

Análisis multicriterio del riesgo de inundación en el municipio de Duitama, Boyacá mediante el uso de ArcGIS PRO

Autores:

Wisne Hinestroza Valencia; wi14hin745@unadvirtual.edu.co

Davinson Zapata Mina; dzapatami@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa

Resumen

El presente estudio analiza el riesgo de inundación en el municipio de Duitama, Boyacá, mediante la elaboración de un mapa de zonificación utilizando un modelo multicriterio implementado en ArcGIS Pro. El objetivo principal fue identificar las áreas más vulnerables para diseñar estrategias de mitigación y fortalecer la gestión del riesgo. La metodología integró variables como la pendiente, la distancia a cuerpos de agua y la cobertura del suelo, aplicando herramientas de ponderación y superposición de capas geoespaciales. Los resultados muestran que el 39.6% del territorio se clasifica con riesgo alto y muy alto, concentrándose principalmente en sectores urbanos cercanos al río Chicamocha y áreas con baja capacidad de drenaje. Estos hallazgos destacan la importancia de implementar medidas como la mejora de la infraestructura pluvial, la conservación de ecosistemas estratégicos y la actualización periódica de análisis de riesgo. El método empleado demostró ser idóneo, al integrar diversas variables de manera eficaz y proporcionar resultados veraces y reproducibles. Este estudio contribuye al entendimiento del riesgo de inundación en Duitama y constituye una herramienta clave para la planificación territorial y la formulación de políticas de manejo sostenible.

Palabras claves: análisis multicriterio, Duitama, gestión del riesgo, inundaciones.

Introducción

Las inundaciones son una de las amenazas naturales más comunes y devastadoras a nivel global. En Colombia, estos eventos son responsables de pérdidas significativas en términos de vidas humanas, bienes materiales y productividad económica. Los factores que exacerbaban este riesgo incluyen el cambio climático, la deforestación y el crecimiento urbano descontrolado, los cuales intensifican la

frecuencia y gravedad de las inundaciones (Urrea-Ceferino et al., 2023).

En el contexto colombiano, la gestión del riesgo de inundaciones es un desafío crítico debido a la variabilidad climática y la topografía diversa del país. Por ejemplo, en Cúcuta, un estudio reciente reveló que las áreas urbanas con infraestructura insuficiente son particularmente vulnerables a inundaciones repentinas. Este trabajo destacó la importancia de modelos hidrológicos avanzados y sistemas de alerta

temprana para mejorar la seguridad de los peatones y reducir los riesgos (Corzo Pérez et al., 2024).

Investigaciones realizadas en la región del Bajo Sinú subrayan la necesidad de incorporar la gestión del riesgo como un componente esencial del ordenamiento territorial. Las comunidades en áreas propensas a inundaciones han sido identificadas como altamente vulnerables debido a condiciones socioeconómicas precarias y a una infraestructura deficiente (Cárdenas De La Ossa et al., 2023).

A nivel nacional, la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde-azul (Blue-Green Infrastructure), ha demostrado ser efectiva en la mitigación de riesgos. Estas estrategias no solo reducen el caudal máximo en eventos de inundación, sino que también mejoran la resiliencia climática de las comunidades afectadas, como se evidenció en el caso del río Guarapas en Pitalito (Medina Rivera & Faggian, 2024).

En el municipio de Duitama, Boyacá, la combinación de urbanización rápida y vulnerabilidad natural hace que la evaluación y el manejo del riesgo de inundaciones sean prioritarios. Estudios similares en otras ciudades colombianas han subrayado la utilidad de los mapas de riesgo como herramientas clave para guiar las decisiones en planificación urbana y gestión de desastres (Hoyos & Botero, 2019).

Este estudio, fundamentado en los antecedentes expuestos, busca realizar un análisis integral de las zonas con riesgo de inundación en el

municipio de Duitama (Boyacá). Los hallazgos obtenidos están orientados a contribuir al diseño de estrategias de mitigación más eficientes y a potenciar las capacidades locales para una gestión del riesgo más efectiva y sostenible.

Objetivos

Objetivo General

Analizar las áreas de riesgo de inundación en el municipio de Duitama, Boyacá, mediante la elaboración de un mapa de zonificación de riesgo utilizando el software ArcGIS Pro, con el propósito de proponer estrategias de mitigación efectivas y fortalecer la gestión local del riesgo frente a eventos hidrometeorológicos.

Objetivos Específicos

- Identificar las principales variables físicas, climáticas y antrópicas que influyen en la vulnerabilidad a inundaciones en el municipio de Duitama.
- Desarrollar un modelo geoespacial para la zonificación de áreas de riesgo de inundación utilizando el software ArcGIS Pro.
- Proponer estrategias de mitigación y medidas de adaptación basadas en los resultados del análisis, considerando las capacidades locales y el marco normativo vigente.

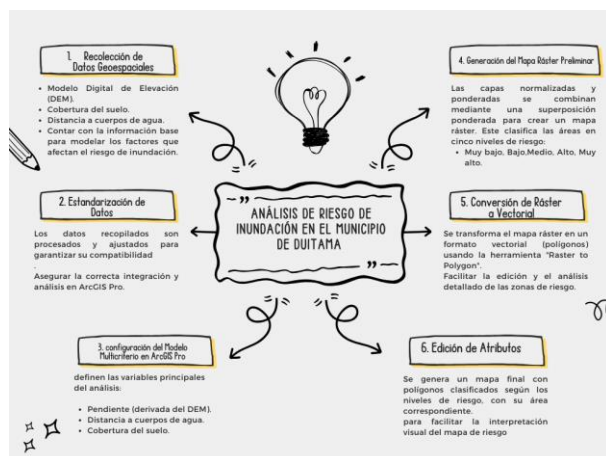
Identificación del caso de estudio

Duitama, conocida como "La Perla de Boyacá", es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Boyacá, en la región del Alto Chicamocha. Situada a una altitud de aproximadamente 2,530 metros sobre el nivel del mar, la ciudad se caracteriza por un clima templado y húmedo. Según la clasificación

climática de Köppen-Geiger, Duitama posee un clima oceánico de montaña (Cfb), con una temperatura media anual de 13.7 °C y una precipitación anual aproximada de 1,168 mm (Climate Data, 2023).

La distribución de las precipitaciones en Duitama muestra variaciones significativas a lo largo del año. El mes más lluvioso es abril, con un promedio de 171 mm de lluvia, mientras que enero es el mes más seco, con alrededor de 32 mm (Weather Spark, 2023). Para el presente estudio, se trabajó con datos de precipitación correspondientes al mes de abril, debido a su condición de periodo con mayor incidencia de lluvias, lo que permite una evaluación más precisa del riesgo de inundación en el municipio.

Metodología

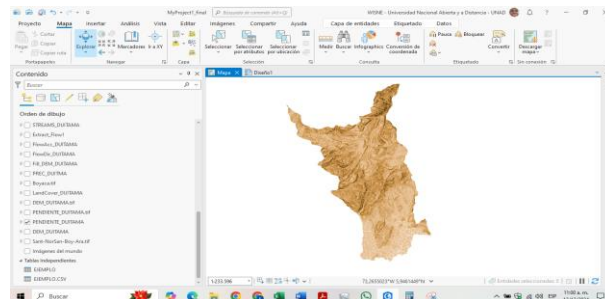


Fuente: autoría propia

El análisis de riesgo de inundación en el municipio de Duitama se desarrolló utilizando una metodología basada en un análisis multicriterio implementado en el software ArcGIS Pro. Inicialmente, se recopilaron datos geoespaciales clave, incluyendo un modelo digital de elevación (DEM), datos sobre cobertura del suelo, distancias a cuerpos de agua y registros de precipitación correspondientes al mes de abril identificado

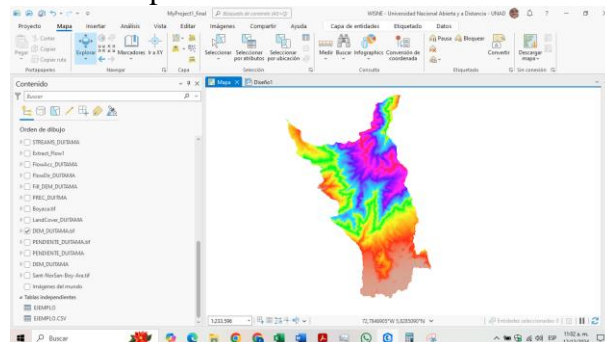
como el periodo de mayor pluviosidad en el municipio. Toda la información fue estandarizada para garantizar compatibilidad en el procesamiento y análisis posterior.

Figura 1 Modelo de Pendientes del Municipio de Duitama en ArcGIS Pro



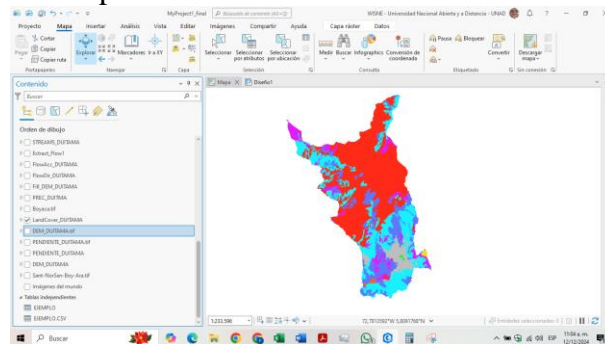
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 2 Modelo Digital de Elevación (DEM) del Municipio de Duitama en ArcGIS Pro.



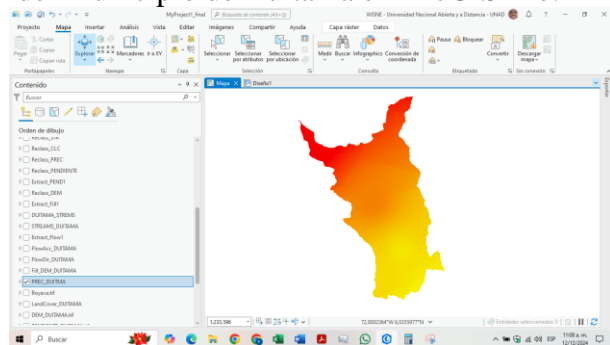
Fuente: Autoría propia

Figura 3 Modelo de Cobertura de tierras del municipio de Duitama en ArcGIS Pro



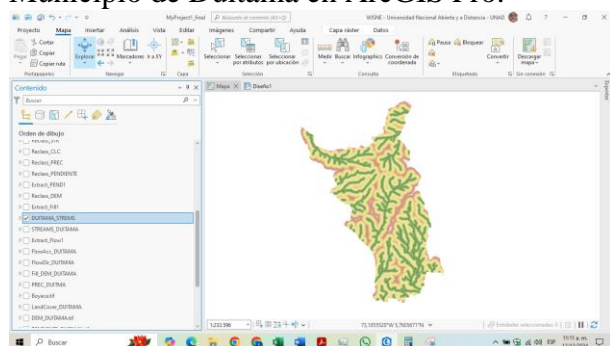
Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 4 Modelo de precipitación del Municipio de Duitama en ArcGIS Pro.



Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 5 Modelo distancia entre drenajes del Municipio de Duitama en ArcGIS Pro.



Fuente: Autoría propia, 2024

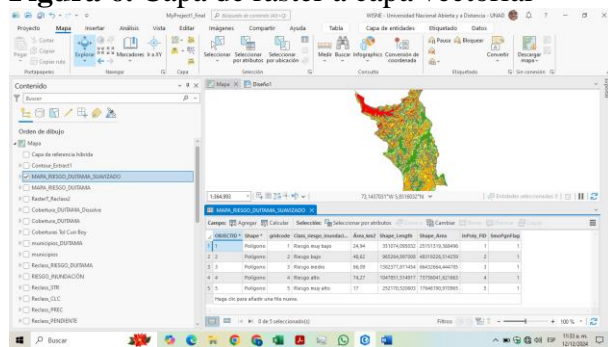
El modelo multicriterio fue configurado empleando herramientas avanzadas de ArcGIS Pro, donde se definieron las variables de análisis. Entre estas variables se incluyeron la pendiente, la distancia a cuerpos de agua y la cobertura del suelo, las cuales fueron estandarizadas y ponderadas de acuerdo con su influencia en el riesgo de inundación. Las ponderaciones fueron determinadas mediante juicios expertos, y los valores normalizados de las capas fueron combinados mediante superposición ponderada, lo que resultó en un mapa ráster preliminar que clasifica las áreas del municipio en función de los niveles de riesgo.

Tabla 1. Criterios de análisis para riesgo de inundación.

Factor	(%)
Modelo de elevación digital DEM	10%
Pendientes	15%
Cobertura de Tierras	10%
Precipitación	35%
Distancia entre drenajes	30%
Total	100%

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación UNAD

Una vez obtenido el resultado del análisis multicriterio, se procedió a convertir la capa ráster a vectorial mediante la herramienta "Raster to Polygon". Este paso permitió una mayor flexibilidad para la edición y análisis de los datos. Seguidamente, se aplicó un geoproceso de disolución al atributo "gridcode" con el fin de simplificar la representación de los polígonos y eliminar redundancias. En la tabla de atributos de la capa vectorial, se incorporaron dos nuevas columnas denominadas "Class_riesgo_inundación" y "Área". En la primera columna, se asignaron valores cualitativos de riesgo, organizados en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. En la segunda columna, se calculó la geometría de cada polígono para determinar el área correspondiente en metros cuadrados.

Figura 6. Capa de ráster a capa vectorial

Fuente: Autoría propia, 2024

El ajuste de simbología fue realizado con el objetivo de facilitar la interpretación visual del mapa de riesgo. Para ello, se utilizaron colores diferenciados para cada categoría de riesgo, siguiendo una escala progresiva de tonalidades. Este ajuste permitió destacar de manera clara las áreas con mayor y menor riesgo en el territorio municipal.

Tabla 7 Reclasificación de riesgo por inundación.

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	Verde
Riesgo bajo	2	Verde claro
Riesgo medio	3	Amarillo
Riesgo alto	4	Naranja
Riesgo muy alto	5	Rojo

Fuente: Guía de actividades y rúbrica de evaluación UNAD

Se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos, identificando las zonas críticas según las áreas clasificadas con riesgo alto y muy alto. Además, se calculó la distribución porcentual de cada categoría de riesgo en relación con la superficie total del municipio. Este análisis incluyó la interpretación del impacto potencial de las inundaciones en la infraestructura local, los ecosistemas y las comunidades, proporcionando una base sólida

para la planificación de estrategias de mitigación.

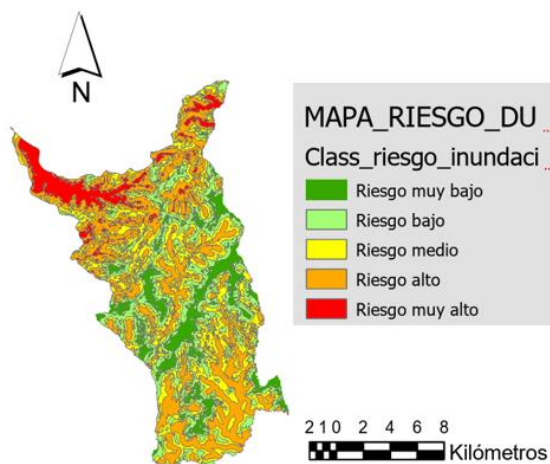
Durante el desarrollo de este proceso, se documentaron las operaciones clave mediante capturas de pantalla que ilustran los pasos principales realizados en ArcGIS Pro, como la configuración del análisis multicriterio, la conversión de datos y el ajuste de simbología. Estas evidencias visuales complementan la descripción metodológica y aseguran la reproducibilidad del estudio.

Resultados

El análisis de los resultados obtenidos a partir del mapa de riesgo de inundación en Duitama proporciona información relevante sobre la distribución espacial del riesgo en el municipio, tanto en áreas urbanas como rurales. La Figura 8 clasifica el territorio en cinco categorías de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, permitiendo identificar las zonas más vulnerables y orientar estrategias de mitigación.

En términos generales, las áreas de riesgo alto representan el 32.2% de la superficie analizada, constituyendo la categoría predominante en el municipio. Estas zonas están distribuidas tanto en la periferia como en sectores urbanos y se asocian con terrenos planos, menor capacidad de drenaje y proximidad a cuerpos de agua. Por su parte, las áreas de riesgo medio, que abarcan el 28.6%, tienen una menor probabilidad de inundación, pero igualmente deben ser consideradas en las intervenciones preventivas. Las zonas de riesgo bajo y muy bajo cubren el 21.1% y el 10.8% respectivamente, y corresponden a sectores con mejores condiciones de drenaje y pendientes más pronunciadas.

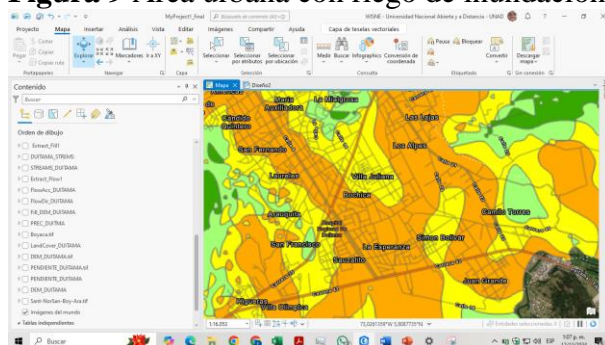
Figura 8 Mapa de riesgo por inundación del municipio de Duitama en formato vertical



Fuente: Autoría propia, 2024

En el análisis de la zona urbana de Duitama, las áreas de mayor riesgo se concentran en sectores cercanos a la Carrera 42 y al río Chicamocha, lo que sugiere una alta susceptibilidad en estas áreas debido a su topografía y cercanía a fuentes de acumulación de agua. En contraste, los sectores con riesgo bajo o muy bajo están distribuidos de forma más limitada, en zonas con mejor infraestructura de drenaje y menor exposición a flujos pluviales intensos.

Figura 9 Área urbana con riesgo de inundación



Fuente: Autoría propia, 2024

La identificación de estas áreas críticas tiene implicaciones significativas para la planificación del territorio y la gestión de riesgos. Las zonas con riesgo alto y muy alto requieren una atención prioritaria, considerando la necesidad de implementar medidas como la mejora de la capacidad del sistema de drenaje pluvial, la conservación de zonas de amortiguación naturales y la reubicación estratégica de infraestructura vulnerable. Por otro lado, las áreas de riesgo medio y bajo pueden ser objeto de estrategias de monitoreo y gestión preventiva para evitar que incrementen su vulnerabilidad en el futuro.

Figura 10 Área del Municipio de Duitama km2 Riesgo por inundación



Fuente: Autoría propia, 2024

Los resultados también destacan la importancia de integrar estas clasificaciones en los planes de ordenamiento territorial del municipio, asegurando que las intervenciones urbanísticas y agrícolas estén alineadas con los niveles de riesgo identificados. Este enfoque permitirá una gestión más eficiente y sostenible del riesgo de inundaciones, protegiendo tanto a las comunidades como a los ecosistemas presentes en Duitama.

Conclusiones

El presente estudio ha permitido identificar con rigor las áreas más vulnerables al riesgo de inundación en el municipio de Duitama, utilizando un modelo multicriterio apoyado en herramientas avanzadas de análisis geoespacial en ArcGIS Pro. Los resultados obtenidos reflejan que la distribución espacial del riesgo está determinada principalmente por factores como la topografía, la proximidad a cuerpos de agua y el uso del suelo, confirmando la pertinencia de las variables consideradas en la metodología.

Se concluye que un 39.6% del territorio analizado presenta condiciones de riesgo alto y muy alto, lo que subraya la urgente necesidad de focalizar intervenciones en estas zonas para reducir los impactos potenciales sobre la población, la infraestructura urbana y los ecosistemas. Las áreas cercanas al río Chicamocha y sectores críticos del entorno urbano, como la Carrera 42, se destacan como puntos prioritarios que requieren acciones específicas, tales como el fortalecimiento de sistemas de drenaje, la implementación de medidas de mitigación estructurales y no estructurales, y la conservación de zonas de amortiguación.

El método empleado demostró ser adecuado para los objetivos planteados, permitiendo integrar de manera eficaz múltiples variables geoespaciales y climáticas. La ponderación de factores clave como la pendiente, el uso del suelo y la acumulación de agua, así como el uso del entorno en ArcGIS Pro, garantizó un enfoque sistemático y reproducible. Esto asegura no solo la solidez de los resultados obtenidos, sino también su aplicabilidad para

orientar decisiones informadas en el manejo del riesgo.

Es importante destacar que los resultados están circunscritos a las condiciones específicas del municipio de Duitama y al periodo climático analizado (mes de abril, con mayor incidencia de precipitaciones). Por lo tanto, cualquier cambio en los factores ambientales, como variaciones en el uso del suelo o en los patrones de precipitación, podría alterar la distribución del riesgo. Esto subraya la necesidad de actualizar de manera periódica los análisis de riesgo para asegurar su relevancia y efectividad en la gestión territorial.

En síntesis, el trabajo representa una contribución significativa al entendimiento y gestión del riesgo de inundaciones en Duitama, proporcionando una herramienta técnica sólida para la planificación territorial. Aunque los resultados son aplicables dentro de un contexto delimitado, sientan las bases para futuras investigaciones que puedan incorporar variables adicionales y analizar otros escenarios climáticos. Esta aproximación refuerza la importancia de adoptar modelos flexibles y adaptativos que respondan a las dinámicas complejas del territorio y al cambio climático.

Recomendaciones

Para contribuir al ordenamiento agroambiental del municipio de Duitama, se recomienda fortalecer el sistema de drenaje pluvial en las zonas urbanas, particularmente en sectores críticos como la Carrera 42 y las áreas cercanas al río Chicamocha, donde el riesgo de inundación es alto. La implementación de tecnologías avanzadas, como sensores inteligentes para el monitoreo en tiempo real de la capacidad del drenaje y la detección de

bloqueos, puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta ante eventos extremos, reduciendo el impacto en la población y la infraestructura.

Asimismo, resulta esencial incorporar soluciones basadas en la naturaleza que favorezcan la conservación y restauración de ecosistemas estratégicos, como humedales y áreas ribereñas, para actuar como barreras naturales frente a las inundaciones. Estas intervenciones no solo ayudarían a mitigar el riesgo, sino que también promoverían la biodiversidad y mejorarían la calidad del agua. La creación de corredores ecológicos y zonas de amortiguación debería formar parte de los planes de ordenamiento territorial, integrándose con otras estrategias de sostenibilidad.

El desarrollo de un sistema de monitoreo climático en tiempo real, que combine estaciones meteorológicas, datos satelitales y modelado geoespacial, también es prioritario. Este sistema, vinculado a protocolos de alerta temprana, permitirá advertir a las comunidades vulnerables de manera oportuna, mejorando su capacidad de respuesta ante posibles emergencias. En complemento, es importante diseñar programas educativos y de sensibilización comunitaria que promuevan el manejo responsable de los recursos hídricos y la adopción de prácticas agroambientales sostenibles. La participación activa de la comunidad en la planificación y ejecución de estas acciones puede asegurar su éxito a largo plazo.

El mapa de riesgo generado en este estudio debe ser integrado como herramienta fundamental en los planes de ordenamiento territorial del municipio. Esto facilitará la identificación de

zonas adecuadas para actividades urbanísticas y agropecuarias, minimizando el impacto ambiental y disminuyendo la exposición al riesgo. A su vez, es importante fomentar prácticas agrícolas sostenibles, como el manejo adecuado de cultivos, la implementación de terrazas y el uso de barreras vivas, que favorezcan la conservación del suelo y reduzcan el escurrimiento superficial.

Se recomienda establecer un protocolo para la actualización periódica de los análisis de riesgo, considerando los cambios en el uso del suelo, la infraestructura y los patrones climáticos. Esto permitirá garantizar que las decisiones de ordenamiento agroambiental se basen en información actualizada y precisa, asegurando una gestión más efectiva y adaptativa frente a los desafíos actuales y futuros. Estas acciones integradas contribuirán a un ordenamiento territorial más sostenible y resiliente en el municipio de Duitama.

Video de sustentación

<https://youtu.be/k-iYKCGiIge>

Referencias bibliográficas

- Cárdenas De La Ossa, J. E., Flórez Yepes, G. Y., & HERNÁNDEZ GARCÍA, D. (2023). Analysis Of Risk Management In Territorial Planning In Areas Susceptible To Slow Flooding. Case Study Rural Settlement “El Playón” Bajo Sinú (Córdoba, Colombia). *International Journal of Conservation Science*, 14(1), 187–200.
<https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.01.12>
- Climate Data. (2023). *Clima Duitama Colombia*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/boyaca/duitama-4967/>

- Corzo Pérez, G. A., Sanchez Tapiero, D. I., Contreras Martínez, M. A., & Zevenbergen, C. (2024). Development of a hazard risk map for assessing pedestrian risk in urban flash floods: A case study in Cúcuta, Colombia. *River*, 3(1), 8–23. <https://doi.org/10.1002/rvr2.78>
- Hoyos, H., & Botero, B. A. (2019). Vulnerability Assessment with Scarce Information for a Quantitative Flood Risk Model. Case Study Monteria-Colombia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 102005. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/10/102005>
- Medina Rivera, L., & Faggian, R. (2024). Integrating Blue-Green Infrastructure strategies to enhance climate resilience in Colombia. *European Journal of Sustainable Development*, 13(4), 255. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n4.p255>
- Urrea-Ceferino, G., Pinto Suarez, C. A., Jimeno Carrascal, D. L., Yanez Ventura, D. A., & Tapia Contreras, H. J. (2023). Housing vulnerability, agricultural production, and goods lost estimated to floods in Rio Nuevo a rural community in Colombia. *Economía agro-alimentare*, 25(1), 121–137. <https://doi.org/10.3280/ecag2023oa14657>
- Weather Spark. (2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Duitama Colombia*. <https://es.weatherspark.com/y/24351/Clima-promedio-en-Duitama-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- 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>
- Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>

Gestión del Riesgo de Desastres Naturales en Colombia: Estudio de Caso, Desastre Hidrológico en el Municipio de Mocoa – Putumayo. (2018). *Revista de Gestión Ambiental y Sostenibilidad*, 7, 135- 151. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e02018135-151>

Martin Calvo, J. F., Castañeda Gómez, J. A., Díaz Cuesta, Y. A., & Escobar Mahecha, D. (2020). Análisis del Desastre Ocurrido en Mocoa (Colombia). *Ambiente Y Desarrollo*, 24(47). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-47.adom>

Ramos-Cañón, A. M., Castro Malaver, L. C., y Escobar-Castaneda, N. (2023). Integración de la Incertidumbre Natural Temporal y Espacial Asociada al Coeficiente de Rugosidad Manning en Modelos Bidimensionales de Inundaciones Rápidas. *Tecnura*, 27(77), 12–30. <https://doi.org/10.14483/22487638.19676>