

Evaluación del riesgo de inundación mediante análisis multicriterio usando herramientas de sistema de información geográfica en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, Colombia.

Maicol Pascuas Rodríguez – mpascuasr@unadvirtual.edu.co

Tutora - Evangelina Parra Perez - evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El presente estudio evalúa el riesgo de inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, Colombia, que cuenta con un área de 165,01366 kilómetros cuadrados. Para ello, se emplea un análisis multicriterio basado en parámetros clave como la precipitación, las pendientes y los caudales del terreno. La metodología se desarrolla utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el programa ArcGIS, lo que permite la integración y modelación de datos espaciales. A través del análisis, se delimitan las zonas del municipio clasificándolas en categorías de riesgo que van desde muy alto hasta muy bajo. Los resultados ofrecen una visión integral de las áreas más vulnerables a inundaciones, lo que constituye un insumo esencial para la planificación territorial y la gestión del riesgo. Este enfoque permite tomar decisiones priorizando medidas de mitigación y fortalecer la resiliencia frente a eventos hidrometeorológicos.

Palabras claves: Caudales, ArcGIS, Chiquinquirá, riesgo, inundaciones, pendientes, precipitación, desbordamiento, SIG, vulnerabilidad, Amenaza.

Introducción

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más comunes y destructivos, con importantes repercusiones económicas, sociales y ecológicas. Generalmente, se originan por lluvias intensas y el desbordamiento de fuentes hídricas, así como por factores antropogénicos como la ocupación desmesurada de zonas cercanas a ríos y la modificación de los márgenes fluviales (IDEAM, 2024). Es importante destacar que “La magnitud y duración de estos fenómenos están determinadas por variables climáticas que transforman constantemente el relieve” (Mariño & Ochoa, 2016).

En el caso de Colombia, las inundaciones representan un riesgo recurrente debido a su variada geografía y los efectos del cambio climático, que alteran los patrones de precipitación. No obstante, muchos planes de ordenación del territorio carecen de datos precisos que permitan un monitoreo adecuado de estos eventos (Trenberth, 2011). Frente a esta carencia, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para identificar zonas vulnerables y apoyar la toma de decisiones en la planificación territorial.

Este estudio se enfoca en la evaluación del riesgo de inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá, utilizando SIG y un

análisis multicriterio que considera factores como la precipitación y las pendientes del terreno. La implementación de estas metodologías tiene como fin definir áreas de riesgo, proporcionando datos cruciales para la gestión territorial y la prevención de desastres, en concordancia con los avances en modelado hidrológico en otros contextos regionales (Mariño & Ochoa, 2016).

Así, este trabajo contribuye a mejorar la resiliencia de Chiquinquirá frente a eventos hidrometeorológicos, promoviendo estrategias de ordenamiento territorial que sean sostenibles y eficaces.

Objetivos

General.

Evaluar el riesgo de inundación en Chiquinquirá, Boyacá, utilizando un análisis multicriterio con SIG, para identificar y clasificar las áreas vulnerables en la gestión del territorio.

Específicos

- Comprender las características geográficas, climáticas y territoriales del municipio de Chiquinquirá para contextualizar el análisis del riesgo de inundación.
- Realizar un análisis individual de cada factor de riesgo, incluyendo precipitaciones, Modelos Digitales de Elevación (MDE), pendientes, caudales y cobertura del suelo (LandCover), con el propósito de identificar su influencia en el riesgo de inundación.

- Integrar las variables obtenidas de los factores de riesgo mediante un modelo multicriterio, para generar un mapa detallado que delimite las zonas de riesgo de inundación en el municipio.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Chiquinquirá, ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia, cuenta con una extensión territorial de 165,01366 km² y una población estimada en 2024 de 68,126 habitantes, de los cuales el 86,05% reside en áreas urbanas y el 13,95% en zonas rurales (DANE, s/f). Su altitud oscila entre los 2,000 y 3,200 metros sobre el nivel del mar, lo que le confiere un clima templado de montaña con variaciones significativas en temperatura y precipitación.

Figura 1. Mapa localización del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

El municipio es atravesado por el río Chiquinquirá, cuyo cauce principal se origina en el sector de Lagunas en Ruchical, municipio de Simijaca, a 3,000 m.s.n.m., y desemboca en el río Suárez. Además, cuenta con diversas fuentes hídricas, como las quebradas Los Robles, María Ramos, Desuta,

Las Nutrias, Quindión y La Playa. Aproximadamente el 36% de la cuenca del río Chiquinquirá pertenece a este municipio, lo que resalta su importancia hidrográfica para la región (Diagnóstico de la Cuenca Río Chiquinquirá, s/f).

El relieve del municipio presenta un paisaje montañoso con cordilleras circunvaladas, bosques y áreas de recreación natural como las colinas de la Centella. Este territorio está conectado con diversas regiones de Colombia a través de rutas principales como Bogotá, Tunja y los Santanderes (Chiquinquirá, s/f).

Para este análisis, se trabajará con los datos de precipitación correspondientes al trimestre de octubre-noviembre-diciembre, influenciados por las condiciones climáticas de "La Niña", que incrementan el riesgo de inundaciones en la región (Agronet, 2024).

Metodología

Para este trabajo, se utilizó un análisis multicriterio en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para generar el mapa de zonas de riesgo de inundación en el municipio de Chiquinquirá. Este proceso consistió en combinar capas temáticas que representaban diferentes variables relacionadas con el fenómeno, las cuales fueron previamente reclasificadas y ponderadas según su influencia relativa.

Las capas se integraron mediante técnicas de álgebra de mapas en formato ráster, aplicando una operación de suma ponderada para obtener una capa final que clasificará las zonas de riesgo en cinco niveles, desde el menor riesgo (nivel 1) hasta el mayor riesgo (nivel 5)

(Olaya, 2020). El resultado permitió identificar y representar espacialmente las áreas con mayor y menor susceptibilidad a inundaciones, proporcionando una herramienta útil para la gestión del territorio.

Primero, se determina el porcentaje de cada variable en el consolidado de las zonas de riesgo, siguiendo la tabla de referencia. Posteriormente, se procede con el análisis de cada una de las capas vectoriales.

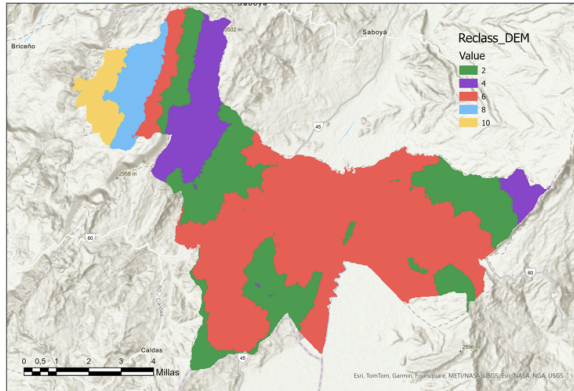
Tabla 1. Porcentajes de asignación a cada capa para el consolidado del mapa final

Capa	Porcentaje
Modelo de elevación digital DEM	10
Pendientes	15
Cobertura de tierras (Land cover)	10
Precipitación	35
Distancia entre drenajes	30

Nota: Esta tabla indica el porcentaje de importancia para el mapa final

Ya aclarado las capas a empeñar se comienza con el mapa DEM, El análisis comienza con la creación de un Modelo Digital de Elevación (DEM) del municipio de Chiquinquirá, lo que permitió identificar las características topográficas de la región y clasificar el territorio según niveles de riesgo en función de la altitud.

Figura 2. Mapa de Modelo Digital del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

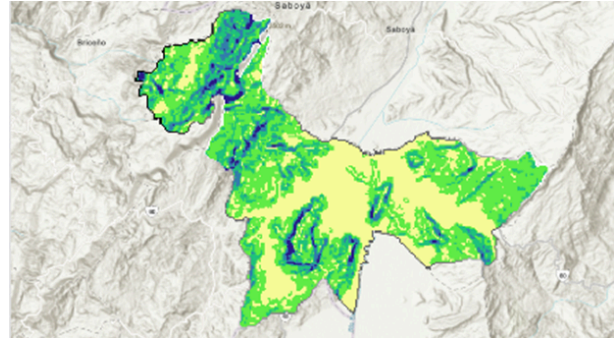


Fuente: Elaboración propia, 2024.

El mapa generado reflejó diferentes zonas de riesgo mediante colores: rojo (2) para áreas de bajo riesgo y amarillo (10) para áreas de riesgo muy alto, localizadas en terrenos planos aledaños a montañas. El análisis reveló que la zona urbana principal del municipio se encuentra en una área de riesgo intermedio ya que no está directamente en áreas montañosas de alto riesgo, pero tampoco en las zonas más bajas y planas de menor riesgo (color rojo). Esto implica un riesgo moderado, relacionado con la interacción entre las pendientes y las dinámicas hídricas locales.

El análisis continuó con la creación de un mapa de pendientes para el municipio de Chiquinquirá, con el fin de identificar las áreas según su grado de inclinación. En este mapa, las tonalidades se distribuyen de la siguiente manera: las tonalidades azules representan las zonas con pendientes pronunciadas, consideradas de bajo riesgo de inundación debido a que el agua tiende a escurrir rápidamente en terrenos inclinados; mientras que las tonalidades más claras corresponden a áreas con pendientes suaves, cercanas a los 5° , lo que aumenta el riesgo de inundación debido a que el agua puede acumularse con mayor facilidad en estas zonas.

Figura 3. Mapa de pendientes del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

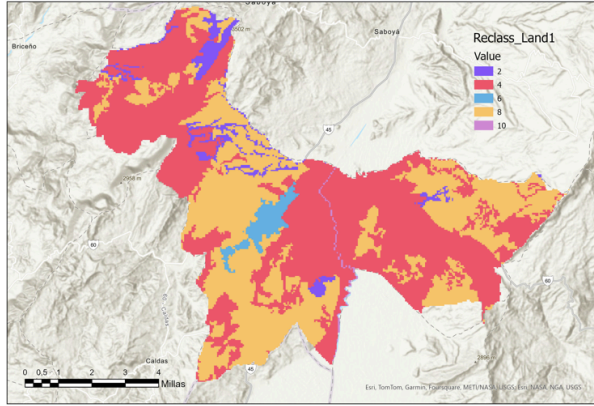


Fuente: Elaboración propia, 2024.

El análisis permitió determinar que las áreas con tonalidades claras, que reflejan pendientes suaves, son las más vulnerables a inundaciones, ya que la escasa inclinación favorece la acumulación de agua. Este componente se integrará posteriormente con otras variables, como altitud, precipitaciones y cobertura del suelo, para la elaboración del mapa final de riesgos de inundación en el municipio.

El tercer análisis se centró en la cobertura del suelo, utilizando la información proporcionada en la Tabla 2, que asigna un nivel de riesgo a cada tipo de cobertura. En el mapa generado, se clasificaron las áreas de acuerdo con su nivel de riesgo, donde el valor 2 representa zonas de menor riesgo y el valor 10 corresponde a las de mayor riesgo.

Figura 4. Mapa de coberturas de tierra del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

El análisis permitió identificar que las áreas asociadas a cuerpos hídricos, como la quebrada La Chorrera, se destacan como zonas de alto riesgo (valor 10), debido a su proximidad a corrientes de agua y a su susceptibilidad a inundaciones. Este componente es fundamental para comprender la interacción entre la cobertura del suelo y la dinámica hídrica en el municipio, y se integrará con las demás variables en la evaluación final del riesgo de inundación.

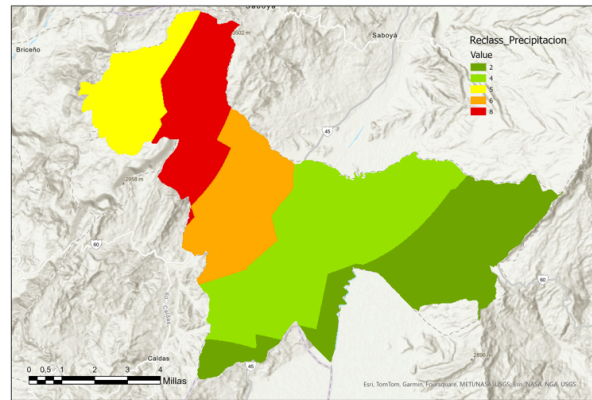
Tabla 2. Asignación de la zona de riesgo en base a su cobertura de tierra

Value	nivel 2
2	3.1. Bosques
4	2.3. Pastos/3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
6	1.1. Zonas urbanizadas
8	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas
10	5.1. Aguas continentales

Nota: Esta tabla indica la asignación a cada cobertura de tierra en base a la descripción de su segundo nivel

El cuarto análisis se centró en la variable de precipitaciones, para lo cual se seleccionó la temporada con mayor intensidad de lluvias en el municipio de Chiquinquirá. Se elaboró un mapa que muestra los valores de precipitación en milímetros, lo que permitió identificar las zonas con las mayores acumulaciones de lluvia.

Figura 5. Mapa de precipitaciones en el mes de Noviembre del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



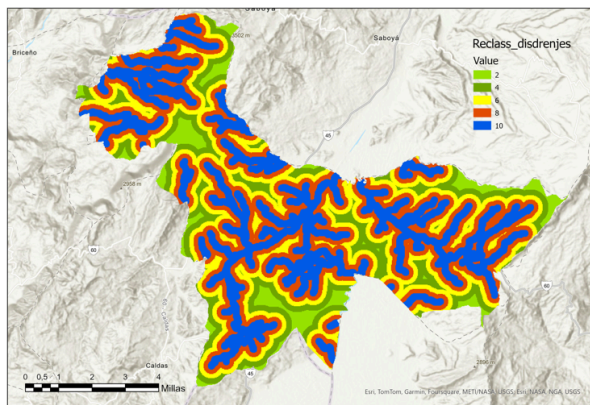
Fuente: Elaboración propia, 2024.

En este análisis, se observó que la zona norte del municipio presenta los niveles más altos de precipitación, mientras que la zona sur tiene valores considerablemente más bajos. Además, las zonas rojas, que indican áreas con mayor acumulación fluvial, resultaron ser las más afectadas. Este patrón es significativo, ya que las áreas con mayores precipitaciones suelen estar más expuestas al riesgo de inundación, especialmente si se consideran otros factores como la topografía y la cobertura del suelo.

El análisis final se enfocó en la variable de distancia a los drenajes, comenzando con un

filtrado para eliminar los cauces menores y sin relevancia significativa en términos de riesgo de inundación. Luego, se clasificaron las zonas según su nivel de riesgo, identificando los cauces principales del municipio con tonalidades azules, que indican las áreas de mayor riesgo debido a su cercanía a los cuerpos de agua. A medida que la distancia a los cauces aumenta, el riesgo disminuye gradualmente, representado con tonalidades más cálidas, hasta llegar al color rojo para las áreas más alejadas y con menor riesgo. Este análisis es fundamental, ya que los cauces pueden desbordarse durante episodios de lluvias intensas, provocando inundaciones severas. Por ello, esta variable desempeña un papel clave en la construcción del modelo final de riesgo de inundación en el municipio.

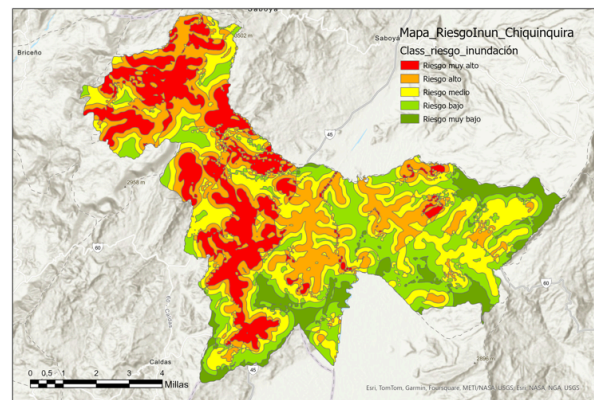
Figura 6. Mapa de distancia entre caudales del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tras obtener los cinco mapas con su respectiva reclasificación, se procede a realizar la suma ponderada, tomando como referencia los parámetros establecidos en la Tabla 1, donde se indica el grado de relevancia de cada criterio. Con base en esta evaluación, se genera la clasificación final, en la que el color rojo representa las zonas de mayor riesgo y el color verde oscuro identifica las áreas de menor riesgo. Este análisis culmina con la elaboración del mapa final que muestra las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

Figura 7. Mapa de zonas de riesgo por inundación del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



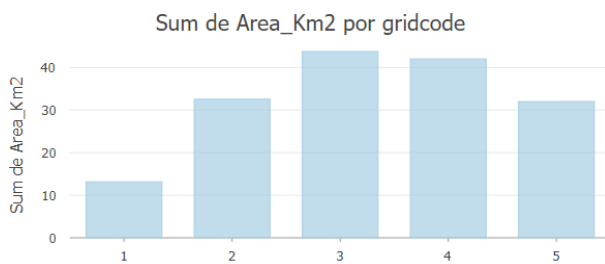
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Resultados

Con el apoyo de ArcGIS, se calculó el área en kilómetros cuadrados correspondiente a cada nivel de riesgo, donde el nivel 5 representa la zona de mayor riesgo y el nivel 1 corresponde a la zona de menor riesgo. En la gráfica presentada, se evidencia que el nivel de riesgo moderado, correspondiente a los valores 3 y 4 del gridcode, abarca la mayor extensión territorial en el municipio de Chiquinquirá,

superando los 40 kilómetros cuadrados cada uno. Por otro lado, la categoría de menor riesgo (nivel 1) tiene la menor representación, con un área inferior a 15 kilómetros cuadrados. Las categorías de riesgo bajo (nivel 2) y alto (nivel 5) presentan áreas intermedias, siendo la segunda ligeramente mayor que la última. Este análisis refleja que el municipio cuenta predominantemente con áreas de riesgo moderado, mientras que las zonas de riesgo extremo y bajo representan una proporción significativamente menor del territorio.

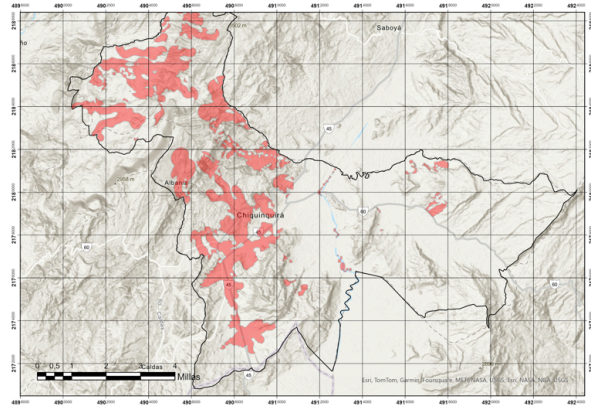
Figura 8. Mapa de distancia entre caudales del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Luego se procede a separar las zonas de riesgos alto del mapa principal para identificar que zonas son más vulnerables a riesgos, se evidencia como la zona norte por su zona montañosa tiene más zonas rojas que el sur, además el pueblo principal del municipio tiene algunas zonas en este rango lo que es preocupante para la publicación de este sector por último se evidencia en rojo el caudal de chiquinquirá y algunos tramos de la quebrada la Chorerrea esto quiere decir que los otros factores no presentan un riesgo para el desborde de esta quebrada

Figura 9. Mapa de las zonas de riesgo muy alto en el municipio de Chiquinquirá



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Conclusiones

El análisis realizado evidencia que las zonas de riesgo moderado, representadas por los niveles 3 y 4, abarcan la mayor extensión territorial en el municipio de Chiquinquirá, con áreas que superan los 40 kilómetros cuadrados. En contraste, las zonas de menor riesgo (nivel 1) presentan la menor representación, con menos de 15 kilómetros cuadrados, mientras que las categorías de riesgo bajo (nivel 2) y alto (nivel 5) ocupan áreas intermedias. Este patrón refleja una predominancia del riesgo moderado en el territorio municipal.

Las zonas de riesgo pueden variar significativamente a lo largo del año debido a los cambios estacionales, ya que los meses con mayores niveles de precipitación incrementan la susceptibilidad a inundaciones. Este aspecto resalta la importancia de actualizar y ajustar periódicamente los análisis para reflejar las condiciones climáticas actuales.

Los mapas de riesgo son esenciales para planificar de manera eficiente el crecimiento de las áreas urbanas del municipio de Chiquinquirá, ya que no solo ayudan a evitar las zonas de mayor vulnerabilidad, sino que también facilitan la reubicación de las comunidades más susceptibles a potenciales desastres naturales.

Aunque los mapas generados son herramientas útiles, es importante considerar que los datos utilizados provienen de bases de años anteriores. Esto puede implicar que algunas zonas de riesgo hayan cambiado debido a dinámicas ambientales y urbanas. Por esta razón, se recomienda realizar estudios y censos periódicos que permitan una planificación más precisa y a futuro basada en análisis actualizados.

Aunque Boyacá es un departamento con altos niveles de precipitación, el municipio de Chiquinquirá presenta valores más moderados. Su precipitación máxima registrada equivale aproximadamente a la mitad del máximo histórico del departamento, lo que sugiere que, aunque el riesgo de inundación es un factor a considerar, las condiciones climáticas locales no presentan índices extremos en comparación con otras regiones de Boyacá.

Recomendaciones

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una herramienta esencial para el ordenamiento agroambiental del territorio en el municipio de Chiquinquirá. Estas tecnologías permiten gestionar y analizar datos espaciales de manera eficaz, generando información crucial para la planificación y la

toma de decisiones. Es fundamental que los profesionales especializados en esta área utilicen adecuadamente la información disponible y la proporcionen de manera oportuna, maximizando su utilidad para desarrollar intervenciones más acertadas en el ámbito geográfico. Según Múnera-Campuzano, los SIG no solo facilitan la identificación de zonas de riesgo y vulnerabilidad, sino que también integran múltiples variables en análisis completos, ofreciendo soluciones prácticas y sostenibles para la gestión territorial (Múnera-Campuzano, 2017).

En el ámbito agroambiental, estas herramientas permiten diseñar estrategias que promuevan un balance adecuado entre las actividades humanas y la conservación de los recursos naturales. Además, la capacidad de los SIG para producir mapas y modelos predictivos actualizados respalda la planificación del uso del suelo, la mitigación de riesgos y la mejora de las actividades productivas. En un contexto de avances tecnológicos constantes, es indispensable que los especialistas incorporen estas innovaciones en su labor, optimizando los procesos y elevando la calidad de los estudios y proyectos relacionados con la gestión del territorio.

Referencias bibliográficas

Agronet. (2024). Boletín Agroclimático Mensual Nacional Agosto

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2014). Modelación de formaciones geológicas prioritarias que constituyen acuíferos y diseño de la red de monitoreo de niveles piezométricos y calidad

de agua subterránea en la cuenca del río alto Suárez. Geociencias e Ingeniería (Vol. 11).

Contreras, F. I., & Odriozola, M. P. (2016). Aplicación de modelos de elevación digital para la delimitación de áreas de riesgo por inundaciones. San Luis del Palmar, Corrientes, Rca. Argentina.

Chiquinquirá, A. M. (2024). Información del municipio. Gov.co.
<https://www.chiquinquirá-boyaca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

DANE. (2024). plataforma de datos abiertos del gobierno colombiano. Gov.co.
<https://www.datos.gov.co/Estadisticas-Nacionales/PROYECCION-DE-POBLACION-MUNICIPAL-DE-CHIQUINQUIRA-2/stc8-i9y9/data>

Mariño, W. M., & Ochoa, R. G. (2016). Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas HEC-RAS, GEO-RAS y ARCGIS, para el sector comprendido entre los municipios de Corrales-Paz de Río a lo largo del río Chicamocha, en el departamento de Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá.

Melo, J. Y., & Ruiz, J. F. (2024, septiembre). Informe de predicción climática a corto, mediano y largo plazo en Colombia. Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima, Subdirección de Meteorología - IDEAM.

Morales, A., Ledesma-A, M., Coronel, C., & Metternicht, G. (2012). Capítulo 8. La explotación de la información geográfica. En M. Bernabé y C. Lopez (Eds.), Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales (pp. 117-130). UMP Press Universidad Politécnica de Madrid.

Navarro, A. P. (2011). Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática (Vol. 173). Editorial UOC.

Olaya, V. (2020). Sistemas de información geográfica. Open Library.
https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informacion_geografica

Srishailam, C., Vivekanandan, N., & Patil, R. G. (2024). Backwater studies and preparation of flood inundation maps for Padalse Weir on River Tapi, Maharashtra. Water and Energy International, 67(3), 27-33.

Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. Climate Research, 47(1-2), 123-138.

Wijesooriya, H. S., Chathuranga, M., Dinusha, K. A., & Vithanage, N. S. (2024). An assessment of land use and land cover changes on urban flooding: A case study in Sri Jayewardenepura Kotte.

Enlace de sustentación:

https://drive.google.com/drive/folders/1T5zS7D4aNaVmcFtdfdLpro4lKw8pEc0L?usp=drive_link

