

Modelación del riesgo de inundación en el municipio de Tibú, Norte de Santander mediante Sistemas de Información Geográfica

Norhay Atuesta Rojas natuestar@unadvirtual.edu.co

Jesús Arley Puerto Pérez japuertope@unadvirtual.edu.co

Deicy Mayerly Vera Castro dmverac@unadvirtual.edu.co

Sandra Katherine Garcia Parada skgarcia@unadvirtual.edu.co

Ricardo Felipe Garcia Parada rfgarciapa@unadvirtual.edu.co

Ing. Rolando Santos Santos rolando.santos@unad.edu.co

Resumen

El estudio desarrollado en el municipio de Tibú, Norte de Santander, tuvo como propósito construir un producto cartográfico digital que permitiera identificar y analizar las zonas de riesgo de inundación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello se aplicó un modelo de análisis multicriterio en ArcGIS Pro, que incluyó la conversión de capas ráster a vectoriales, el suavizado de polígonos, la disolución de atributos y la reclasificación cualitativa de los niveles de riesgo. Los insumos principales fueron el modelo digital de elevación, la red hídrica del río Tibú y sus afluentes, así como datos de precipitación histórica.

Los resultados evidenciaron que las áreas más críticas corresponden a las categorías de riesgo alto (835,53 km²) y medio (702,23 km²), que en conjunto abarcan más del 60% del territorio municipal. Las zonas de riesgo muy alto (441,36 km²) se localizan principalmente en planicies aluviales cercanas a cauces principales, coincidiendo con registros históricos de afectaciones en comunidades rurales, cultivos de arroz y palma de aceite, y vías terciarias. En contraste, las áreas de riesgo muy bajo representan apenas 189,65 km². Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer la gestión agroambiental y la planificación territorial en Tibú, orientando acciones de prevención y mitigación frente a inundaciones.

Palabras claves: Análisis Multicriterio; Inundaciones; Ordenamiento Agroambiental; SIG; Tibú.

Introducción

El cambio climático ha intensificado la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias torrenciales y crecientes súbitas, que incrementan el riesgo de inundaciones en territorios vulnerables. Diversos informes internacionales y nacionales han señalado que el aumento de la temperatura global y la variabilidad climática generan mayor frecuencia e intensidad de inundaciones en regiones tropicales (IPCC, 2021; IDEAM, 2022; UNDRR, 2020; FAO, 2019).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha advertido que los municipios de la región del Catatumbo, entre ellos Tibú, presentan alta susceptibilidad a inundaciones debido a su localización en planicies aluviales y la presencia de una red hídrica densa.

El estudio de inundaciones en Tibú es de gran relevancia para la población, la infraestructura y las actividades productivas. Según el Plan de Desarrollo Municipal (Alcaldía de Tibú, 2020), gran parte de la economía local depende de cultivos de palma de aceite y arroz, los cuales se ven afectados por anegamientos recurrentes. Adicionalmente, las vías terciarias y viviendas rurales han sufrido daños en temporadas de lluvias intensas, incrementando la vulnerabilidad social y económica.

En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen herramientas fundamentales para integrar datos ambientales, modelar escenarios de riesgo y apoyar la toma de decisiones territoriales. Estudios recientes han demostrado que los SIG permiten identificar zonas críticas y priorizar acciones de mitigación en la gestión del riesgo (Goodchild, 2020; Esri, 2019).

El presente estudio tuvo como propósito aplicar un modelo de análisis multicriterio en SIG para generar el mapa de riesgo de inundación del municipio de Tibú y realizar una primera interpretación de las zonas más críticas, aportando insumos técnicos para la planificación agroambiental y la reducción de vulnerabilidades.

Objetivos

Objetivo General

Construir un producto cartográfico digital del riesgo de inundación en el municipio de Tibú (Norte de Santander) mediante modelación espacial y SIG, como insumo técnico para el ordenamiento agroambiental del territorio.

Objetivos Específicos

Procesar datos vectoriales y ráster mediante herramientas SIG, aplicando técnicas de conversión, suavizado y disolución, generando insumos cartográficos consistentes que permitan la modelación espacial del riesgo de inundación.

Analizar metodologías de impacto ambiental y paisajístico en el contexto del municipio de Tibú, argumentando con lenguaje técnico y científico la pertinencia de la modelación espacial en la identificación de zonas críticas y en la planificación agroambiental.

Aplicar el análisis multicriterio en ArcGIS Pro para reclasificación y cálculo de áreas de riesgo en categorías cualitativas, representarlas en mapas temáticos realizando una interpretación de los resultados en relación con comunidades, infraestructuras, sistemas productivos rurales y ecosistemas presentes en el territorio.

Identificación del caso de estudio

El municipio de Tibú se localiza en el nordeste de Colombia, en la subregión del Catatumbo, departamento de Norte de Santander. Limita al norte y este con Venezuela, al sur con Cúcuta y Sardinata, y al oeste con San Calixto, El Tarra y Teorama. Su extensión territorial es de 2.737 km², con una población estimada de 62.474 habitantes para 2025; aproximadamente 23.500 residen en el área urbana y el resto en zonas rurales (Alcaldía de Tibú, 2020; DANE, 2023).

La altitud media del municipio es de 75 m.s.n.m., ubicado en una planicie aluvial con pendientes suaves y alta susceptibilidad a inundaciones. El territorio está atravesado por el río Tibú, afluente del Catatumbo, y múltiples quebradas que conforman una red hídrica densa. Estas condiciones, junto con la deforestación y el uso intensivo del suelo para cultivos de palma de aceite y arroz, incrementan la vulnerabilidad frente a crecientes súbitas y anegamientos (IDEAM, 2022; PNUD, 2021).

El clima de Tibú es cálido-húmedo, con temperaturas promedio superiores a 27 °C y precipitaciones abundantes durante gran parte del año. Los periodos de mayor lluvia corresponden a abril–mayo y septiembre–noviembre, coincidiendo con registros históricos de inundaciones en la región (IDEAM, 2022; AccuWeather, 2025).

Según el Plan Municipal de gestión del riesgo del municipio, las cuencas bajas de los ríos Catatumbo, Río de Oro, Tibú, Sardinata, Nuevo Presidente, la mayoría se caracterizan por ser ríos deambulantes con una gran llanura aluvial, en donde se observan curvas, barras de cauce, patrón de erosión de tipo sub-detrítico a detrítico, presentan problemas de inundación por la ocurrencia de periodos lluviosos que aumentan su nivel desbordándolos. También involucra la alta sedimentación de la zona, así como la deforestación en la cual influyen en las inundaciones de estos ríos.

En épocas de alta precipitación, los caños que atraviesan el casco urbano son susceptibles de generar represamiento e inundaciones que afectan la zona. Este riesgo se incrementa por el arrojo de basuras, el mal uso del suelo, la descarga de aguas residuales y la invasión del perímetro ambiental de conservación de los afluentes. La proximidad de numerosas viviendas a las rondas de estos ríos agrava la situación y expone la población a mayores impactos.

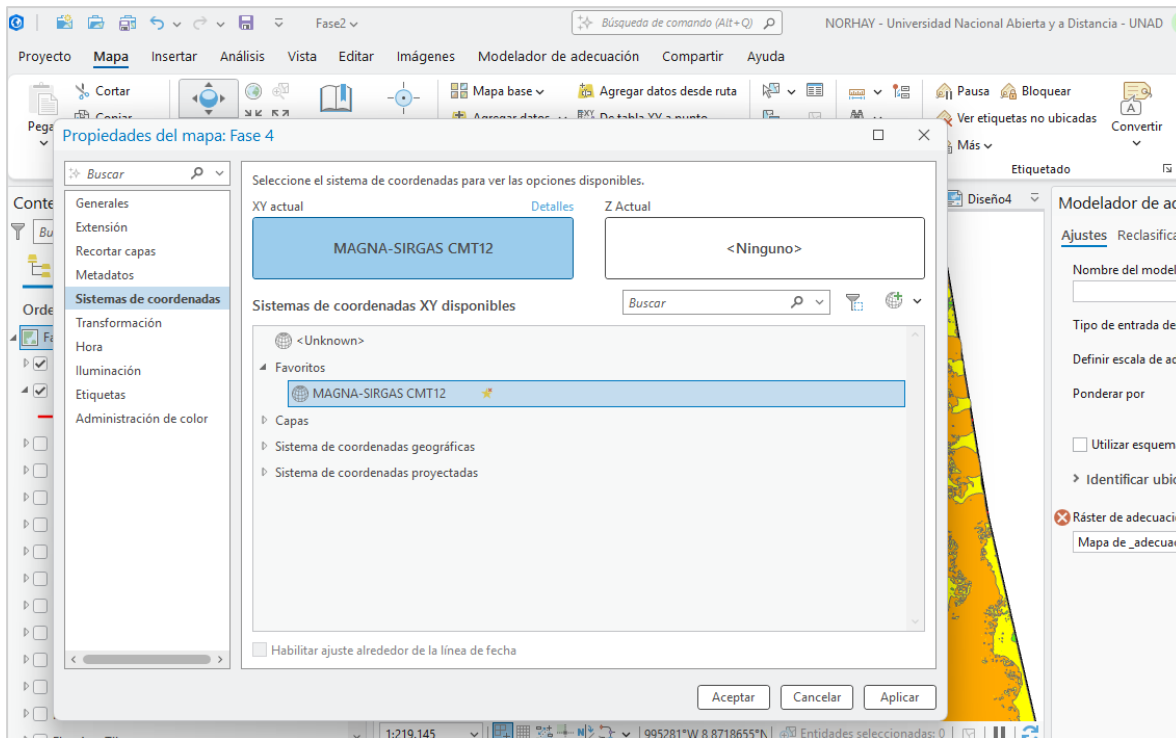
Metodología

La metodología empleada consistió en un análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar el riesgo de inundación en el municipio de Tibú, Norte de Santander. El procedimiento se desarrolló en ArcGIS Pro, integrando datos ráster y vectoriales, y aplicando técnicas de conversión, reclasificación y ponderación espacial.

Configuración inicial

El proyecto se configuró en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12, garantizando precisión espacial y compatibilidad con la cartografía del país (Figura 1).

Figura 1. Visualización de la configuración de coordenadas en la interfaz de ArcGIS.

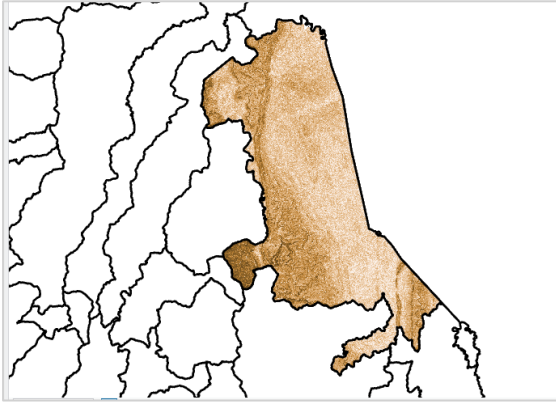


Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Preparación de insumos (Fase 4)

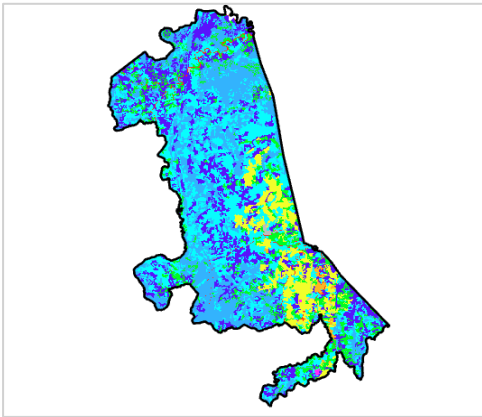
Se cargaron al proyecto las capas de modelo digital de elevación (DEM) y capa de pendientes (Figura 2), coberturas de tierra, precipitación mensual (Figura 4) y red hidrográfica (Figura 5). Para asegurar consistencia espacial, se aplicaron procesos de recorte por máscara, disolución de atributos y conversión de polígono a ráster (Figura 3).

Figura 2. DEM Tibú y el ráster de pendientes



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 3. De polígono a ráster.



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 4. Precipitación Octubre Tibú.



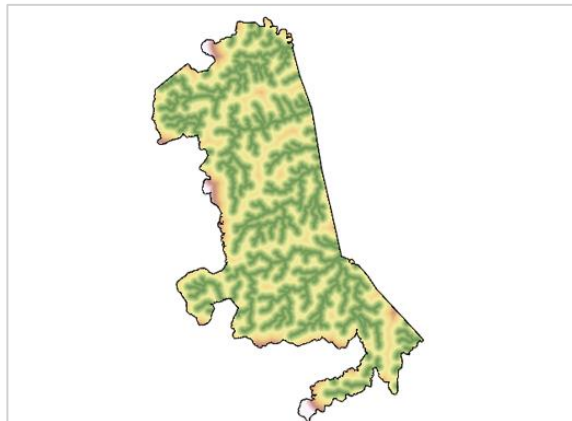
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 5. Red hidrológica.



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 6. Acumulación de distancias



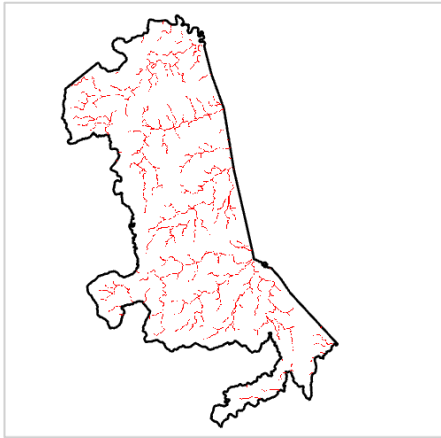
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Reclasificación de factores

Cada capa se reclasificó en cinco categorías de riesgo, siguiendo una escala cualitativa (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto) y asignando valores numéricos de 2 a 10.

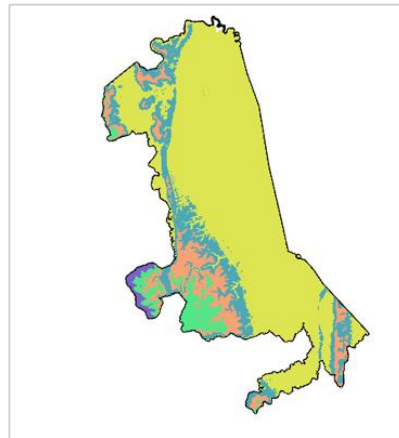
- DEM: las zonas de menor elevación se clasificaron como riesgo muy alto.
- Pendiente: las áreas planas se asociaron a mayor riesgo, mientras que las pendientes pronunciadas se consideraron de menor riesgo.
- Precipitación: los valores más altos se vincularon a riesgo muy alto.
- Distancia a drenajes: las áreas más cercanas a cauces se clasificaron como de mayor riesgo.
- Cobertura de tierras: se asignaron valores según la vulnerabilidad de cada uso (ej. cultivos permanentes = 8, aguas continentales = 10, bosques = 2).

Figura 7. Reclasificación acumulación de flujo.



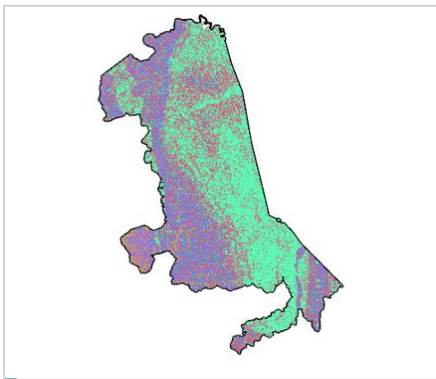
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 8. Reclasificación cualitativa y cuantitativa



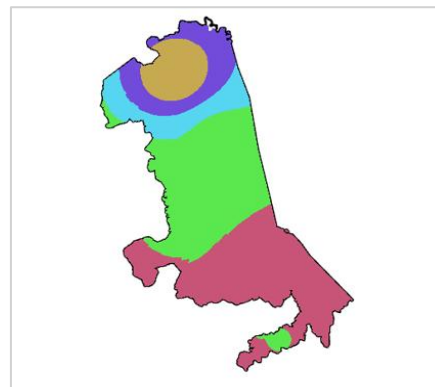
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 9. Reclasificación ráster de pendientes.



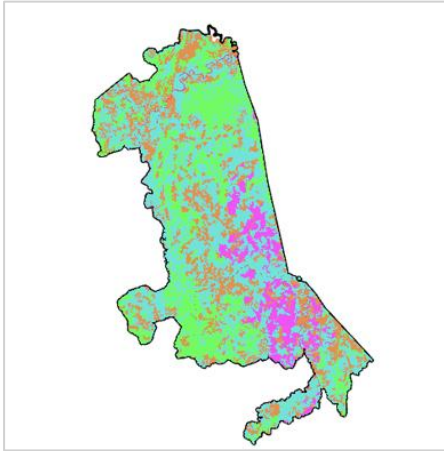
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 10. Reclasificación ráster de precipitación



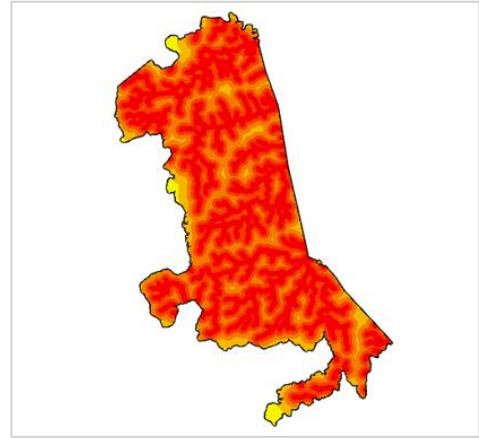
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Figura 11. Reclasificación de coberturas.
drenajes.



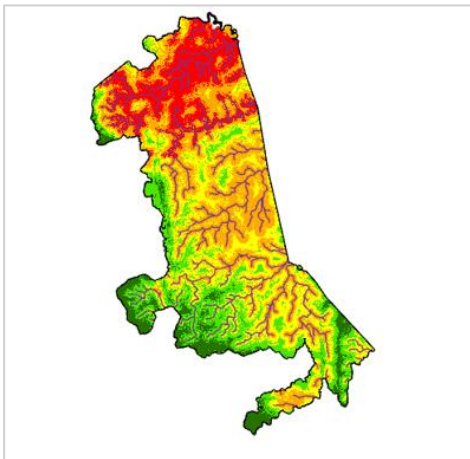
Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 12. Reclasificación distancias



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Figura 13. Reclasificación de riesgo por inundación (Fase 4)

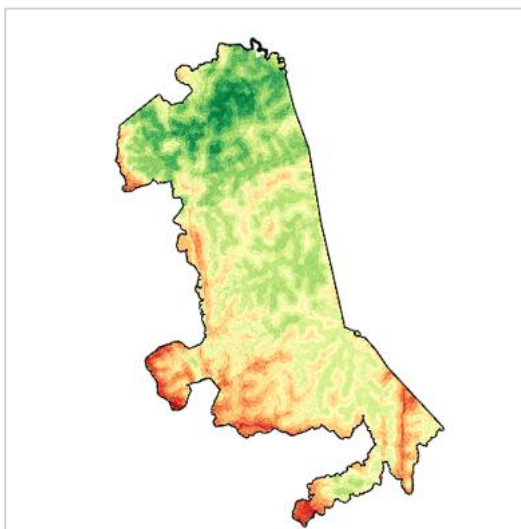


Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Ponderación de variables

Se aplicó el geoproceto (Suma ponderada), asignando un peso relativo a cada factor según su influencia en el riesgo de inundación. La combinación de capas permitió generar un ráster de ponderación que integró los criterios ambientales y territoriales (Figura 14).

Figura 14. Combinación de capas que permite el geo proceso (suma ponderada) de análisis integrado.



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Generación del mapa de riesgo

El ráster ponderado se reclasificó en cinco clases finales de riesgo visualizado en la Tabla 1. Posteriormente, se transformó en vectorial, se suavizaron los polígonos y se disolvieron atributos para consolidar las áreas homogéneas. Finalmente, se calcularon las superficies en km² y se asignaron categorías cualitativas de riesgo.

Tabla 1. Atributos para la reclasificación de los riesgos.

Gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Class_riesgo	Area_km2
1	1897532,771	189656078,4	Riesgo muy bajo	189,6560784
2	6385919,173	487191930,4	Riesgo bajo	487,1919304
3	9877270,49	702229320,9	Riesgo medio	702,2293209
4	8335778,332	835531522	Riesgo alto	835,531522
5	2934153,738	441362461,2	Riesgo muy alto	441,3624612

Diseño cartográfico

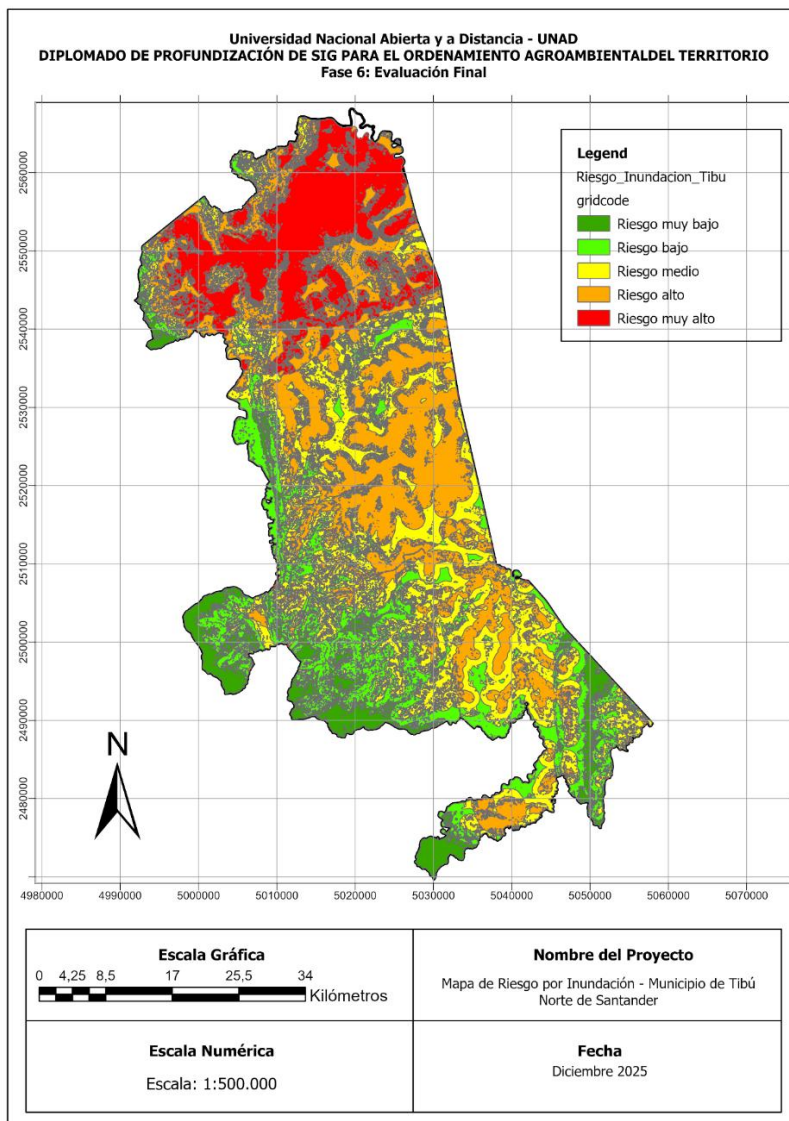
El producto final se representó mediante simbología de valores únicos, con colores diferenciados para cada nivel de riesgo. El diseño incluyó título, leyenda, escala gráfica, cuadrícula de coordenadas y flecha norte, garantizando la calidad visual y la utilidad del mapa para la interpretación territorial.

Resultados

Mapa de riesgo por inundación

El producto principal obtenido corresponde al mapa de riesgo por inundación del municipio de Tibú, Norte de Santander (Figura 15), elaborado en formato vectorial y representado mediante simbología de valores únicos. El diseño cartográfico incluye título, leyenda, escala gráfica, flecha norte y cuadrícula de coordenadas, garantizando la correcta interpretación espacial.

Figura 15. Mapa riesgo por inundación para el municipio de Tibú (Norte de Santander).



Fuente. Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Tabla de áreas por categoría de riesgo

La reclasificación permitió calcular las superficies de cada nivel de riesgo en kilómetros cuadrados, obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 2. Áreas y porcentajes por categoría de riesgo de inundación en Tibú (km²)

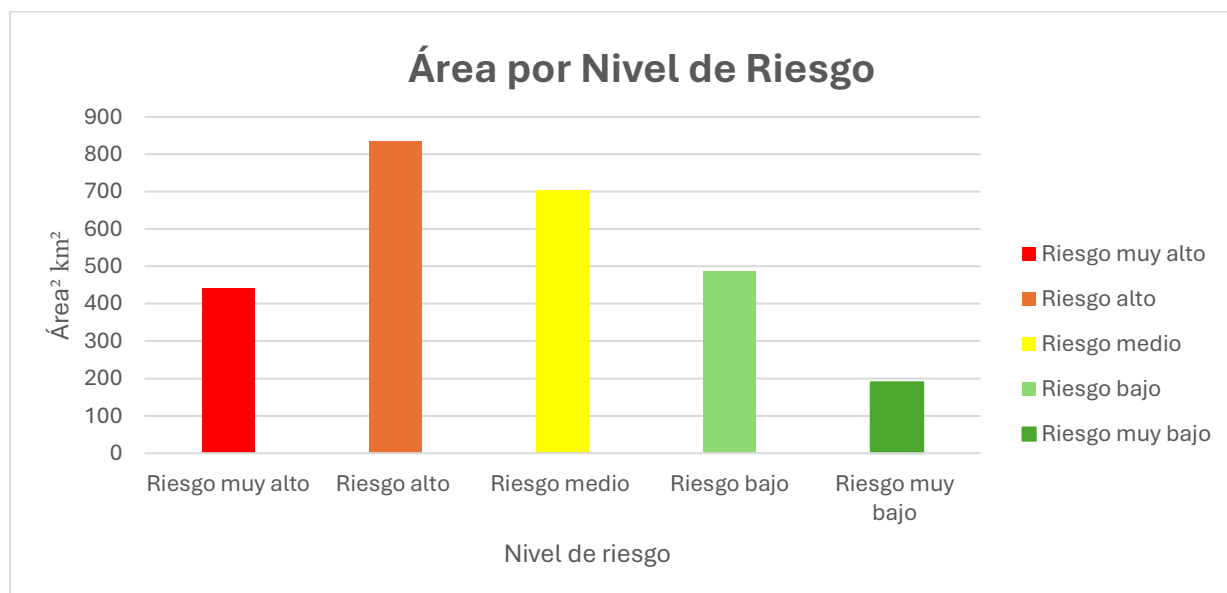
Categoría de riesgo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Riesgo muy alto	441,36	16,63
Riesgo alto	835,53	31,46
Riesgo medio	702,23	26,45
Riesgo bajo	487,19	18,35
Riesgo muy bajo	189,66	7,14

Nota. Las áreas fueron calculadas a partir de la tabla de atributos del mapa final de riesgo de inundación elaborado en ArcGIS Pro, luego del proceso de reclasificación, suma ponderada y vectorización. Autoría propia (2025).

Gráficas comparativas

Para facilitar la comprensión de los resultados se elaboraron gráficas complementarias descritas en la figura 16.

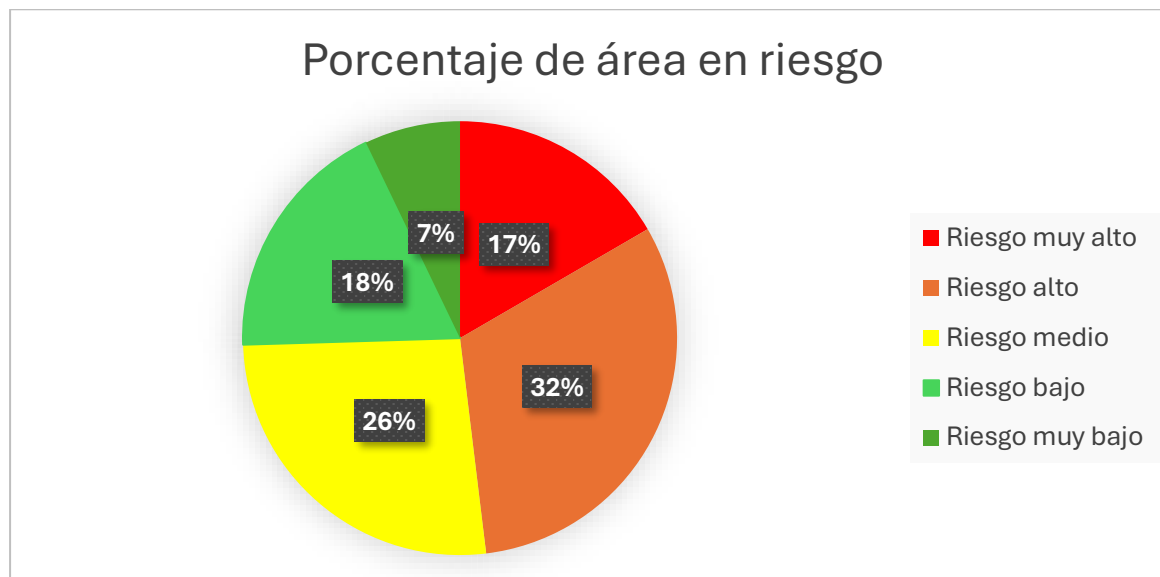
Figura 16. Distribución de áreas por nivel de riesgo.



Fuente. Autoría propia, 2025 (Microsoft Excel)

Nota. Las áreas representadas en el gráfico indican la superficie municipal en km² correspondiente a cada categoría de riesgo. Datos obtenidos del mapa de riesgo de inundación elaborado en ArcGIS Pro, luego del proceso de reclasificación y vectorización. Autoría propia (2025).

Figura 19. Proporción porcentual de cada categoría respecto al total del municipio.



Fuente. Autoría propia, 2025 (Microsoft Excel)

Nota. Las proporciones representadas en el gráfico muestran el porcentaje de la superficie total del municipio de Tibú correspondiente a cada categoría de riesgo de inundación. La simbología se basa en la clasificación cualitativa del riesgo: 17% muy alto, 32% alto, 26% medio, 18% bajo y 7% muy bajo. El municipio de Tibú evidencia una marcada vulnerabilidad frente al riesgo de inundación. Los datos provienen del mapa de riesgo de inundación elaborado en ArcGIS Pro, posterior al proceso de reclasificación y vectorización. Autoría propia (2025)

Análisis de resultados

El análisis evidencia que las zonas de mayor riesgo corresponden a las categorías alto (835,53 km²) con un 32% y medio (702,23 km²) con un 26%, que en conjunto abarcan casi 60% del territorio municipal. Estas áreas se localizan principalmente en planicies aluviales cercanas al río Tibú y sus afluentes, coincidiendo con registros históricos de inundaciones que han afectado viviendas rurales, vías terciarias y cultivos de arroz y palma de aceite (Alcaldía de Tibú, 2020; IDEAM, 2022).

Las zonas de riesgo muy alto ocupan el 17% (441,36km²), según CMGRD, (2013), se ven involucrados puntos críticos como la gabarra, campo dos y tres bocas, los cuales se ubican juntos al río Catatumbo y Tibú, respectivamente. También barrios urbanos como Barco, Villa Cecilia y

Luis Madrid Merlano, donde los caños como alcantarillado y la poca vegetación presente aumentan el riesgo durante la presencia de precipitaciones altas.

El riesgo medio ocupa un 26% (702,23 km²) se encuentra aproximadamente en áreas agrícolas, en la cual existen pendientes ligeramente inclinadas y se ubican a una distancia considerada de los drenajes. Según CMGRD, (2013), este nivel de riesgo coincide con las zonas agrícolas de transición entre las cuencas de los ríos; socuavó, san Miguel y nuevo presidente, expuestas a escorrentía superficial y procesos de erosión.

El riesgo bajo ocupa aproximadamente un 18% (487,19 km²), aquí se encuentra vegetación, bosques y cultivos transitorios en la cual su topografía y la cobertura del suelo minimizan un poco el riesgo, teniendo en cuenta la proximidad relativa a drenajes CMGRD, (2013).

Las zonas de menor riesgo se ubican en la categoría ‘muy bajo’, con una participación aproximada del 7% (189,65 km²), ubicadas en sectores con mayor elevación y pendientes pronunciadas, donde la probabilidad de inundación es reducida. Abarca en principio la zona suroccidental, hay variedad de pendientes muy pronunciadas y alto bosque. Según CMGRD, (2013), los corregimientos Pachelly y partes de campo hermoso se encuentran en esta categoría.

El impacto potencial de las áreas críticas incluye:

- Comunidades: riesgo de pérdida de viviendas y desplazamiento temporal en asentamientos rurales.
- Infraestructuras: afectación de carreteras terciarias y puentes por anegamiento y socavación.
- Sistemas agropecuarios: pérdidas económicas en cultivos de ciclo corto y reducción de productividad en palma de aceite.
- Ecosistemas: alteración de humedales y bosques ribereños, aunque estos también cumplen un rol de amortiguación natural frente a inundaciones.

Los resultados confirman la alta vulnerabilidad de Tibú frente a inundaciones y la necesidad de fortalecer la gestión agroambiental y la planificación territorial para reducir impactos futuros.

Conclusiones

El análisis espacial permitió identificar que la mayor parte del territorio de Tibú se encuentra en condiciones de riesgo alto y medio de inundación, Evidenciando una distribución desigual de la amenaza. Las zonas más críticas se concentran en planicies aluviales cercanas al río Tibú y sus afluentes, mientras que las áreas con mayor elevación presentan riesgo muy bajo.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y del análisis multicriterio resultó altamente adecuado para este tipo de estudios, Permitiendo integrar variables como elevación, pendiente, precipitación, distancia a drenajes y coberturas de tierra en un modelo espacial consistente. La

metodología aplicada facilitó la generación de productos cartográficos precisos y útiles para la interpretación territorial.

La modelación espacial del riesgo es una herramienta eficaz e importante y a tener en cuenta para la correcta y oportuna toma de decisiones, la cual debe incluirse en la planificación local del municipio. Ayudando al fortalecimiento de políticas públicas que sean más eficientes frente a los efectos del cambio climático.

Los resultados tienen implicaciones directas en la gestión del territorio y la reducción de afectaciones futuras, pues permiten priorizar zonas críticas para la implementación de medidas de mitigación, orientar la planificación agroambiental y fortalecer la capacidad de respuesta comunitaria frente a inundaciones.

Recomendaciones

Incorporar los resultados del mapa de riesgo en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) de Tibú, con el fin de orientar decisiones de planificación y prevención.

Fortalecer la infraestructura de drenaje y protección en las zonas clasificadas como de riesgo alto y muy alto, priorizando vías rurales y asentamientos vulnerables.

Promover prácticas agroambientales sostenibles, como la conservación de humedales, la reforestación de áreas ribereñas y la implementación de cultivos resistentes a inundaciones. Desarrollar sistemas de alerta temprana y capacitación comunitaria, que permitan reducir la vulnerabilidad social y mejorar la preparación frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

Referencias bibliográficas

Alcaldía de Tibú. (2020). Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023. Tibú, Norte de Santander: Alcaldía Municipal. Recuperado de: <https://www.tibu-nortedesantander.gov.co/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (2023). *Proyecciones de población por municipio*. Bogotá. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/>.

ESRI. (2019). *ArcGIS Pro: Spatial Analyst Tools*. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. Roma, FAO.

Goodchild, M. (2020). *GIScience and the future of spatial analysis*. International Journal of Geographical Information Science, 34(3), 455–468.

IDEAM. (2022). *Tiempo y clima en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press. Inglaterra.

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. (2021). *Informe de riesgos climáticos en la región del Catatumbo*. Bogotá: PNUD.

UNDRR. (2020). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Ginebra: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

Enlace de sustentación: <https://youtu.be/1yiLOzJKjQI>