

Determinación del riesgo por inundación mediante modelación y análisis multicriterio aplicando Sistemas de Información Geográfica SIG para el municipio de Carcasí, Santander.

Wilmer David García Valenzuela
wdgarcia@unadvirtual.edu.co
Danilo Eduardo Arenas Navarro
dearenas@unadvirtual.edu.co
Melvin Eli Amaro Ortiz
neamaroo@unadvirtual.edu.co

Resumen

La evaluación del riesgo de inundación en el municipio de Carcasí se realizó empleando una metodología de análisis multicriterio, combinando factores relevantes mediante sistemas de información geográfica (SIG). Se identifican cinco criterios principales que influyen en el riesgo de inundación: modelo de elevación digital (DEM), pendientes, cobertura del suelo, precipitaciones y distancia entre drenajes. Cada uno recibió un valor específico según su impacto en el fenómeno. Estos factores se integraron en el software ArcGIS Pro, obteniendo como resultado un mapa que clasifica el riesgo de inundación en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. El riesgo muy alto abarca 2,376 hectáreas en las veredas Saucara, San Jacinto, Buenavista y Centro, áreas con relieve parcialmente plano y con mayor acumulación de flujo. Este riesgo afecta actividades económicas como la agricultura y ganadería, y pone en peligro la seguridad de las comunidades, especialmente el casco urbano, donde viven 640 personas. El riesgo alto Comprende 6,704 hectáreas distribuidas a través de la frontera de caudal permanente de ríos y quebradas del municipio y aumenta a medida que es mayor la acumulación de flujo y se reduce la distancia entre afluentes de agua. En esta categoría, destaca la vulnerabilidad del corregimiento El Tobal, con 107 habitantes. El riesgo medio se extiende por 7,033 hectáreas a lo largo de la red hídrica del municipio, cada vereda del municipio en cierta parte se encuentra comprometida bajo este nivel medio de riesgo. El riesgo bajo y muy bajo corresponden a las partes más altas del municipio, ubicadas en montañas y valles con una topografía ondulada, donde la probabilidad de inundación es significativamente menor.

Palabras clave

Amenaza, Análisis multicriterio, inundaciones, riesgo, vulnerabilidad

Introducción

El municipio de Carcasí, situado en el departamento de Santander, enfrenta desafíos significativos en términos de riesgo de inundación, una problemática que se ha intensificado en los últimos años debido a factores climáticos y la intervención humana en el territorio. Las inundaciones no solo afectan la infraestructura y la economía local, sino que también representan una amenaza para la seguridad y el bienestar de sus habitantes. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020), el cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, como lluvias torrenciales, que exacerbaban la vulnerabilidad de las comunidades y los ecosistemas en la región.

El presente estudio consiste en modelar el riesgo de inundación en Carcasí mediante un enfoque integrado que combine Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis multicriterio. Esta metodología permitirá identificar y delinear áreas vulnerables a eventos de inundación, proporcionando una herramienta valiosa para la planificación y gestión del territorio. La integración de SIG en el análisis de riesgos ha demostrado ser eficaz en diversos contextos, permitiendo una evaluación más precisa y espacialmente explícita de los factores que contribuyen a la susceptibilidad a inundaciones (Cáceres et al. 2019; Rodríguez et al, 2021).

La problemática de las inundaciones en Carcasí no es aislada; se enmarca en un contexto nacional donde el gobierno ha implementado diversas estrategias para mitigar los riesgos asociados. A nivel local, se han llevado a cabo iniciativas de reforestación y restauración de

ecosistemas, así como la construcción de infraestructura de drenaje para mejorar la capacidad de evacuación de aguas pluviales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, la vulnerabilidad persiste, lo que resalta la necesidad de enfoques más integrales y basados en evidencia para la gestión del riesgo.

Este estudio se fundamenta en la premisa de que un análisis detallado y espacialmente explícito del riesgo de inundación puede contribuir significativamente a la toma de decisiones informadas y a la implementación de medidas efectivas de mitigación. Al identificar las áreas más susceptibles a inundaciones, se busca no solo proteger a la población y sus bienes, sino también promover un desarrollo territorial sostenible que considere las dinámicas ambientales y sociales de Carcasí.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Carcasí, ubicado al nororiente del departamento de Santander, presenta características geográficas y climáticas que lo hacen susceptible a fenómenos de inundación. Con una altitud promedio de 2,200 metros sobre el nivel del mar, su topografía varía entre montañas, valles, llanuras y cañones, lo que influye en el comportamiento del agua durante eventos de precipitación (Alcaldía de Carcasí, 2021). La población de Carcasí, compuesta por aproximadamente 5,000 habitantes, se dedica principalmente a la agricultura y la ganadería, actividades que pueden verse afectadas por inundaciones (DANE, 2020).

Características Climáticas.

Carcasí presenta un clima predominantemente húmedo debido a su ubicación en una región montañosa. La temperatura media anual oscila

entre 12 °C y 18 °C, dependiendo del piso térmico, que varía desde el piso templado hasta el frío. Según el (IDEAM, 2020), las épocas más marcadas de lluvia ocurren entre los meses de abril y mayo y nuevamente en octubre y noviembre, con los picos más altos de precipitación registrados en mayo y octubre, alcanzando acumulados mensuales superiores a los 300 mm.

Desde el punto de vista topográfico, Carcasí se caracteriza por terrenos montañosos y pendientes pronunciadas, intercalados con valles angostos. Estas condiciones favorecen la escorrentía superficial intensa durante episodios de lluvias torrenciales, lo que incrementa el riesgo de inundaciones en las zonas bajas y valles aluviales. Además, los procesos de deforestación han reducido la capacidad del suelo para infiltrar agua, exacerbando la vulnerabilidad en áreas cercanas a la red hídrica local (IDEAM, 2020).

Demografía y Vulnerabilidad.

Carcasí cuenta con una población distribuida principalmente en su casco urbano y veredas circundantes (DANE, 2020). Se estima que cerca del 35% de los habitantes residen en áreas con alta susceptibilidad a inundaciones, especialmente aquellas ubicadas en las cercanías de quebradas y cauces menores. Estas áreas están sujetas a desbordamientos durante eventos climáticos extremos, poniendo en riesgo a alrededor de 980 personas de manera directa.

Relación entre Topografía y Riesgo de Inundación.

La combinación de precipitaciones intensas, suelos de baja capacidad de infiltración y pendientes pronunciadas genera un entorno

propenso a procesos de escorrentía rápida y acumulación de agua en las zonas planas. Estas condiciones aumentan significativamente la probabilidad de inundaciones y la intensidad de los daños asociados (González & López, 2021).

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo integral para la evaluación de riesgo por inundación en el municipio de Carcasí, departamento de Santander, mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos de análisis multicriterio.

Objetivos Específicos

Analizar a través de geo procesos en el software ArcGIS Pro los criterios: Modelo de Elevación Digital DMI, cobertura de la tierra (Land cover), pendientes, distancia entre drenajes y precipitación, reflejando las características específicas del territorio del municipio de Carcasí.

Asignar valores a cada criterio utilizando técnicas de análisis, para determinar la importancia relativa de cada factor en la evaluación del riesgo de inundación.

Aplicar geo procesos SIG para mostrar a través de un mapa la clasificación cualitativa de riesgo por inundación y una proyección de vulnerabilidad para el área total del municipio de Carcasí Santander.

Metodología

Se aplica el método de análisis multicriterio a través de:

1. Recopilación de Datos Espaciales y Temáticos

Para llevar a cabo un análisis de riesgo de inundación, se debe recolectar y preparar los siguientes tipos de datos espaciales:

Modelo de Elevación Digital (DEM): Representa la topografía de la superficie terrestre y es esencial para identificar áreas de baja altitud propensas a inundaciones. En ArcGIS Pro, se puede obtener un DEM de alta resolución, lo que permitirá modelar correctamente la acumulación de aguas de lluvia.

Pendientes: Las pendientes del terreno son importantes porque las áreas con pendientes más suaves son más propensas a la acumulación de agua. Este dato se puede generar a partir del DEM utilizando la herramienta de análisis de pendientes en ArcGIS.

Cobertura del Suelo (Land Cover): La cobertura del suelo tiene un impacto importante en el comportamiento del agua. Las áreas urbanizadas o impermeables tienen un mayor riesgo de inundación debido a la escasa infiltración. Los datos de cobertura del suelo se pueden obtener de fuentes como el USGS o el Copernicus Land Monitoring Service.

Precipitación: Los datos climáticos sobre las precipitaciones, tanto históricos como proyectados, son fundamentales para modelar el volumen de agua que se espera en la región durante eventos de lluvia. Estos datos pueden provenir de estaciones meteorológicas locales o modelos climáticos globales.

Drenajes y Distancias a Drenajes: Es importante considerar la red de drenaje de la región, ya que su capacidad para evacuar el agua influye directamente en la propagación de

las inundaciones. La proximidad a drenajes adecuados reduce el riesgo de inundaciones. Los datos de drenaje pueden provenir de mapas de infraestructura de la ciudad o de modelos hidráulicos.

2. Análisis de las Variables y Creación de Capas Espaciales

Una vez que los datos estén disponibles, el siguiente paso es procesarlos para crear las capas espaciales que representarán cada uno de los factores de riesgo.

Generación de pendientes: Usando el DEM en ArcGIS Pro, se puede calcular la pendiente con la herramienta Slope.

Clasificación de Cobertura del Suelo: Dependiendo de la cobertura del suelo (por ejemplo, zonas urbanas, áreas forestales, cuerpos de agua), cada tipo de uso del suelo se asignará un valor ponderado según su capacidad para influir en la acumulación de agua y la infiltración.

Precipitación: Se pueden crear mapas de riesgo con base en los datos de precipitación mediante la interpolación de los datos meteorológicos.

Distancias a drenajes: Se calcula la distancia a la infraestructura de drenaje utilizando herramientas de proximidad en ArcGIS, como Euclidean Distance, para generar una capa que represente las áreas más cercanas a sistemas de drenaje eficientes.

3. Análisis Multicriterio

El análisis multicriterio es fundamental para combinar las diversas capas de información y obtener un índice de riesgo de inundación.

Los pasos clave incluyen:

Asignación de valor a las capas: Cada capa (DEM, pendiente, cobertura del suelo, precipitación y distancia a drenajes) tendrá un peso diferente dependiendo de su influencia en el riesgo de inundación.

Normalización de las capas: Antes de combinar las capas, se debe normalizar cada una de ellas para que todos los datos estén en una misma escala. Esto se puede hacer usando funciones como la reclasificación o el escalado en ArcGIS Pro.

Operación de Superposición de Capas: Una vez que las capas están normalizadas y ponderadas, se pueden combinar utilizando el Weighted Overlay en ArcGIS Pro. Esto permitirá crear un mapa final de riesgo de inundación que muestra las zonas más susceptibles.

4. Modelización del Riesgo de Inundación

Con las capas combinadas y el análisis realizado, se puede crear un mapa final del riesgo de inundación en el área de estudio. Este mapa se clasifica en cinco niveles de riesgo, muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto según la combinación de las variables.

5. Validación del Modelo

Es importante validar el modelo con datos históricos de inundación si están disponibles. Esto permitirá ajustar los pesos y la clasificación para mejorar la precisión del modelo de riesgo.

6. Resultados y Toma de Decisiones

El modelo resultante proporcionará un análisis espacial detallado sobre las zonas con mayor riesgo de inundación, permitiendo la toma de decisiones informadas para la planificación urbana, la construcción de infraestructuras de

drenaje, o la implementación de políticas de gestión del riesgo.

Resultados

Mapa de riesgo por inundación en el municipio de Carcasí - Santander

Para evaluar los riesgos de inundación, no es posible basarse en un único factor de análisis. Para obtener resultados precisos que faciliten la toma de decisiones, es imprescindible considerar una variedad de factores o criterios que son representativos y contribuyen a la presencia de este evento, según (Gonzales 2006 p. 9) “Para lograr identificar zonas de riesgo es necesario involucrar una serie de variables o factores que tienen cierta importancia en el desencadenamiento de dichos eventos”.

Con la metodología de análisis multicriterio se involucraron factores como: Modelo de elevación digital DEM, pendientes, coberturas de la tierra (Land Cover), precipitaciones y distancia entre drenajes, estos criterios se combinaron con los SIG a través de geo procesos en el programa ArcGIS Pro para finalmente obtener una salida de mapa de clasificación de riesgo por inundación.

Tabla 1. Factores de análisis de riesgo de inundación y su valor de influencia en un análisis multicriterio.



Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Coberturas de la tierra (Land cover)	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente: adaptado de guía de actividades fase 4 del diplomado en SIG para el ordenamiento agroambiental del territorio.

La Figura 1 presenta la clasificación del riesgo de inundación en cinco niveles, donde los tonos más verdes indican un menor riesgo, mientras que los colores más intensos destacan las áreas de mayor riesgo. Se observa que las zonas con un riesgo muy alto de inundación son poco representativas, lo cual se atribuye a la topografía ondulada del municipio, caracterizada principalmente por montañas, valles, llanuras y cañones, esto concuerda con (Hernández et al, 2017) quien indica que en donde se encuentran menos manchas de riesgo por inundación es en áreas de poca planicie de acuerdo con la configuración topográfica del área de estudio.

Las zonas con mayor riesgo (alto y muy alto) se encuentran en los límites de las áreas adyacentes a quebradas y ríos. Las áreas con riesgo muy alto de inundación se concentran en las regiones donde hay una mayor acumulación de flujo y un relieve relativamente plano. Las áreas con riesgo medio se distribuyen a lo largo de la red hídrica del municipio, y este riesgo se intensifica a medida que disminuye la distancia entre los drenajes.

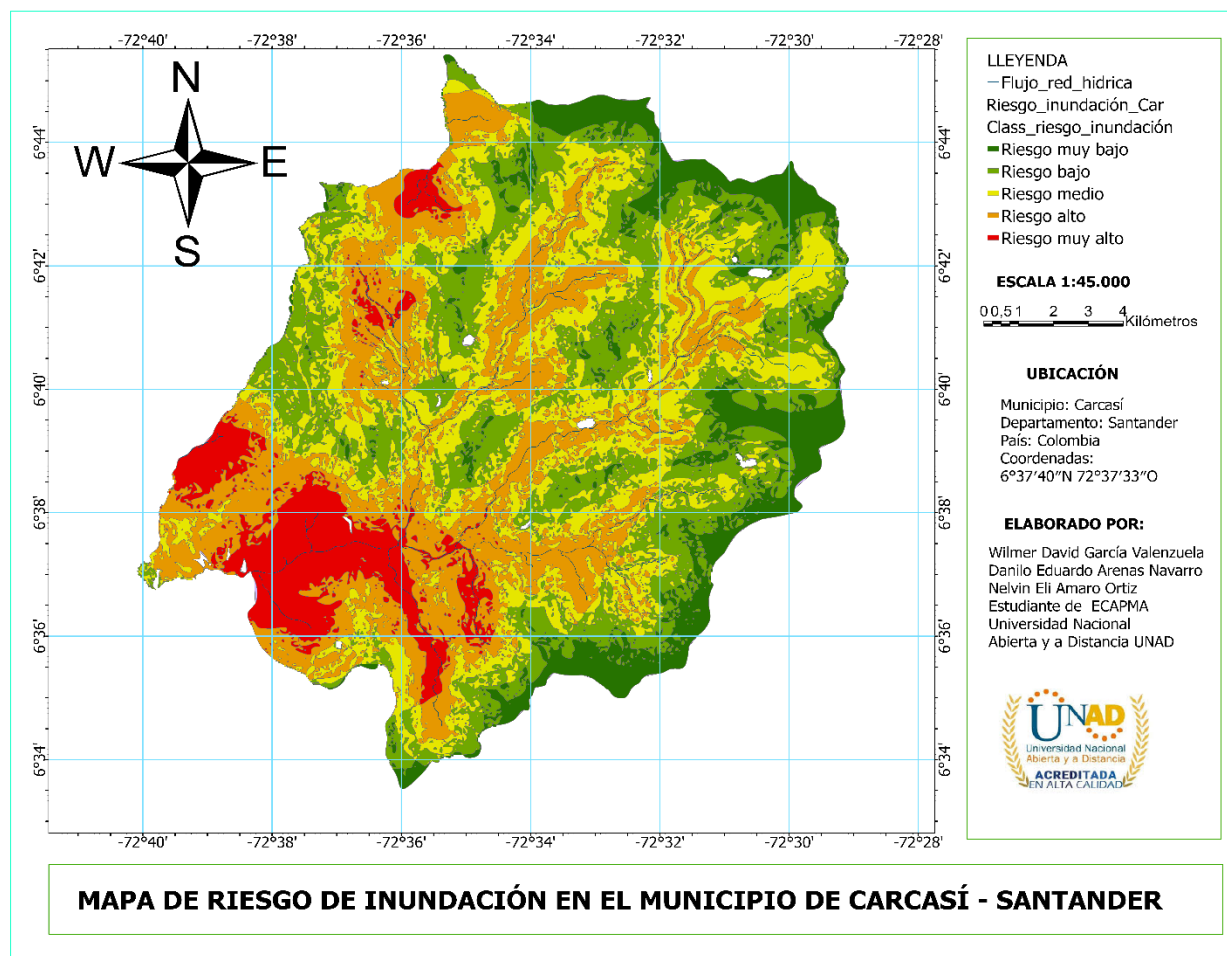
Tabla 2. Clasificación de riesgo de inundación con código de colores para su identificación de acuerdo con su nivel.

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Fuente: adaptado de guía de actividades fase 4 del diplomado en SIG para el ordenamiento agroambiental del territorio.

Las zonas con riesgo bajo y muy bajo se ubican en las partes más altas del municipio y corresponden a montañas y valles que hacen parte de su configuración topográfica.

Figura 1. Mapa de clasificación de riesgo por inundación para el municipio de Carcasí – Santander.

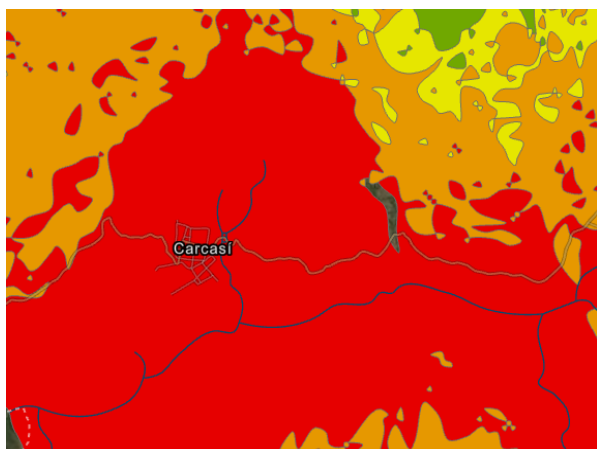


Fuente: autoría propia creado en el software ArcGIS Pro

Los índices de vulnerabilidad por inundación, calculados mediante el modelo de análisis multicriterio, identifican zonas de riesgo muy alto que abarcan un área total de 2,376 hectáreas correspondientes al 9,3% del área total del municipio, ubicadas entre las veredas Saucara, San Jacinto, Buenavista y la vereda Centro “Garbanzal y Cruz grande”. En esta zona de alta amenaza se ven comprometidas tanto actividades económicas, como la agricultura y la ganadería y la seguridad de las vidas humanas. La zona más vulnerable corresponde a la vereda centro donde se ubica el casco

urbano del municipio y en donde según (Alcaldía de Carcasí, 2019) en el casco urbano reside 640 habitantes. Según el análisis multicriterio, esta población se encuentra en un riesgo muy alto de inundación, lo cual resulta coherente dado que el casco urbano está situado junto a dos quebradas de bajo caudal, Q. el Tejar y Q. Seca. Sin embargo, durante lluvias torrenciales, el caudal de estas quebradas aumenta significativamente, incrementando el riesgo de inundaciones e incluso de deslizamientos.

Figura 2. Ubicación del casco urbano del municipio de Carcasí en zona de riesgo muy alto.



Fuente: autoría propia creado en el software ArcGIS Pro

Tabla 3. Áreas correspondientes a cada nivel de riesgo.

Valores	Class_riesgo_inundación	Área_ha
1	Riesgo muy bajo	2896,29
2	Riesgo bajo	6672,18
3	Riesgo medio	7033,53
4	Riesgo alto	6704,68
5	Riesgo muy alto	2376,22

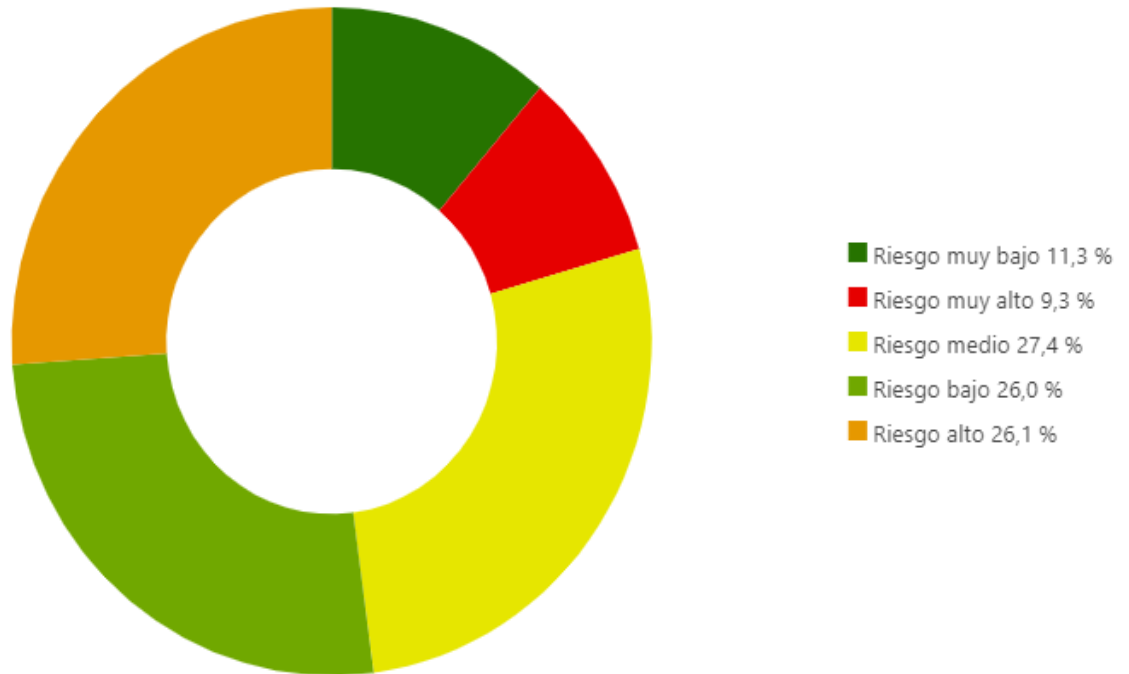
Fuente: autoría propia adaptado de la tabla de atributos de ArcGIS Pro.

En cuanto al riesgo alto compromete un área de 6,704 hectáreas mayormente en las veredas de la parte baja del municipio donde hay mayor acumulación de flujo y cercanía entre caudales, asimismo este nivel de riesgo alto se distribuye a lo largo de frontera agrícola de ríos y quebradas; de esta manera cada vereda del municipio está comprometida en cierta parte por riesgo alto de inundación y coloca bajo vulnerabilidad a algunos habitantes del área rural quienes han construido su vivienda dentro de la frontera o franja de 30 metros de marea máxima o cauce permanente de los ríos y quebradas.

El corregimiento o centro poblado el Tobal según (Alcaldía de Carcasí, 2019) cuenta con un total de 107 habitantes. Esta población se encuentra dentro del 26,1% del área con riesgo alto por inundación y representa el 3,5% de los habitantes bajo vulnerabilidad en caso de presentarse este evento.

Las áreas de riesgo medio abarcan un total de 7,033 hectáreas, distribuidas a lo largo de las redes hídricas del municipio. Bajo este nivel de riesgo se encuentran en gran parte las actividades agrícolas y pecuarias, asimismo algunas viviendas rurales.

Figura 3. Porcentaje por área de acuerdo con el nivel de riesgo por inundación condición de riesgo de inundación.

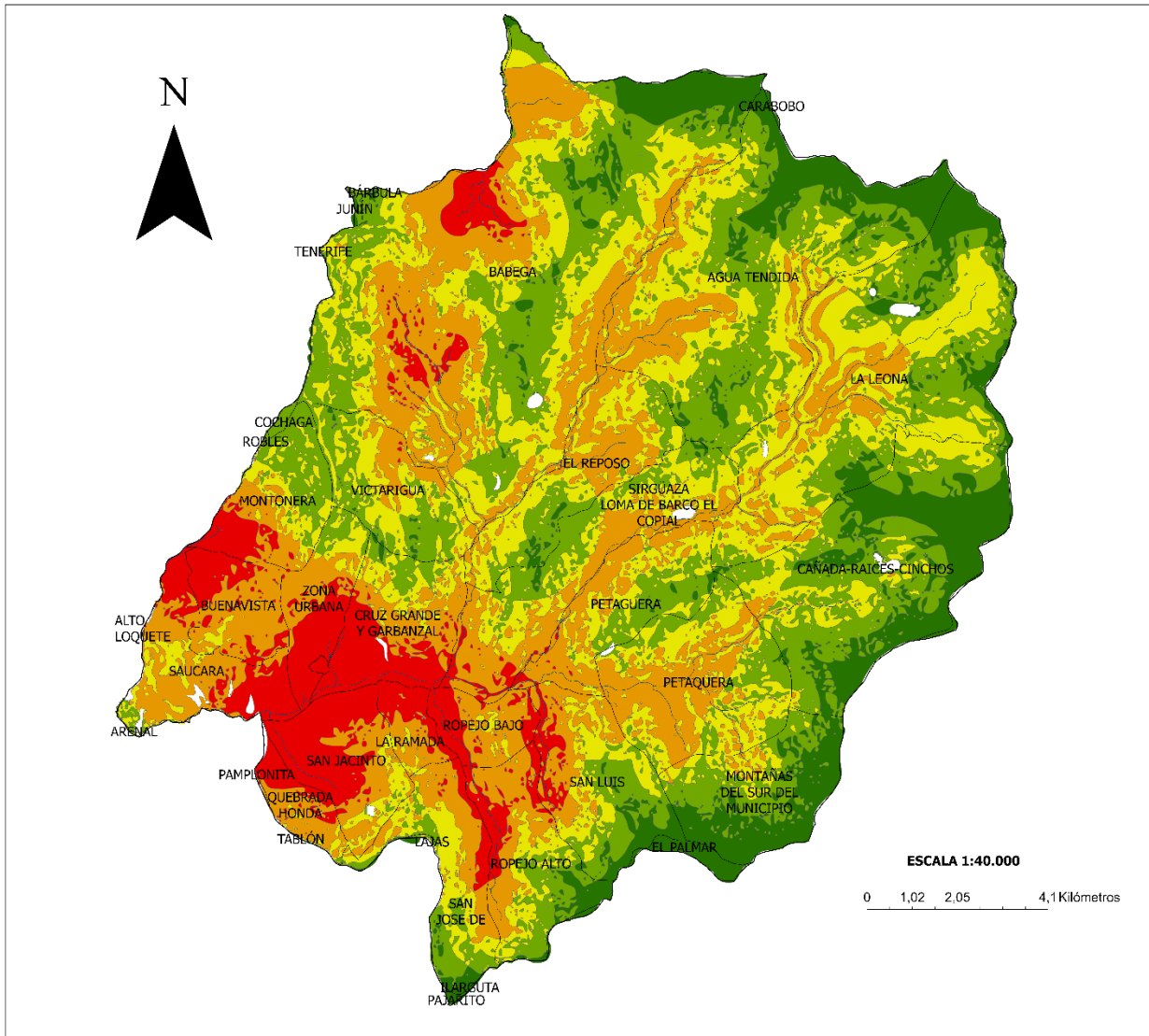


Fuente: autoría propia creado en el software ArcGIS Pro

Finalmente, en la Figura 4 se muestra la clasificación de riesgo por inundación y las veredas afectadas en cada nivel. Este análisis, realizado mediante un modelo multicriterio, permitió determinar la clasificación de riesgo

considerando diversos factores, siguiendo metodologías similares a las empleadas por (Hernández et al, 2017) y (González 2006), entre otros autores.

Figura 4. Alcance de nivel de riesgo por inundación en cada vereda del municipio de Carcasí, Santander.



Fuente: autoría propia creado en el software ArcGIS Pro.

Conclusiones

Se desarrollo la metodología de análisis multicriterio aplicable a la cualificación cuantitativa de riesgo por inundación, teniendo en cuenta los criterios de modelo de elevación digital, precipitación mes octubre, pendientes, distancia entre drenajes y coberturas de la tierra,

estos combinados con los SIG a través de geo procesos en el software ArcGIS Pro. Permitiendo determinar los diferentes niveles de riesgo por inundación en el municipio del Municipio de Carcasí y una proyección de la vulnerabilidad de las comunidades y su actividad económica.

Como resultado de la modelación de análisis multicriterio en el municipio de Carcasí, se

observó que un 9,3 % del área del área de estudio presenta riesgo muy alto por inundación y dentro de esta área se encuentra el casco urbano del municipio poniendo en alto grado de vulnerabilidad al 13% del total de sus habitantes. Es necesario profundizar en la investigación de daños, costos y vulnerabilidad de esta comunidad, así como en las acciones para mitigar el riesgo.

Con la modelación de análisis multicriterio y la determinación de niveles de riesgo por inundación para las diferentes zonas del municipio, ha sido posibles proporcionar datos que pueden ser usados especialmente por los tomadores de decisiones en los planes de ordenamiento territorial y ordenamiento agroambiental del territorio.

La metodología de análisis multicriterio permitió generar información congruente con las condiciones de topografía y relieve del área de estudio, permitiendo reducir la incertidumbre en la estimación de riesgo por inundación. Este enfoque puede ser repetido para la determinación de riesgos por la ocurrencia actual de fenómenos meteorológicos asociados al cambio climático y calentamiento global.

Este análisis multicriterio combinado con los SIG permite resultados confiables para la toma de decisiones ya que sus datos son basados en el espacio, sin embargo, es necesario avanzar en la correcta toma de los datos geoespaciales ya que para este caso de estudio el modelo de elevación digital DEM usado, presenta varios espacios no data representados finalmente en el mapa en parches blancos que no permiten estimar el riesgo en estas zonas.

Recomendaciones

Es imperativo que las autoridades gubernamentales realicen un análisis más profundo sobre los costos, los daños y la vulnerabilidad de las comunidades en riesgo, e impulsen la inversión en obras de mitigación y protección. Mediante una gestión integral del riesgo, es fundamental establecer indicadores clave como la implementación de sistemas de alarma, la planificación de rutas de evacuación y la capacitación adecuada para afrontar posibles situaciones de emergencia.

Es necesario actualizar el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) en cada período establecido, incorporando el ordenamiento agroambiental del territorio. Esta actualización debe basarse en información precisa y contar con la participación de las comunidades, lo que permitirá delimitar adecuadamente las áreas y mitigar los riesgos. No obstante, es fundamental planificar de manera anticipada los posibles conflictos territoriales, especialmente en lo relacionado con la construcción de viviendas y la realización de actividades agropecuarias en zonas identificadas como de muy alto riesgo de inundación.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Carcasí -Santander (2019). Mapa de Carcasí y sus sectores. Alcaldía de Carcasí. [Mapa de carcasí y sus sectores - Alcaldía Municipal de Carcasí - Santander](#)
- Cáceres, C., Torres, A., & Medina, R. (2019). Geographic information systems for flood risk management: A

- review of applications in Latin America. *Environmental Science & Policy*, 95, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.02.002>
- DANE. (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. ANDA – DANE. <https://microdatos.dane.gov.co/catalog/643>
- 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>
- González, A., Pérez, M., & López, J. (2021). Análisis de la vulnerabilidad a inundaciones en el municipio de Carcasí, Santander. *Revista de Geografía*, 15(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/geo.v15i2.5678>
- Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 5-25. [Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac](#)
- IDEAM. (2020). Informe sobre el estado del clima en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co>
- IDEAM. (2022). Estadísticas climáticas de Colombia. <https://www.ideam.gov.co>
- Mendoza, R., & Rodríguez, S. (2020). Metodología para la evaluación de riesgo de inundaciones utilizando SIG y análisis multicriterio. *Boletín de Ciencias Ambientales*, 12(1), 23-34. <https://doi.org/10.1234/bca.v12i1.1234>
- Alcaldía de Carcasí. (2021). Plan de Acción Municipal 2020-2023. Alcaldía Municipal de Carcasí. <https://www.carcasi-santander.gov.co/planes/plan-de-accion-del-2020-2023>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Estrategia nacional para la gestión del riesgo de desastres. <https://www.minambiente.gov.co>
- Rodríguez, M., López, P., & García, T. (2021). Mapeo del riesgo de inundaciones en municipios pequeños utilizando SIG y análisis multicriterio: Un estudio de caso de La Rosa, Cauca.

*Revista Internacional de Reducción del
Riesgo de Desastres* 55, 102-
115. [https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021
.102115](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102115)

Enlace de sustentación:
[https://youtu.be/vj21JXkqFz8?si=YoyD0Cy
IuozvCd0C](https://youtu.be/vj21JXkqFz8?si=YoyD0CyIuozvCd0C)