

**Análisis multicriterio mediante el uso de SIG
para la identificación y zonificación de áreas de riesgo por inundación en el municipio de
San Alberto Cesar (departamento del Cesar)**

Jaider David Garcés Pinto – jdgarcespi@unadvirtual.edu.co
Juan Sebastián Bárcenas Mantilla - jsbarcenasm@unadvirtual.edu.co
Ingrid Johana Bohórquez Blanco - ijbohorquezbl@unadvirtual.edu.co

Resumen

El presente estudio aborda la evaluación del riesgo por inundaciones en el municipio de San Alberto, Cesar, Colombia. Este municipio, con economía basada en la agricultura y ganadería, se caracteriza por un clima tropical, con temperaturas promedio de 28,4 °C y una precipitación anual de 311,67 mm, concentrada en los meses de mayo y octubre. Estas condiciones aumentan la vulnerabilidad a inundaciones, afectando comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas.

La metodología aplicada incluye un análisis multicriterio desarrollado en un entorno SIG utilizando ArcGIS Pro. Los datos geográficos y ambientales (modelos de elevación digital, redes hídricas, uso del suelo, cobertura vegetal y precipitación) se integraron mediante el método de suma ponderada. Los criterios utilizados para clasificar las áreas de riesgo incluyeron pendiente, proximidad a cuerpos de agua, drenaje del suelo y cobertura vegetal, asignándoles pesos específicos basados en estudios previos.

El análisis reveló que el 50,9 % del territorio se encuentra en categorías de alto riesgo (muy alto y alto), lo que equivale a más de 28.000 hectáreas afectadas. Las áreas de muy alto riesgo (20,8 %) se concentran en zonas bajas cercanas a cuerpos de agua, mientras que las de riesgo muy bajo (7 %) corresponden a elevaciones con buen drenaje. Este modelo permitió generar un mapa de riesgo que facilita la planificación territorial y la priorización de medidas de mitigación.

Entre las acciones recomendadas se encuentran la construcción de sistemas de drenaje, el fortalecimiento de la infraestructura, la reubicación de viviendas en zonas seguras y la conservación de ecosistemas estratégicos. Los resultados contribuyen a reducir la vulnerabilidad del municipio frente a desastres naturales y promueven una gestión territorial más resiliente.

Palabras claves: Inundación, riesgos, precipitación, geografía.

Introducción

El municipio de San Alberto, ubicado en el departamento del Cesar, al norte de Colombia, destaca por su relevancia económica en el ámbito agropecuario, con cultivos como palma africana, arroz y maíz, además de una importante actividad ganadera. Situado a una

altitud de 117 metros sobre el nivel del mar, el municipio presenta un clima tropical cálido con una temperatura media anual de 28,4 °C, superior al promedio nacional, y un régimen de precipitaciones que alcanza los 311,67 mm anuales, distribuidos en 245 días de lluvia. Este comportamiento climático, caracterizado por picos de precipitación en los meses de mayo y

octubre, incrementa la susceptibilidad a eventos de inundación, especialmente en áreas de baja altitud y con drenaje deficiente.

La gestión del riesgo por inundaciones es un desafío crítico para San Alberto, considerando su dependencia económica de las actividades agropecuarias y la vulnerabilidad de su infraestructura y comunidades rurales. Las inundaciones recurrentes pueden generar pérdidas significativas en cultivos, interrumpir la conectividad vial y afectar los ecosistemas locales, aumentando la presión sobre la planificación territorial.

Este trabajo aborda la problemática mediante un análisis multicriterio implementado en un sistema de información geográfica (SIG), con el propósito de identificar, clasificar y evaluar las áreas de riesgo por inundación en el municipio. Este enfoque metodológico, basado en variables físicas y socioeconómicas, busca ofrecer herramientas para la toma de decisiones en planificación urbana, mitigación del riesgo y conservación ambiental. Los resultados obtenidos aportan una visión integral del riesgo, destacando la necesidad de estrategias de adaptación y resiliencia para enfrentar los desafíos climáticos en San Alberto.

Objetivos

General

Evaluación del riesgo de inundación en el municipio de San Alberto Cesar, mediante un análisis multicriterio utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Específicos

- Evaluar la distribución de las zonas de alto, medio y bajo riesgo, cuantificando su extensión en hectáreas y analizando su relación con las características socioeconómicas y ambientales del municipio.

- Analizar los posibles efectos de las inundaciones en los sectores más sensibles de la región.
- Implementar un análisis multicriterio para clasificar las zonas del municipio en diferentes niveles de riesgo de inundación, considerando factores como pendiente, proximidad a cuerpos de agua, drenaje del suelo y cobertura vegetal.

Identificación del caso de estudio

San Alberto es un municipio ubicado en el departamento del Cesar, al norte de Colombia, conocido como "la puerta del Caribe colombiano". Su principal renglón económico se encuentra en la parte agropecuaria, con cultivos de palma africana, arroz, maíz y ganadería.

El municipio se encuentra a una altitud de aproximadamente 117 metros sobre el nivel del mar y presenta un clima tropical, caracterizado por temperaturas cálidas durante todo el año, con una temperatura media anual de 28,4 °C, que es 4,18% superior al promedio nacional Tiempo y clima (2024).

Las precipitaciones, San Alberto recibe un promedio anual de 311,67 milímetros, distribuidos en aproximadamente 245 días de lluvia al año. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), los meses de mayor precipitación en el departamento del Cesar son mayo y octubre IDEAM (2019).

En octubre, se observa un incremento significativo en las lluvias, lo que puede influir en actividades agrícolas y aumentar el riesgo de inundaciones en ciertas áreas del municipio. Este patrón de precipitación es crucial para la planificación de actividades económicas y la implementación de medidas de prevención de desastres naturales

Metodología

El estudio se basó en un análisis multicriterio implementado mediante un sistema de información geográfica (SIG) en ArcGIS Pro, lo cual permitió identificar, clasificar y evaluar las áreas de riesgo por inundación en el municipio de San Alberto, Cesar. A continuación, se describe el proceso metodológico seguido, estructurado de manera cronológica para facilitar la comprensión.

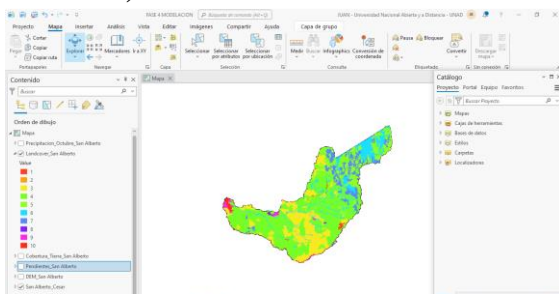
1. Recolección de datos geográficos y ambientales

Fuentes de datos:

- Modelos de Elevación Digital (DEM) con alta resolución.
- Información hidrológica (red hídrica, zonas de drenaje).
- Capas de uso del suelo, cobertura vegetal y pendientes.
- Registros de precipitación mensual, específicamente del mes de octubre, según datos históricos del IDEAM.

Figura 1.

Cargue de capas de coberturas de tierras (Land cover) de San Alberto Cesar.



Fuente: Autoría propia, 2024

2. Construcción del modelo de riesgo por inundación.

Se utilizó el modelo de análisis multicriterio basado en el método de suma ponderada, que integra diferentes variables para evaluar el riesgo de inundación. Este enfoque considera tanto factores físicos como socioeconómicos.

Criterios utilizados:

Pendiente: Las áreas con pendientes menores a 2 % se consideran más susceptibles a inundaciones.

Proximidad a cuerpos de agua: Se asignó mayor peso a las áreas cercanas a ríos y quebradas.

Drenaje del suelo: Las zonas con drenaje deficiente obtuvieron puntuaciones más altas.

Cobertura vegetal: Se clasificó en función de la capacidad de amortiguación de las inundaciones.

Los valores de los criterios se reclasificaron en categorías de 1 a 5, donde 1 representa bajo riesgo y 5 alto riesgo.

Asignación de pesos:

Los pesos de cada criterio se definieron mediante consultas bibliográficas, siguiendo los métodos de análisis multicriterio documentados en Efraimidou y Spiliotis (2024) y González Valencia (2006). La fórmula empleada para la suma ponderada fue:

$$\text{Índice de Riesgo} = (P_{\text{pendiente}} \cdot W_{\text{pendiente}}) + (P_{\text{proximidad}} \cdot W_{\text{proximidad}}) + (P_{\text{drenaje}} \cdot W_{\text{drenaje}}) + (P_{\text{cobertura}} \cdot W_{\text{cobertura}})$$

Donde P es la puntuación de cada criterio y W es su peso relativo.

3. Generación del mapa de riesgo

Reclasificación y superposición de capas:

Cada criterio se transformó a una escala común y se integraron mediante operaciones de álgebra raster en ArcGIS Pro.

Categorías de riesgo:

El mapa de riesgo final se reclasificó en cinco categorías cualitativas: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, asignando simbología específica (verde para muy bajo, rojo para muy alto).

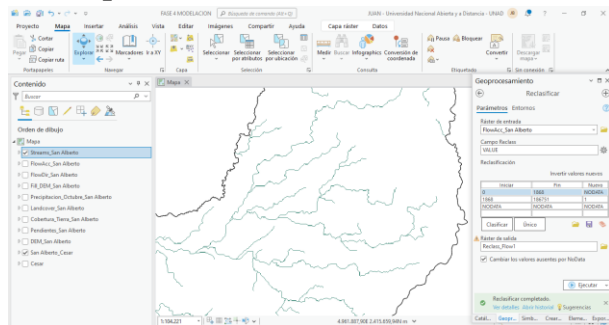
Validación:

El modelo fue validado mediante observaciones históricas de inundaciones y comparación con

estudios previos, como los propuestos por Pineda y Suárez (2014).

Figura 2.

Reclasificación y superposición de capas del municipio de San Alberto Cesar.



Fuente: Autoría propia, 2024

4. Análisis de resultados

Los resultados del análisis se interpretaron utilizando herramientas de estadística espacial y visualización gráfica en ArcGIS Pro:

Distribución espacial: Identificación de áreas críticas basadas en las categorías de riesgo.

Cálculo de áreas: Se calculó el área total en hectáreas para cada categoría de riesgo.

Impacto potencial: Se analizaron los efectos del riesgo en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas.

Resultados

Las áreas de riesgo muy alto (color rojo) representan el 20,8 % del territorio del municipio de San Alberto, con un área aproximada de 11.496,923 ha. Estas zonas se concentran principalmente en las áreas bajas cercanas a los principales cuerpos de agua y zonas de escaso drenaje natural, donde se incrementa la probabilidad de inundaciones severas.

Las áreas de riesgo alto (color naranja) abarcan el 30,1 %, con una extensión aproximada de 16.580,398 ha. Estas zonas también están relacionadas con terrenos propensos a

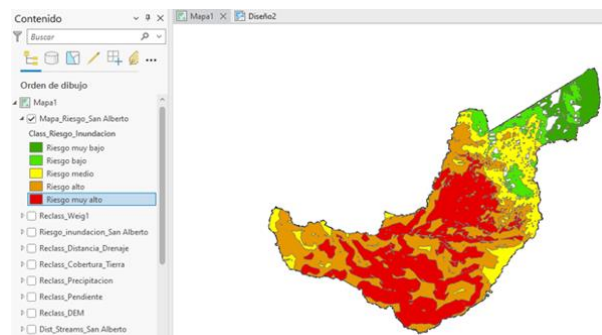
inundaciones, pero con menor frecuencia o intensidad que las áreas de riesgo muy alto.

Las zonas de riesgo muy bajo (color verde) constituyen solo el 7 % del territorio, equivalentes a 3.884,738 ha. Estas áreas están asociadas a elevaciones mayores y condiciones de buen drenaje natural.

Las áreas de riesgo bajo (color amarillo) ocupan el 15,4 % del territorio, con un total de 8.502,541 ha. Estas zonas presentan una menor probabilidad de inundación en comparación con las categorías de mayor riesgo.

Figura 3.

Mapa riesgo por inundación en formato vectorial de San Alberto Cesar.



Fuente: Autoría propia, 2024.

La distribución espacial del riesgo muestra que más del 50 % del municipio se encuentra en categorías de alto riesgo. Esto indica una vulnerabilidad considerable que podría afectar tanto a las comunidades como a la infraestructura y los sistemas productivos. Las áreas seguras, clasificadas como de riesgo bajo, son limitadas y se localizan en zonas alejadas de los cuerpos de agua principales. Estas inundaciones generan unos impactos en la zona del municipio los cuales se clasifican en:

Impacto potencial

Comunidades

Las áreas de riesgo muy alto abarcan comunidades rurales que enfrentan una alta

exposición a inundaciones recurrentes. Esto puede ocasionar pérdidas materiales y desplazamientos, aumentando la vulnerabilidad social.

Infraestructura

Infraestructuras clave, como carreteras y puentes, podrían verse gravemente afectadas en las zonas de riesgo alto. Esto afectaría la conectividad y el acceso a servicios básicos.

Sistemas agropecuarios

Las actividades agrícolas, predominantes en el municipio, son especialmente vulnerables a las inundaciones, lo que ocasiona pérdidas de cultivos, afectando la economía local.

Ecosistemas

Ecosistemas locales, como humedales, enfrentan alteraciones significativas debido a inundaciones extremas, afectando la biodiversidad de la región.

Figura 4.

Clasificación de riesgo por inundación del municipio de San Alberto Cesar.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Tabla 1. Clasificación de riesgo por inundación, área y porcentaje de afectación en el municipio de San Alberto.

Clasificación de riesgo	Área (ha)	Porcentaje
Riesgo muy bajo	3.884,738 ha	7,0 %
Riesgo bajo	8.502,541 ha	15,4 %
Riesgo medio	14.693,139 ha	26,6 %
Riesgo alto	16.580,398 ha	30,1 %
Riesgo muy alto	11.496,923 ha	20,8 %

Fuente: Autoría propia, 2024.

El análisis realizado demuestra la necesidad de implementar medidas de mitigación en las áreas de alto riesgo, como:

- Construcción de sistemas de drenaje eficientes.
- Fortalecimiento de la infraestructura existente para resistir inundaciones.
- Reubicación de viviendas y planificación urbana en zonas seguras.
- Conservación de ecosistemas que actúen como barreras naturales contra inundaciones.

Estos resultados permiten una planificación territorial más eficiente, contribuyendo a reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia del municipio frente a eventos de inundación.

Conclusiones

El análisis de riesgo por inundación realizado para el municipio de San Alberto, Cesar, a través de un enfoque multicriterio y el uso de SIG en ArcGIS Pro, ha permitido identificar de manera detallada las áreas más vulnerables a inundaciones, contribuyendo a una mejor comprensión de los riesgos que enfrenta el municipio. Los resultados muestran que más del 50 % del territorio está en categorías de alto riesgo, lo que resalta la urgente necesidad de implementar estrategias de mitigación eficaces para reducir los impactos de las inundaciones sobre las comunidades, la infraestructura, los sistemas agropecuarios y los ecosistemas locales.

La metodología empleada, que integró criterios como la pendiente, la proximidad a cuerpos de agua, el drenaje del suelo y la cobertura vegetal, demostró ser efectiva para mapear y clasificar las áreas de riesgo. Además, la validación del modelo a través de datos históricos refuerza la fiabilidad de los resultados obtenidos.

A partir de los hallazgos del estudio, se recomienda la implementación de medidas estructurales y no estructurales, tales como la

construcción de sistemas de drenaje eficientes, el fortalecimiento de infraestructuras, la reubicación de viviendas en zonas seguras y la conservación de ecosistemas naturales. Estas acciones no solo contribuirán a mitigar los efectos de las inundaciones, sino también a mejorar la resiliencia del municipio ante eventos climáticos extremos, promoviendo un desarrollo más sostenible y seguro para sus habitantes.

La evaluación de riesgos por inundación en San Alberto proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la planificación territorial y la gestión del riesgo, favoreciendo la adaptación del municipio a los desafíos climáticos y la protección de sus recursos naturales y económicos.

Recomendaciones

En las zonas de riesgo medio y alto, promover la agroforestería, que combine cultivos agrícolas con árboles, puede ayudar a reducir la erosión del suelo y mejorar la absorción de agua. Además, las plantaciones de árboles pueden servir como barreras naturales contra las inundaciones.

Se recomienda implementar proyectos de restauración de ecosistemas como humedales y bosques ribereños, que actúan como filtros naturales y ayudan a regular las inundaciones. La conservación de estos ecosistemas no solo mitigará el riesgo de inundación, sino que también contribuirá a la biodiversidad y al equilibrio ecológico.

Las zonas con alto riesgo de inundación deben ser objeto de una planificación urbana y rural que limite el desarrollo de infraestructuras vulnerables, como viviendas o centros de producción agrícola. La reubicación de viviendas en zonas más altas y seguras puede evitar desplazamientos forzados en caso de

inundaciones. La planificación de las actividades productivas debe priorizar las áreas fuera de las zonas más afectadas por las inundaciones.

Referencias bibliográficas

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Condiciones observadas en septiembre de 2019. https://bart.ideam.gov.co/portal/prono_fin_semana/meteorologia/info/Textos/Departamento/s/memoCESAR.pdf

Weather and Climate. (s.f.). San Alberto, Cesar, Colombia. <https://weatherandclimate.com/colombia/cesar/san-alberto>

Efraimidou, E., Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Process*. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

González Valencia, J. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 5(8), pp. 59–70. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7d5a99fe-dbcf-33b6-943e-dd92eebf52b6>

EnlaceStorymaps

<https://storymaps.com/es/stories/82d356fe21b54868a33e34ef16209942/preview>

Enlace video sustentación

<https://youtu.be/t4UR80qh2Xw>