

Análisis riesgo por inundación mediante el uso de sistemas de información geográfica en el municipio de Duitama departamento de Boyacá.

Yesid Mauricio Leal Blanco, ymlealbl@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

Con este artículo se determinaron las áreas críticas de inundación del municipio de Duitama Boyacá empleando la herramienta ArcGIS pro y el análisis de información como datos topográficos, cobertura de suelos y uso del territorio, además se realizó una clasificación de acuerdo con el riesgo de inundación partiendo del uso del suelo en zonas urbanas, áreas agrícolas, bosques, entre otras. Lo descrito anteriormente se llevó a cabo con el sistema Corine Land Cover, con el cual se establecen valores desde 2 hasta 10 siendo 10 un “Riesgo muy alto”. De esta manera se logró identificar el alto riesgo que presenta la zona urbana del municipio de Duitama y la importancia de crear estrategias para reaccionar ante una posible creciente de los ríos o amenaza de inundación.

Palabras claves: ArcGIS Pro, análisis geoespacial, Duitama, Boyacá, Corine Land Cover, gestión del riesgo, ordenamiento territorial.

Introducción

Las inundaciones son uno de los fenómenos naturales más comunes en el mundo y América Latina, llegando a afectar los procesos de desarrollo de los países, por lo que se han incorporado acciones de prevención de desastres en el ordenamiento territorial de las ciudades y municipios más vulnerables. Sevillano (2020) señala que, en el caso de

Colombia, representan una amenaza significativa debido a las características climáticas, topográficas, la intensificación de fenómenos como El Niño y La Niña, que alteran los patrones de lluvia y las ausencias de los instrumentos de ordenamiento territorial inciden en la falta de estudios de amenaza y vulnerabilidad. Según el IDEAM (2020), las inundaciones son responsables de pérdidas

humanas, económicas y ambientales, con impactos relevantes en áreas urbanas con déficit en el ordenamiento territorial o infraestructuras de drenaje insuficientes. Silvestre y Vásquez (2021) mencionan que, el departamento de Boyacá ha mostrado un incremento considerable en las precipitaciones; además en Duitama su ubicación geográfica, su topografía y el crecimiento urbano acelerado han provocado el crecimiento de las cuencas hidrográficas que lo atraviesan, como el río Chicamocha y la quebrada la roma, razón por la cual enfrenta un riesgo elevado a inundaciones. De igual manera este riesgo se ve incrementado por la acumulación de sedimentos, la falta de mantenimiento de los drenajes y la expansión urbana no regulada como lo describe Avendaño y Mesa (s.f). La situación descrita resalta la necesidad de evaluar las condiciones de riesgo mediante herramientas modernas y precisas.

Por la trascendencia de esta situación a nivel nacional se busca mitigar el riesgo por medio de, la gestión del riesgo que ha sido abordada por leyes como la Ley 1523 de 2012, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD). Sin embargo, a nivel local, persisten desafíos en la implementación de medidas preventivas efectivas. Como consecuencia, el presente

trabajo utiliza herramientas geoespaciales, como ArcGIS Pro, con el fin de identificar áreas críticas en Duitama, priorizar acciones de mitigación y contribuir al ordenamiento territorial y la gestión integral del riesgo.

Objetivos

Determinar el área de riesgo de inundación en el municipio de Duitama Boyacá, mediante el uso de herramientas de información geográfica para el ordenamiento agroambiental del territorio.

Objetivos específicos

- Recolectar y procesar datos geoespaciales relevantes, como precipitación, topografía y cobertura del suelo con el fin de aplicar esta información al caso de estudio del municipio de Duitama Boyacá.
- Aplicar métodos de análisis multicriterio en ArcGIS Pro para clasificar y delimitar las áreas de mayor riesgo de inundación en el municipio de Duitama Boyacá
- Realizar recomendaciones basadas en los resultados del análisis para la gestión del riesgo.

Identificación del caso de estudio

Este estudio se lleva a cabo en el municipio de Duitama – Boyacá, ubicada al noreste de la cordillera Oriental en Colombia, tiene una altitud aproximada de 2.350 metros sobre el nivel del mar y una extensión promedio de 186 km². Su población, según el DANE (2023), supera los 117.000 habitantes, con su mayoría en la cabecera municipal.

En cuanto al clima de Duitama, presenta un clima templado de montaña, con temperaturas promedio de 14°C. La precipitación anual promedio es de aproximadamente 1.128 m.m, siendo los meses de marzo y abril los más lluviosos debido al régimen bimodal de lluvias característico de la región andina (IDEAM, 2020). El análisis de este estudio se realizó considerando los datos de precipitación correspondientes a abril, uno de los meses con mayores registros de lluvias.

Hidrológicamente, el municipio forma parte de la cuenca del río Chicamocha, destacándose la subcuenca del río Surba como eje principal.

De igual manera, Avendaño y Mesa (s.f), describen que: En la parte alta (al norte de Duitama) se encuentran los nacimientos de las quebradas Las siras, El papayo, Rancherías, El hato -entre otras- y cuando llueve fuertemente sus caudales, al desbordarse, descienden hasta el centro de la ciudad arrastrando cantidades

de lodo que se desprende de las lomas, cuyo terreno es demasiado frágil.

Por otro lado, su importancia estratégica en el departamento de Boyacá y su rol como centro económico y cultural resaltan la necesidad de implementar herramientas de análisis espacial que apoyen la gestión del riesgo y la planificación del territorio.

Metodología

1. Recolección de Datos Geoespaciales

Para realizar el análisis, se recolectaron y procesaron datos geoespaciales relevantes, incluyendo:

Importación de datos ráster: se importan datos del servicio geológico estadounidense USGS los cuales contiene un ShapeFile de los municipios.

Delimitación del municipio: se cargaron capas ráster con la delimitación de los municipios y el modelo digital de elevación (MDE), así mismo se elige el municipio de Duitama Boyacá como objeto de estudio y se aplican las herramientas de “curvas de nivel” y “pendiente” para conocer la altitud y la pendiente del terreno.

2. Clasificación y delimitación hidrográfica del municipio

Flujo de dirección y acumulación: teniendo el DEM del municipio se determina la dirección

de flujo del agua y su acumulación, este geo proceso permite calcular cuantas celdas fluyen hacia determinada zona.

Delimitación de la cuenca hidrográfica: se delimitan cuencas y subcuencas mediante el uso de geo procesos como: “evaluación condicional” “Vinculo de herramientas” y “Clasificación de cursos de agua”. Lo cual genera un ráster de flujo de agua, adicionalmente se delimita una cuenca tomando un punto de vertido y su área de impacto.

3. Modelación y aplicación al ordenamiento agroambiental

Cargue de capas ráster y recorte: se cargan las capas DEM del municipio y ráster de pendientes, además del Shapefile “cobertura de la tierra, Corine Land Cover” posteriormente se realiza un disolver del campo nivel 2 y se convierte de vectorial a ráster.

Capa de precipitación: se establece el mes de mayor precipitación del municipio de Duitama (abril).

Capa de distancia entre drenajes: se hace un flujo de acumulación de los drenajes utilizando las distancias entre canales principales para determinar el máximo flujo de acumulación, luego se hace una reclasificación para finalmente calcular la distancia euclidiana.

4. Modelo de riesgo de inundación

Reclasificación: se procede a reclasificar las variables en el DEM del municipio, las pendientes, las precipitaciones, la cobertura de tierras y la distancia de drenajes; tomando como referencia la *Tabla 1*.

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

Cada variable fue integrada en un modelo de análisis multicriterio, donde se asignan valores específicos a cada uno de los criterios, basado en su impacto potencial en las inundaciones.

Aplicación del Análisis Multicriterio: El Análisis Multicriterio (AMC) permitió combinar los criterios seleccionados en un solo modelo geoespacial. Con el fin de crear un mapa de riesgo con la superposición de las capas de datos y su ponderación de acuerdo con la importancia de cada factor.

5. Mapas de riesgo de inundaciones

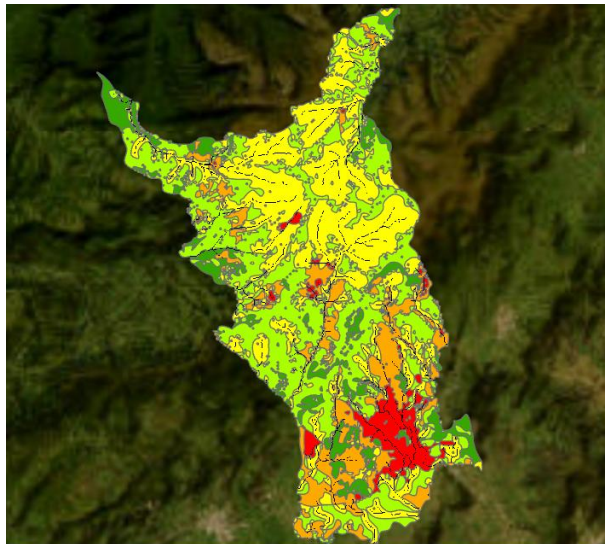
Utilizando los resultados del análisis multicriterio, se generaron mapas que muestran las zonas de riesgo de inundación en Duitama. Estos mapas permiten visualizar claramente las áreas de alto, medio y bajo

riesgo, lo cual es esencial para la toma de decisiones en la gestión del riesgo Gráfica 1.

Resultados

1. Mapa de Riesgo de Inundación

A partir del análisis, se generó un mapa de riesgo de inundación que ilustra las áreas más vulnerables a inundaciones en el municipio de Duitama. En este mapa, las zonas se clasificaron en riesgo muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo riesgo, con base en la integración de los datos de las pendientes, las precipitaciones, la cobertura de tierras y la distancia de drenajes, como se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1 Mapa riesgo de inundaciones Duitama

La clasificación del mapa se hizo teniendo en cuenta los valores y la simbología que se muestran en la Tabla 2

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	

Donde el riesgo mas alto se evidencia en la zona urbana del municipio de Duitama debido a la cercanía con la quebrada “La Aroma” y el río Chicamocha, además presentan un alto riesgo debido a la alta densidad de población, la falta de drenaje adecuado y la topografía plana en algunas áreas.

Por otro lado, el riesgo medio se distribuye en áreas rurales con uso agrícola moderado. Finalmente, el riesgo muy bajo se muestra en partes altas de la cordillera, es decir zonas de alto relieve, como las montañas circundantes, puesto que su capacidad natural para absorber agua y su protección frente a inundaciones.

2. Gráficas de Distribución del Riesgo

Suma de Area por Class_riesgo_inundación



	riesgo bajo 37,3 %
	riesgo medio 34,4 %
	riesgo alto 13,7 %
	riesgo muy bajo 9,0 %
	riesgo muy alto 5,6 %

Gráfica 2 Distribución del Riesgo de Inundación por Zonas (Porcentaje de Áreas)

Este gráfico muestra el porcentaje de áreas clasificadas en cada categoría de riesgo (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo) dentro del municipio. Cabe resaltar que a pesar de que el porcentaje de riesgo muy alto es de 5,6% se encuentra en el área urbana del municipio razón por la que se deben crear estrategias de prevención ya que la vulnerabilidad a este tipo de fenómeno natural de la población es significativa.

Conclusiones

- Con el análisis del riesgo de inundación del municipio de Duitama-Boyacá, realizado mediante con un sistema multicriterio apoyado en herramientas SIG, se logró identificar que la Metodología aplicada basada en la combinación de datos de precipitación, cobertura de tierras y la distancia de drenajes ha demostrado ser una metodología adecuada y pertinente para evaluar el riesgo de inundación en Duitama.
- Esta metodología permitió una clasificación detallada y espacial del riesgo, lo que facilita la identificación de áreas críticas que requieren atención inmediata.
- Con este análisis del riesgo de inundación del municipio de Duitama se identificó que las zonas urbanas del

municipio, especialmente las áreas cercanas a la quebrada La Aroma y el río Chicamocha, presentan un alto riesgo de inundación debido a la alta densidad poblacional, la falta de infraestructura adecuada de drenaje y la topografía plana en ciertas áreas.

- Por otro lado, las zonas rurales muestran un riesgo medio y bajo, dependiendo de su proximidad a cuerpos de agua y el uso del suelo. Esto quiere decir que, si bien el riesgo es más alto en las áreas urbanas, las zonas rurales no están exentas de vulnerabilidades.
 - Con los resultados obtenidos se puede proporcionar información confiable para la toma de decisiones en cuanto a la planificación y gestión del riesgo de inundación en Duitama; permitiendo priorizar las acciones de mitigación y adaptación en las áreas más susceptibles.
 - Este caso de estudio se basa en datos disponibles que pueden no reflejar con precisión las condiciones futuras si se presentan cambios en el clima o el uso del suelo en el municipio de Duitama.

Recomendaciones

- Es fundamental invertir en la mejora y mantenimiento de los sistemas de drenaje urbano, especialmente en áreas de “muy alto riesgo” de inundación.
- Llevar a cabo una restauración ambiental en las zonas rurales de Duitama, particularmente las áreas cercanas a cuerpos de agua, debido a que requieren de esfuerzos de restauración ecológica.
- Promover prácticas agrícolas sostenibles es crucial para mitigar el riesgo de inundación en áreas rurales. La implementación de sistemas agroforestales, la rotación de cultivos, y la agricultura de conservación, como el uso de coberturas vegetales permanentes.
- Se propone establecer un sistema de monitoreo constante del riesgo de inundación utilizando tecnologías geoespaciales avanzadas. Esto permitirá detectar de manera temprana los cambios en las condiciones de los cuerpos de agua, el uso del suelo y las características climáticas.
- Aplicar estas metodologías en los diferentes municipios con el

propósito de enriquecer el ordenamiento agroambiental, buscando mejorar la calidad de vida de las comunidades.

Referencias bibliográficas

IDEAM. (2020). Estudio de los fenómenos climáticos en Colombia: Impactos y medidas de mitigación. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

<https://www.ideam.gov.co>

DANE. (2023). Estadísticas del Censo de Población y Vivienda 2023: Municipio de Duitama, Boyacá. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

<https://www.dane.gov.co>

CORPOBOYACÁ. (2018). Plan de Manejo Ambiental para la gestión del riesgo en el municipio de Duitama, Boyacá. Corporación Autónoma Regional de Boyacá. Duitama, Boyacá.

Rodriguez, M. E. S. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (25), 47-76.

Silvestre Urrutia, B. H., & Vásquez González, E. C. (2021). Estimación probabilística de la amenaza de inundación de la cuenca alta de río Chicamocha en el municipio de Paipa-Boyacá.

Ramírez, L. D. A., & López, M. F. M.
INUNDACIONES POR FALENCIAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO EN DUITAMA, ACTUAL ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL (ALCALDÍA).

Espitia Mesa, A. A., & González Acevedo, Y. L. (2022). Plan de acción para mitigar los riesgos ocasionados por inundación en el sector del puente de la vereda la Trinidad-Duitama.

Enlace de sustentación:

<https://drive.google.com/file/d/1o0kr5vCw1C6Jr1BGpXeioO7UTO13OSd/view?usp=sharing>

g