

IDENTIFICACION DE ZONAS CON RIESGO DE INUNDACION EN EL MUNICIPIO DE TENA CUNDINAMARCA MEDIANTE ANALISIS MULTICRITERIO

Autores:

Manuel Alejandro Cárdenas Valero - macardenasva@unadvirtual.edu.co

Jonnathan Ferney García Céspedes - jfgarciace@unadvirtual.edu.co

María Sofía Amaya Gómez - msamayag@unadvirtual.edu.co

Director de proyecto:

Luis Alejandro Ospina Sánchez - luisa.ospina@unad.edu.co

Resumen

Se lleva a cabo una serie de estudios mediante diversos procesos geospaciales, los cuales precisan una serie de datos e información pertinente, que permiten una serie de toma de decisiones imprescindibles hacia la mitigación y gestión del riesgo asociado a posibles inundaciones, desbordamiento y/o avalanchas que se puedan llegar a generar por precipitaciones inminentes en el municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca. Mediante la herramienta Software ArcGIS Pro, la cual nos suministra una amplia variedad de elementos mediante los cuales en una interacción óptima es posible la obtención de información y data necesaria para la generación de este tipo de archivos.

Palabras claves: Geo proceso, Análisis, Sistemas de Información Geográfica

Introducción

Las inundaciones son fenómenos naturales recurrentes que generan graves impactos en las comunidades humanas, el medio ambiente y la economía local. En Colombia, las zonas montañosas y las áreas ribereñas presentan una alta vulnerabilidad a este tipo de eventos debido a su configuración geográfica y climática. El municipio de Tena, Cundinamarca, no es ajeno a esta problemática, enfrentando riesgos asociados a precipitaciones intensas y al desbordamiento del río Bogotá, lo que afecta

tanto a las áreas agrícolas como a la infraestructura urbana.

A nivel nacional, se han implementado diversas estrategias para mitigar los riesgos de inundación, como el diseño de planes de ordenamiento territorial (POT) y el uso de herramientas de monitoreo y modelación geoespacial. Sin embargo, estos esfuerzos requieren una integración constante de datos actualizados y enfoques tecnológicos que permitan un análisis detallado y la toma de decisiones fundamentadas.

Este trabajo utiliza el análisis espacial multicriterio con soporte en herramientas SIG, específicamente ArcGIS Pro, para identificar y categorizar las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Tena. Este enfoque no solo facilita la comprensión del problema, sino que también contribuye al diseño de estrategias de mitigación que pueden ser aplicadas por las autoridades locales y regionales.

Objetivos

General:

Realizar un análisis espacial multicriterio para identificar zonas de riesgo de inundación en el municipio de Tena, Cundinamarca.

Específicos:

Aplicar técnicas de reclasificación y ponderación en un modelo SIG para evaluar los niveles de riesgo.

Identificar las zonas de riesgo alto y muy alto enfocadas a la comunidad vulnerable alojada en estas zonas.

Proponer estrategias de mitigación y manejo de riesgo basadas en los resultados obtenidos.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Tena se encuentra en el departamento de Cundinamarca, dentro de la región central de Colombia. Está situado a una altitud promedio de 1.400 metros sobre el nivel del mar y tiene un área predominantemente montañosa, con pendientes variables que lo hacen susceptible a eventos de deslizamientos e inundaciones. Tena forma parte de la cuenca del río Bogotá, un elemento clave en el sistema hidrográfico regional, que influye significativamente en las dinámicas hídricas y

de riesgo del territorio. (IDEAM, REPORTE CLIMATICOS REGIONALES , 2024)

En términos climáticos, Tena experimenta un clima templado-húmedo, con una temperatura promedio anual de aproximadamente 18 °C. Las precipitaciones se concentran en los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, siendo octubre el mes más lluvioso según datos históricos regionales. Estas condiciones favorecen la ocurrencia de inundaciones en áreas bajas, especialmente durante las temporadas de lluvias intensas, que aumentan el caudal de los ríos y la saturación del suelo.

La economía local está basada principalmente en la agricultura, con cultivos de café, plátano y frutas, además de actividades turísticas. Sin embargo, las infraestructuras agrícolas y turísticas ubicadas en las zonas de ladera y ribereñas del río están expuestas a riesgos significativos durante las temporadas de lluvias, lo que subraya la necesidad de estrategias efectivas de gestión del riesgo en este territorio. (DANE, 2024)

Metodología

El presente estudio se desarrolló utilizando el análisis espacial multicriterio, una técnica que permite integrar diversas variables geográficas y ambientales para evaluar y categorizar zonas de riesgo de inundación. Para ello, se empleó el software ArcGIS Pro, reconocido por su capacidad para manejar grandes cantidades de datos espaciales y realizar análisis avanzados. El proceso metodológico se estructuró en las siguientes etapas:

1. Recolección y preparación de datos

Se recopilaron capas de información geográfica relevantes, como:

- **Modelo de elevación digital (DEM):** Para analizar las características del relieve y su relación con el flujo de agua de la siguiente forma:

Se procedió a extraer el modelo de elevación digital del municipio específico desde los datos tipo raster obtenidos del geo portal USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) y mediante un archivo shapefile que discrimina los todos los municipios del país, inicia el proceso de exportar datos, tomamos el municipio de Tena con la opción de seleccionar para obtener la modelación digital únicamente de este municipio.

Figura 1. DEM Tena Cundinamarca

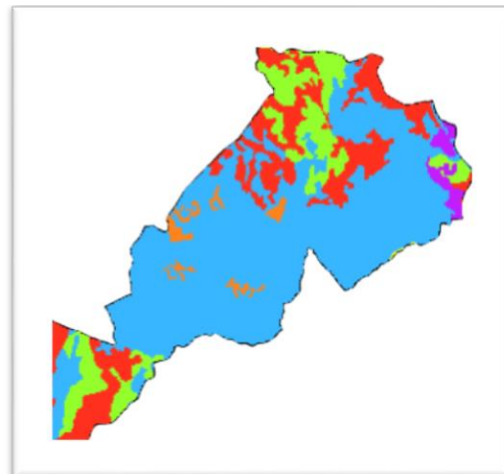


Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000

- **Mapa de uso y cobertura del suelo:** Para identificar áreas de mayor impermeabilidad que puedan aumentar el riesgo de inundación de la siguiente manera:

Usando geo procesos de “Recorte (clip) y disolver (dissolve) aplicados a la capa shapefile del mapa coberturas de la tierra Adaptación Corine Land Cover. República de Colombia.

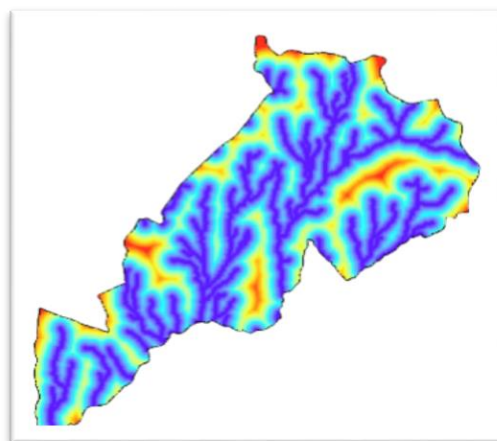
Figura 2. Cobertura de suelo Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000 periodo 2018

- **Capas de red hídrica y proximidad a cuerpos de agua:** Para evaluar la exposición de las zonas al riesgo de desbordamiento. Mediante la opción “desviación típica” se visualiza los drenajes del municipio, de igual forma se implementó la distancia entre canales obteniendo detalladamente el Flujo de acumulación desde la capa raster FlowAcc

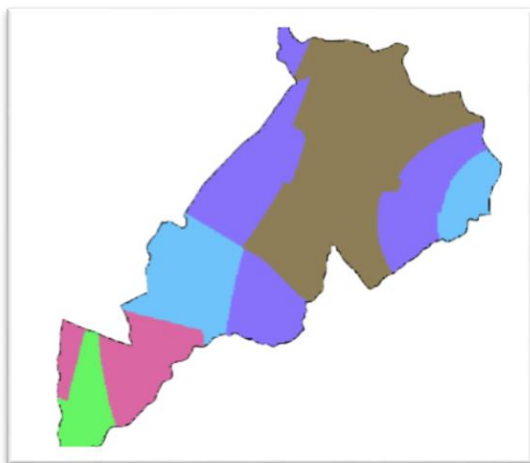
Figura 3. Drenajes FlowAcc Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000

- **Datos climáticos históricos:** Incluyendo la precipitación del mes más lluvioso (octubre). Obtenido de un archivo tipo TIFF que contiene toda la información de precipitaciones por mes para toda Colombia, mediante el procedimiento de extracción por máscara para el municipio de Tena.

Figura 4. Precipitaciones Octubre Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000

2. Definición de criterios y reclasificación

Los datos fueron transformados y reclasificados en categorías según su nivel de influencia en el riesgo de inundación:

Elevación: Áreas bajas asignadas con mayor peso en la susceptibilidad al riesgo. Obtenido de procesos de curvas de nivel el cual está dentro de las herramientas Spatial Analyst.

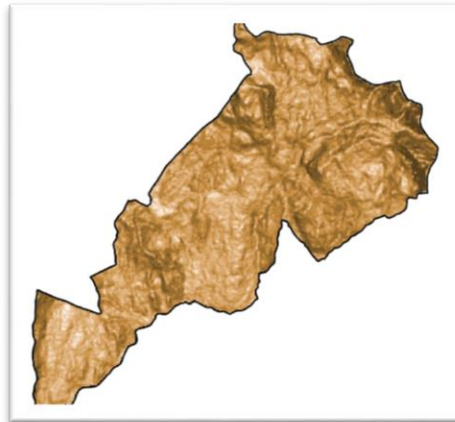
Figura 5. Curvas de nivel Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas

- **Pendiente:** Zonas con pendientes mínimas clasificadas con mayor riesgo debido a la acumulación de agua. Obtenido de procesos de pendientes (Slope) el cual está dentro de las herramientas Spatial Analyst.

Figura 6. Pendientes Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000

- **Proximidad a cuerpos de agua:** Áreas más cercanas clasificadas como de mayor riesgo.
- **Uso del suelo:** Áreas urbanizadas y agrícolas asignadas con mayor peso debido a la vulnerabilidad de estas actividades. (IDEAM, Guías técnicas para el manejo de inundaciones, 2024)

3. Asignación de ponderaciones

Se utilizó el método AHP (Analytic Hierarchy Process) para asignar pesos a los criterios según su importancia relativa en el análisis. Este proceso fue validado mediante consultas con expertos en gestión de riesgos y revisión bibliográfica.

4. Análisis de suma ponderada

Las capas reclasificadas se combinaron mediante el modelo de suma ponderada en ArcGIS Pro, generando un mapa final que

clasifica las zonas de Tena en cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

5. Validación y análisis de resultados

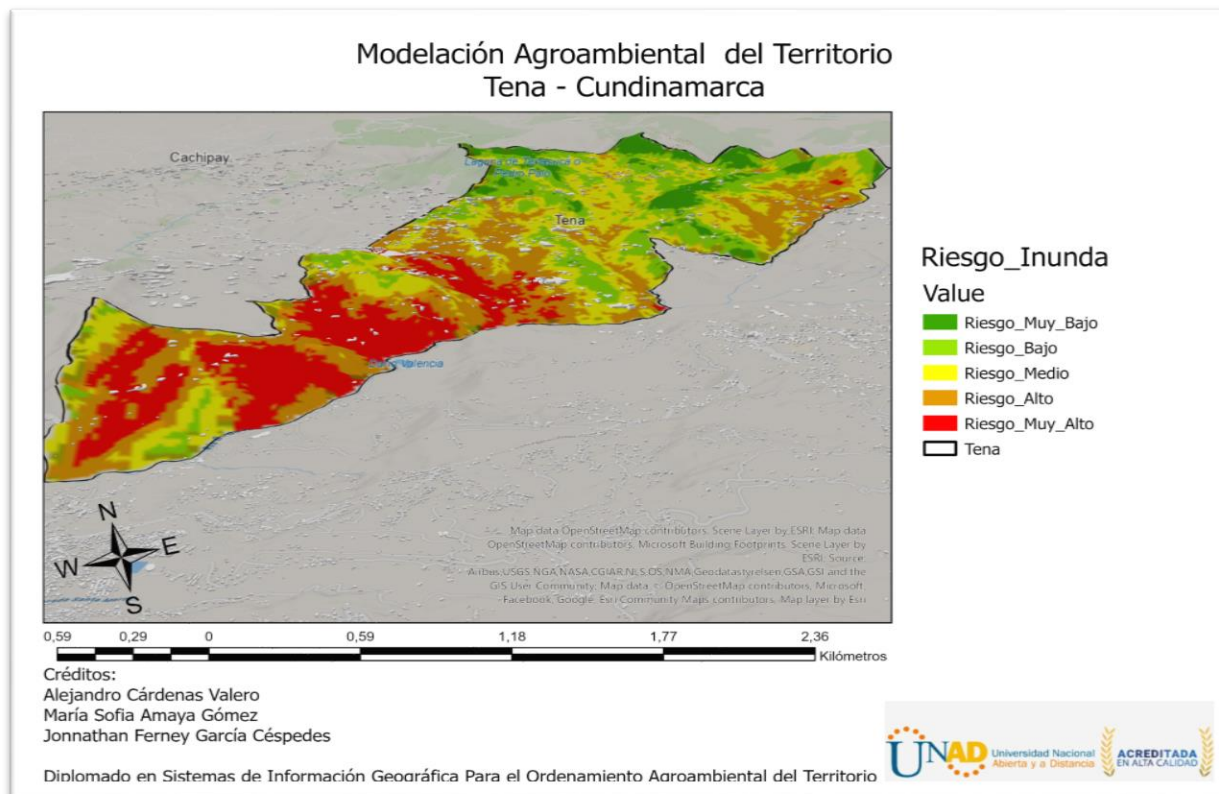
Los resultados fueron comparados con datos históricos de inundaciones reportadas en el municipio, confirmando la concordancia del modelo con las áreas previamente afectadas. Además, se realizaron revisiones cruzadas para garantizar la precisión de los mapas generados.

Esta metodología permitió identificar patrones espaciales críticos y proporcionar insumos visuales para la toma de decisiones en la planificación y mitigación del riesgo. (Saaty, 1990)

Resultados

Mediante el desarrollo del geo procesos suministrados por el aplicativo SIG logramos obtener como resultado la proyección de un mapa zonificado con una categorización de las zonas del municipio de Tena que se encuentran en un riesgo de posible inundación, como lo demostramos en la siguiente figura.

Figura 7. Mapa de Riesgo por Inundación municipio de Tena Cundinamarca



Fuente. Autoría propia 2024, Obtenido de Colombia en Mapas - Escala 1:100000

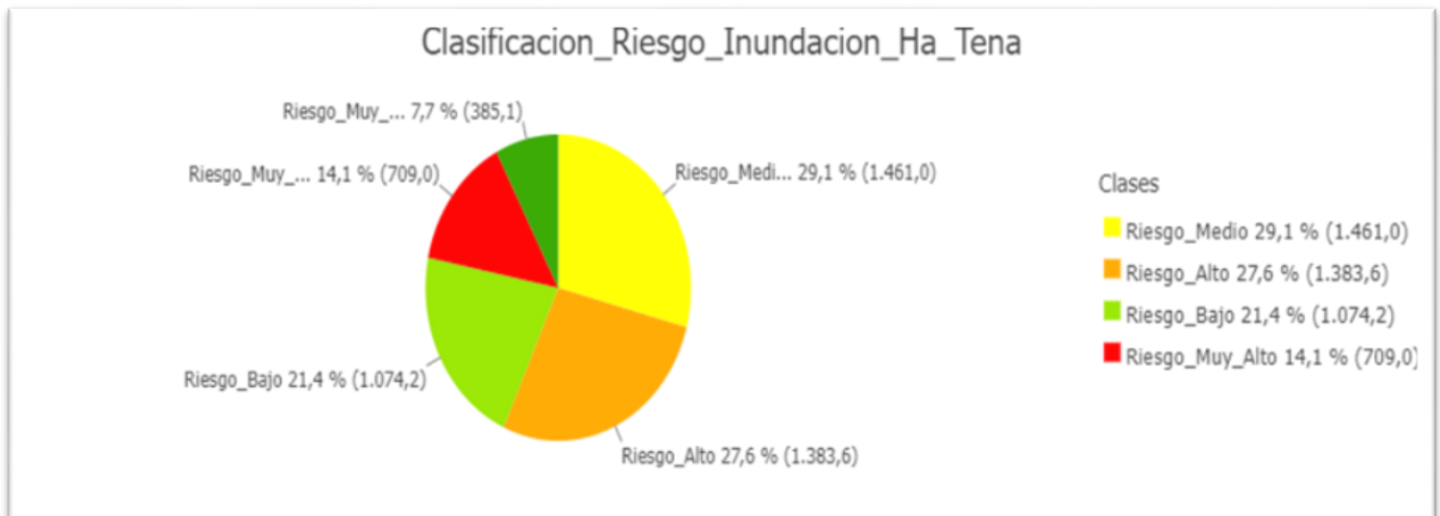
De igual modo se obtuvo el proceso de datos y análisis en el cual se evidencia las áreas de posibles afectaciones por inundación.

Tabla 1. Determinación de áreas afectadas

| gridcode | Class_Riesgo_Inundacion | Areá_Ha |
|----------|-------------------------|---------|
| 1 | Riesgo Muy Bajo | 385,09 |
| 2 | Riesgo Bajo | 1074,18 |
| 3 | Riesgo Medio | 1460,99 |
| 4 | Riesgo Alto | 1383,60 |
| 5 | Riesgo Muy Alto | 708,99 |

Fuente: Autoría propia, 2024.

Grafica 1. Porcentajes Clasificación por Riesgo. Municipio de Tena Cundinamarca



Fuente: Autoría propia, 2024.

Mediante los procesos de la información obtenida se da a conocer el porcentaje de las zonas según el nivel de riesgo asociado a inundaciones, donde es posible denotar las zonas de Riego alto y Riesgo Muy Alto se encuentra ubicada en la parte baja del municipio, donde territorialmente es zona de ladera y rivera del Rio Bogotá, en el cual la infraestructura de algunas fincar agrícolas y turísticas así como la central hidroeléctrica “Darío Valencia Samper”, a los que probablemente generen afectación social y ambiental.

Conclusiones

El análisis espacial multicriterio realizado en el municipio de Tena, Cundinamarca, permitió identificar las áreas de mayor riesgo de inundación, particularmente en las zonas cercanas al río Bogotá y en las áreas de ladera. Los resultados obtenidos a través del modelo de suma ponderada mostraron que las zonas clasificadas como de **"riesgo muy alto"** y **"riesgo alto"** corresponden a áreas bajas y cercanas a cuerpos de agua, zonas en las que se evidencio comunidad de producción agrícola, agroturismo y una central eléctrica, lo que respalda la hipótesis de que la proximidad a los ríos y las pendientes bajas incrementan la susceptibilidad a inundaciones.

El uso de la herramienta SIG y el enfoque de análisis multicriterio fue idóneo para este estudio, ya que permitió integrar múltiples variables de manera objetiva y cuantificable. La metodología se validó con datos históricos de inundaciones, lo que confirma la precisión del modelo y su capacidad para reflejar las dinámicas del territorio de manera efectiva. Sin embargo, se debe reconocer que los resultados son específicos para el contexto de Tena, y su aplicabilidad en otras regiones dependerá de las

características geográficas, climáticas y de uso del suelo de cada área.

Es importante señalar que, aunque el análisis ha proporcionado una visión clara del riesgo en el municipio, los resultados deben ser considerados como una herramienta complementaria para la toma de decisiones, no como una solución definitiva. Las condiciones del terreno y el clima podrían cambiar con el tiempo, por lo que las estrategias de gestión del riesgo deben ser revisadas y actualizadas periódicamente para mantenerse efectivas frente a nuevos escenarios.

En resumen, los resultados del estudio ofrecen una base sólida para diseñar medidas de mitigación del riesgo de inundación en Tena, pero siempre deben ser adaptadas a las condiciones locales y actualizadas conforme a nuevos datos e información geoespacial.

Recomendaciones

Dado que las áreas cercanas al río Bogotá y las zonas de ladera presentan un alto riesgo de inundación, es crucial que el ordenamiento del territorio promueva un uso del suelo que minimice la vulnerabilidad. Se debe evitar la expansión de actividades agrícolas y urbanas en las zonas de mayor riesgo, especialmente en las áreas catalogadas con “riesgo muy alto” y “riesgo alto”. A su vez, se debe priorizar el uso de tecnologías sostenibles en las zonas agrícolas para reducir la erosión del suelo y evitar la impermeabilización del terreno.

Para mitigar el riesgo de inundaciones y la escorrentía en zonas urbanas y rurales, se recomienda implementar infraestructura verde, como la creación de zonas de absorción de agua, sistemas de drenaje sostenible, y la restauración de ecosistemas naturales. Estas acciones permitirán mejorar la infiltración de agua y reducir los efectos negativos de las precipitaciones intensas.

También es fundamental implementar programas de sensibilización para los residentes y agricultores de tena, destacando la importancia de la protección de las fuentes hídricas y las medidas preventivas ante posibles inundaciones. Estos programas pueden incluir prácticas de cultivo sostenibles, técnicas de conservación del suelo y la importancia de no invadir áreas de riesgo.

Por último, es necesario que el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio se actualice y adapte a los nuevos hallazgos sobre las áreas de riesgo de inundación. Esto debe incluir la definición clara de zonas de evacuación y la creación de áreas de contención natural. Además, se debe promover la protección de cuencas hidrográficas y su uso adecuado en la planificación de desarrollos urbanos y rurales.

Enlace de sustentación:
<https://youtu.be/coFI8Ur3Uwk>

Referencias bibliográficas

- DANE. (2024). *CARACTERIZACION MUNICIPAL DE TENA*. CUNDINAMARCA: DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA.
- Galvis García, R. E. (2020). *Guía Resumen del Estilo APA Séptima Edición*. Universidad Santo Tomás.
- IDEAM. (2024). *Guías técnicas para el manejo de inundaciones*. Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales.
- IDEAM. (2024). *REPORTES CLIMATICOS REGIONALES*. INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES .
- Saaty, T. (1990). *the analytic hierartic hierarchy process: priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.