

**Análisis de riesgo de inundación en el municipio de Tunja departamento de
Boyacá
mediante sistemas de información geográfica**

Estudiantes:

Jhon Alexander Rivera Rojas _ jariveraroy@unadvirtual.edu.co

Jhon Jairo Alarcón Gutiérrez _ jjalarcong@unadvirtual.edu.co

Gerardo Antonio Lopez Castaño _ galopezca@unadvirtual.edu.co

Grupo 30

Director de proyecto:

Luis Alejandro Ospina Sánchez

Resumen

El presente artículo aborda la problemática de la inundación en el municipio de Tunja, identificando las zonas de mayor riesgo mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se generó un mapa de riesgo de inundación con el programa ArcGIS Pro para el municipio, el cual reveló que las curvas de nivel más bajas son las zonas donde se presenta mayor riesgo, coincidiendo con ubicaciones de zonas pobladas. Este estudio demuestra la efectividad de los SIG en el análisis de riesgo por inundación y su importancia en el ordenamiento agroambiental del territorio. El propósito de este artículo es argumentar el uso de los SIG como herramienta fundamental para la planificación y gestión de recursos en el territorio, con el fin de mitigar los impactos negativos de las inundaciones y promover un desarrollo más sostenible en la región.

Palabras claves: Análisis multicriterio, Riesgo de inundación, Tunja.

Abstract

This article addresses the problem of flooding in the municipality of Tunja, identifying the highest risk areas through the use of Geographic Information Systems (GIS). A flood risk map was generated with the ArcGIS Pro program for the municipality, which revealed that the lowest contour lines are the areas where the greatest risk is present, coinciding with locations of populated areas. This study demonstrates the effectiveness of GIS in flood risk analysis and its importance in the agro-environmental planning of the territory. The purpose of this article is to argue the use of GIS as a fundamental tool for planning and managing resources in the territory, in order to mitigate the negative impacts of floods and promote more sustainable development in the region.

Keywords: Multicriteria analysis, Flood risk, Tunja.

Introducción

El riesgo de inundación es un problema creciente en muchas regiones del mundo “(vulnerabilidad global)” Wilches Chaux, G. (1993) y el municipio de Tunja no es la excepción. La creciente urbanización, el cambio climático y la degradación ambiental han aumentado la vulnerabilidad de las comunidades a este tipo de desastres naturales. En este contexto, es fundamental contar con herramientas efectivas para identificar y mitigar el riesgo de inundación. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrecen una solución valiosa para abordar este desafío. En este artículo, se presentará un análisis de riesgo de inundación en el municipio de Tunja, utilizando SIG para identificar las zonas de mayor riesgo y proponer estrategias para su mitigación. Gómez, J. M., & Aplicado, J. A. (2019).

El objetivo es demostrar la importancia de los SIG en el ordenamiento agroambiental del territorio y su contribución a la planificación y gestión de recursos para la reducción o mitigación de desastres.

Objetivos

General

Generar un mapa de riesgo por inundación mediante sistemas de información geográfica para el municipio de Tunja, Boyacá.

Específicos

Analizar la relación entre las variables de precipitación, altitud con curvas de nivel y drenajes con el riesgo de inundación en el municipio de Tunja, utilizando Sistemas de Información Geográfica.

Identificar las zonas de mayor riesgo de inundación en el municipio de Tunja utilizando técnicas de análisis espacial.

Mostrar que los sistemas de información geográfica se pueden utilizar como estrategia de planificación territorial para evitar posibles emergencias por inundaciones.

Identificación del caso de estudio

Municipio de Tunja, Boyacá, Colombia

El municipio de Tunja por ser una ciudad capital y ubicarse en el altiplano es muy interesante para analizar el riesgo de inundación además de sus características geográficas y climáticas. Ubicado en la región central de Colombia, en la provincia de Boyacá, “Tunja es un municipio con una población de aproximadamente 170.000 habitantes” (Censo DANE, 2018).

También Tunja se encuentra en una zona de transición entre la cordillera oriental y la llanura del río Magdalena, con una “altitud promedio de 2.820 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.)” (IGAC, 2019). “Su territorio es principalmente montañoso, con pendientes moderadas a fuertes, lo que puede aumentar el riesgo de erosión y deslizamientos” (Gómez, 2017).

El clima de Tunja es caracterizado por ser frío y húmedo, “con una temperatura promedio anual de 12°C” (CENADER, 2020). La precipitación es abundante, con un promedio

anual de 800 mm, teniendo a “los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre los más lluviosos” (IDEAM, 2019). Y el mes utilizado en estos análisis fue el de Abril.

Metodología

El presente estudio utilizó un enfoque de análisis multicriterio para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Tunja, Boyacá. A continuación, se describe el método utilizado para lograr los objetivos del estudio.

Recopilación de información:

Se recopiló información secundaria relacionada con las características geográficas, climáticas y socioeconómicas del municipio de Tunja. Esta información se obtuvo de fuentes oficiales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Colombia en mapas (IGAC), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Identificación de criterios:

Se identificaron los criterios relevantes para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Tunja. Estos criterios incluyeron factores como la precipitación, curvas de nivel, la altitud, la pendiente, la proximidad a cuerpos de agua, la densidad poblacional y la infraestructura existente.

Evaluación multicriterio:

Se utilizó el software ArcGIS Pro para ayudarnos con el análisis multicriterio para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Tunja. Se ingresaron los datos recopilados de las capas geográficas y se aplicaron los geoprocursos de las diferentes fases anteriores.

Descripción metodológica:

En el software se realizó el añadido de capas como la de drenaje doble y sencillo, la de departamentos y oferta ambiental, se definió como departamento a trabajar Boyacá. A continuación se realizaron los geoprocursos de intersecar, buffer, recortar, disolver, diferencia simétrica, ráster, generación de flujo de dirección y acumulación, delimitación de la cuenca hidrográfica.

Con el ráster generado se carga junto con un modelo de elevación digital del municipio de Tunja, se carga la capa de coberturas de tierras, capa precipitación y capa de distancia entre drenajes.

Organización de criterios de reclasificación:

Se procede a reclasificar los datos generados para que todas las capas tengan una escala común para la realización del modelo y así las capas ráster sean en común reclasificadas:





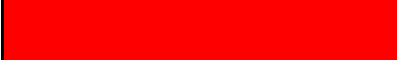
Tabla 1: *Estimación de clasificación cualitativa y cuantitativa.*

Clasificación cualitativa	valores
Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

Nota: Relación descripción cualitativa del riesgo con valor numérico. Adaptado de unad, sigoat, guía fase 4 (2024).

Se reclasifica el modelo de elevación digital del municipio, se reclasifica las pendientes, precipitaciones, cobertura de tierras, distancia de drenajes y por último reclasificación de riesgo por inundación.

Tabla 2: *Reclasificación de riesgo por inundación.*

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

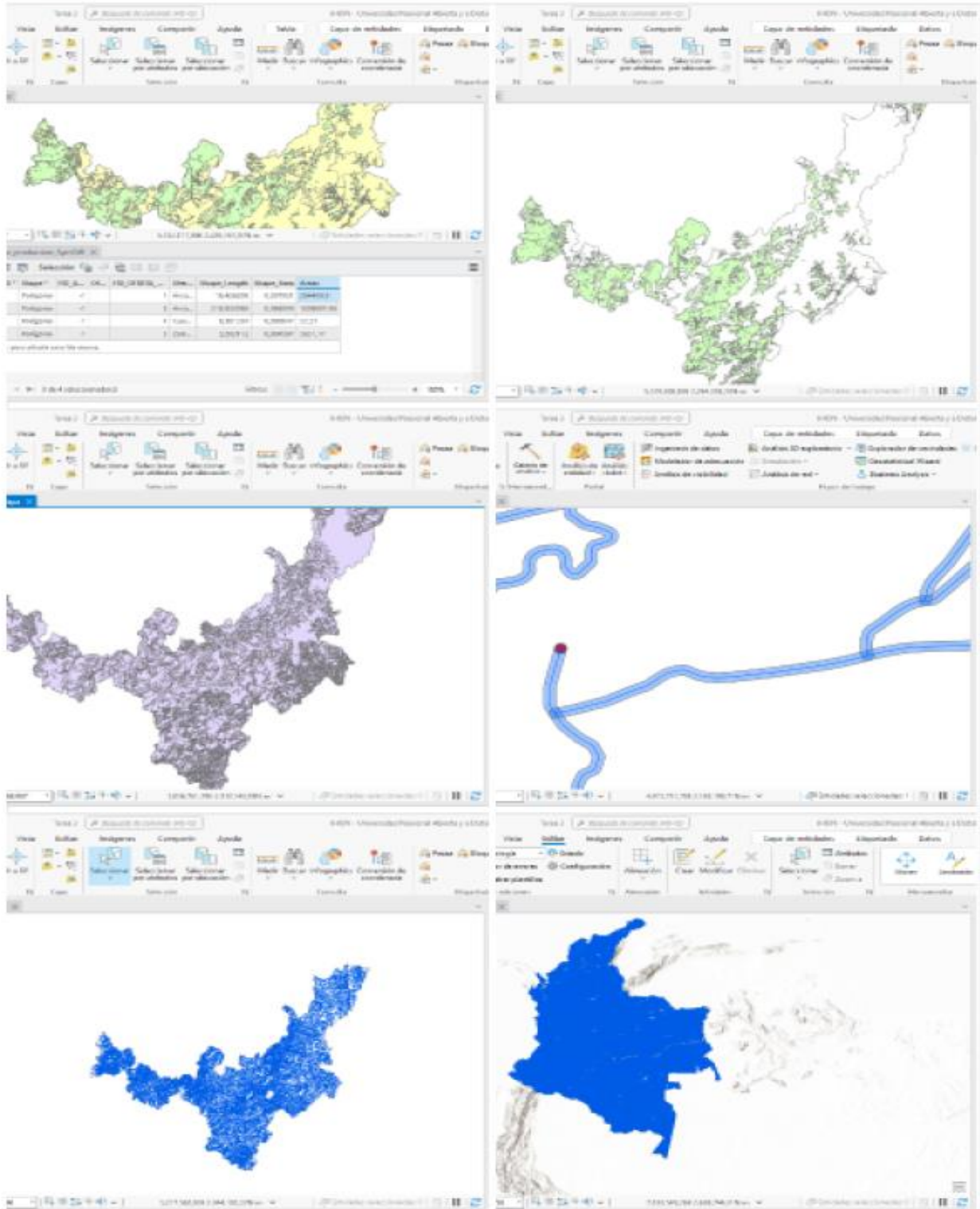
Nota: Esta tabla muestra la reclasificación del riesgo en 5 niveles con colores.
Adaptado de unad, sigoat, fase 4 (2024).

El programa generó un mapa de riesgo de por inundación que muestra las zonas de mayor riesgo en el municipio así como las de riesgo bajo, muy bajo, medio y alto con porcentajes y hectáreas, tomando como criterios las pendientes, las alturas, la precipitación y los flujos hídricos de la zona de estudio.

Pasos realizados:

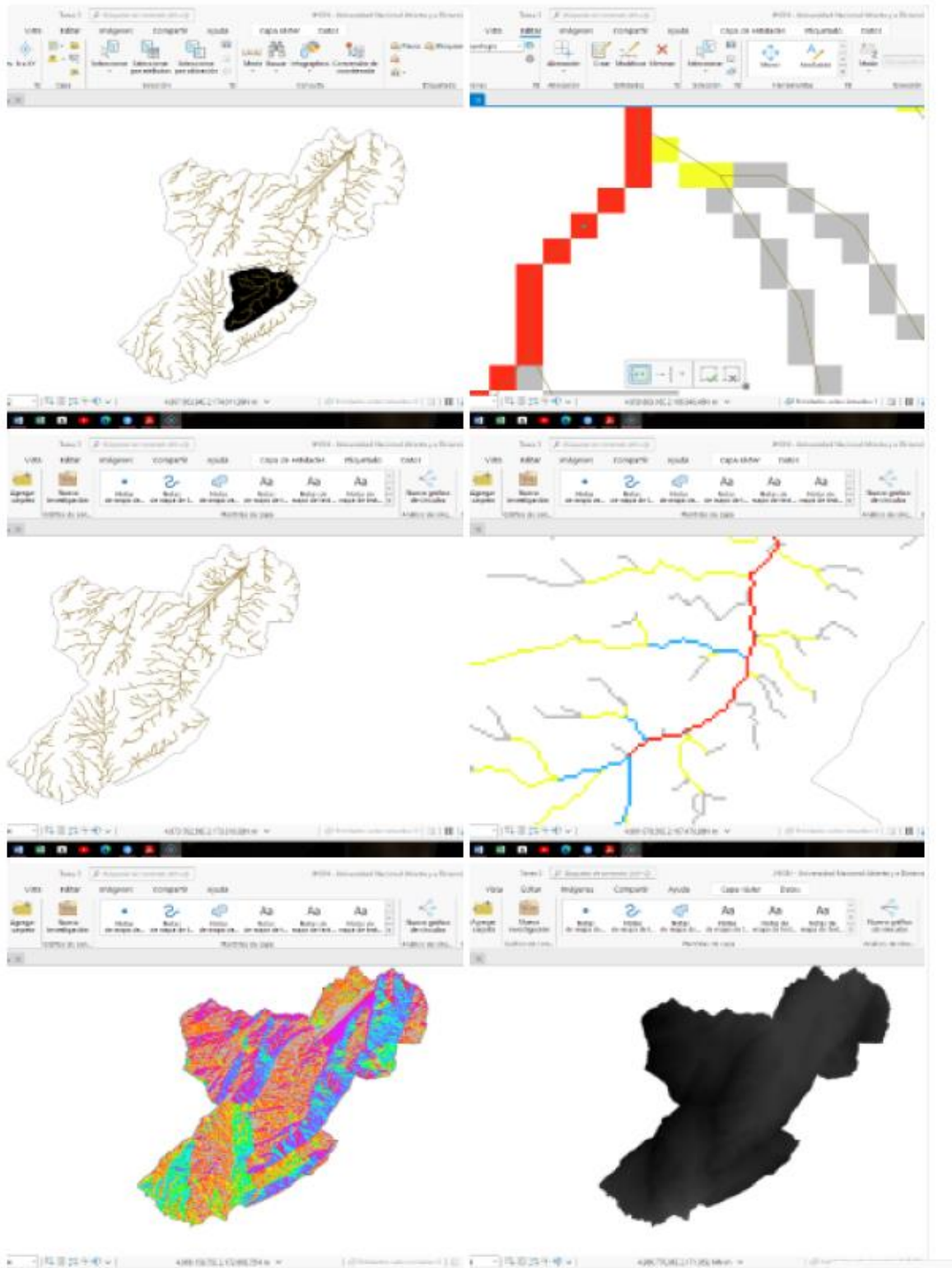
Figura 1.

Cargue de capas en ArcGIS, 2024, geoprocenos de intersecar, buffer, recortar, disolver, diferencia simétrica



Fuente: Autoría propia mediante software ArcGIS Pro (UNAD 2024).

Figura 2.
Reclasificación de capas ráster, generación de flujo de dirección y acumulación



Fuente: Autoría propia mediante software ArcGIS Pro (UNAD 2024).

Metodología empleada:

Se recopilaron varios datos como modelos de elevación digital, mapas vectoriales, mapas de pendientes, mapas hídricos, y se tomaron en cuenta datos de precipitación en especial del mes de abril para crear el mapa modelo de riesgo por inundación.

Recopilación de datos geoespaciales (mapas de suelos, topografía, hidrografía, etc.)

Análisis de variables climáticas y meteorológicas (precipitación, evapotranspiración, etc.)

Creación de un modelo de SIG para evaluar el riesgo de inundación

Análisis de resultados:

Mediante los sistemas de información geográfica y el programa ArcGIS Pro se logró analizar y visualizar datos como la topografía, la precipitación, la red hidrográfica, la distribución de la población y la infraestructura urbana, así se pudo identificar áreas de alto riesgo de inundación y evaluar la vulnerabilidad de la población y la infraestructura.

Se conto con los datos iniciales como son modelos vectoriales de los municipios de Colombia, curvas de nivel del municipio de Tunja, datos de precipitación, modelos de elevación digital, datos ráster, datos de flujo hídrico. etc.

Luego aplicamos el geoprocésamiento de los datos mediante el software y los pasos de las fases anteriores para lograr generar un mapa de riesgo por inundación en el cual se identifican las áreas de riesgo muy alto de inundación en

la zona sur y sureste del municipio de Tunja contando con porcentaje de 24.8%.

Se determinaron factores que contribuyen al riesgo de inundación, como la proximidad a cuerpos de agua, la pendiente del terreno y la impermeabilidad del suelo además de lluvias que en muchos casos han sobrepasado lo común de las temporadas además que se cuenta con el factor del sistema de alcantarillado de la ciudad de Tunja el cual ha colapsado en varias ocasiones pasadas.

En las zonas de riesgo medio correspondientes al 22.2% se verifica que son zonas alejadas relativamente de los cuerpos o corrientes de los afluentes hídricos y tienden a elevarse.

En las zonas de riesgo bajo y muy bajo con el 19% y 8.8% respectivamente se evidencio que son áreas de mayor altitud con vegetación y apartadas lo suficientemente de los cuerpos hídricos como para ser susceptibles de ser inundadas.

Como se mencionó anteriormente se crea un modelo de mapa que muestra el riesgo por inundación en el municipio de Tunja, para la planificación y gestión de recursos para la mitigación de desastres.

Igualmente se hace evidente las zonas de alta probabilidad de inundación por el paso del río Chicamocha que atraviesa la ciudad de Tunja y esta área esta coloreada en el mapa de riesgo por el color rojo que también se ha validado con datos pasados y puntos de control físicos que algunos sectores de la ciudad se han inundado por la creciente de este río y las fuertes lluvias como son el barrio Santa Inés, barrio Cooservicios, parques del norte de la ciudad y el sector de Bavaria, igualmente sector Unicentro y avenida universitaria y citamos a continuación noticia del periódico regional Boyacá 7 días:

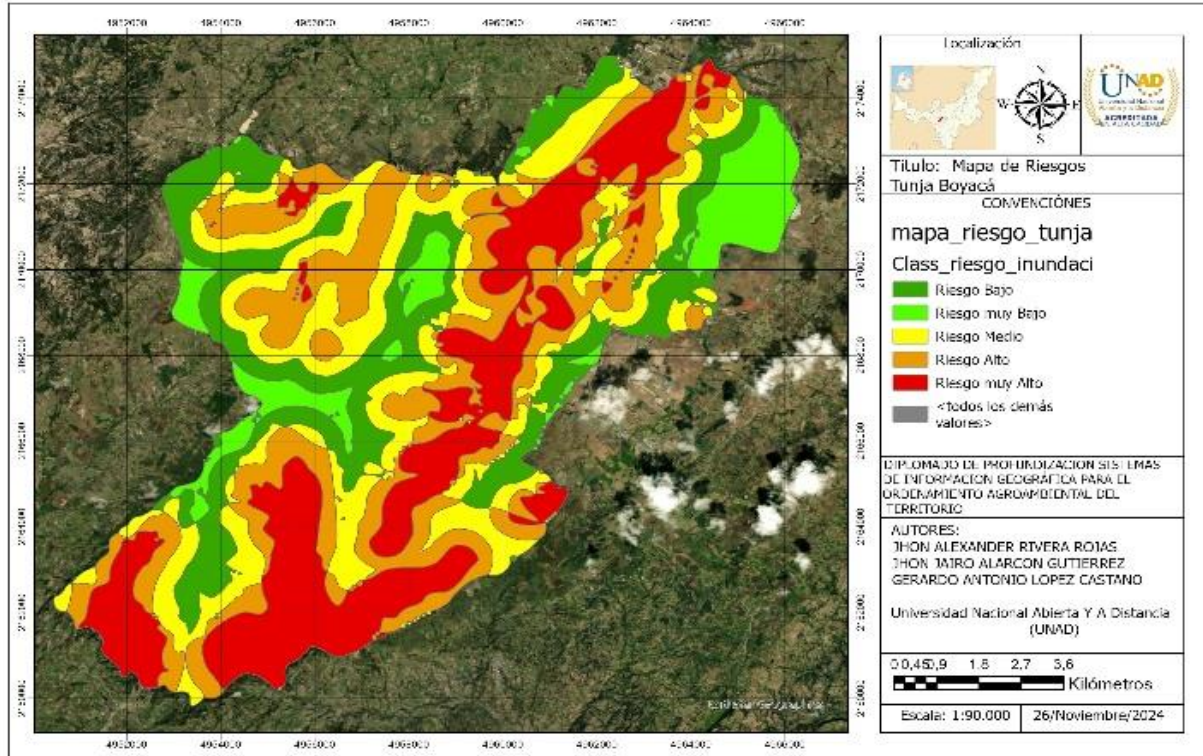
El sistema de alcantarillado se está poniendo a prueba con los aguaceros que están cayendo en la capital boyacense por estos días. Bomberos hace un llamado a la comunidad para prevenir emergencias.

¿Qué fue lo que pasó este martes con las vías principales de la capital boyacense? Lo primero es que la cantidad de lluvia que cayó en tan poco tiempo superó la capacidad del sistema de drenaje y alcantarillado no solo de la Avenida Universitaria que se está volviendo un improvisado río con las lluvias diarias, sino hasta de la Avenida Norte y otras calles y carreras importantes.

Si bien es cierto, la principal causa definitivamente está en el sistema de alcantarillado en la ciudad, el encharcamiento de las vías se originó por las precipitaciones bastante fuertes e inusuales de este martes especialmente en el sector norte de la ciudad, combinado con la presencia de basuras y escombros (Boyacá 7 días, 2024).

Figura 3.

Mapa de riesgo por inundación en el municipio de Tunja Boyacá



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS Pro (2024)

Figura 4.

Tabla de clasificación cualitativa



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS Pro (2024)

Conclusiones

El estudio demostró que el municipio de Tunja tiene áreas de alto riesgo de inundación, especialmente en la zona sur y sureste, debido a factores como la cercanía a cuerpos de agua, la pendiente del terreno y la precipitación de la zona.

Se identificaron las áreas de riesgo de inundación pues mediante la mapificación generada se permite analizar y visualizar datos como la zona de color rojo la cual es la de muy alto riesgo con un 24.6%, la zona de riesgo alto en color amarillo con 22%, la zona de riesgo bajo en verde oscuro con 19.5% y la zona de color verde lima riesgo muy bajo con un 8.5%; así mismo se visualizo que zonas urbanas y veredas se encuentran en las zonas de muy alto riesgo y alto riesgo por inundación del municipio.

Se pueden replantear o mejorar los planes de ordenamiento territorial del municipio con esta información ya que se ubicarían las comunidades o zonas urbanas y en desarrollo alejadas de las zonas de riesgo muy alto o alto por inundación.

Recomendaciones

Desde el campo de la ingeniería agroforestal vemos que es importante aportar al ordenamiento agroambiental del territorio para garantizar un desarrollo sostenible y equitativo en la zona de Boyacá.

Es importante realizar una evaluación y zonificación de la vulnerabilidad ambiental del territorio Boyacense y así esto permitirá identificar áreas de alto riesgo y priorizar las acciones de mitigación. Luego, podemos desarrollar planes de manejo integral de cuencas hidrográficas, que incluyan la protección de fuentes de agua, la reforestación

y la implementación de prácticas de manejo sostenible de suelos y aguas.

También es fundamental promover la adopción de prácticas agroforestales sostenibles, como la agroforestería, la implementación de sistemas agroforestales, la permacultura y la agricultura de conservación o siembra de conservación. Esto puede incluir la capacitación y asistencia técnica a productores agrícolas y forestales es decir un trabajo de extensión rural.

Además, debemos identificar áreas de importancia ecológica y promover su conservación y restauración. Crear corredores biológicos, la restauración de hábitats de especies en peligro de extinción y la protección de áreas de alta biodiversidad en este municipio.

Referencias bibliográficas

Censos y Demografía-DCD, D. (2019). Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV - 2018 - Colombia [Data set].

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Resultados para el municipio de Tunja, Boyacá.

Efrimidou, 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>

- Gómez, J. M. (2017). Análisis de la vulnerabilidad a deslizamientos en el municipio de Tunja, Boyacá. *Revista de Ingeniería Civil*, 28(2), 123-138.
- 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>
- Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- IDEAM. (2020). Informe climatológico del departamento de Boyacá. Centro Nacional de Datos y Estudios del Clima. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2674/1/Andrea%20carolina%20Trujillo%20Triana.pdf>
- IDEAM. (2019). Precipitación media anual en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- IGAC. (2019). Mapa de Alturas de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Pineda, L., y Suarez, J. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 4(3), pp. 28-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262041005>
- 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. Luchiar., 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>
- Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En G. Wilches-Chaux (Ed.), *La vulnerabilidad global*. (pp. 15-30).

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/BSdt0MHF4c>