

Evaluación del riesgo de inundación en el municipio de sotaquirá boyacá, utilizando sistemas de información geográfica para la planificación agroambiental del territorio

Autores:

Laura Sofia Pérez Montañez – lsperez@unadvirtual.edu.co

Santiago Alfonso Albarracín Rojas – saalbarracinro@unadvirtual.edu.co

Sergio Andrés Pedroza – sapedroza@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa

Resumen

El trabajo aborda la modelación agroambiental del territorio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis multicriterio para la gestión de riesgos, específicamente las inundaciones, en el municipio de Sotaquirá. El objetivo principal es identificar y clasificar áreas de riesgo de inundación para orientar la toma de decisiones en ordenamiento ambiental y desarrollo territorial. La metodología incluye la integración de capas de datos geoespaciales como el modelo de elevación digital (DEM), pendientes, cobertura de tierras, patrones de precipitación y proximidad a cuerpos de agua. Se emplean procesos como reclasificación y transformación de datos para generar mapas precisos de riesgo. El análisis del riesgo de inundación en Sotaquirá, Boyacá, clasifica el territorio en diferentes niveles de riesgo. La categoría de riesgo medio cubre el 39,4% del área total (10.930,2 hectáreas), destacándose como la más prevalente. Las zonas de riesgo alto y muy alto abarcan el 20,3% del territorio, distribuidas en 3.729,2 hectáreas (13,5%) y 1.879,6 hectáreas (6,8%), respectivamente. Este enfoque evidencia el impacto potencial sobre comunidades, ecosistemas e infraestructuras, promoviendo estrategias de mitigación.

Palabras claves: Análisis multicriterio, Modelación de riesgos, Sistemas de información geográfica

Introducción

Las inundaciones en Colombia representan una amenaza constante, exacerbada por el cambio climático y la urbanización descontrolada. Herramientas avanzadas, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han demostrado ser esenciales para la identificación de áreas

vulnerables y la planificación de estrategias de mitigación (Gabriela & Bravo, 2022). Estudios recientes han señalado que los SIG permiten integrar datos geoespaciales, topográficos y socioeconómicos para modelar escenarios de riesgo y priorizar intervenciones, como evidenciado en investigaciones sobre zonas

urbanas y rurales del país (Feged Rivadeneira, 2024).

Un ejemplo destacado es el Sistema de Alerta de Inundaciones desarrollado en Colombia, que combina datos meteorológicos y socioeconómicos para anticipar riesgos con una ventana de 168 horas. Este modelo aplica tecnologías avanzadas para ajustar índices de riesgo y estimar impactos en población, infraestructura y ecosistemas.

Este estudio aborda la modelación agroambiental del riesgo de inundaciones en el municipio de Sotaquirá, integrando datos críticos como el modelo de elevación digital, pendiente y cobertura de tierras, con el fin de identificar áreas de alto riesgo y proponer medidas para un ordenamiento territorial sostenible.

Objetivos

General

Evaluar un modelo de riesgo de inundación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis multicriterio, con el fin de identificar y categorizar áreas vulnerables en un municipio colombiano, promoviendo un ordenamiento territorial sostenible y resiliente.

Específicos

Implementar un modelo de análisis multicriterio que integre factores geoespaciales como pendiente, cobertura de tierras, precipitación y proximidad a cuerpos de agua, para evaluar las zonas de riesgo de inundación.

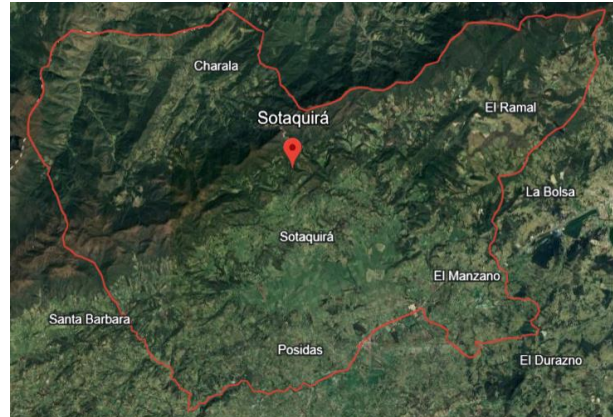
Diseñar y generar mapas temáticos de riesgo de inundación, utilizando herramientas SIG, para facilitar la visualización de áreas críticas y apoyar la toma de decisiones.

Identificar la vulnerabilidad del territorio ante riesgos de inundación a través de la interpretación de los mapas generados.

Identificación del caso de estudio

Figura 1.

Mapa de Sotaquirá - Boyacá



Fuente: Google Earth, 2024

Sotaquirá, Boyacá, está ubicado en la región del altiplano cundiboyacense a una altitud promedio de 2,700 metros sobre el nivel del mar, lo que le confiere un clima frío con temperaturas que oscilan entre los 12°C y 15°C, su economía se centra en la agricultura, destacándose cultivos de papa, cebolla, y cereales, así como en la ganadería. La topografía del municipio se caracteriza por pendientes pronunciadas y valles intermontanos que favorecen la escorrentía superficial durante las temporadas de lluvia intensa. La hidrografía está dominada por una red de ríos y quebradas, siendo estas zonas particularmente vulnerables a inundaciones debido a la acumulación de agua en áreas bajas. El régimen de precipitación es bimodal, con picos significativos en abril y octubre, coincidiendo con las temporadas de lluvias intensas en la región Andina. Estas lluvias, combinadas con la geomorfología y el uso del suelo (principalmente agrícola), incrementan la susceptibilidad del territorio a inundaciones y erosión.

Históricamente, Sotaquirá ha enfrentado problemas relacionados con inundaciones en zonas cercanas a cuerpos de agua. Estos eventos han causado daños en cultivos como papa y cebolla, principales actividades económicas de la región. La vulnerabilidad se agrava por la limitada infraestructura de drenaje y la ocupación de áreas propensas a la acumulación de agua. Estas inundaciones, exacerbadas por patrones climáticos cambiantes, han sido objeto de estudios que destacan la importancia de implementar estrategias de ordenamiento territorial basadas en análisis geoespacial.

La integración de tecnologías SIG en la planificación agroambiental ha permitido mapear áreas críticas y proponer medidas de mitigación. Este enfoque es clave para reducir el impacto de futuros eventos y garantizar la sostenibilidad del desarrollo regional.

Metodología

Obtención y procesamiento de datos

Modelo Digital de Elevación (DEM): Se generó un modelo de elevación que permite analizar las características topográficas de la región.

Pendiente: A partir del DEM, se derivó un mapa de pendientes para identificar áreas con inclinaciones significativas que podrían contribuir a riesgos de movimientos de masa.

Precipitación: Se incorporaron datos climáticos para analizar patrones de lluvia y su influencia en la acumulación y dirección del flujo hídrico.

Coberturas: Se clasificaron las coberturas de suelo para evaluar las características de uso y su relación con la susceptibilidad a riesgos.

Análisis hidrológico

Dirección del flujo: Se modeló el flujo hídrico para identificar cómo el agua se desplaza a través de la superficie terrestre.

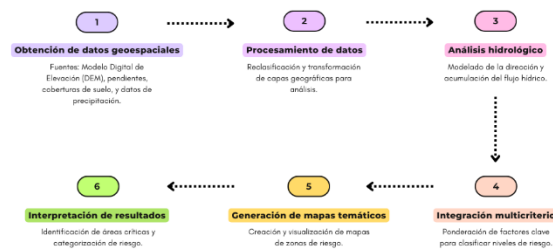
Acumulación de flujo: Este análisis identificó las áreas donde se concentra el flujo, lo que podría indicar zonas propensas a inundaciones.

Identificación de zonas de riesgo

Integrando los mapas de pendientes, dirección y acumulación de flujo, junto con las coberturas y datos de precipitación, se clasificaron las zonas en diferentes niveles de riesgo: bajo, medio, alto y muy alto.

Figura 2.

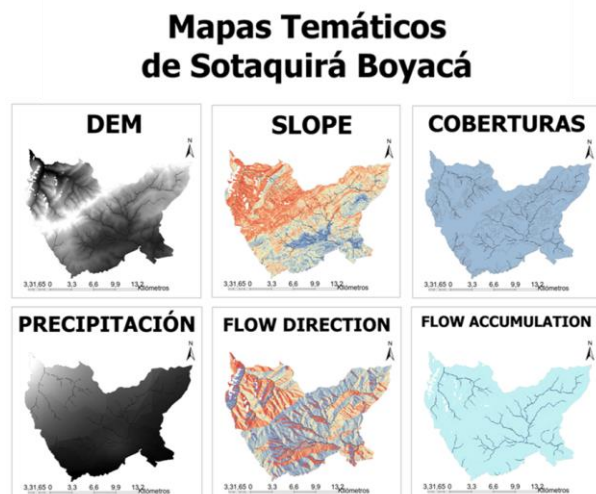
Diagrama de la metodología para la evaluación del riesgo de inundación del municipio de Sotaquirá Boyacá

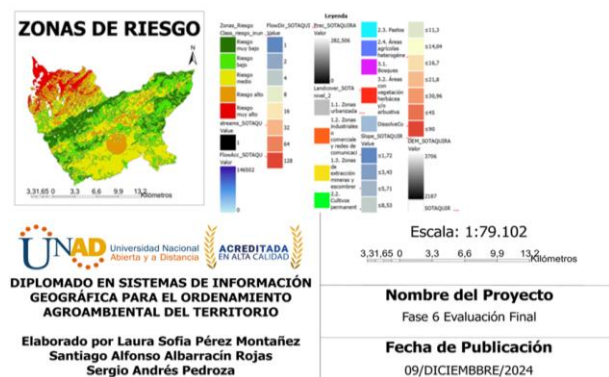


Fuente. Autoría Propia, 2024.

Figura 3.

Mapas temáticos de Sotaquirá Boyacá





Fuente. Autoría Propia, 2024.

Representación y visualización

Los resultados del análisis se representaron en una serie de mapas temáticos que permiten visualizar los distintos factores involucrados.

Tabla 1.

Capas principales de Sotaquirá Boyacá

Capas	
1	DEM
2	Pendiente (Slope)
3	Coberturas
4	Precipitación
5	Dirección del flujo (Flow Direction)
6	Acumulación de flujo (Flow Accumulation)
7	Zonas de riesgo

Nota. Esta tabla muestra capas principales de Sotaquirá Boyacá. Fuente. Autoría Propia

Resultados

Tabla 2.

Reclasificación de riesgo por inundación

Clasificación Cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	[Color Verde Oscuro]
Riesgo bajo	2	[Color Verde Claro]
Riesgo medio	3	[Color Amarillo]
Riesgo alto	4	[Color Naranja]
Riesgo muy alto	5	[Color Rojo]

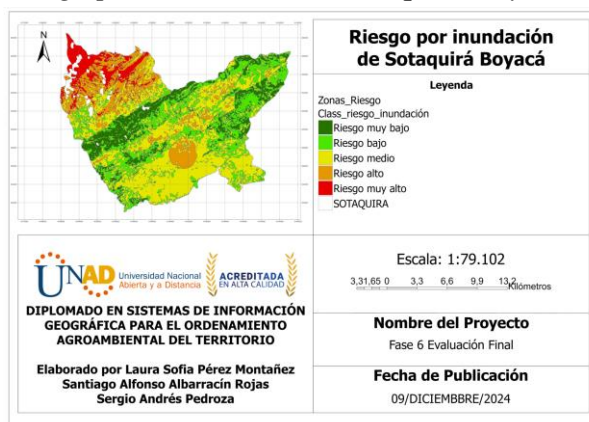
Nota. Esta tabla muestra la reclasificación de riesgo por inundación de acuerdo con su

clasificación cuantitativa, valores y simbología. Fuente. Autoría Propia

Se da a conocer en la **Tabla 2** la clasificación cualitativa de acuerdo con sus valores y simbología, esto determinando los niveles de riesgo por inundación con los que cuenta el territorio de Sotaquirá Boyacá.

Figura 4.

Riesgo por inundación de Sotaquirá Boyacá.



Fuente. Autoría Propia, 2024.

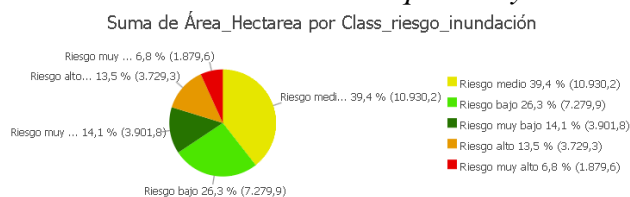
Tabla 3.

Reclasificación de riesgo por inundación Sotaquirá Boyacá

gridcode	Class_riesgo_inundación	Área_Hectare
1	Riesgo muy bajo	3901,7
2	Riesgo bajo	7279,8
3	Riesgo medio	10930,2
4	Riesgo alto	3729,2
5	Riesgo muy alto	1879,6

Nota. Esta tabla muestra la reclasificación de riesgo por inundación de Sotaquirá Boyacá de acuerdo con sus valores (gridcode), clasificación cuantitativa (Class_riesgo_inundación) y área (Área_Hectarea), siendo el área calculada por hectáreas. Fuente. Autoría Propia

Figura 5.
Grafica de porcentaje de riesgo por inundación del Área en Hectáreas de Sotaquirá Boyacá



Fuente. Autoría Propia, 2024.

El análisis del mapa de Sotaquirá Boyacá generado en ArcGIS Pro (**Figura 4**), su tabla de atributos (**Tabla 3**) y porcentajes (**Figura 5**) muestra que la categoría de riesgo medio cubre la mayor parte del territorio, aproximadamente 10,930,2 hectáreas, con el 39,4% del área total. Esto indica que una gran parte del municipio tiene cierta probabilidad de sufrir inundaciones, aunque no en niveles extremos.

Figura 6.
Riesgo por inundación y Arroyos de Sotaquirá Boyacá.

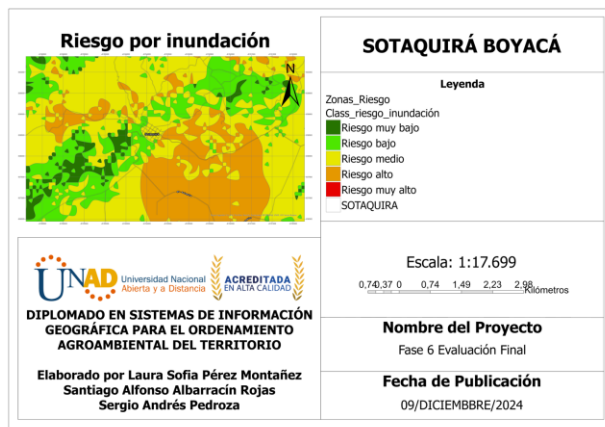


Fuente. Autoría Propia, 2024.

Por otro lado, las zonas clasificadas como riesgo muy alto y riesgo alto abarcan cerca de 1,879,6 hectáreas (6.8%) y 3,729,2 hectáreas (13,5%), con un total de 20,3% en áreas de mayor riesgo, siendo las más vulnerables y requiriendo acciones prioritarias de manejo y

mitigación. Estas zonas con mayor riesgo se ubican principalmente cerca de los principales ríos y arroyos como se observa en la **Figura 6** demarcación de las cuencas, también en áreas bajas y propensas a la acumulación de agua. Estas zonas a menudo corresponden a valles y áreas de uso agrícola y ganadero intensivo. Además, las categorías de riesgo muy bajo y riesgo bajo representan una porción importante del territorio, con 3,901,7 hectáreas (14.1%) y 7,279,8 hectáreas (26.3%), con un total de 40,4% en áreas de menor riesgo, respectivamente siendo menos susceptibles a inundaciones, posiblemente debido a factores como su elevación o mejores condiciones de drenaje. Las zonas de menor riesgo se encuentran en las partes más elevadas del municipio, con mayor inclinación del terreno y suelos que permiten una buena absorción del agua.

Figura 7.
Sotaquirá Boyacá.



Fuente. Autoría Propia, 2024.

Sotaquirá Boyacá está situada entre montañas de la cordillera oriental de los Andes, con una combinación de valles, pendientes y áreas planas. Tiene suelos fértiles, lo que lo hace ideal para actividades agrícolas y ganaderas, a pesar de que en algunas zonas hay restricciones

debido a la erosión y la compactación del suelo. Principalmente su pueblo, se encuentra en un riesgo de inundación promedio, ya que cuenta con un riesgo bajo y riesgo medio, demostrando que esta zona se encuentra en un área alta sin problemas de riesgo por inundación para la población, como se observa en la **Figura 7**.

En términos del impacto potencial, las inundaciones pueden causar serios problemas para las personas y el entorno en Sotaquirá. Las comunidades que viven en zonas de riesgo medio o alto enfrentan grandes desafíos, ya que estas áreas rurales cerca de ríos y quebradas son vulnerables a las inundaciones durante la temporada de lluvia. Esto pone en peligro sus viviendas y puede provocar la pérdida de bienes personales y daños a la infraestructura básica que utilizan diariamente.

Además, la infraestructura como caminos rurales, puentes y sistemas de riego pueden verse gravemente afectados por el aumento de caudales o desbordamientos. Esto dificulta la movilidad de las personas y el transporte de productos agrícolas, lo que puede tener consecuencias económicas negativas a nivel local y regional.

Asimismo, el impacto en los sistemas agrícolas es alarmante, ya que cultivos importantes como la papa y el maíz dependen de un suelo con un equilibrio hídrico adecuado.

A largo plazo, estas pérdidas pueden dejar la tierra menos productiva. Para los pequeños agricultores, esto no solo significa una reducción de ingresos, sino también problemas para abastecer sus alimentos. Además, los ecosistemas locales también estarían en riesgo. Las zonas de alto y muy alto riesgo a menudo incluyen humedales o áreas ribereñas que, si bien se han adaptado naturalmente al agua, podrían sufrir importantes alteraciones debido a cambios en los flujos de agua y sedimentos.

Estos ecosistemas cumplen funciones clave, como la regulación climática y la provisión de hábitats para muchas especies, por lo que cualquier daño podría tener un efecto dominó.

Conclusiones

El análisis de las inundaciones en Sotaquirá indica que las zonas de riesgo medio son las predominantes, mientras que las áreas de alto riesgo, aunque reducidas, son las más críticas y requieren atención. Este hallazgo destaca la necesidad de incorporar herramientas de sistemas de información geográfica en la planificación agroambiental, con el fin de desarrollar acciones para mitigar y adaptarse al cambio climático.

El comportamiento de las lluvias en Sotaquirá refleja patrones característicos de la región Andina, evidenciando ciclos de alta variabilidad que pueden influir tanto en la productividad agrícola como en la estabilidad de los ecosistemas.

Las zonas de riesgo medio, que representan el 39.4% del territorio (10,930.2 hectáreas), incluyen áreas agrícolas significativas. Esto subraya la necesidad de implementar prácticas agroambientales sostenibles para proteger cultivos esenciales como papa y cebolla frente a posibles inundaciones moderadas.

Recomendaciones

Fortalecer la infraestructura de drenaje en áreas críticas de alto y muy alto riesgo, especialmente las cercanas a cuerpos de agua. Paralelamente, promover programas de reforestación en las cuencas hidrográficas para mejorar la capacidad de absorción y reducir la escorrentía superficial.

Establecer sistemas de alerta temprana que integran tecnologías SIG y datos meteorológicos para anticipar eventos de

inundación. Esto permitirá tomar decisiones oportunas y reducir el impacto en comunidades vulnerables.

Diseñar programas educativos para las comunidades en riesgo, orientados a la preparación y respuesta frente a inundaciones. Esto incluye la capacitación en la construcción de viviendas seguras y el uso de tecnologías sostenibles para minimizar daños.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Sotaquirá. (2023). Plan de desarrollo 2020-2023: Sotaquirá para todos. <http://www.sotaquiraboyaca.gov.co/buscar?q=Plan%20de%20desarrollo%202020-2023>
- Duckham, M. (2024). Chapter 8. Cartography and geovisualization. En M. Duckham., Q. Sun y M. Worboys (Eds), GIS A Computing Perspective. Third Edition (pp. 307-347). CRC Press Taylor & Francis Group. <https://directory.doabooks.org/handle/2050.12854/112608>
- 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>
- Feged Rivadeneira, A. (2024). Sistema de Alerta de Inundaciones y Deslizamientos: análisis de riesgo. La Silla Vacía. [https://www.lasillavacia.com/red-de-expertos/red-de-democracia-y-tecnologia/sistema-de-alerta-de-](https://www.lasillavacia.com/red-de-expertos/red-de-democracia-y-tecnologia/sistema-de-alerta-de-inundaciones-y-deslizamientos-en-colombia-analisis-de-riesgo-para-la-semana-2-7-de-diciembre/)
- Gabriela, P. y Bravo, S. (2023). Aplicación de los SIG en el análisis de Riesgo de Desastres generados por Amenazas naturales y antrópicas. Biblioteca Digital Universidad de Antioquia. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/32218/3/LunaValerya_2023_AmenazaRiesgoSIG.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Caracterización climática de la región Andina. www.ideam.gov.co
- Kurowska, K., y Kowalczyk, C. (2022). Rural Space Modeling. Editorial MDPI. <https://www.mdpi.com/books/reprint/5285-rural-space-modeling>
- National Aeronautics and Space Administration. (s.f.). Fundamentos de la Teledetección (Percepción Remota). NASA ARSET, pág. 39. (2024). https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-03/Fundamentals_of_RS_Span.pdf
- Ochoa, F. (2023, 9 febrero). Tipos de resolución. El Blog de Franz. <https://acolita.com/tipos-de-resolucion/>
- Plata, E. (2021). 1. La tierra y la cartografía. En A. Bejarano (Ed), Fundamentos de cartografía en los recursos naturales (pp. 29-60). Ediciones USTA Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31895>

- Pérez-Guerra, G. A., Sosa-Franco, I., Machado-García, N., & Ruiz-Pérez, M. E. (2023). GIS Tools, review of their foundations, types and relationship with spatial databases. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 32(3), pp. 1–11. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=86f72b2f-628a-30aa-a5fe-cfadb67da7a3>
- Sisti, J. M. (2022). Capítulo 5. Fotointerpretación (o Análisis Visual de imágenes). En J. Sisti (Ed), *Fotointerpretación en agrimensura*. (pp. 37-87). Editorial de la UNLP EDULP. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/139092/Documento_completo.pdfPDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Untadeandalucia. (n.d.). conceptos basicos . Retrieved 04 8. (2023). https://www.juntadeandalucia.es/institutoestadisticaycartografia/rap/sites/default/files/public/Sistemas_Geodesico_de_referencia.pdf
- Vianna, S., Victoria, D., Queiroz, G., Bolfe, E., Boffino de Almeida, J., Delgado, E., Fortes de Oliveira, A., Ramos, M., Martha, G., Batistella, M., Barioni, L., Massaru, A., César da Silva, F., y Folegatti, M. (2023). Chapter 3. Agroenvironmental modeling and the digital transformation of agriculture. En S. Masshura., M. Leite., S. Oliveira., C. Meira., A. Luchiari., y E. Bolfe, *Digital agriculture: research, development and innovation in production chains* (pp. 51-70). Embrapa Digital Agriculture. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1156773>
- Wordpress. (n.d.). sistemas de Coordenadas Proyectadas y Geográficas: ¿Cuál es la diferencia? Retrieved 04 8. (2023). <https://paulblgis.wordpress.com/2016/12/09/sistemas-de-coordenadas-proyectadas-y-geograficas-cual-es-la-diferencia/>
- Enlace de sustentación:**
- <https://youtu.be/5gN-EmdswYI>