por otro lado, se encuentra el barrio Nuevo Horizonte el cual es afectado por las crecientes de la quebrada

Luca. Así mismo en los asentamientos rurales dispersos, encontramos la vereda san Juan, la cual es afectada por el río San pedro, la vereda Pica Pica se ve afectada por el río San Jorge, mientras que Puerto López se inunda cada vez que el río San Jorge se crece, tras estos eventos llegan las consecuencias afectando directamente la infraestructura, las actividades productivas y dejando dignificas múltiples familias del sector. Por ello, se han tomado en cuenta los fortalecimientos de estrategias de gestión del riesgo, el reconocimiento del territorio por parte del IGAC para incluir dentro del mapa partes del territorio que aún no cuentan con registros y que por falta de ellos los planes no benefician a la población en su totalidad.

Un factor que determina el riesgo de inundaciones es el cambio climático, ya que incrementa los eventos meteorológicos intensos, como lo son las altas precipitaciones, crecientes súbitos y las anomalías en los patrones de precipitación (IPCC,2022; World Banck,2021). La zona de la cuenca hidrográfica Río San Jorge las variaciones aumentan la saturación del suelo y la inestabilidad de los cuerpos hídricos, incrementando la probabilidad ante desbordamientos, tal como lo señalan los reportes del IDEAM (2023) y la UNGRD (2024). En Puerto Libertador las alteraciones o aumento del cauce afecta directamente la infraestructura vial, educativa, los sistemas productivos agrícolas y pecuarios, estos aspectos se documentan en el OET municipal (Alcaldía de Puerto Libertador, 2021).

En consecuencia, el estudio de las inundaciones se vuelva importante para la planificación de acciones y prevención, promoviendo la reducción de pérdidas y la orientación de la inversión pública. En estos procesos las SIG cumplen un rol importante ya que permite integrar datos espaciales para la realización de un análisis multicriterio que simplifica la evaluación de amenazas y la toma de decisiones territoriales (Longley et al., 2021; ESRI,2022)

Lo anterior, hace de Puerto Libertador un escenario de interés debido al comportamiento del rio San Jorge y sus afluentes, ya que estos atraviesan veredas y sectores donde la topografía baja favorece la expansión del agua durante la presencia de fuertes lluvias, condición que aumenta los niveles de amenazas, justificando la realización del presente análisis multicriterio, con apoyo de los sistemas de información geográfica, empleando la herramienta ArcGIS Pro como herramienta principal, con el objetivo de identificar las áreas de riesgo muy alto por inundación y proponer medidas que logren fortalecer la preparación comunitaria y la capacidad de respuesta frente a posibles emergencias en el municipio.

Este ejercicio se realiza con propósito de aplicar un modelo de análisis multicriterio en SIG para generar el mapa de riesgo de inundación de Puerto Libertador y realizar la interpretación de las zonas más críticas, y aportar insumos prácticos para la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Objetivos

Objetivo general:

Analizar el riesgo de inundación en el municipio de Puerto Libertador, Córdoba, mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) para identificar y categorizar las zonas de riesgo como insumo para la gestión del territorio.

Objetivos específicos

1. Delimitar y cartografiar las áreas potencialmente susceptibles a inundación en la cuenca del río San Jorge y en el municipio de Puerto Libertador, Córdoba, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis espacial de variables condicionantes.
2. Determinar y clasificar los niveles de riesgo de inundación (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) a partir de un análisis multicriterio en entorno SIG, integrando variables de amenaza y exposición.
3. Analizar la distribución espacial del riesgo de inundación en las áreas urbanas y rurales del municipio de Puerto Libertador, Córdoba, dentro de la zona de influencia del río San Jorge.

Identificación del caso de estudio

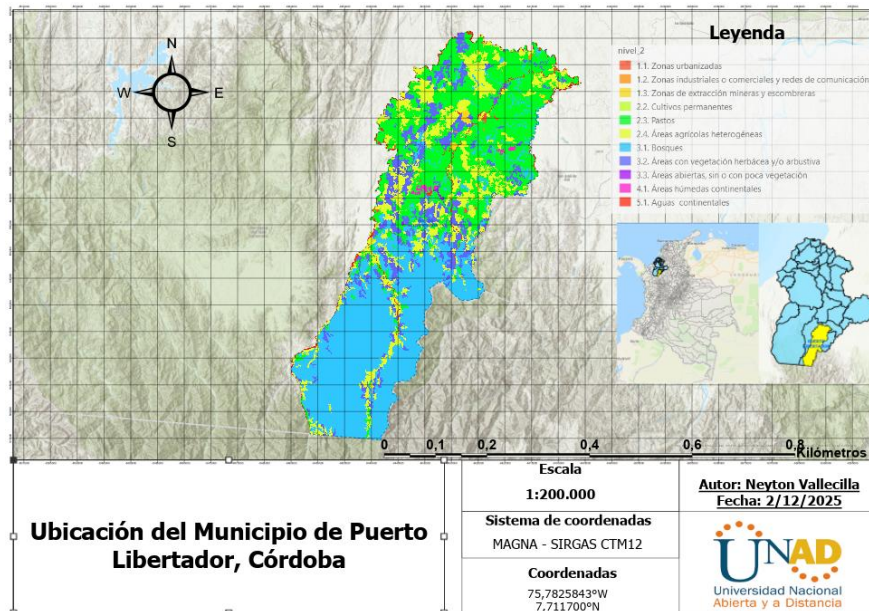
A continuación, se presenta la identificación del área de estudio correspondiente al municipio de Puerto Libertador, Córdoba (Figura 1). Esta sección describe su ubicación geográfica, condiciones climáticas, características hidrológicas y rasgos físicos relevantes que influyen directamente en la ocurrencia de eventos de inundación. Asimismo, se apoya en la cartografía temática elaborada, la cual permite visualizar la localización del municipio dentro del departamento, así como los principales elementos territoriales que serán considerados en el análisis posterior. Esta caracterización constituye la base técnica para la evaluación del riesgo y la interpretación de los resultados obtenidos.

El municipio de Puerto Libertador se ubica al sur del Departamento de Córdoba, perteneciente a la zona caribe colombiana. Está a 90 m.s.n.m y su clima es tropical lluvioso según la clasificación de Köppen, la temperatura anual es de 27°C, este municipio presenta altas precipitaciones durante el mes de abril del año 2024, en promedio de 110 mm, señalando como un periodo de importancia dentro del análisis multicriterio, de esta manera obtener como resultado del análisis de riesgo por inundación en este sector. Cabe resaltar que el municipio de Puerto Libertador hace parte de la subregión del San Jorge lo que la convierte en vulnerable ante eventos fuertes lluvias ya que cuenta se encuentra muy próxima a las zonas de mayor influencia del río San Jorge. Un punto clave en el desarrollo de este análisis es que el municipio se encuentra ubicado dentro de la cuenca alta del río San Jorge y con tres dos microcuencas que afectan de la misma manera la población, estas son: río San Juan, río San Pedro y el río Uré. Presenta una topografía predominantemente plana y

característico de las planicies aluviales del río San Jorge aumentando las posibilidades de inundación

Figura 1.

Mapa de localización Municipio de Puerto Libertado, departamento de Córdoba.



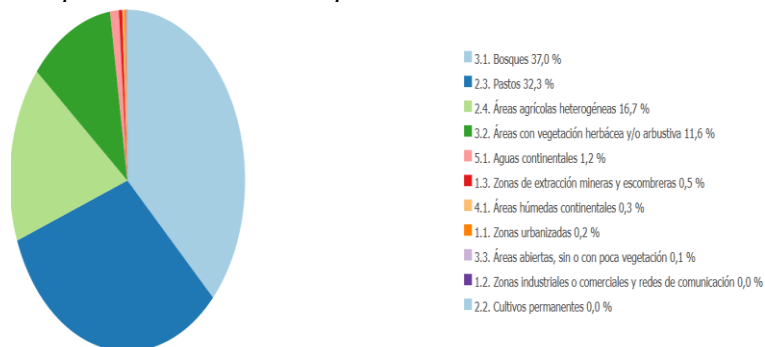
Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

A través de este análisis se busca identificar las áreas y clasificarlas según los niveles de riesgo por inundación a los que se encuentren expuestas y de esta manera evaluar la vulnerabilidad del municipio de Puerto Libertador frente a eventos de desastres naturales.

El área de estudio se encuentra distribuida de la siguiente manera:

Figura 2.

Coberturas y uso del suelo presente en el municipio de Puerto Libertador



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

En la Figura 2 se exponen los resultados de la distribución porcentual de las coberturas y usos del suelo en el municipio de Puerto Libertador, clasificados según el sistema Corine Land Cover nivel

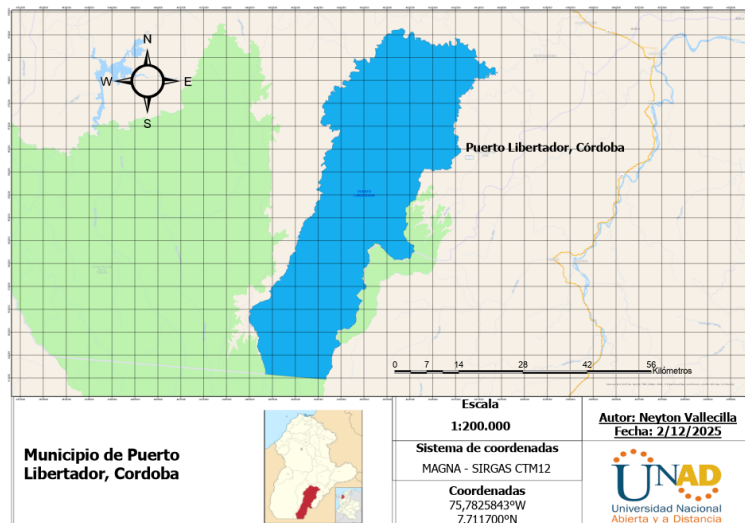
2. Si bien esta información no define de manera directa el nivel de riesgo dentro del análisis multicriterio, constituye un insumo base para comprender la ocupación del territorio, dado que posteriormente estas áreas serán reclasificadas según su susceptibilidad a inundaciones.

De acuerdo con los resultados, la cobertura dominante corresponde a bosques (3.1), los cuales representan el 37,0 % del área total del municipio. Esta cobertura natural cumple un papel importante en la regulación hídrica; sin embargo, durante periodos de alta pluviosidad puede verse afectada la capacidad de retención de agua del suelo. En segundo lugar, se identifican los pastos (2.3) con un 32,3 %, seguidos por las áreas agrícolas heterogéneas (2.4) que ocupan el 16,7 % del territorio, coberturas asociadas a actividades agropecuarias que favorecen la compactación del suelo y disminuyen la infiltración, aumentando la vulnerabilidad frente a inundaciones. Asimismo, las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva (3.2) representan el 11,6 %, y pueden favorecer la acumulación superficial de agua durante eventos de lluvias intensas.

Las coberturas con menor representación corresponden a las aguas continentales (5.1) con un 1,2 %, las zonas urbanizadas (1.1) con un 0,2 %, las zonas de extracción minera y escombreras (1.3) con un 0,5 %, y las áreas húmedas continentales (4.1) con un 0,3 % del área total. Estas coberturas, aunque ocupan proporciones reducidas, adquieren relevancia dentro del análisis multicriterio por su localización estratégica y su relación directa con la dinámica hídrica del río San Jorge.

En conjunto, esta caracterización de coberturas y usos del suelo permite fortalecer la comprensión del territorio y aporta una base técnica sólida para la reclasificación de los factores dentro del análisis multicriterio, contribuyendo a la delimitación de las áreas con mayor riesgo y vulnerabilidad por inundación en el municipio de Puerto Libertador.

Figura 3.
Municipio de Puerto Libertador, Córdoba



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Metodología

Según Kurowska y Kowalczyk, (2022), por medio de los sistemas de información geográfica se pueden construir proyecciones actuales ya que estos permiten prever posibles cambios a futuro en determinados espacios geográficos, lo cual lo señala como elemento base y fundamental que permiten tomar decisiones de acuerdo con la vulnerabilidad urbana y rural ante los fenómenos naturales. Cabe resaltar que esta metodología no responde solo a una necesidad técnica, sino que también a una visión de los espacios rurales y urbanos debe ser modificados de forma racional y equilibrada en proporción a la ecología, economía, social y territorial.

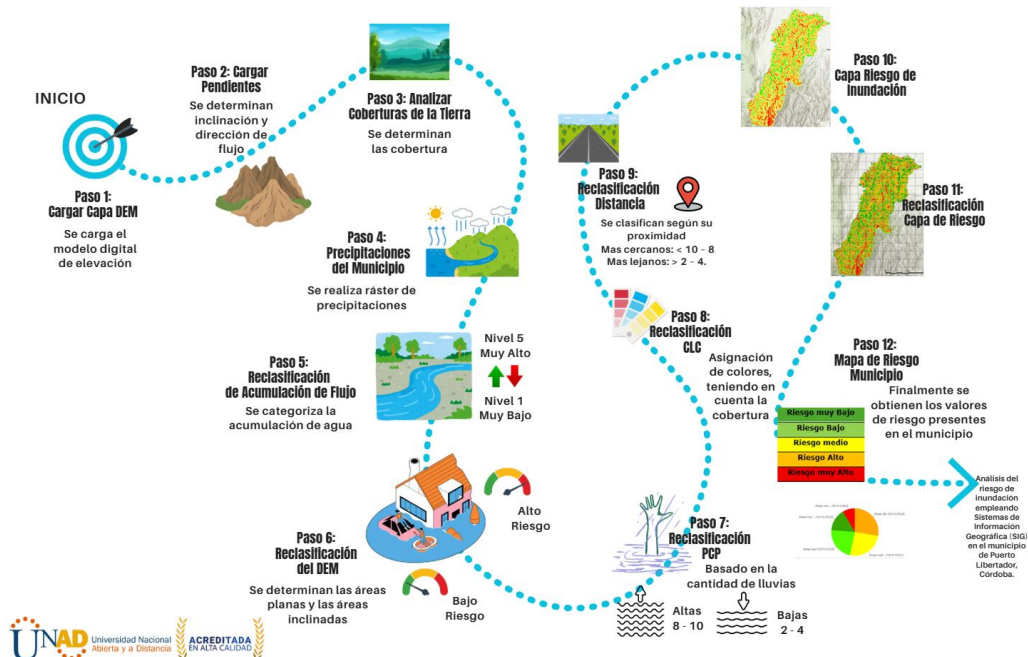
Datos especialmente utilizados

- Modelo de elevación digital - DEM_Puerto Libertador (USGS)
- Pendientes Puerto Libertador (Pendiente derivada del DEM)
- Acumulación de flujo_Puerto Libertador (Derivada del DEM)
- Distancia entre drenajes_Puerto Libertador (Derivada de acumulación de flujo)
- Coberturas de suelo_Puerto Libertador (IGAC)
- Precipitación_Puerto Libertador (Abril del 2024)
- Ponderación_Puerto Libertador (Criterios de análisis para el riesgo de inundación)

Por medio del objeto visual (Figura 4) que se presenta a continuación, se proyecta un sencillo resumen de la metodología aplicada durante el desarrollo de este análisis multicriterio

Figura 4.

Diagrama de flujo metodología



Fuente. Autoría propia, 2025.

Para el desarrollo del análisis multicriterio del riesgo por inundación en el municipio de Puerto Libertador, Córdoba, se emplearon herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), teniendo como plataforma principal el software ArcGIS Pro, el cual permite la gestión, procesamiento y análisis espacial de información georreferenciada con altos niveles de precisión cartográfica. Según Pongo (2024), esta herramienta facilita la integración de datos espaciales y la ejecución de Geoprocesos complejos, convirtiéndose en un componente clave para la modelación de riesgos ambientales.

El análisis se estructuró en varias fases metodológicas. En la fase inicial, se realizó la adquisición, depuración y preparación de los datos espaciales, incluyendo modelos de elevación digital (DEM), precipitaciones correspondientes al mes de abril de 2024, coberturas de suelo, pendientes y distancias a la red de drenaje. Toda la información fue proyectada bajo el sistema de coordenadas MAGNA–SIRGAS, garantizando coherencia espacial entre las capas utilizadas.

Posteriormente, se desarrolló la fase hidrológica, en la cual se ejecutaron Geoprocesos orientados a la delimitación de cuencas y microcuencas hidrográficas que influyen directamente sobre el municipio de Puerto Libertador. En esta etapa se calcularon la dirección de flujo, la acumulación de flujo, el peso de las celdas y la definición de la red hídrica, permitiendo identificar los principales cursos de agua asociados al río San Jorge y sus afluentes.

En una tercera fase, correspondiente al modelo agroambiental del territorio, se procesaron las coberturas de suelo empleando la clasificación Corine Land Cover nivel 2, las cuales fueron previamente disueltas y reclasificadas según su grado de influencia frente al riesgo de inundación. Cada categoría fue valorada de acuerdo con su comportamiento frente a la retención o conducción del agua, tal como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1.
Clasificaciones de Corine Land Cover Nivel 2 (CLC)

<i>Corine Land Cover Nivel 2</i>	<i>Clasificación de valores</i>
<i>1.1. Zonas urbanizadas</i>	6
<i>1.2. Zonas Industriales o comerciales y redes de comunicación</i>	2
<i>1.3. Zonas de extracción mineral y escombreras</i>	4
<i>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</i>	2
<i>2.1. Cultivos transitorios</i>	8
<i>2.2. Cultivos permanentes</i>	8
<i>2.3. Pastos</i>	4
<i>2.4. Áreas agrícolas heterogéneas</i>	8
<i>3.1. Bosques</i>	2
<i>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</i>	4
<i>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</i>	6
<i>4.1. Áreas húmedas continentales</i>	8

<i>Corine Land Cover Nivel 2</i>	<i>Clasificación de valores</i>
<i>4.2. Áreas húmedas costeras</i>	6
<i>5.1. Aguas continentales</i>	10
<i>5.2. Aguas marítimas</i>	6

Nota. En la tabla 1, reposan las clasificaciones de las coberturas del suelo según el sistema corine Land Cover clasificando el nivel 2., asignando valores numéricos a las zonas urbanas, agrícolas, naturales y cuerpos de agua. **Fuente:** Autoría propia, 2025.

Cada una de las capas temáticas utilizadas en el análisis (DEM, precipitación, distancia a drenajes, pendientes y cobertura del suelo) fue posteriormente reclasificada en una escala de 1 a 5, donde 1 representa riesgo mínimo y 5 riesgo máximo, siguiendo la metodología propuesta por Efraimidou y Spiliotis (2024). Esta reclasificación permitió estandarizar las variables para su integración posterior en el modelo multicriterio.

Los criterios de análisis del riesgo de inundación se definieron mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el cual permitió comparar las variables de manera pareada y establecer su importancia relativa dentro del modelo. Este procedimiento se fundamentó en los planteamientos de Efraimidou y Spiliotis (2024), Kourgialas y Karatzas (2011) y Saaty (2008), garantizando coherencia y consistencia en la asignación de pesos.

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los pesos porcentuales asignados a cada factor del análisis.

Tabla 2.

Criterios de análisis para el riesgo de inundación en Puerto Libertador

<i>Factor</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>DEM</i>	10 %
<i>Precipitación</i>	35 %
<i>Distancia a drenajes</i>	30 %
<i>Cobertura del suelo</i>	15 %
<i>Pendientes</i>	15 %
<i>Total</i>	100 %

Nota. La tabla anterior presenta los factores considerados en el análisis de riesgo por inundación y su ponderación relativa obtenida mediante el método AHP. **Fuente:** Autoría propia, 2025.

La integración de los criterios se realizó mediante la herramienta Calculadora Ráster de ArcGIS Pro, lo que permitió obtener un índice sintético de riesgo por inundación a través de una suma ponderada de las capas reclasificadas. El resultado final fue reclasificado en cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, conforme a la escala establecida.

La reclasificación final del riesgo por inundación se presenta en la Tabla 3, donde se relacionan los niveles cualitativos con los valores cuantitativos utilizados en el modelo.

Tabla 3.

Estimación de clasificación cuantitativa del riesgo

Clasificación cuantitativa	Riesgo
<i>Riesgo muy Bajo</i>	1
<i>Riesgo Bajo</i>	2
<i>Riesgo medio</i>	3
<i>Riesgo Alto</i>	4
<i>Riesgo muy Alto</i>	5

Nota. En la tabla 3, especifica la clasificación cuantitativa de los niveles de riesgo por inundación en Puerto Libertador. Para la obtención de resultados se implementaron diferentes Geoprocesos dentro de la herramienta ArcGIS Pro, facilitando el análisis de los comportamientos dentro la zona de estudio tras la presencia de eventos naturales, para este caso en específico inundaciones, de esta manera se podrán identificar las zonas y el índice de riesgo al que se encuentran expuestas. **Fuente:** Autoría propia, 2025.

Resultados

Tras la realización de múltiples Geoprocesos, se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir del análisis espacial desarrollado con los sistemas de información geográfica (SIG). Estos procedimientos incluyeron la edición y preparación de los datos ráster y vectoriales, el procesamiento del modelo de elevación digital (DEM), la delimitación de la red hídrica mediante la aplicación de herramientas como *Fill*, evaluación condicional y acumulación de flujo, así como la extracción por máscara de las precipitaciones correspondientes al mes de abril de 2024. De igual forma, se realizaron procesos de reclasificación del DEM, coberturas de tierra, distancia a drenajes, pendientes y precipitaciones, empleando el método de rupturas naturales de Jenks, lo que permitió estandarizar las variables según su influencia en el riesgo de inundación.

Posteriormente, se aplicó la suma ponderada de las cinco capas reclasificadas (DEM, pendientes, precipitación (04/2024), distancia a drenajes y red hídrica), integrando cada factor según su peso dentro del análisis multicriterio. Este Geoproceso permitió simplificar la identificación de patrones espaciales, zonas de alta vulnerabilidad y áreas con mayor sensibilidad ante posibles eventos de creciente del río San Jorge. Finalmente, el resultado fue reclasificado en cinco niveles de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), facilitando una interpretación clara del comportamiento del territorio frente a las inundaciones y evidenciando la utilidad del análisis multicriterio como

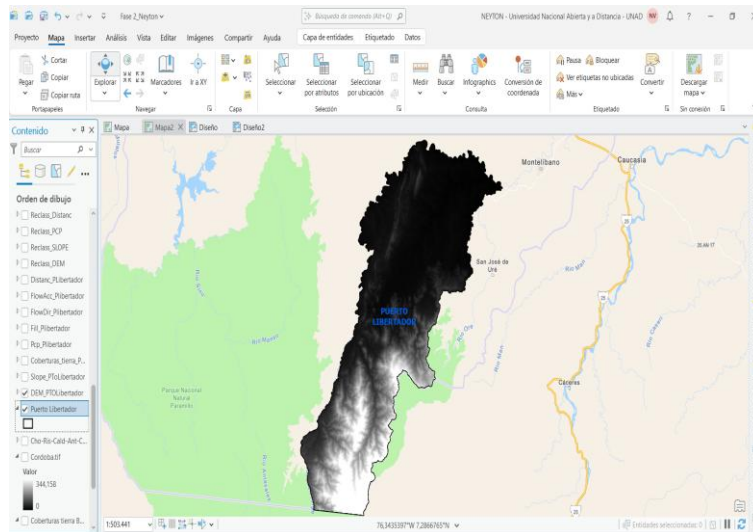
herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del riesgo en el municipio de Puerto Libertador.

Edición del formato ráster

Se compilan y se procesan los datos base, de esta forma se obtienen las capas ráster y vectoriales necesarias. tal como se presentan a continuación:

Figura 5.

DEM Puerto Libertador



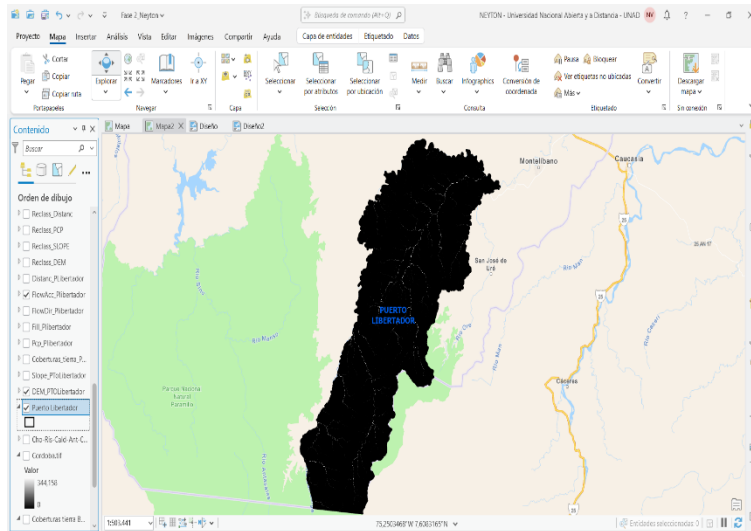
Nota. La imagen anterior muestra exactamente la capa vectorial del municipio de Puerto Libertador y su respectivo modelo de elevación digital (DEM). **Fuente:** Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Delimitación de la red hídrica

Después de haber procesado el DEM, se obtiene la capa Fill(relleno) tal como se muestra a continuación

Figura 6.

Capa fill Red Hídrica

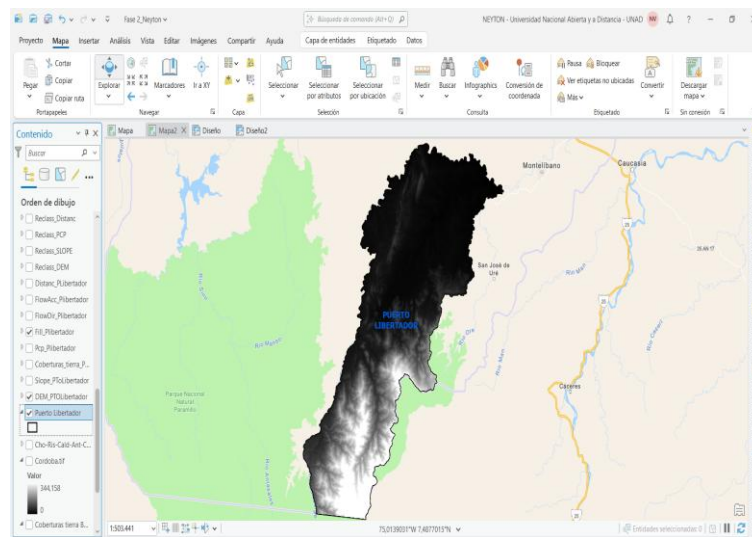


Delimitación de la red hídrica partiendo la evaluación condicional para ajustar las microcuencas

Se realiza el Geoproceso de evaluación condicional y el resultado obtenido se nombra delimitación de red hídrica.

Figura 7.

Delimitación de la red hídrica de Puerto Libertador



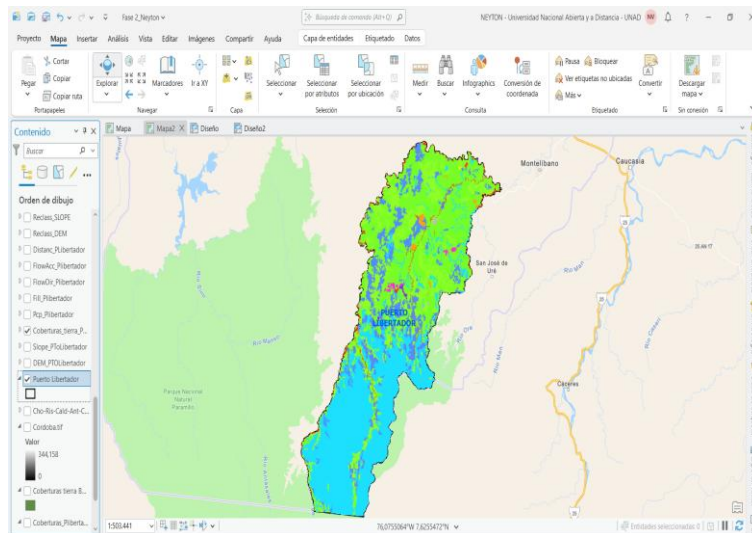
Fuente: Diseño propio de autor, 2025

Modelación agroambiental del territorio

En la modelación se busca obtener las coberturas de tierra en un archivo de tipo polígono, el cual se aplica el Geoproceso de polígono a ráster, obteniendo como resultado la capa de coberturas de tierras, pero esta vez en formato ráster.

Figura 7.

Coberturas De Tierra Puerto Libertador

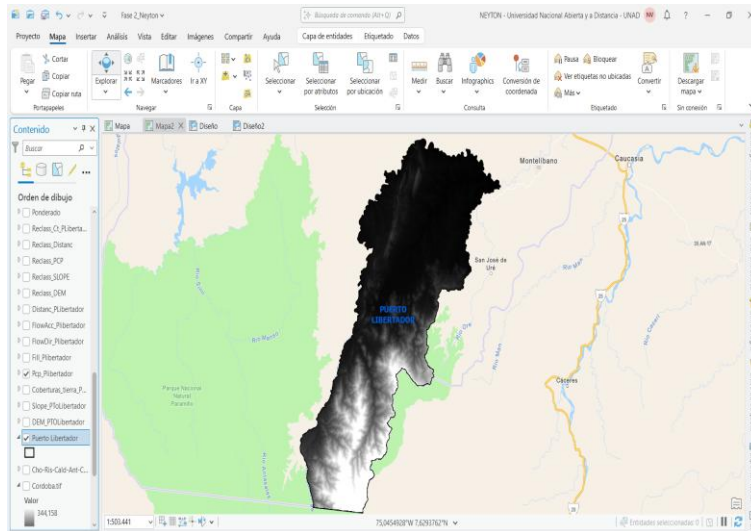


Fuente: *Diseño propio de autor, 2025*

Para obtener las precipitaciones, se realiza una extracción por máscara del archivo de precipitaciones suministradas, las cuales corresponden al mes de abril del año 2024, Después de aplicar el Geoproceso antes mencionado se obtiene exclusivamente el molde de Puerto Libertador con sus respectivas precipitaciones. Ver figura 8.

Figura 8.

Precipitaciones mes de abril del año 2024



Fuente: Diseño propio de autor, 2025

Luego se realizan las operaciones teniendo en cuenta la acumulación de flujo, tal como se obtuvo el resultado que se proyecta en la Figura 5, se activa la desviación típica se obtiene los valores de acumulación de flujo máxima, a la que se le aplica la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Valor máximo de acumulación}}{100}$$

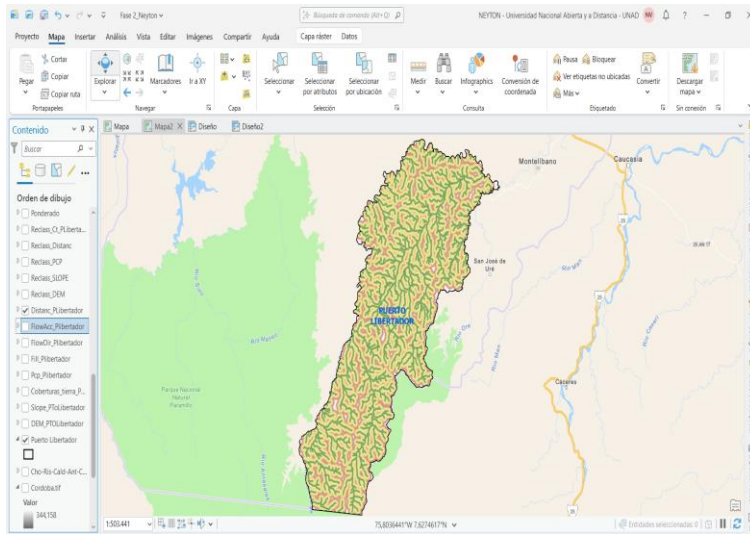
Lo que permite determinar el 1%.

Entonces:

$$\frac{748607}{100} = 749$$

Teniendo el resultado se aplica la reclasificación, se selecciona el método de rupturas naturales de Jenks y en la que se clasifican a dos clases, reemplazando el valor de 2 a 1 obteniendo el resultado Red hídrica, asimismo se realizan el cálculo de los drenajes para identificar los drenajes como mayor proximidad y obtenemos el resultado proyectado en la Figura 9.

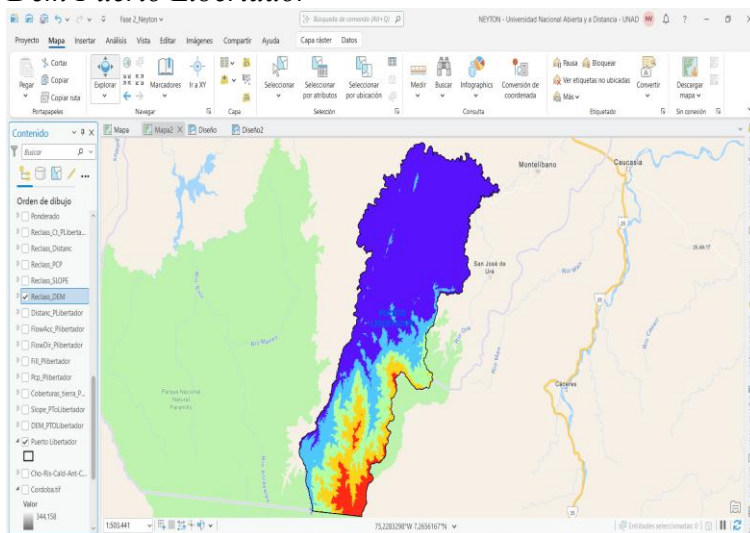
Figura 9.
Acumulación De Distancia



Fuente: Diseño propio de autor, 2025

El siguiente paso es clasificar la capa DEM de Puerto Libertador, se verifican las rupturas de Jenks y se clasifican a cinco clases, en la que se modifica el orden de las altitudes y en orden ascendente 10 - 2, este último representa las zonas más altas del territorio, estas zonas son las menos expuestas a riesgos por inundaciones.

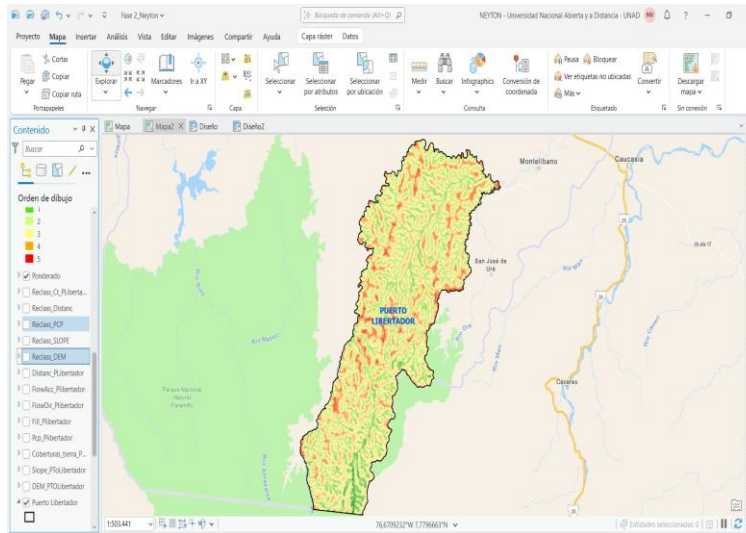
Figura 10.
Reclasificación del Dem Puerto Libertador



Fuente: Diseño propio de autor, 2025

Después de haber aplicado los Geoprocesos de reclasificación se procede a la suma ponderada, esta permite que se combinen los datos de todas las reclasificaciones realizadas, teniendo en cuenta que cada factor tiene un peso específico dentro de la modelación del riesgo por inundaciones. Para ejecutar la suma ponderada se tiene en cuenta estas 5 reclasificaciones (*DEM, Pendientes, Precipitación, Distancia, Drenajes*). Ver resultado en la Figura 11.

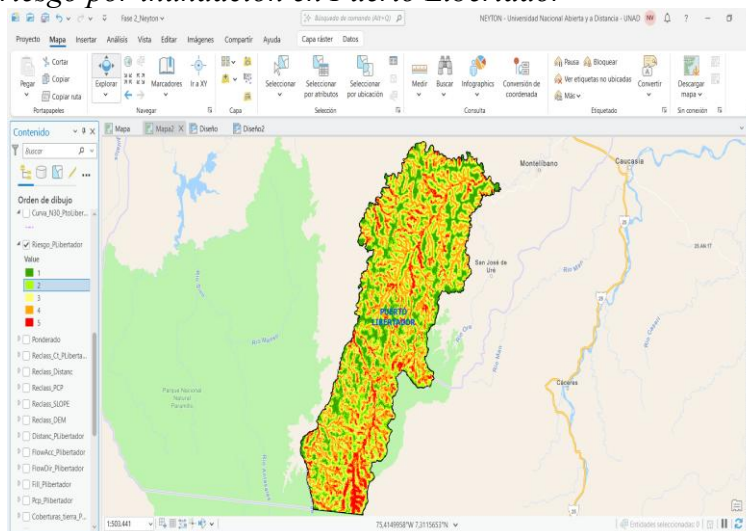
Figura 11.
Suma Ponderada Puerto Libertador



Fuente: Diseño propio de autor, 2025

Una vez Obtenido el resultado anterior, se procede a reclasifica el modelo ya que permite la organización de los valores obtenidos en intervalos que representan con mayor claridad los niveles de riesgo de la zona de estudio, al aplicar el método ruptura de Jenks, se agrupan los datos más representativos simplificando la interpretación de patrones espaciales que se asocian al riesgo, la clasificación en 5 clases permite una mejor lectura cartográfica y la comparación de forma precisa de las zonas con menores y mayores valores, lo que fortalece la consistencia visual y analítica del análisis multicriterio.

Figura 12.
Reclasificación de riesgo por inundación en Puerto Libertador








Fuente: Diseño propio de autor, 2025

A continuación, se presentan los valores de la reclasificación de riesgo por inundación, la cual facilitará la identificación de las zonas vulnerables y las zonas con poca o nula vulnerabilidad ante un evento natural.

Tabla 2.

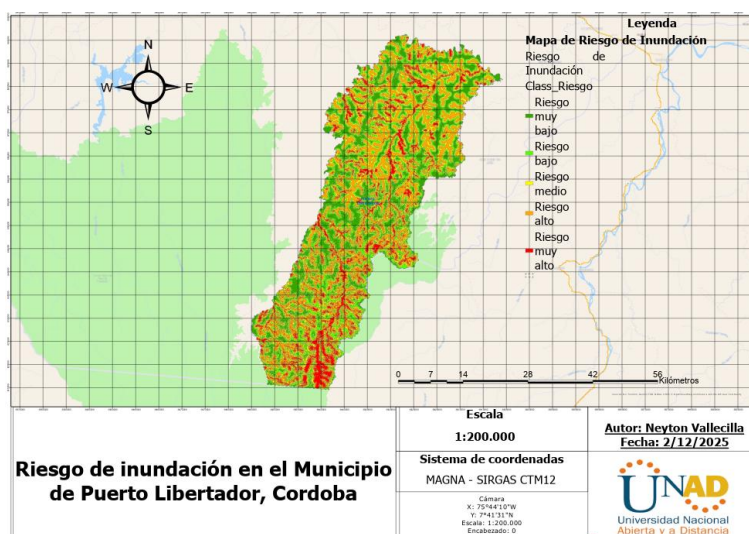
Clasificación de riesgos por inundación.

<i>Clasificación cualitativa</i>	<i>Riesgo</i>	<i>Simbología</i>
Riesgo muy Bajo	1	
Riesgo Bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo Alto	4	
Riesgo muy Alto	5	

Nota. En la tabla 1, especifica la clasificación cualitativa de los niveles de riesgo por inundación en Puerto Libertador. Para la obtención de resultados se implementaron diferentes Geoprocesos dentro de la herramienta ArcGIS Pro, facilitando el análisis de los comportamientos dentro la zona de estudio tras la presencia de eventos naturales, para este caso en específico inundaciones, de esta manera se podrán identificar las zonas y el índice de riesgo al que se encuentran expuestas. **Fuente:** Autoría propia, 2025.

Figura 13.

Mapa de zonas de riesgo por inundación



Fuente: Diseño propio de autor, 2025

El análisis multicriterio permitió identificar y clasificar el riesgo al que se encuentra expuesto el municipio Puerto Libertador, ante posibles eventos catastróficos en el caso de las inundaciones, por medio de este conjunto de Geoprocesos se logró obtener los mapas agroespaciales, complementando el desarrollo de ubicación en tiempo y espacio, ya que se identifican claramente las zonas de alto riesgo amenazadas por la cuenca Hidrográfica río San Jorge, en el mapa de riesgo se observa que en este drenaje atraviesa el municipio de Puerto Libertador descargando en las microcuencas la fuerza de su caudal ampliando las zonas de riesgo.

Esta base sólida permite orientar la toma de decisiones en torno al ordenamiento agroambiental y a la gestión del riesgo, priorizando, brindándoles seguridad a las comunidades locales y la sostenibilidad del territorio según la clasifican de riesgo en la que se ubican durante las fuertes precipitaciones del mes de abril, categorías que se organizaron de la siguiente manera riesgo muy bajo, riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto.

A continuación, encontramos las estadísticas organizadas según la clasificación de riesgos en las diferentes áreas de Puerto Libertador;

la figura que se proyecta a continuación detalla la distribución porcentual de los niveles de riesgo en el caso de estudio, demostrando un dominio del riesgo alto el cual ocupa el 27.6% lo que equivale a (452 ha) del área total, reflejando que estas zonas son propensas a las afecciones ante posibles eventos por inundaciones. El riesgo medio representa el 25.8% en total (423.2 ha), lo que indica que esta zona se encuentra expuesta a los daños potenciales pero el impacto será moderado. El riesgo muy bajo representa el 15.4% equivalente a (252 ha), comprendiendo las áreas más favorables ante una amenaza y esto se debe a su ubicación y caracteres físicos. Por último, encontramos el riesgo muy alto este cubre el 8.4% del área ocupando (138.5 ha), convirtiéndose en la categoría más crítica donde la vulnerabilidad y exposición son extremas, ya que son las zonas donde mayor es la influencia del drenaje su proximidad la hace un objetivo sensible ante daños potenciales la cual requiere de medidas de protección, prioridad y de la intervención de los entes gubernamentales.

Estos resultados permiten identificar claramente las zonas que requieren de monitoreo cuando se presentan las temporadas de fuertes lluvias como en el caso del mes de abril del año 2024, en Puerto libertador.

Figura 14.

Resultados estadísticos basados en la suma de las áreas en las diferentes clases de riesgo en Puerto Libertador

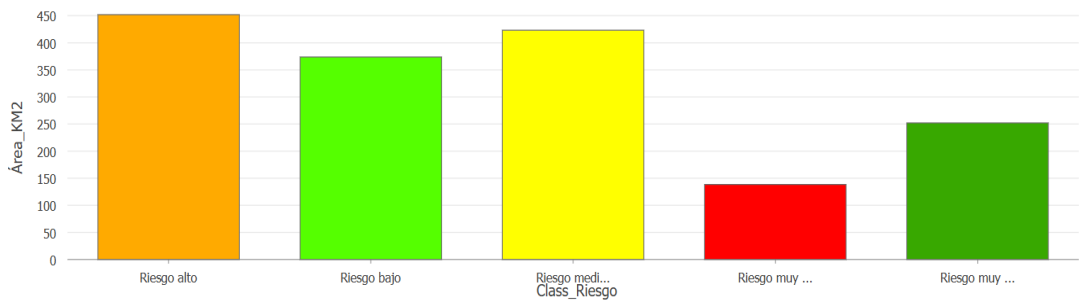


Fuente: Diseño propio de autor, 2025

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se presenta a continuación un gráfico que muestra la distribución del área del municipio de Puerto Libertador según las categorías de riesgo por inundación. Esta representación permite visualizar de manera comparativa la extensión territorial asociada a cada nivel de riesgo, aportando un insumo claro para el análisis del grado de vulnerabilidad del municipio frente a posibles eventos de creciente del río San Jorge.

Figura 15.

Distribución del área (km²) por categoría de riesgo de inundación en el municipio de Puerto Libertador, Córdoba.



La metodología utilizada se basa en la utilización de los sistemas de información geográfica, para el desarrollo de este análisis multicriterio, permitiendo identificar las zonas que se encuentran mayormente expuestas a inundaciones, y así de esta manera poder brindar atención prioritaria, insumos requeridos ante la toma de decisiones que tengan como objetivo disminuir los riesgos y generar bases sólidas ante la planificación territorial.

Estos valores se pueden contrastar con los estudios realizados por (Sedano et al, 2013), este señala que las inundaciones en Colombia son producto de una mezcla de factores, en el que se tiene en cuenta la variación del clima a causa del cambio climático, el mal manejo del suelo y el recurso hídrico, afirmando que al transcurrir los años la estructura se va deteriorando, terminando en inundaciones de gran magnitud en gran parte del territorio nacional.

En el caso de Puerto Libertador, estos factores juegan en su contra la topografía plana y las fuertes precipitaciones que se presentan durante el mes de abril, adicional a ellos los tipos de coberturas vegetales que influyen de forma directa en la acumulación de escorrentía y el mal manejo del suelo que promueve la saturación del suelo, acondicionan previamente el terreno para recibir posibles inundaciones.

Teniendo en cuenta que (Sevillano,2020) indica que otro factor importante dentro de la concepción de amenazas es la zonificación donde se ubican, ya que esta se emplea altamente en el

ordenamiento territorial y se rige por la normativa vigente de cada país, cuando el propósito es guiar u orientar los procesos de desarrollo y planificación (IDEAM,2017).

Por otro lado, se encontró que la cartografía de riesgos se ha convertido en un requisito obligatorio legal con el manejo de conceptos, los métodos y las herramientas que brindan aportes a los procesos de planificación territorial e instrumentos entre ellos los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Gestión de Riesgo de Desastres (Olcina,2017). Por ende, el uso de los Sistemas de Información Geográfica es un apoyo para los análisis de distribución espacial frente amenazas de riesgo y vulnerabilidad con admisión de datos.

El desarrollo de esta actividad con el recurso SIG, demuestra la eficacia en los procesos de delimitación de las zonas consideradas de alto riesgo. Esta herramienta permite combinar las variables de distancias entre drenajes, coberturas y usos de suelo, pendientes entre otros datos esta última parte se encuentra respaldada por (González, 2006) quien confirma que los modelos de análisis multicriterio son propicios para representar espacialmente los riesgos de amenaza y vulnerabilidad territorial en diferentes escalas.

Para terminar, se concluye que el municipio de puerto libertador, debe ser considerado como una zona de importancia y prioridad dentro de los planes territoriales, tanto como municipales como departamental de la gestión del riesgo, incluyendo información dentro de los planes de ordenamiento territorial (POT) y en las estrategias de adaptación ante los cambios climáticos, de esta manera se logra la implementación de estrategias que pueden disminuir y mitigar las amenazas producidas por inundaciones.

También es importante, generar documentos sobre estas áreas de alto riesgo ya que es muy deficiente la información, que se encuentra publicada específicamente de Puerto Libertador y la ola de inundaciones en su casco urbano y afectaciones en las zonas rurales.

Recientemente, Puerto Libertador ha sufrido inundaciones de consideración, en el 2021 el desbordamiento del rio San Jorge y la microcuenca rio San Pedro dejaron más de 600 familias damnificadas en el casco urbano y zona rural del municipio (Defensa Civil, 2021). En el casco urbano los barrios afectados durante este evento fueron, Ramon Rubio, 7 de Septiembre, Éxodo, La Granja, Aguas Vivas, La Unión y Miraflores. Mientras que en la zona rural se vieron afectadas las veredas y corregimientos como Nueva Ucrania, Paya Rica, Pica Pica y Puerto López.

Conclusiones

El análisis multicriterio realizado en Puerto Libertador, Córdoba se enfocó en la identificación y clasificación de las zonas que mayormente se encuentran expuestas a inundaciones, simplificando el diseño e implementación de tácticas y planes que permitan disminuir los riesgos por inundación a causa de su proximidad con los drenajes presentes en el municipio.

Entonces se concluye, que al terminar este análisis multicriterio se realiza una cartografía en la que reposan los diferentes niveles de riesgos vinculados a los diferentes drenajes que bañan al municipio de puerto libertador, resaltando que la cuenca hidrográfica San Jorge es la que más daños causa dentro del municipio, seguida de la microcuenca San Pedro, por medio de los Geoprocesos aplicados se pudo delimitar, identificar y clasificar las zonas según el nivel de riesgo al que se

encuentran expuestas, estas zonas quedaron clasificadas de la siguiente forma, el 8.4% representa el riesgo muy alto dentro del territorio, esta zona aunque ocupa un porcentaje muy bajo, no se debe subestimar debido a que por su proximidad con los drenajes se encuentra altamente expuesta a eventos de desastres naturales, inundaciones, crecientes súbitas.

Entonces, los resultados del análisis multicriterio permitieron cuantificar con precisión la proporción del territorio expuesto a diferentes niveles de riesgo, fortaleciendo la interpretación espacial del área de estudio., el porcentaje mayor corresponde al riesgo alto, el cual abarca el 27,6% del área municipal (452 ha), seguido del riesgo medio con el 25,8% (423 ha), las categorías antes mencionadas concentran más de la mitad del territorio haciéndola vulnerable ante impactos severos o moderados. En pequeñas proporciones encontramos los niveles bajo 22,8(373 ha) y muy bajo 15,4% (252 ha), estas áreas son aquellas que se encuentran distanciadas de los drenajes y sus condiciones del relieve son altas lo que reduce la probabilidad de afectaciones, por último encontramos el nivel del riesgo muy alto, este aunque cubre el 8,4% del municipio (138 ha), esta parte constituye el centro crítico del territorio, debido a que se encuentran muy próximos a los drenajes principales aumentando altamente la posibilidad de inundaciones, crecientes súbitas y eventos de pérdidas rápidas de coberturas, este nivel de riesgo deja en evidencia la gran amenaza y proporciona un sustento técnico claro para dar prioridades ante intervenciones en gestión del riesgo.

Para finalizar, la realización de este ejercicio corrobora la importancia de la gestión integral del riesgo, en la que combinen la educación ambiental, las tecnologías, la planificación territorial y así mismo fortalecer los sistemas de alerta temprana, lo que permitirá reducir la vulnerabilidad en el municipio de Puerto Libertador guiándolo hacia un desarrollo territorial sostenible, resiliente y seguro.

Recomendaciones

A partir de los niveles de riesgo que se identificaron en el municipio de Puerto Libertador durante el desarrollo del análisis multicriterio, es importante que prioricen las acciones integrales orientadas a la reducción de la exposición y vulnerabilidad del municipio frente a los posibles eventos de inundaciones. Primero se recomienda implementar y fortalecer los sistemas de alerta temprana, tomando como apoyo las estaciones hidrometeorológicas que permitan anticiparse ante las fuertes crecientes en los periodos de altas precipitaciones como en el mes de abril. Necesariamente estas estaciones deben contar con transmisión en tiempo real, con sensores de caudal, pluviómetros automáticos y protocolos de activación comunitaria, esto permitirá generar umbrales de alertas basados en datos históricos y predicciones climáticas. Es fundamental mantener buenos canales de drenajes tanto naturales como artificiales es importante tenerlos limpios porque ayudan a la rápida evacuación de aguas estancadas. Esto implica la implementación de cronogramas trimestrales de mantenimientos, delimitando las zonas de servidumbre hídrica y realizar monitoreos preventivos en los puntos críticos donde constantemente se producen taponamientos. Además, el municipio debe asegurarse de la incorporación de los mapas de riesgo generados en los instrumentos de planificación territorial, como lo es el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), y los planes de Gestión del Riesgo. Así se orientan a la hora de tomar decisiones sobre el uso del suelo, expansión urbana y priorización de obras de mitigación. Para ello se

recomienda adoptar la zonificación por niveles de amenaza como criterio obligatorio para la aprobación de licencias urbanísticas, también ubicar los equipamientos esenciales fuera de las zonas de riesgo alto y dar prioridad obras de jarillones, así mismo la reconfiguración de taludes y la protección de márgenes en los sectores donde el caudal del río San Jorge presenta alta presión lateral.

Adicionalmente, en el municipio de Puerto Libertador se deben establecer programas comunitarios donde se capacite a la comunidad con respecto a la gestión del riesgo y cómo actuar frente a posibles eventos de inundaciones, para que puedan identificar las señales tempranas de inundación, rutas de evacuación, y las medidas de protección. Estos programas deben incluir actividades de simulacros periódicos, formar brigadas comunitarias, establecer y señalar puntos de encuentro y utilizar las herramientas digitales como las aplicaciones o grupos oficiales de alerta total.

Por último, promover prácticas agropecuarias sostenibles, como motivando a la comunidad a la conservación de suelos, implementando la siembra de cercas vivas, y el proteger las zonas ribereñas, esto se plantea con el fin de mitigar los procesos de erosión, escorrentía y sedimentos que empeoran las inundaciones. Además, se recomienda la implementación de sistemas silvopastoriles con coberturas permanentes con cultivos de protección, así mismo la rotación de potreros y barreras vivas en curvas de nivel, esto ayuda a reducir la compactación del suelo y promueve la capacidad de infiltración, reduciendo significativamente el volumen de la escorrentía que llega a los drenajes principales.

Referencias bibliográficas

ACNUR. (2024). Impactos de los fenómenos hidrometeorológicos en comunidades vulnerables. Agencia de la ONU para los Refugiados.

Affairs, U. O. F. T. C. O. H. (2025). Colombia: Restricciones de acceso a la educación en Puerto Libertador (Córdoba) Flash Update No. 1, 28/05/2014. In *ReliefWeb*. <https://reliefweb.int/report/colombia/colombia-restricciones-de-acceso-la-educaci-n-en-puerto-libertador-c-rdoba-flash>

Alcaldía de Puerto Libertador. (2021). *Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT de Puerto Libertador*. Alcaldía Municipal de Puerto Libertador.

Banco Mundial. (2021). *Climate Risk Profile: Colombia*. World Bank Group. <https://documents.worldbank.org>

Caracol Radio. (2025). Fuertes lluvias generan emergencias en el sur de Córdoba. Caracol Radio.

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS. (2025). Informe hidrológico y alertas por incremento de caudales en la cuenca del río San Jorge.

- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS. (2020). Plan de Acción Institucional 2020–2023. https://cvs.gov.co/web/wp-content/docs/PLAN_ACCION_2020-2023_APROBADO_CONSEJO_DIRECTIVO.pdf
- Defensa Civil Colombiana. (2021). *Reporte de afectaciones por temporada de lluvias en el municipio de Puerto Libertador*. Defensa Civil Colombiana – Seccional Córdoba.
- ESRI. (2022). *GIS for Climate Change: Modeling Flood Risk with Spatial Analysis*. Environmental Systems Research Institute.
- FAO. (2021). *Evaluación de recursos de suelos y aguas para la agricultura sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org>
- Fenómeno de La Niña: Impacto y predicciones para Colombia | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 2024. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/noticia/fenomeno-de-la-nina-impacto-y-predicciones-para-colombia>
- González, M. (2006). *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del riesgo*. Universidad Nacional de Colombia.
- Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de inundación | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. 2017. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/publicacion-vie-23082024-1200>
- IDEAM. (2023). *Informe de variabilidad climática y comportamiento de las lluvias en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2024). *Boletín climatológico mensual y análisis de variabilidad climática en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co>
- IDEAM. (2025). *Boletín meteorológico e hidrológico: alertas por lluvias intensas en Córdoba*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Más de 200 familias afectadas por desbordamiento del río San Pedro en Puerto Libertador – LARAZÓN.CO. (n.d.). <https://larazon.co/desbordamiento-del-rio-san-pedro-dejo-a-mas-de-200-familias-damnificadas-en-puerto-libertador/>
- IGAC. (2023). *Caracterización fisiográfica y edáfica del departamento de Córdoba*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://www.igac.gov.co>
- IPCC. (2022). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch>

- Karymbalis, E., Andreou, M., Batzakis, D.-V., Tsanakas, K., & Karalis, S. (2021). Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process for Flood-Hazard Assessment in the Megalo Rema River Catchment (East Attica, Greece). *Sustainability*, Vol. 13(18), 10232. <https://doi.org/10.3390/su131810232>
- Kourgialas, N., & Karatzas, G. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrological Sciences Journal*, Vol 56(2), pp. 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
- Kurowska, K., & Kowalczyk, C. (2022). Rural Space Modeling—Contemporary Challenges. *Land*, 11(2), 173. <https://doi.org/10.3390/land11020173>
- La Agencia De La ONU Para Los Refugiados, A.-. (2024, May 24). Inundaciones causadas por la crisis climática provocan nuevos desplazamientos. *ACNUR*. <https://www.acnur.org/noticias/historias/inundaciones-causadas-por-la-crisis-climatica-provocan-nuevos-desplazamientos>
- La Gestión Del Riesgo De Desastres, U. N. P. (n.d.). *Buscar*. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/discover?scope=%2F&query=Inundacion+valledupar&submit=&rpp=10>
- La Razón. (2021). *Desbordamiento del río San Pedro deja centenares de familias afectadas en Puerto Libertador*. Diario La Razón, Montería.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2021). *Geographic Information Systems and Science* (4.^a ed.). Wiley.
- Más de 200 familias afectadas por desbordamiento del río San Pedro en Puerto Libertador – LARAZÓN.CO. (n.d.). <https://larazon.co/desbordamiento-del-rio-san-pedro-dejo-a-mas-de-200-familias-damnificadas-en-puerto-libertador/>
- Olcina-Cantos, J. (2017): “Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante”, *Ciencias Social e humanidades*, 29, pp.143-163.
- Paucar Pongo, J. C. (2024). Aplicación del software ARCGIS para la ubicación y elaboración de mapas para un relleno sanitario en el Distrito de Ilave–Puno 2023. https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/790/Juan_Carlos_PAUCAR_PONGO.pdf?sequence=3
- Sedano-Cruz, K., Carvajal-Escobar, Y., & Ávila Díaz, Á. J. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. *Luna Azul*, (37), 219-238.

Sejati, A. W., Kusuma Putri, S. N. A., Rahayu, S., Buchori, I., Rahayu, K., Wiratmaja, I. G. A. M. A., Muzaki, A. J., & Basuki, Y. (2022). Flood Hazard Risk Assessment based on Multicriteria Spatial Analysis GIS as Input for Spatial Planning Policies in Tegal Regency, Indonesia. *Universitas Diponegoro*. <https://scholar.undip.ac.id/en/publications/flood-hazard-risk-assessment-based-on-multicriteria-spatial-analy>

Sevillano Rodríguez, M. E. (2020): “Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia”, *GeoFocus*, n° 25, p. 47-76.

UNGRD. (2024). *Informe Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Valencia, J. E. G. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(8), 59-70. https://www.researchgate.net/publication/281015880_Variabilidad_climatica_cambio_climatico_y_gestion_integrada_del_riesgo_de_inundaciones_en_Colombia

Enlace de sustentación:

https://youtu.be/YMoONcJwh_A