

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES CON RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE LA CALERA A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS MULTICRITERIO.

Nelly Yolanda Solano Santana nysolanos@unadvirtual.edu.co

Fabian Andrés López Pachón falopezpa@unadvirtual.edu.co

Jairo Andrés Cifuentes Raigozo jacifuentesr@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos al aplicar la metodología de análisis multicriterio para la valoración y zonificación de áreas con riesgo de inundación en el municipio de La Calera, Departamento de Cundinamarca, Colombia. La metodología empleada consistió en un modelo de análisis multicriterio para valorar el riesgo de inundaciones, considerando cinco criterios. Este análisis se realizó utilizando el software ArcGIS PRO. Los resultados muestran la zonificación de las áreas más vulnerables al riesgo de inundación, con una clasificación cualitativa y cuantitativa del riesgo en cinco niveles: riesgo muy bajo, riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto y riesgo muy alto. Las áreas con mayor valoración de riesgo identificadas tienen una extensión de 8432,65 Hectáreas y se localizan en la parte oriental y el casco urbano del municipio.

Palabras claves: Análisis multicriterio, Riesgo de inundación, Análisis espacial, ArcGIS Pro.

Introducción

En el marco social, cultural, económico y ambiental del país,

La gestión del riesgo es una de las principales herramientas administrativas para reducir la vulnerabilidad de los territorios reglamentada en la Ley de Ordenamiento Territorial 388 de 1997, artículos 1, 3, 8, que define que cada municipio identifique las zonas con potencial riesgo a inundaciones, deslizamientos, incendios, entre otros (González, 2006, pp. 60-61).

Es importante clarificar el significado de riesgo, vulnerabilidad y amenaza; el riesgo definido

como “Una condición latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro y que puede estar sujeta al análisis y medición cualitativa y cuantitativa” (Lavell, 2001, p. 2).

Mientras que la vulnerabilidad “Se refiere a una serie de características diferenciadas de la sociedad, que le predisponen a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo, y que dificultan su posterior recuperación” (Lavell, 2001, p. 2).

La amenaza se refiere a la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad.

Generalmente la amenaza a inundaciones está relacionada con la presencia de caudales importantes que pueden presentar situaciones de riesgo en las épocas de mayores precipitaciones, que para el caso se encuentran en dos picos abril-mayo y octubre-noviembre (Lavell, 2001, pp. 2-3).

Los riesgos asociados a este tipo de amenazas tienen graves consecuencias como la pérdida de cosechas, infraestructura y hasta la pérdida de vidas humanas que afectan el territorio a nivel económico, social y cultural, desplazando comunidades en busca de mejores condiciones para su desarrollo (Velandia, 2014, pp. 22-26).

Objetivos

General

Identificar áreas vulnerables al riesgo de inundaciones en el municipio de La Calera, Cundinamarca, mediante la metodología de análisis multicriterio; para dar recomendaciones al comité de gestión del riesgo municipal.

Específicos

Zonificar áreas con riesgo de inundación a través de la metodología análisis multicriterio y el uso del software de ArcGIS PRO.

Realizar la valoración cualitativa y cuantitativa de las áreas con riesgo de inundación zonificadas para el municipio.

Realizar el mapa de riesgo de inundaciones del municipio de La Calera, Cundinamarca, como una propuesta a la gestión territorial del riesgo.

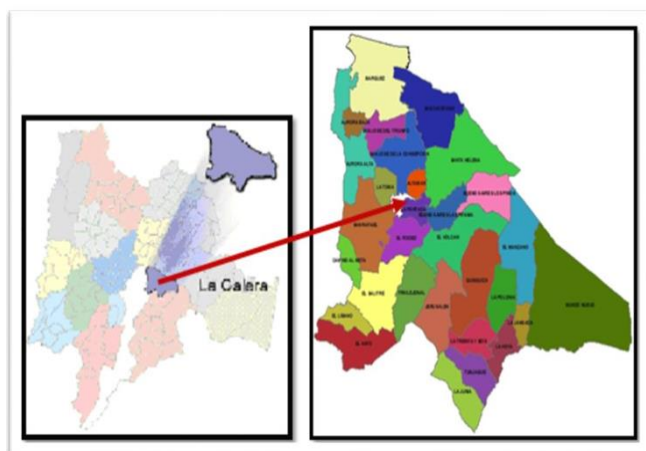
Identificación del caso de estudio

Localización.

La Calera se encuentra situada al oriente del departamento de Cundinamarca y al noreste de Bogotá. Su cabecera está localizada a los 4° 43' 17" de latitud norte y 73° 58' de longitud oeste de Greenwich; con respecto a la ciudad de Bogotá (capital de Colombia) en arco 0° 06' 29" este 28. (Fig.1).

- Extensión total: 31.743,79
- Extensión área urbana: 144.34 Km²
- Extensión área rural: 31.541,72 Km²
- Altitud (metros sobre el nivel del mar): 2.718 MSNM.
- Temperatura media: 14 grados°C
- Distancia de referencia: 18 kilómetros desde Bogotá.

Alcaldía Municipio de La Calera. Nuestro municipio. [en línea]. (2024).

Figura 1. Localización del municipio

Fuente: La Calera Cundinamarca. Mi municipio mapas. [en línea]. (3 diciembre 2024)

Figura 2. Topografía

Fuente: La Calera Cundinamarca. Mi municipio mapas. [en línea]. (3 diciembre 2024)

La Calera pertenece a las Vertientes del Magdalena y del Meta. Dos Ríos surcan el municipio El Teusacá y El Río Blanco. Río Teusacá: Nace en la Laguna del Verjón situada en el cerro de Monserrate y desemboca en el río Funza o Bogotá. Numerosas quebradas aumentan su caudal, siendo las más importantes

la del Hato, Marmaja, Cara de perro, Carrizal, Chocolatero, Cirujano, San Isidro, Siecha, Simayá y Aguas Claras (Montes, 2013, pp.38-39).

Río Blanco: Nace en la Laguna de Buitrago en límites con el municipio de Guasca, recibiendo en su trayecto quebradas bastante caudalosas como son: La Marmaja, La Ramada, Calostros, Jaboncillo que se forma por la unión de las quebradas Chocolatero y Palacio, además de la quebrada Blanca que recibe en los límites con Choachí. El río Blanco da sus aguas al río Negro en el sitio de la Unión (Montes, 2013, pp.38-39)

En algunas zonas no se presenta un descenso significativo de la precipitación ni de la humedad a mediados del año, debido a la influencia de los vientos húmedos provenientes de los Llanos Orientales y de la Amazonía condición que marca una tendencia monomodal en el comportamiento del clima (Rojas & López, 2017, pp.80-81)

El mes empleado en el análisis para riesgo de inundación es mayo para el periodo del 1991 - 2020.

Metodología

La metodología utilizada es el análisis multicriterio (AMC), para identificar las áreas vulnerables de riesgo de inundación en el municipio de La Calera.

El análisis multicriterio es un proceso analítico que permite identificar las diversas soluciones ante una problemática, en el presente estudio se integra el AMC con los sistemas de

información geográfica (SIG), utilizando la herramienta de ArcGIS Pro con información geoespacial (Métodos Para Realizar un Análisis Multicriterio En un SIG, 2022)

A continuación, se detallan las fases del proceso:

Tabla 1. *Criterios de análisis para riesgo de inundación.*

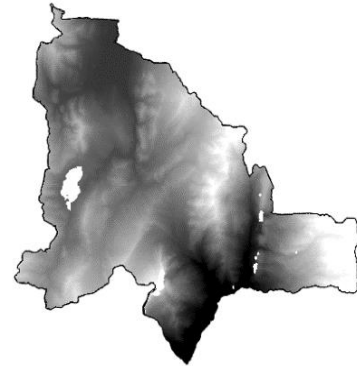
Factor	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de tierras	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Nota. En la tabla se muestra los factores y valores aplicados para el análisis de riesgo de inundaciones. Fuente. Autoría propia,2024

Inicialmente se realiza el cargue de las capas en el software ArcGIS Pro con los criterios anteriormente mencionados, como se muestra a continuación:

Modelo de elevación digital DEM: Estos datos son utilizados para cuantificar características de la superficie terrestre y su representación es un ráster.

Figura 3. DEM La Calera.

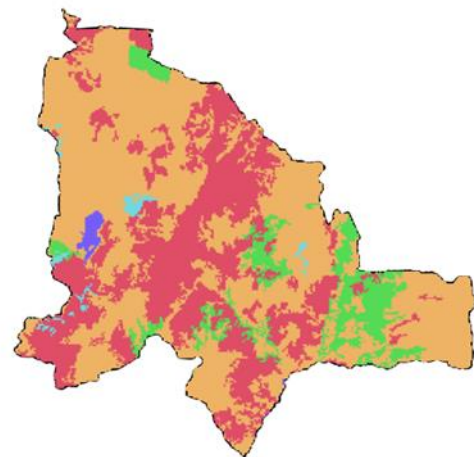


Fuente. Autoría Propia, 2024

Este Modelo de elevación se descarga del geoportal Earth Explorer. (USGS-U.S. Geological Survey, s/f) y se procede a cargar en el ArcGIS Pro.

Posteriormente se realiza el geoproceto reclasificar los factores de la Tabla 1 para que todas las capas tengan una escala común para el proceso de Modelación.

Figura 4. Reclasificación de cobertura de tierras.



Fuente. Autoría propia,2024.

Adicional, se realiza el proceso de suma ponderada la cual es una técnica en los sistemas de información geográfica para realizar la combinación de varias capas de datos, dando como resultado el Mapa de riesgo de inundación y se procede a clasificar cualitativa y cuantitativa el riesgo como se muestra en la siguiente tabla.

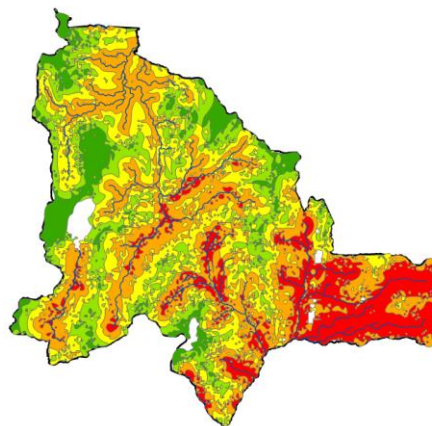
Tabla 2. Clasificación de riesgo de inundación

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

Nota. La tabla muestra la clasificación del riesgo de inundación en 5 niveles y utilizando colores para su identificación. Fuente. Autoría propia, 2024.

Finalmente, se reclasifica la capa de riesgo de inundación y se ajustan la simbología, adicional se debe hacer un proceso de capa ráster a vectorial y se realiza el cálculo de geometría, este paso es muy importante por ejemplo para determinar el tamaño del área que tiene mayor riesgo de inundación.

Figura 5. Mapa de riesgo de inundaciones del municipio de La Calera.



Nota. La imagen nos muestra el mapa en formato vectorial con ajuste de simbología. Fuente. Autoría propia, 2024.

Resultados

En la metodología utilizada de análisis multicriterio se obtuvieron los siguientes resultados:

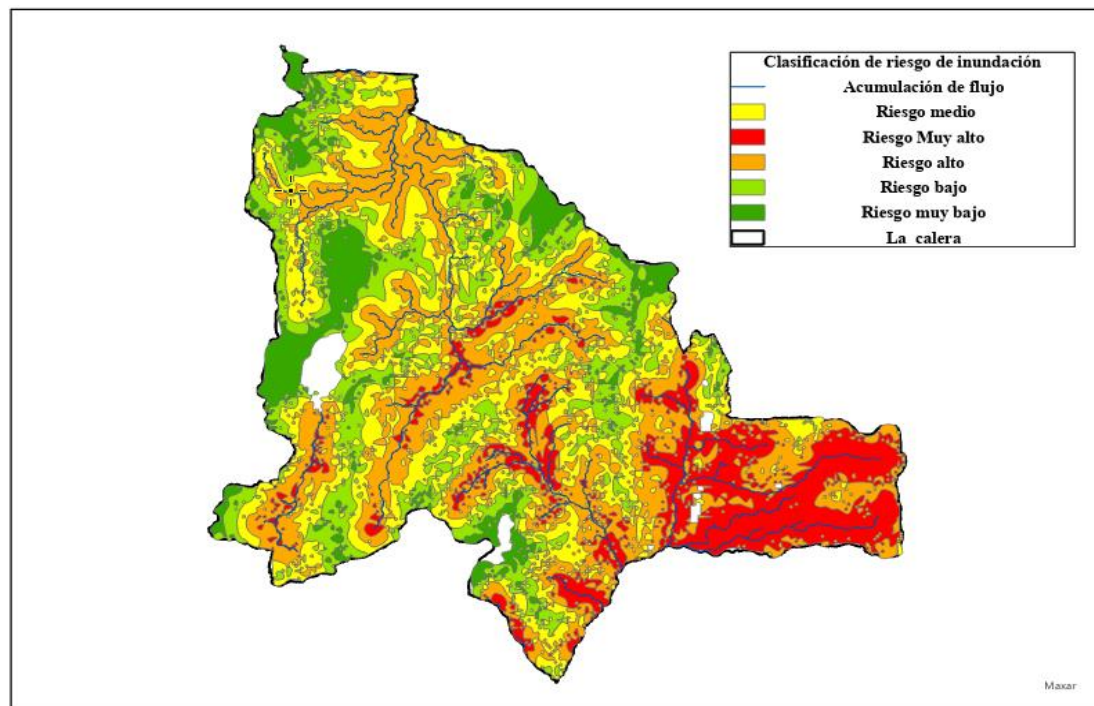
La extensión del municipio de La Calera es de 31743,79 ha, de las cuales se identifica las diferentes áreas de riesgo, como se muestra a continuación:

Tabla 3. Zonificación en hectáreas.

Clasificación del riesgo	Área Ha
Riesgo muy bajo	2705,29
Riesgo bajo	5727,36
Riesgo medio	8439,61
Riesgo alto	9980,23
Riesgo muy alto	4891,3
Total	31743,79

Nota. La tabla representa la clasificación del riesgo y el valor del área en Hectáreas. Fuente. Autoría Propia, 2024

Figura 6. Mapa de riesgo de inundaciones del municipio de La Calera.



Nota. En el mapa se identifican la clasificación de riesgo del municipio de La Calera, por colores según el criterio de riesgo, adicional la acumulación de flujo, lo cual nos va a ayudar a identificar el riesgo en cada zona. Fuente. Autoría propia, 2024

Las áreas zonificadas con riesgo alto y muy alto están distribuidas en las dos Cuencas Hidrográficas del municipio, La Cuenca del Río Blanco, zona de amortiguación del páramo de Chingaza ubicada en la Cordillera Oriental. Estas áreas se caracterizan por tener vegetación de tipo andina y altoandina, con condiciones topográficas de altas pendientes y con gran riqueza hídrica que se ve representada por las microcuencas que tributan al Río Blanco.

Las comunidades con mayor vulnerabilidad al riesgo de inundación son: Vereda Mundo Nuevo y El Manzano, asentadas en la parte alta de la Cuenca Río Blanco, con un aproximado de 300 familias, las cuales se sustentan económicamente de ganadería doble propósito (Producción de leche y carne) y que están a una

distancia del casco urbano de 27 Km. Según las condiciones descritas del territorio y los criterios de análisis de valoración del riesgo, esta zona presenta una mayor afectación por deslizamientos, debido a que cuenta con altas pendientes, adicional de que su actividad económica es la ganadería, lo cual, genera erosión en el suelo, sin embargo, los resultados nos arroja que la zona presenta riesgo alto y muy alto de inundaciones y esto se puede explicar al peso valorativo que tiene las precipitación y los drenajes que equivale al 65% comparado con el de la pendiente que tiene un peso representativo del 15% de acuerdo con los criterios de análisis para el riesgo de inundaciones.

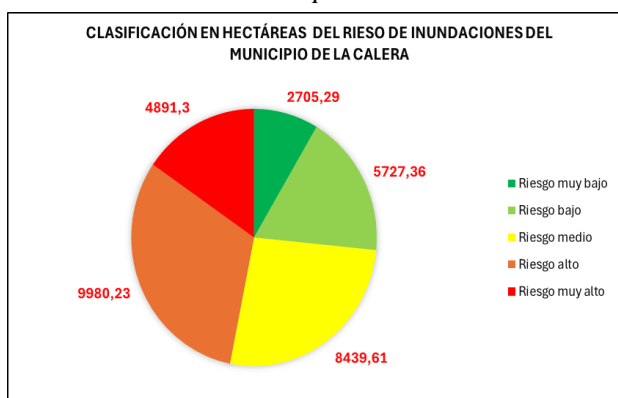
Las afectaciones que tienen las comunidades con riesgo alto y muy alto son: En la zona rural, es deslizamientos, posibles avalanchas, daños a carreteras, infraestructura, lo cual afecta la economía, dificultando el transporte de leche, ganado y cosechas, adicional las inundaciones pueden dañar cosechas y provocar pérdida de ganado.

En las zonas urbanas provoca daños en la infraestructura privada y pública, afectando la comunidad, adicional la economía del municipio.

Las zonas valoradas como riesgo Muy bajo, Riesgo bajo y Riesgo Medio están distribuidas en el municipio sobre la dos Cuencas Hidrográficas (Rio Teusaca y Rio Blanco), sin embargo, el casco urbano del municipio está dentro del área definida como Riesgo alto, esto debido a que el rio Teusaca atraviesa la cabecera municipal.

A continuación, se muestra en el grafico el valor en hectáreas del riesgo de inundaciones.

Figura 7. Clasificación en hectáreas del riesgo de inundaciones del municipio de la Calera.



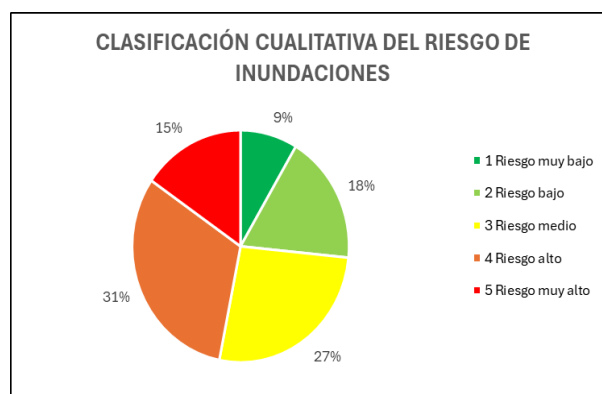
Nota. En el grafico se muestra los valores en hectáreas de cada área de riesgo y su

clasificación en colores. Fuente. Autoría propia,2024.

De acuerdo con la gráfica se evidencia que la zona de Riesgo muy alto cuenta con un área de 4891,3 Hectáreas, lo cual equivale al 15% del área total del municipio, sin embargo, la zona de Riesgo Alto cuenta con una extensión de 9980,23 Hectáreas, correspondiente al 31%.

Por otro lado, el Riesgo muy bajo tiene un área de influencia de 2705,29 hectáreas que equivale al 9% del área total, en cuanto al Riesgo bajo tiene un área de 5727,36 hectáreas dando un equivalente del 18% del área total, por último, el Riesgo medio tiene un área de 8439,61 hectáreas equivalente al 27% del área total.

Figura 8. Clasificación cualitativa del riesgo de inundaciones.



Nota. En el grafico se muestra los criterios de riesgo y los porcentajes aplicados a cada una de estas. Fuente. Autoría propia, 2024.

Conclusiones

En conclusión, de acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos se zonificaron las diferentes áreas del municipio de La Calera, Cundinamarca con algún tipo de amenaza de riesgo de inundación, valorándolas cualitativa y

cuantitativamente, lo que permite un enfoque para la gestión del riesgo dirigido a las comunidades identificadas en los riesgos de alto y muy alto riesgo definidas en el proceso.

El análisis multicriterio no solo ayuda a identificar las zonas de riesgo de inundaciones, sino que también ayuda en la toma de decisiones para prevenir cualquier amenaza. En el ejercicio trabajado se evidencia claramente que zonas tendrían un riesgo de inundación, lo cual ayuda a intervenir de manera anticipada.

Los sistemas de información geográfica (SIG) son esenciales para la aplicación de la metodología de análisis multicriterio, debido a su capacidad para integrar, procesar, analizar y representar datos espaciales, siendo muy útiles en la evaluación de impactos ambientales, ordenamiento territorial, restauración de ecosistemas, entre otros.

La determinación del riesgo para el área de estudio se realizó teniendo en cuenta las características de eventos ocurridos de variabilidad climática y su relación con los períodos de sequía y los tiempos de lluvias extremas. Es así como se comprueba que el cambio climático constituye un gran desafío para la gestión integral del recurso hídrico, el cual afectaría zonas de riesgo alto y muy alto de inundación. Es por esto, por lo que es necesaria la incorporación de diferentes medidas de adaptación y mitigación, que sirvan como estrategias y oportunidades para garantizar el desarrollo sostenible y el bienestar de los habitantes de la región para estar preparados a las variables físicas que genera el cambio y la variabilidad climática natural. (Rojas & López, 2017, pp.87)

Recomendaciones

Con la identificación de las zonas de riesgo por inundación en el municipio de La Calera Cundinamarca, es importante desde la gestión de las entidades públicas, las comunidades involucradas, la capacitación y planificación de un sistema de alertas tempranas para la prevención de este tipo de amenazas sobre las comunidades asentadas en los territorios.

No construir en zonas clasificadas con riesgo Alto y muy alto, señalizadas en el mapa con color rojo y naranja respectivamente, no es recomendable tener asentamientos humanos, en inmediaciones de la ronda del cauce del Río, Cuencas y Subcuencas Hidrográficas. Estos lugares fueron señalados en el mapa como los más propensos a ser inundados dado los cambios repentinos que se pueden presentar en el caudal y la alta posibilidad de una inundación tipo repentina, estas zonas representan el 46% del territorio de estudio, lo cual hace que exista una alta posibilidad de inundación.

No podemos establecer con exactitud cuando se va a desbordar el Río, pero si podemos tomar medidas de prevención y mitigar los daños, como realizar mantenimientos preventivos y correctivos en la red de alcantarillado pluvial, para que no existan colapsos en el sistema, de allí también la importancia de mantener las calles libres de residuos sólidos.

Se recomienda a la alcaldía generar planes de prevención como limpieza continua de los sistemas de alcantarillado.

- Revisión del ordenamiento territorial para evitar construir en zonas inundables.
- Implementar planes de respuesta donde debe estar involucrada la comunidad en la planificación y ejecución.

Referencias bibliográficas**Enlace de sustentación:**

<https://youtu.be/6aEwTSbe3nY>

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.biblio>

La Calera Cundinamarca. Mi municipio mapas. [en línea]. (3 diciembre 2024)
La Calera Cundinamarca. Mi municipio mapas.
<http://www.lacaleraCundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/GaleriadeMapas.aspx>

Métodos para realizar un Análisis Multicriterio en un SIG. (2022). MASTERGIS.
<https://mastergis.com/blog/metodos-analisis-multicriterio-sig>

Rojas & López, 2017. Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río blanco, en el municipio de la calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de Cundinamarca - car, pp.79-87) [Vista de Vulnerabilidad hídrica de la cuenca del río blanco, en el municipio de la calera, considerando los escenarios de cambio climático propuestos por la corporación autónoma regional de cundinamarca - car](#)