

Análisis de Riesgo de Inundación en el Municipio de Mesetas, Meta, Colombia, con Enfoque Multicriterio en ArcGIS Pro para el Ordenamiento Agroambiental del Territorio

Tatiana Melisa Nuvar Guarnizo, tmnuvang@unadvirtual.edu.co

Evangelina Parra Pérez, evangelina.parra@unad.edu.co

Resumen

El presente estudio analiza el riesgo de inundación en el municipio de Mesetas, Meta, mediante un análisis multicriterio integrado con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en ArcGIS Pro. La metodología incluyó la recopilación y procesamiento de capas clave como el Modelo Digital de Elevación (DEM), pendientes, cobertura de tierras, precipitación mes de mayo y acumulación de flujo, que fueron reclasificadas y combinadas utilizando técnicas de suma ponderada.

Los resultados muestran que el 51.2% del territorio se clasifica como de riesgo alto, incluyendo veredas como San Isidro, El Palmar y Brisas, mientras que el riesgo muy alto (8.2%) afecta principalmente las veredas La Reforma y San Miguel, bajo la influencia del río Guape. Las áreas de riesgo bajo y muy bajo representan menos del 1% del territorio. El riesgo de inundación impacta significativamente los sistemas agrícolas, pecuarios y la infraestructura, debido al deterioro forestal de las cuencas hídricas y la creciente vulnerabilidad de las comunidades locales. Los hallazgos resaltan la necesidad de estrategias de conservación ambiental y gestión del riesgo en zonas críticas del municipio.

Palabras claves: Análisis Multicriterio, Mesetas, Riesgo.

Introducción

En Colombia, la intensidad del fenómeno de La Niña, sumada a la inadecuada inclusión de medidas de prevención del riesgo en la planificación de proyectos de reconstrucción y la construcción social del riesgo, incrementó la magnitud de los desastres por inundaciones (Sedano et al., 2013, p. 2). Estas inundaciones han generado consecuencias graves en sectores estratégicos como el agropecuario, entre 2010 y 2011, las pérdidas económicas superaron los 4.870 millones de dólares debido a áreas de cultivo anegadas (UNGRD, 2011).

Además de las afectaciones económicas en el sector agropecuario, las inundaciones derivadas del fenómeno de La Niña también han impactado gravemente la infraestructura vial y de vivienda, dificultando el acceso a zonas rurales y afectando la producción agrícola a largo plazo. Según informes de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), aproximadamente el 60% de las vías terciarias quedaron intransitables durante el periodo 2010-2011, lo que limitó el transporte de productos hacia los centros de consumo y agravó la crisis económica de las comunidades campesinas. Esta situación evidenció la falta de resiliencia en la

infraestructura y la necesidad urgente de implementar estrategias de adaptación al cambio climático y prevención del riesgo en territorios vulnerables (UNGRD, 2011; PNUD, 2012).

El municipio de Mesetas, Meta, no es ajeno a esta problemática, ya que el uso inadecuado del suelo afecta la dinámica y regulación de las cuencas hidrográficas que nacen en la región. Esta situación se agrava debido a la falta de voluntad política, consecuencia del conflicto armado y el desplazamiento forzado (Baquero, 2018). Estas condiciones resaltan la necesidad de llevar a cabo estudios que integren el uso de sistemas de información geográfica (SIG), para evaluar los riesgos asociados a las inundaciones. Este enfoque debe centrarse en el ordenamiento territorial, combinando la mitigación de desastres con la planificación agroambiental.

El municipio de Mesetas, en el departamento del Meta, ha avanzado en la planificación territorial a través de su Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT). Este instrumento, formulado en 2003, establece lineamientos para un desarrollo territorial equilibrado que contemple el uso adecuado del suelo, la sostenibilidad ambiental y el fortalecimiento de las dinámicas sociales y económicas locales (Alcaldía Municipal de Mesetas, 2003).

Sin embargo, diversos estudios han señalado problemas en la implementación de estas normativas. Por ejemplo, se ha identificado que la expansión urbana ha invadido áreas destinadas a la protección ambiental, especialmente debido al crecimiento de la frontera agrícola, lo que pone en riesgo la

biodiversidad de la región (SIMEH, 2018). Este fenómeno evidencia la necesidad de un control más efectivo sobre el cumplimiento del EOT y una evaluación constante de su impacto.

Otro aspecto clave en el ordenamiento territorial de Mesetas es la inclusión de la comunidad en la toma de decisiones. Según el Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA), la participación de los habitantes es fundamental para garantizar que las políticas de ordenamiento territorial respondan a las necesidades y expectativas locales (UNFPA, 2019). Esto fomenta un sentido de corresponsabilidad en la protección del territorio y el aprovechamiento sostenible de los recursos.

Además, se han implementado herramientas metodológicas innovadoras como el uso de cartografías participativas y estudios de imaginarios sociales. Estas metodologías permiten comprender cómo los habitantes perciben su entorno y cuáles son sus prioridades, facilitando un ordenamiento territorial más inclusivo y ajustado a las realidades locales (Valencia et al., 2020).

El planeamiento y ordenamiento agroambiental es una herramienta clave para mitigar el impacto de las inundaciones (Pérez, 2019), ya que permite una gestión eficiente del suelo y los recursos naturales (Acuña, 2015). A nivel nacional, la Ley 1523 de 2012 establece el marco normativo para la gestión del riesgo de desastres, promoviendo la prevención y la reducción del riesgo en los planes de ordenamiento territorial (Congreso de Colombia, 2012)

Objetivos

Objetivo general

Analizar las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Mesetas, Meta, mediante un enfoque multicriterio en ArcGis Pro.

Objetivos específicos

Aplicar un modelo de análisis multicriterio en ArcGIS Pro para zonificar áreas de riesgo.

Generar el mapa de zonificación de riesgo por inundación utilizando herramientas SIG y análisis multicriterio.

Proponer lineamientos agroambientales para la gestión y mitigación del riesgo en el municipio.

Identificación del caso de estudio

Mesetas está ubicado al occidente del departamento del Meta, en las coordenadas 3°23'03"N 74°02'43"O, y cuenta con una elevación promedio de 827 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Se encuentra a 180 kilómetros de la capital departamental, Villavicencio, y abarca un área municipal de 228.063 hectáreas (Rodríguez, 2019, p. 5).

El territorio presenta dos unidades morfológicas principales: una zona plana, ubicada en el centro del municipio, que pertenece al piedemonte llanero y forma parte del valle del río Duda; y una zona montañosa, situada al noroeste, que corresponde a la cordillera Oriental y, hacia el oriente, a las estribaciones de la serranía de La Macarena. Dentro de esta última destacan cerros como Ramírez, Purgatorio, El Triunfo, Buenavista y Peralta.

El municipio es recorrido por importantes cuerpos de agua, como los ríos Guayabero, Duda, Papamene, Guape, Lucía, Guaduas y Santo Domingo, además de numerosas corrientes menores. Sus tierras están distribuidas entre climas cálido, templado y frío, con una humedad relativa promedio anual del 84% y una temperatura promedio anual de 24,3 °C. Febrero es el mes más cálido, mientras que julio presenta las temperaturas más bajas. La precipitación media anual es de 2.858 mm, influenciada por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), con un régimen monomodal que se extiende de abril a noviembre, siendo junio el mes más lluvioso. En el municipio se encuentran los Parques Nacionales Naturales Sierra de La Macarena y Tinigua, los cuales, junto con la cuenca de los ríos Guayabero y Duda, y el Parque Nacional Natural Serranía de Chibiriquete, configuran un corredor natural que conecta la cordillera Oriental con la Orinoquía y la Amazonía colombiana. Además, Mesetas alberga tres parques naturales nacionales: Sierra de La Macarena, Sumapaz y Tinigua. Según datos del Censo 2018 y proyecciones posteriores, 10.430 habitantes, de los cuales 4.409 se encontraban en la cabecera municipal y 6.021 en el área rural (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE-, 2018). De este total, 221 personas eran indígenas, 322 afrocolombianos y un raizal del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En su territorio se ubican dos resguardos indígenas: Ondas del Cafre y Villa Lucía. La densidad poblacional para ese año era de 5,7 habitantes por kilómetro cuadrado.

Metodología

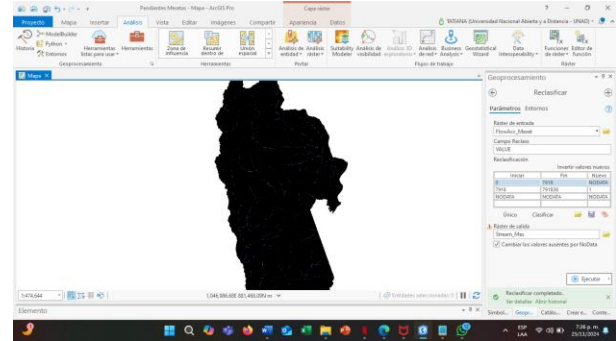
Para el cálculo del riesgo por inundación en Mesetas se empleó el método de análisis multicriterio, un enfoque que comenzó a desarrollarse formalmente en la década de 1960. Entre sus principales contribuciones destaca el trabajo de Thomas L. Saaty, quien en 1977 introdujo el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), un método que permitió integrar criterios cualitativos y cuantitativos en la evaluación de problemas geoespaciales (Maris, 2000). Según Gonzales (2006), este enfoque permite analizar múltiples variables y, al mismo tiempo, ponderar aquellas que, con base en la experiencia de los investigadores, tienen mayor influencia en la ocurrencia de fenómenos como inundaciones y deslizamientos.

La implementación de este modelo se estructuró en varias etapas integradas mediante el uso de herramientas SIG en ArcGIS Pro. En primer lugar, se recopilaron y procesaron capas clave, como el Modelo Digital de Elevación (DEM) y las pendientes, que se ajustaron para representar las características topográficas del área de estudio. Posteriormente, se descargó del geoportal del IGAC la capa de cobertura de tierras, la cual fue recortada, disuelta y transformada de vectorial a ráster para facilitar su análisis espacial.

En cuanto a los datos de precipitación, se utilizó información del IDEAM correspondiente al periodo del 1 de enero al 17 de noviembre de 2024, que registró un acumulado de 136.36 mm para el mes de mayo, considerado como el periodo de mayor intensidad de lluvias. Estos datos fueron ajustados mediante extracción por máscara y configuración del tamaño de celda, asegurando una mayor precisión en el análisis.

Finalmente, se generó el ráster de acumulación de flujo a partir del DEM, categorizando los drenajes principales mediante el cálculo del 1% del flujo máximo (Figura 1). Este procedimiento permitió identificar las áreas de mayor relevancia en términos de acumulación hídrica y su relación con la ocurrencia de inundaciones.

Figura 1 *Pantallazo del geoproceso Reclasificación para la capa de flujo de acumulación de acuerdo con el valor máximo.*

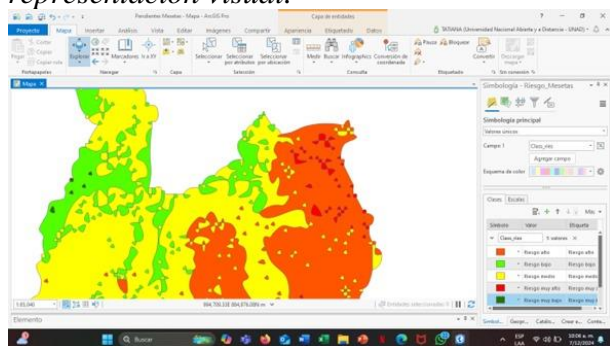


Fuente: Autoría propia, 2024.

La distancia euclidiana se empleó para calcular las distancias desde los drenajes principales y la infraestructura crítica, proporcionando información clave sobre la conectividad y las áreas más vulnerables. Posteriormente, cada uno de los factores analizados fue reclasificado en una escala común, lo que permitió su integración en un modelo de análisis multicriterio.

Como paso final, se aplicó la técnica de suma ponderada para combinar las capas reclasificadas, asignando pesos específicos a cada factor según su nivel de influencia en el riesgo de inundación. Este proceso dio como resultado un mapa de riesgo categorizado en niveles bajo, medio, alto y muy alto, el cual fue transformado a una capa vectorial para facilitar su análisis espacial y representación cartográfica, finalmente se suavizan los trazos (Figura 2).

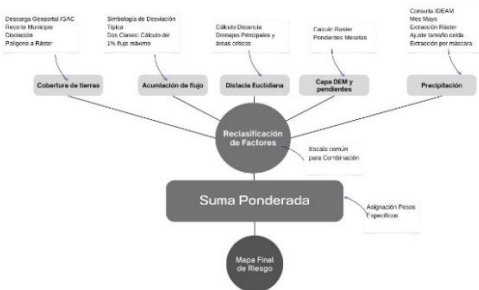
Figura 2 Mapa de Riesgo aplicado el geoproceso de suavizar, para mejorar representación visual.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Adicionalmente, se calcularon las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo, lo que permitió complementar el análisis con información espacial precisa y detallada. Los pasos empleados se pueden observar en el siguiente diagrama de flujo. (Figura 3).

Figura 3 Diagramación de los geoprocesos metodológico para el análisis multicriterio en ArcGis Pro.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Resultados

El análisis multicriterio permitió identificar y clasificar las áreas del municipio de Mesetas según su nivel de riesgo de inundación en cinco categorías: riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Figura 4).

Figura 4 Histograma de área en Km2 por cada clase de riesgo por inundación en Mesetas.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Los resultados reflejan una distribución espacial del riesgo altamente concentrada en las áreas de influencia de los principales cuerpos de agua y las zonas dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias, que son fundamentales para la economía del municipio.

La clasificación cualitativa del riesgo y las áreas correspondientes a cada nivel se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1 Clasificación cualitativa de riesgo en el municipio de Mesetas, Meta, y su relación en área y porcentaje a nivel municipal.

Clasificación de Riesgo por Inundación	Área Km2	Porcentaje
Riesgo muy bajo	6.03	0.2%
Riesgo bajo	92.11	
Riesgo medio	641.80	25%
Riesgo alto	1317.86	51.2%
Riesgo muy alto	211.38	8.2%

Nota: La unidad de medida del área es Kilómetros cuadrados. Fuente: Autoría propia, 2024.

De acuerdo con estos resultados, el riesgo alto abarca la mayor extensión territorial, con un 51.2% del área total donde están las veredas de San Isidro, El Palmar, El Cairo, El Turpial, Brisas, Las Rosas, La Julia, Las Brumas El Piñal, La Cabaña, El Porvenir, entre otras, con

influencia del Río Cafre, Caño Santo Domingo Norte y Caño Lajas.

Seguido del riesgo medio con un 25% donde está el casco urbano de Mesetas y la vereda Los Alpes principalmente riesgo influenciado por el Río Duda. Las áreas clasificadas como de riesgo muy bajo son mínimas, representando apenas el 0.2% del total se encuentra la vereda La Argentina, mientras que el riesgo muy alto que incluyendo casi la totalidad de las veredas La reforma, Oriente y San Miguel ubicadas al occidente del municipio, influenciado ese riesgo principalmente por el Río Guape, aunque menor en extensión que el riesgo alto, constituye un área significativa de 211.38 km² (8.2%). Esto evidencia una distribución espacial que refleja una alta vulnerabilidad en sectores críticos del municipio.

Figura 5 *Influencia del Río Guape en las veredas Oriente, San Miguel y La Reforma, clasificadas en nivel de riesgo muy alto.*



Fuente: Autoría propia, 2024.

Las áreas de riesgo muy alto y alto se localizan principalmente en las vegas de los ríos Duda,

Cafre y Güejar, y sus zonas aledañas, las cuales presentan una combinación de factores adversos, como la proximidad a corrientes hídricas, el deterioro forestal de las cuencas hidrográficas y el incremento del cauce en épocas de invierno. Estas condiciones han generado afectaciones recurrentes en las actividades agropecuarias, infraestructura, así como migraciones forzadas de las comunidades hacia el casco urbano y los centros poblados (Figura 6).

Figura 6 *Vía Mesetas -Vda. Diamante afectada por inundaciones del Río Lucía.*

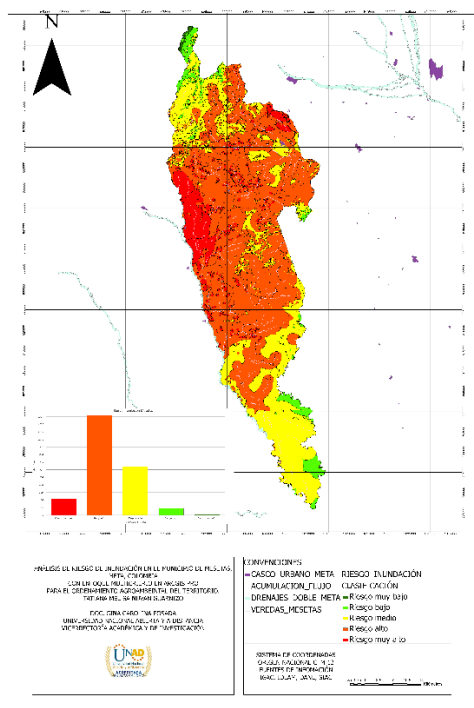


Recuperado: Tiempo, 2024. Foto: Jairo Pulgarín.

En particular, las inundaciones frecuentes en los ríos Duda, Lucía, Güejar y el Dulce han provocado desbordamientos, derrumbes y avalanchas, afectando tanto la infraestructura como los sistemas agrícolas del municipio (Gobernación Meta, 2020). Además, el deterioro forestal ha reducido la capacidad de regulación hídrica de las cuencas, incrementando la frecuencia e intensidad de estos fenómenos (OCHA, 2019).

Por otro lado, las áreas clasificadas como de riesgo bajo o muy bajo son limitadas y se encuentran principalmente en zonas elevadas y alejadas de las corrientes hídricas principales. Estas áreas corresponden a un menor impacto potencial sobre las comunidades e infraestructuras, representando territorios con mayor estabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos. (Figura 7).

Figura 7 Mapa de Riesgo de Inundación Mesetas, Meta.



Conclusiones

El análisis de riesgo realizado evidencia la necesidad de intervenciones sociales, estructurales y ambientales que consideren tanto la mitigación de amenazas como la adaptación al riesgo.

La concentración del riesgo alto y muy alto en sectores críticos requiere atención prioritaria para proteger a las comunidades, fortalecer la infraestructura y garantizar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios y ecosistemas del municipio.

La metodología empleada en este estudio, basada en el análisis multicriterio integrado con herramientas SIG, demostró ser una estrategia efectiva para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de Mesetas. Información que coincide a nivel general con estudios oficiales nacionales y locales, como el Plan de Desarrollo, Planes de Ordenamiento y Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

Los mapas de riesgo sirven como herramienta para establecer unas prioridades para facilitar la toma de decisiones de carácter técnico, político y económico y son la base de las medidas de mitigación y control.

Los resultados obtenidos destacan la importancia de incluir a las comunidades y sectores clave en la formulación e implementación de medidas de gestión del riesgo, asegurando un enfoque inclusivo y adaptado a las condiciones específicas del municipio.

Recomendaciones

Controlar la ocupación de los suelos identificados como de riesgo muy alto y alto por inundación, orientando el crecimiento a suelos de menor condición de amenaza.

Recuperar las áreas de rondas hídricas en la zona urbana y rural que se encuentran ocupadas por sistemas productivos y asentamientos informales, priorizando su reubicación.

A través de gestión política municipal se podría tramitar la solicitud para que las áreas que presentan amenaza alta por inundación, deslizamiento y avenidas torrenciales, se consoliden como suelos de protección, muy especialmente a lo largo del corredor del Río Duda.

Definir acciones para rehabilitar los taludes presentes en el municipio de Mesetas, con especial énfasis en los que se identifiquen en condición de amenaza media y alta.

Reconversión de sistemas productivos que hoy en día predominan y que generan conflicto de uso, hacia otros que se armonicen con los

objetivos de conservación y las directrices de uso definidas en los planes de manejo ambiental, en las áreas identificadas como riesgo alto.

Referencias bibliográficas

Acuña, J. (2015). *La cuestión agroambiental en la gestión de suelos y aguas*. Repositorio Institucional de la UNLP.

Alcaldía Municipal de Mesetas. (2003). Esquema de Ordenamiento Territorial: Municipio de Mesetas, Meta. Repositorio ESAP. Recuperado de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/handle/20.500.14471/10163>

Alcaldía Municipal Mesetas (2020). *Revisión y Ajuste del Esquema de Ordenamiento territorial*.

Baquero, G. (2018). *Lineamientos de gestión urbana para desarrollo del territorio del Municipio de Mesetas (Meta) en un escenario de posacuerdo*. Universidad Piloto de Colombia. Bogotá. p55.

Cartografías e imaginarios sociales (Revista UCN)

Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 de 2012*.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-, 2018. *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*.

Esquema de Ordenamiento Territorial de Mesetas (2003)

Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA). (2019). Formulación participativa

del ordenamiento territorial en Mesetas, Meta. UNFPA Colombia. Recuperado de https://colombia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/20191123_DTS_Formulacion_Mesetas_FINAL-1.pdf

Formulación participativa del ordenamiento territorial (UNFPA)

Gobernación Meta. (2020). Plan de Desarrollo Departamental 2020-2024.

Maris, S. (2000). *Uso de análisis multicriterio en la toma de decisiones grupales en el ámbito universitario*. Universidad Nacional de Mar de Plata.

OCHA. (2019). *Colombia. Afectaciones por inundaciones en Meta y Guaviare*.

Perez, R. (2019). *Análisis del riesgo de inundación del Barranco del Tramusser en Almussafes*. Escuela técnica superior de ingeniería geodésica, cartográfica y topográfica. Universidad Politécnica de Valencia. p36.

Planes de Ordenamiento Territorial en Municipios del Meta (SIMEH)

Sedano, K., Carvajal, Y. y Ávila, Á. (2013). *Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia*. Luna Azul no. 37. Manizales. p2.

SIMEH. (2018). Planes de ordenamiento territorial: Municipios del departamento del Meta (Tomo I). Recuperado de https://simehbucket.s3.amazonaws.com/miscfiles/pi-municipios-del-meta-tomo-i-final_n5rhlof9.pdf

UNGRD -Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-. (2011). *Reporte oficial de afectación y respuesta II temporada de lluvias*. Colombia: UNGRD.

Valencia, F., Martínez, L., & Jiménez, M. (2020). Cartografías e imaginarios sociales para el ordenamiento territorial en Mesetas, Meta.

Revista Virtual Universidad Católica del Norte, (59), 25–45. Recuperado de <https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/1280>

Enlace de sustentación:
<https://youtu.be/tOzn0ixesQo?si=llB0K9 lxu8wO7Jf>