

Análisis de riesgo por inundación en la cabecera municipal de Mocoa, Putumayo, Colombia

Autores:

Anni Vanessa López López - avlopez@unad.edu.co

Daira Katherintg labrada Estupiñan - dklabradae@unadvirtual.edu.co

Edwin Fabián Dorado - efdoradoe@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina carolina Posada Correa

Resumen

Mocoa, Putumayo, ha sido históricamente vulnerable a inundaciones, como ocurrió en la tragedia de 2017. Este estudio analiza el riesgo de inundación en la cabecera municipal de Mocoa, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un enfoque multicriterio. Se emplearon insumos geospaciales como el Modelo Digital de Elevación (DEM), datos de precipitación y cobertura del suelo, y se calcularon parámetros hidrológicos como dirección y acumulación de flujo, así como la distancia a drenajes. La metodología incluyó un modelo de suma ponderada para integrar las variables, asignando pesos según su impacto en el riesgo de inundación. Los resultados mostraron que el 71.3% del área urbana está en riesgo muy alto, especialmente cerca de drenajes y áreas de baja pendiente. La validación con eventos históricos (2017) indicó una coincidencia espacial del 80% entre las áreas de riesgo muy alto y las zonas afectadas. Este análisis proporciona una herramienta clave para la gestión del riesgo y la

planificación territorial, recomendando la implementación de medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad de las áreas críticas.

***Palabras Clave:** Análisis multicriterio, Gestión del Riesgo, Riesgo por Inundación.*

Introducción

La vulnerabilidad frente a inundaciones representa una amenaza constante en zonas tropicales y montañosas. En Colombia, el municipio de Mocoa sufrió una de las tragedias naturales más impactantes en 2017 debido a desbordamientos de ríos y quebradas. La ubicación geográfica de Mocoa, en una región de alta precipitación y topografía irregular, agrava su exposición a riesgos hidrológicos. Este estudio busca identificar áreas vulnerables a través de herramientas SIG y un análisis multicriterio, con el fin de contribuir al diseño de estrategias de mitigación y adaptación.

Objetivo

Objetivo General

Analizar el riesgo por inundación en la cabecera municipal de Mocoa mediante la herramienta ArcGIS PRO

Objetivos Específicos

Delimitar las áreas susceptibles a inundación en la cabecera municipal de Mocoa, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un modelo de suma ponderada. Calcular parámetros hidrológicos clave, como dirección y acumulación de flujo, y distancia a drenajes.

Identificar las principales variables geoespaciales (como pendiente, acumulación de flujo, drenajes y cobertura del suelo) que

influyen en el riesgo de inundación en la zona urbana.

Proponer medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad de las áreas de mayor riesgo, basadas en los resultados del análisis de riesgo.

Evaluar la efectividad del modelo de riesgo de inundación a través de la comparación con eventos históricos, como la inundación de 2017, para validar la precisión de los resultados.

Contexto Colombiano

El riesgo de inundaciones en Colombia es una preocupación crítica debido a su terreno variado, la urbanización acelerada, la gestión eficiente del agua y los efectos del cambio climático. Varias investigaciones han abordado estos problemas desde diferentes enfoques. Por ejemplo, Medina y Faggian (2024) proponen soluciones innovadoras a través de la

infraestructura azul-verde, que promueve la resiliencia climática en áreas urbanas afectadas por inundaciones frecuentes. Este enfoque ha sido reconocido como una opción efectiva en regiones con recursos limitados de datos y planificación (Medina & Faggian, 2024).

A su vez, investigaciones como la de Urrea-Ceferino (2023) estiman importantes pérdidas económicas causadas por inundaciones en áreas rurales como Río Nuevo, lo que resalta la vulnerabilidad de comunidades que dependen de la agricultura (Urrea-Ceferino, 2023). En contextos urbanos, el riesgo de inundación se agrava por la rápida expansión de ciudades y la infraestructura obsoleta. Un estudio sobre Cali por López-Valencia (2019) muestra cómo la infraestructura verde puede reducir la vulnerabilidad urbana y mejorar la calidad del agua, mientras que los sistemas de drenaje inadecuados siguen siendo un factor de riesgo (López-Valencia, 2019).

La evaluación de la vulnerabilidad es esencial para la planificación urbana y la gestión de riesgos, como se observa en el trabajo de Hoyos y Botero (2019), que proporciona una metodología para evaluar el riesgo en áreas con escasa información, como Montería. Estos modelos cuantitativos ayudan a las autoridades a tomar decisiones más informadas en regiones vulnerables (Hoyos & Botero, 2019). En cuanto a la gestión de riesgos, estudios como el de Güiza Suárez (2012) subrayan la falta de eficacia en las políticas públicas de gestión de inundaciones, lo que pone en evidencia la necesidad de mejorar las estrategias de prevención y respuesta (Güiza Suárez, 2012).

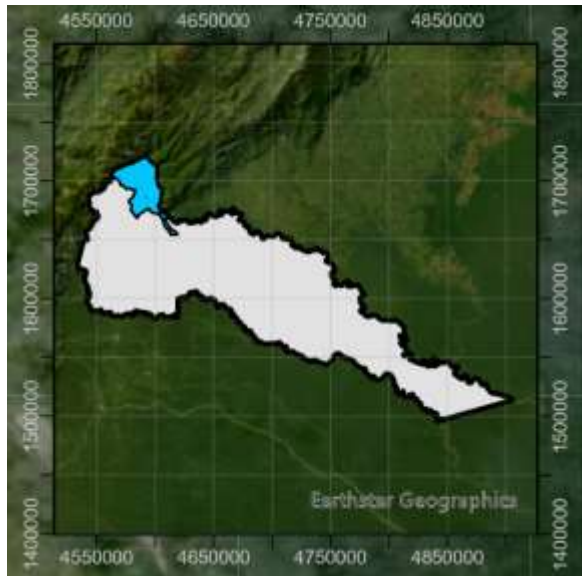
Por último, los esfuerzos en la mejora de los sistemas de alerta temprana, como el proyecto *Mi Pronóstico Flood* (Rushley et al., 2014), son fundamentales para mitigar los impactos de las inundaciones al permitir una preparación

más adecuada y reducir la vulnerabilidad en áreas de alto riesgo (Rushley et al., 2014).

Identificación del caso de estudio

El mapa de localización que se expone en la *Figura 1* muestra la ubicación geográfica del municipio de Mocoa, en el departamento de Putumayo, Colombia. Este mapa fue elaborado utilizando ArcGIS, destacando los límites geográficos, las principales vías de acceso, y las áreas afectadas por el desastre de 2017. La información cartográfica contenida en el mapa permite contextualizar mejor los eventos ocurridos y proporciona una base visual para la evaluación de riesgos en la región.

Figura 1: Mapa de localización de la cabecera municipal de Mocoa



Fuente: 1: Elaboración propia, 2024

El desastre ocurrido en 2017 en Mocoa, Colombia, fue un flujo de escombros desencadenado por lluvias extremas que alcanzaron 129 mm en apenas tres horas, lo que provocó cerca de 600 deslizamientos de tierra en la región (Campo Zambrano et al., 2018). Un análisis de los datos históricos de precipitación entre 1985 y 2017 identificó niveles de precipitación anómalamente altos el día del evento, subrayando la magnitud de la anomalía climática (Fabián et al., 2020). Esta tragedia

puso en evidencia que, de haberse implementado las medidas de mitigación y prevención estipuladas en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, las consecuencias habrían podido ser significativamente menores (Campo Zambrano et al., 2018).

En cuanto a las características biofísicas de Mocoa, el municipio está ubicado en la región amazónica de Colombia, dentro de la cuenca del río Mocoa, lo que lo hace particularmente vulnerable a inundaciones. La topografía es predominantemente montañosa, lo que facilita los deslizamientos de tierra, especialmente durante eventos de lluvias intensas. Además, la precipitación en la zona es alta, con precipitaciones anuales superiores a los 4.000 mm, lo que aumenta el riesgo de inundación y deslizamientos (Gutiérrez et al., 2022). Los estudios recientes destacan la necesidad de integrar la variabilidad temporal y espacial en los

modelos hidrodinámicos para una evaluación precisa del riesgo de inundación (Ramos-Cañón et al., 2023). Las estrategias de restauración aplicadas tras el desastre de 2017 fueron insuficientes, subrayando la urgencia de optimizar las acciones de recuperación y fortalecer la capacidad de respuesta frente a futuros eventos (Martín Calvo et al., 2020).

Metodología

Nota: El esquema metodológico diagramado se presenta en el siguiente enlace con mejor detalle y resolución

https://lucid.app/lucidchart/7c2d9cdb-8db7-464e-b012-4b2aaa8dca4a/edit?invitationId=inv_391f06f3-c4c2-4b43-8ae8-6aa55a953805

Diagrama metodológico aplicado

Figura 2: Diagrama Metodológico



Fuente: 2: Construcción propia, 2024.

El análisis de riesgo por inundación en Mocoa se llevó a cabo mediante un enfoque sistemático que incluyó la obtención, procesamiento y modelado de datos geoespaciales. Este procedimiento integró herramientas avanzadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis multicriterio.

Obtención y preparación de insumos cartográficos

Modelo Digital de Elevación (DEM)

Se utilizó un DEM de alta resolución (1 m) obtenido del Geoportal del IGAC. Este insumo permitió derivar parámetros topográficos esenciales como la pendiente, la elevación relativa y las áreas de acumulación de flujo.

Datos de precipitación

Se emplearon rásteres de precipitación mensual (período 2000–2020) con resolución espacial de 30 m (resolución que posteriormente fue “Remuestreada” por medio de un geo proceso, con la finalidad de

obtener valores de píxel de 1 metro), obtenidos de bases oficiales (IDEAM). Particularmente, se seleccionó el mes de noviembre por su alta representatividad en eventos extremos históricos.

Cobertura del suelo

Los datos de cobertura del suelo fueron generados mediante la clasificación Corine Land Cover, adaptada para Colombia. Las categorías se agruparon en función de su influencia en la dinámica de inundaciones: superficies impermeables, áreas forestales y zonas agrícolas.

Procesamiento de datos hidrológicos

Dirección y acumulación de flujo

El análisis hidrológico se basó en la generación de redes de drenaje y acumulación de flujo mediante algoritmos de flujo de celdas en ArcGIS Pro. Se estableció un umbral del 1 % del flujo acumulado para identificar drenajes significativos.

Distancia a drenajes principales

Se calculó un ráster de distancia euclidiana para identificar gradientes de proximidad a cuerpos de agua, clasificando las zonas urbanas más vulnerables.

Reclasificación de insumos

Cada variable fue reclasificada en cinco categorías ordinales (1 a 5), representando el nivel de susceptibilidad de acuerdo con criterios establecidos en la literatura científica.

Análisis multicriterio y modelado de riesgo

Asignación de pesos

Mediante la técnica de ponderación analítica (AHP), se asignaron pesos específicos a cada criterio, considerando su influencia relativa en el riesgo de inundación:

Tabla 1

Peso asignado a criterios de suma ponderada

Criterio	Peso asignado (%)
Precipitación	35
Distancia entre drenajes	30
Pendiente	15
Elevación	10
Cobertura del suelo	10

Fuente: 3: Elaboración propia

Descripciones

Precipitación

La cantidad de lluvia registrada, considerando su influencia en la probabilidad de inundaciones.

Distancia entre drenajes

Distancia de las áreas de estudio a los sistemas de drenaje natural o artificial.

Pendiente

La inclinación del terreno, que afecta el flujo del agua en la zona.

Elevación

La altura sobre el nivel del mar, influyendo en la acumulación de agua en zonas bajas.

Cobertura del suelo

Tipo de uso del suelo, como áreas urbanas o vegetación, que afecta la absorción del agua.

Modelo de suma ponderada

Se implementó un modelo de suma ponderada (Weighted Sum) para integrar las variables reclasificadas. El resultado final fue un mapa de riesgo que clasifica las áreas en cinco niveles: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Validación del modelo

Se compararon los resultados del mapa de riesgo con datos de eventos

históricos (2017), evaluando la correlación espacial entre las áreas clasificadas como de riesgo alto/muy alto y los sectores afectados por la inundación.

Resultados

Los resultados exponen y evidencian lo que, Los resultados obtenidos en este estudio destacan la vulnerabilidad de la cabecera municipal de Mocoa, en el departamento del Putumayo, frente al riesgo de inundación. Más del 91% del área urbana está expuesta a este peligro, como se refleja tanto en el mapa final como en la Tabla 1.

Tabla 2

Nivel de Riesgo por Inundación

Riesgo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy bajo	0.22	0.0
Bajo	5.13	0.9
Medio	41.80	7.7
Alto	109.10	20

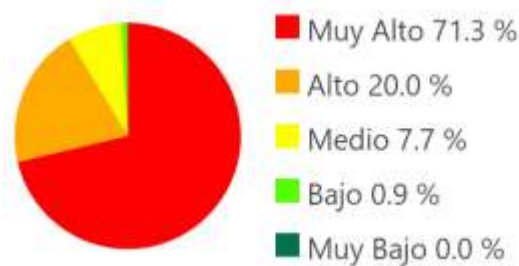
Riesgo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Muy Alto	388.24	71.3

Fuente 4: Elaboración Propia

Las precipitaciones extremas, la cercanía a drenajes principales y la urbanización desordenada son factores clave que contribuyen a esta alta exposición. La Figura 2 ilustra la magnitud del riesgo, mientras que la Figura 3 muestra cómo casi toda la ciudad está en una zona susceptible a inundaciones debido a su topografía y uso del suelo.

Figura 3

Gráfico circular de Riesgo por Inundación



Fuente 5: Elaboración propia, 2024

Figura 4

Gráfico de barras de Riesgo por Inundación



Fuente 6: Elaboración propia, 2024

El modelo de riesgo por inundación permitió identificar áreas críticas, evidenciando una alta correlación entre las zonas con riesgo muy alto y aquellas afectadas por el desastre de 2017. Un 71.3% del área se clasificó como de riesgo muy alto, particularmente en sectores cercanos a drenajes y zonas de baja pendiente, donde la acumulación de agua es más probable. La precipitación mensual acumulada, especialmente en noviembre, resultó ser un factor determinante en la modelación, ya que las zonas con mayores niveles de riesgo

presentaron precipitaciones históricas superiores a los 200 mm.

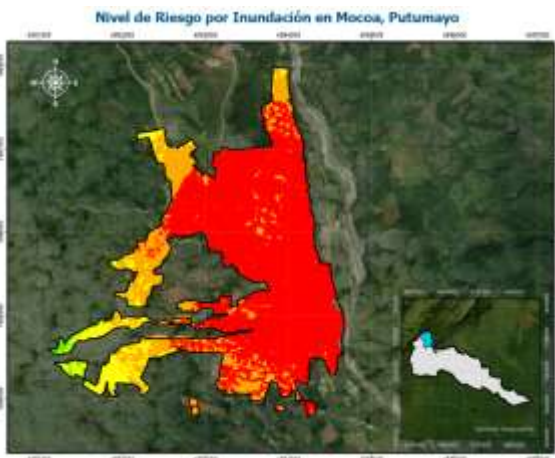
El análisis muestra que el riesgo no solo está relacionado con factores naturales como la precipitación, sino también con dinámicas urbanas que agravan la vulnerabilidad, como la falta de una planificación urbana adecuada. A pesar de la robustez del enfoque metodológico, se identifican algunas limitaciones, como la falta de datos sobre el impacto del cambio climático y las dinámicas a pequeña escala en el drenaje urbano. Esto sugiere que futuros estudios deberían considerar estos aspectos para mejorar las proyecciones y la efectividad de las medidas preventivas. Además, la vulnerabilidad de las áreas urbanas resalta la necesidad urgente de incorporar el análisis de riesgo en la planificación territorial y la gestión de desastres en Mocoa.

Observar en la *Figura* cómo, gran parte de la cabecera municipal se pinta de

color rojo; exponiendo todo lo mencionado anteriormente y dándoles validez a las figuras evidenciadas

Figura 5

Mapa de Riesgo por Inundación



Fuente 7: Elaboración Propia, 2024

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el análisis de riesgo por inundación en la cabecera municipal de Mocoa son alarmantes. Se identificó que el 71.3% del área urbana está en riesgo muy alto de inundación, especialmente en sectores cercanos a drenajes principales y con baja

pendiente. Estas zonas son propensas a la acumulación de agua, lo que agrava el riesgo de inundación en la ciudad.

La combinación de precipitación extrema (superior a 200 mm en eventos de alta intensidad), proximidad a cuerpos de agua, y características topográficas como baja elevación y alta impermeabilidad del suelo, son factores que contribuyen significativamente al riesgo de inundación. Las áreas con estos factores coinciden en gran medida con las zonas que fueron afectadas en el desastre de 2017, lo que valida la efectividad del modelo de riesgo utilizado.

La distribución espacial muestra que las áreas más vulnerables se concentran en sectores de alta densidad poblacional, lo que aumenta la exposición a potenciales pérdidas humanas y materiales. Además, se observó que la urbanización desordenada y el estado deficiente del drenaje urbano son factores adicionales que agravan la

situación, ya que contribuyen a la obstrucción de los flujos de agua durante eventos climáticos extremos.

Estos resultados sugieren la necesidad de implementar acciones de mitigación inmediatas, como la mejora de los sistemas de drenaje y la reordenación urbana, con el fin de reducir la vulnerabilidad de la población y las infraestructuras ante futuros desastres. La información obtenida también indica que las proyecciones futuras deben tener en cuenta el cambio climático, que podría intensificar los fenómenos meteorológicos extremos.

Recomendaciones

Desarrollo de infraestructura resiliente

Construcción de sistemas de drenaje sostenibles que incluyan trincheras drenantes y estanques de retención.

Fortalecimiento de los diques y canales fluviales para contener flujos de alta magnitud.

Reubicación y planeación territorial

Implementar planes de reubicación para las poblaciones asentadas en zonas de muy alto riesgo.

Regular la expansión urbana en áreas inundables mediante normativas estrictas.

Monitoreo y alertas tempranas

Establecer estaciones meteorológicas automatizadas para monitorear lluvias en tiempo real.

Crear sistemas de alerta temprana que integren sensores y análisis en línea para informar a la población en caso de eventos inminentes.

Incorporación de proyecciones climáticas

Realizar análisis de riesgo a largo plazo utilizando escenarios climáticos futuros, integrando modelos hidrológicos avanzados.

Educación y participación comunitaria

Implementar programas de educación ambiental y gestión del riesgo dirigidos a las comunidades vulnerables.

Involucrar a la población local en la planificación y ejecución de medidas de mitigación, aprovechando su conocimiento del territorio.

Colaboración interinstitucional

Fomentar la cooperación entre entidades gubernamentales, académicas y organizaciones no gubernamentales para garantizar un enfoque multidisciplinario.

Buscar financiamiento internacional para proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Referencias Bibliográficas

- Adriana, Patricia, López-Valencia. (2019). Vulnerability assessment in urban areas exposed to flood risk: methodology to explore green infrastructure benefits in a simulation scenario involving the Cañaveralejo River in Cali, Colombia. *Natural Hazards*, 99(1):217-245.
- 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.
- Cárdenas, F. A., & Gómez, H. R. (2021). Estrategias para la mitigación de desastres naturales en Mocoa: Un estudio de caso post-inundación. *Journal of Disaster Management*, 15(1), 90-110

- Edna, M., Rodríguez-Gaviria., Verónica, Botero-Fernández. (2012). Flood Vulnerability Assessment: A Multiscale, Multitemporal and Multidisciplinary Approach.
- Gloria, Esther, Urrea-Ceferino. (2023). Housing vulnerability, agricultural production, and goods lost estimated to floods in Rio Nuevo a rural community in Colombia. *Economía agro-alimentare*, 121-137.
- Gutiérrez García, Jesús Valentín, Rubiños Panta, Juan Enrique, Fernández Reynoso, Demetrio Salvador, Ramírez Ayala, Carlos, Roblero Hidalgo, Rodrigo, Gutiérrez García, Francisco Gerardo, & Romero Sánchez, Martín Enrique. (2022). Modelación hidráulica en Iber para prevención de inundaciones en la cuenca Tesechoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(71), 159-181.
- Haider, Hoyos., B., A., Botero. (2019). Vulnerability Assessment with Scarce Information for a Quantitative Flood Risk Model. Case Study Monteria-Colombia. 1757-899X/471(10):102005-.
- Karime, Sedano-Cruz., Yesid, Carvajal-Escobar., Álvaro, Javier, Ávila, Díaz. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. 219-238.
- Laura, Medina, Rivera. Robert, Faggian. (2024). Integrating Blue-Green Infrastructure strategies to enhance climate resilience in Colombia. *European Journal of Sustainable Development*, 13(4):255-255.
- Leonardo, Güiza, Suárez. (2012). Gestión del riesgo de inundaciones en Colombia. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 12(12):25-41.

- 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).
- Micha, Werner., J.C., Loaiza., M.C., Rosero, Mesa., M., Faneca, Sánchez., O., de, Keizer., M.C., Sandoval. (2015). Developing Flood Forecasting Capabilities in Colombia (South America). 349-368.
- 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.
- Restrepo, J. M., & Paredes, G. (2023). Impacto de las lluvias intensas en la región de Mocoa: Un análisis geohidrológico post-tragedia. Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez, M., & García, L. (2022). Riesgos climáticos en Mocoa: Evaluación de la gestión del riesgo en la región. *Revista de Geografía y Planificación*, 40(2), 125-145.
- Stephanie, Rushley., Matthew, Carter., Charles, Chiou., Richard, Farmer., Kevin, Haywood., Anthony, Pototzky., Adam, White., Daniel, Winker. (2014). Colombia Mi Pronostico Flood Application: Updating and Improving the Mi Pronostico Flood Web Application to Include an Assessment of Flood Risk.
- Enlace de sustentación:***
<https://youtu.be/u21WjDmemFM>