

## **Análisis multicriterio para la evaluación del riesgo de inundación en el Municipio de Tibú, Norte de Santander, Colombia**

Mayra Alejandra Tarazona Pérez, [matarazonape@unadvirtual.edu.co](mailto:matarazonape@unadvirtual.edu.co)

Luis Miguel Corzo Leal, [lmcorl@unadvirtual.edu.co](mailto:lmcorl@unadvirtual.edu.co)

Tatiana Paola Mantilla Quintero, [tpmantillaq@unadvirtual.edu.co](mailto:tpmantillaq@unadvirtual.edu.co)

Evangelina Parra Pérez, [evangelina.parra@unad.edu.co](mailto:evangelina.parra@unad.edu.co)

### **Resumen**

El estudio tiene como objetivo principal elaborar un mapa que identifica las áreas de riesgo de inundación en el municipio de Tibú, Norte de Santander, utilizando un enfoque de análisis multicriterio implementado en un contexto de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología empleada determinó variables clave como la precipitación, la proximidad a drenajes, las pendientes, las coberturas del suelo y el modelo digital de elevación (DEM), las cuales fueron ponderadas mediante el Método de Análisis Jerárquico (AHP).

Los resultados revelaron que el 49.67% del territorio muestra un nivel de riesgo alto o muy alto de inundación, afectando principalmente zonas urbanas y agrícolas cercanas a los principales drenajes. Las áreas más críticas se encuentran en sectores de la cuenca del río Catatumbo, donde la combinación de topografía plana y alta pluviosidad incrementa notablemente la vulnerabilidad.

Este análisis proporciona un diagnóstico espacial detallado que sirve como base científica para el ordenamiento territorial así como la aplicación de estrategias de mitigación y adaptación frente a inundaciones. Se concluye que el enfoque metodológico empleado es sólido y puede replicarse en contextos similares, siempre que se ajuste a las particularidades locales.

**Palabras clave:** riesgo de inundación, análisis multicriterio, SIG, ordenamiento territorial, Tibú.

### **Introducción**

Las inundaciones son una de las amenazas naturales más significativas en Colombia, generando pérdidas humanas, económicas y ambientales de gran magnitud. Entre 1998 y 2021, se registraron 1.253 muertes causadas por inundaciones, afectando a más de 21,5 millones de personas en el país (Banco de la República, 2022). Un ejemplo destacado es el fenómeno de La Niña en 2010-2011, que duplicó las pérdidas acumuladas por inundaciones de los 30 años anteriores, con un costo estimado de USD 2.000

millones (Pérez & Salazar, 2013). Esta problemática es particularmente relevante en las zonas urbanas del país, donde los impactos de las inundaciones se han intensificado debido al crecimiento urbano no planificado y el cambio climático (Rodríguez-Gaviria & Botero-Fernández, 2013).

Tibú, un municipio localizado en el departamento de Norte de Santander, enfrenta una alta exposición a eventos de inundación debido a su localización en la cuenca del Catatumbo, una región caracterizada por intensas lluvias y una amplia red hidrográfica.

Las crecientes del río Catatumbo y sus afluentes han ocasionado daños recurrentes en áreas rurales y urbanas del municipio, destacando la importancia de poner en marcha estrategias para la gestión del riesgo apoyadas en herramientas geoespaciales. Este contexto es similar al estudiado por Corzo Pérez et al. (2024) y Duarte Vega et al. (2024) en la ciudad de Cúcuta, donde se han desarrollado metodologías específicas para evaluar el riesgo de inundación en entornos urbanos de la región.

Numerosos estudios han empleado análisis multicriterio y tecnologías de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar el riesgo de inundaciones, incorporando factores como la topografía, el uso del suelo y la proximidad a cuerpos de agua. Este enfoque, complementado con el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), facilita la integración de múltiples variables en modelos predictivos más precisos y efectivos (Olaya, 2020; González Valencia, 2006). Investigaciones recientes en el contexto colombiano han demostrado la efectividad de combinar métodos estadísticos con técnicas de decisión multicriterio para generar evaluaciones más robustas del riesgo de inundación, como lo evidencian los estudios realizados por Ávila et al. (2016) en Barranquilla.

Este estudio tiene como objetivo fundamental la creación de un mapa de riesgo de inundación para el municipio de Tibú, mediante el uso de análisis multicriterio y SIG. Los resultados permitirán identificar las áreas más vulnerables, contribuir a la planificación territorial y reducir el impacto de posibles eventos de inundación en el futuro.

## Objetivos

### General

Analizar multicriterios para la evaluación del riesgo de inundación en el Municipio de Tibú, Norte de Santander, Colombia.

### Específicos

- Recopilar datos geoespaciales como topografía, coberturas de la tierra, red hidrográfica, el modelo de precipitación del mes de octubre en el municipio de Tibú.
- Aplicar el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para ponderar las variables identificadas e integrarlas mediante análisis multicriterio en un entorno SIG.
  - Elaborar productos cartográficos finales mediante la validación del mapa de riesgo con registros históricos de inundaciones, facilitando su interpretación.
  - Diseñar un mapa que represente las áreas propensas a inundaciones en el municipio de Tibú, Norte de Santander.

### Identificación del caso de estudio

Tibú es un municipio ubicado en la subregión norte del departamento de Norte de Santander, Colombia. Sus coordenadas geográficas están comprendidas entre los paralelos 8°50' y 9°11' de latitud norte, y los meridianos 72°57' y 73°25' de longitud oeste. Limita al norte y al este con Venezuela, al sur con Cúcuta y Sardinata, y al oeste con los municipios de Teorama, El Tarra y San Calixto. Su territorio tiene una extensión aproximada de 2.737 km<sup>2</sup>, una altitud media de 75 metros sobre el nivel del mar, y registra una temperatura promedio anual de 32 °C (UNGRD, 2013)

El clima en Tibú es tropical húmedo, caracterizado debido a una notable variabilidad en la distribución de las precipitaciones. Gran parte del municipio pertenece a la región del Catatumbo, donde los volúmenes anuales de lluvia pueden superar los 5.000 mm, siendo octubre uno de los meses más Con alta pluviosidad, de acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2018). Esta elevada pluviosidad, combinada con una topografía predominantemente plana y una densa red hidrográfica, hace que Tibú sea particularmente vulnerable a eventos de inundación Según la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR, 2018)

En términos hidrológicos, el municipio es atravesado por el río Catatumbo y sus principales afluentes, entre ellos los ríos Tibú, San Miguel y Tarra. Durante las temporadas de lluvias intensas, estas corrientes son propensas a desbordamientos, afectando tanto áreas urbanas como rurales. Las zonas agrícolas y los asentamientos cercanos a cuerpos de agua son especialmente susceptibles a daños significativos durante estos eventos (UNGRD, 2013).

Para este estudio, la información sobre coberturas del suelo fue extraída de shapefiles proporcionados por el IDEAM (2018), mientras que los datos topográficos, como pendientes y redes de drenaje, se obtuvieron a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM). Estos insumos resultan esenciales para identificar áreas susceptibles a inundaciones y diseñar estrategias de manejo del riesgo, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2023).

Este contexto geográfico y climático resalta la urgencia de implementar estrategias de mitigación y adaptación para reducir la vulnerabilidad del municipio frente a las inundaciones, protegiendo a sus comunidades, infraestructuras y ecosistemas (De acuerdo con

la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR, 2016)).

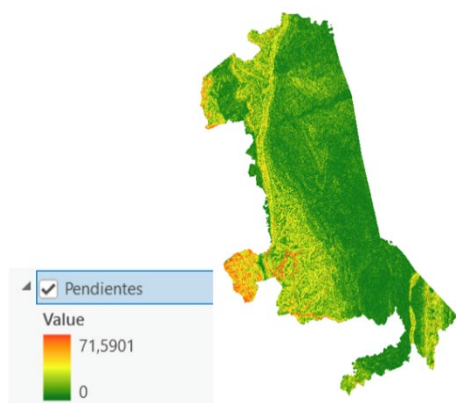
### **Metodología**

El análisis del riesgo de inundación en el municipio de Tibú se desarrolló mediante un enfoque de evaluación multicriterio implementado dentro de un marco basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este método es ampliamente utilizado en la gestión de riesgos naturales por su capacidad para integrar y ponderar variables espaciales, generando modelos predictivos precisos de áreas susceptibles a inundaciones (González Valencia, 2006; Vianna et al., 2023).

**Selección de Variables:** La selección de variables se fundamentó en estudios previos de modelación de riesgos naturales (Morales et al., 2012; Kurowska y Kowalczyk, 2022), identificando cinco factores críticos que influyen directamente en el riesgo de inundación:

- Modelo Digital de Elevación (DEM).
- Pendientes derivadas del DEM.
- Coberturas de la Tierra, obtenidas del shapefile IDEAM 2018.
- Precipitación del mes de octubre.
- Distancia a Drenajes, calculada mediante análisis de acumulación de flujo.

**Figura 1.**  
*Carga de datos iniciales.*



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

**Estandarización de Variables:** Cada variable fue reclasificada en una escala común de cinco categorías: muy bajo (2), bajo (4), medio (6), alto (8) y muy alto (10), siguiendo metodologías establecidas en estudios de riesgo (González Valencia, 2006; Toro, 2024).

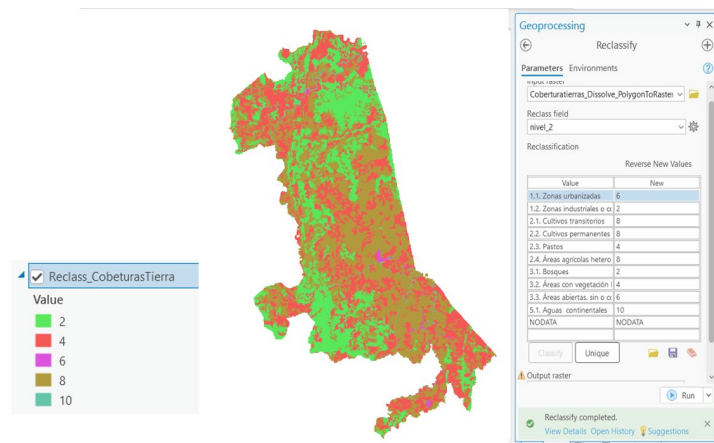
**Coberturas de la Tierra:** Clasificadas según su susceptibilidad al riesgo, basándose en criterios establecidos por Ward y Ward (2017):

**Tabla 1.** *Clasificación según susceptibilidad al riesgo.*

| Cobertura de la tierra                    | Valor de Riesgo |
|---|-----------------|
| Zonas urbanizadas                         | 10              |
| Zonas industriales                        | 8               |
| Cultivos transitorios y permanentes       | 6               |
| Pastos                                    | 4               |
| Áreas agrícolas heterogéneas              | 6               |
| Bosques                                   | 2               |
| Áreas abiertas, sin o con poca vegetación | 8               |
| Aguas continentales                       | 10              |

**Nota:** La tabla muestra las diferentes coberturas del suelo nivel 2 y la sugerencia de clasificación de valores de riesgo.

**Figura 2.**  
*Reclasificación de variables.*



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

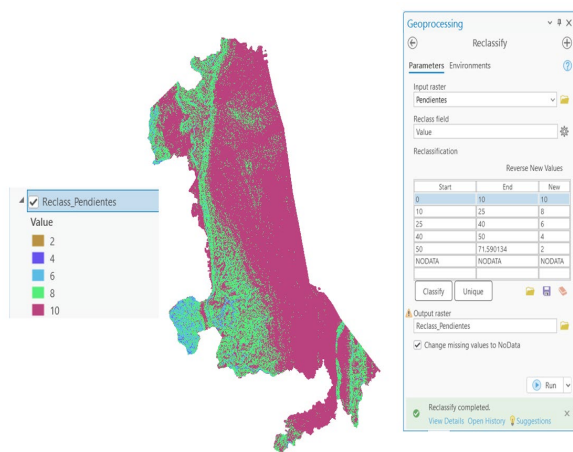
**Pendientes:** Los valores derivados del DEM (0° a 71°) se reclasificaron considerando que las áreas más planas tienen mayor susceptibilidad a inundaciones (Sisti, 2022):

**Tabla 2.** *Reclasificación según susceptibilidad al riesgo.*

| Pendiente | Rango    | Valor de riesgo |
|-----------|----------|-----------------|
| 0°-3°     | Muy alto | 10              |
| 3°-7°     | Alto     | 8               |
| 7°-12°    | Medio    | 6               |
| 12°-25°   | Bajo     | 4               |
| >25°      | Muy bajo | 2               |

**Nota:** La tabla muestra la reclasificación de las pendientes en 5 rangos y la sugerencia de clasificación de valores de riesgo.

**Figura 3.**  
Cálculo de pendientes.



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

**Precipitación:** Los valores, que varían entre 3.58 mm y 716.52 mm, se reclasificaron utilizando el método de Díaz (2017):

**Tabla 3.** *Reclasificación según susceptibilidad al riesgo.*

| Precipitación | Rango    | Valor de riesgo |
|---------------|----------|-----------------|
| >500 mm       | Muy alto | 10              |
| 300 – 500 mm  | Alto     | 8               |
| 150 – 300 mm  | Medio    | 6               |
| 50 – 150 mm   | Bajo     | 4               |
| 3.58 – 50 mm  | Muy bajo | 2               |

**Nota:** La tabla muestra la reclasificación de la precipitación en 5 rangos y la sugerencia de clasificación de valores de riesgo.

**Modelo Digital de Elevación (DEM):** El DEM, con un rango de elevación entre 9 y 1643 metros, fue reclasificado en cinco categorías para evaluar su influencia en el riesgo de inundación. Las áreas más bajas se consideraron de mayor susceptibilidad debido a su proximidad a drenajes y mayor probabilidad de acumulación de agua, mientras que las áreas más altas presentan menor vulnerabilidad (Olaya, 2020).

**Tabla 4.** *Reclasificación según susceptibilidad al riesgo.*

| Rangos      | Rango    | Valor de riesgo |
|-------------|----------|-----------------|
| 9-200 m     | Muy alto | 10              |
| 200-500     | Alto     | 8               |
| 500-900     | Medio    | 6               |
| 900-1200 m  | Bajo     | 4               |
| 1200-1643 m | Muy bajo | 2               |

**Nota:** La tabla muestra la reclasificación del DEM en 5 rangos y la sugerencia de clasificación de valores de riesgo.

**Distancia a Drenajes:** Calculada a partir de un análisis de distancia euclidiana desde los drenajes principales (0-8500 metros). Las áreas más cercanas a los drenajes se consideraron de mayor riesgo:

**Tabla 5.** *Reclasificación según susceptibilidad al riesgo.*

| Distancia   | Rango    | Valor de riesgo |
|-------------|----------|-----------------|
| 0-500 m     | Muy alto | 10              |
| 500-1500    | Alto     | 8               |
| 1500-3000   | Medio    | 6               |
| 3000-6000 m | Bajo     | 4               |
| 6000-8500 m | Muy bajo | 2               |

**Nota:** La tabla muestra la reclasificación de las distancias de los drenajes en 5 rangos y la sugerencia de clasificación de valores de riesgo.

**Ponderación de Variables:** La ponderación de las variables se realizó mediante el método de análisis jerárquico (AHP), siguiendo las recomendaciones de Olaya (2020), con los siguientes pesos:

**Tabla 6.** Ponderación de Variables.

| Factor                            | Porcentaje  |
|-----------------------------------|-------------|
| Modelo de elevación digital DEM   | 10%         |
| Pendientes                        | 15%         |
| Cobertura de tierras (Land cover) | 10%         |
| Precipitación                     | 35%         |
| Distancia entre drenajes          | 30%         |
| <b>Total</b>                      | <b>100%</b> |

**Nota:** Esta tabla muestra los cinco factores del análisis de riesgo de inundación y su porcentaje de influencia para aplicar en un modelo multicriterio.

**Integración y Análisis:** La integración de las variables reclasificadas se realizó mediante la técnica de Suma Lineal Ponderada (SLP), empleando la siguiente fórmula:

$$R = (D * 0.10) + (P * 0.15) + (C * 0.10) + (Pr * 0.35) + (Dr * 0.30)$$

**Donde:**

**R** = Riesgo de inundación.

**D** = DEM reclasificado.

**P** = Pendientes reclasificadas.

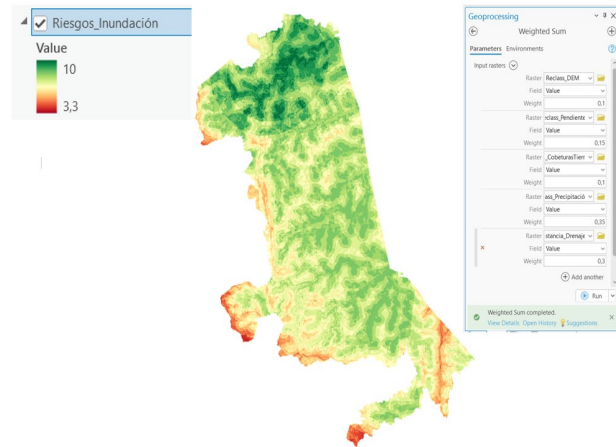
**C** = Coberturas de la Tierra reclasificadas.

**Pr** = Precipitación reclasificada.

**Dr** = Distancia a drenajes reclasificada.

**Figura 4.**

Configuración de la suma ponderada.



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

**Clasificación del Mapa:** El resultado del análisis fue un mapa continuo de riesgo de inundación, que se reclasificó en cinco categorías cualitativas: Muy bajo riesgo (muy bajo), bajo riesgo (bajo), medio riesgo (medio), alto riesgo (alto), muy alto riesgo (muy alto), siguiendo los estándares de cartografía de riesgos propuestos por el IGAC (2020).

**Tabla 7.** Clasificación del Mapa.

| Clasificación cualitativa | Valores |
|---------------------------|---------|
| Riesgo muy bajo           | 1       |
| Riesgo bajo               | 2       |
| Riesgo medio              | 3       |
| Riesgo alto               | 4       |
| Riesgo muy alto           | 5       |

**Nota:** La tabla muestra la clasificación del riesgo de inundación en cinco niveles y utiliza un código de colores para su identificación.

**Figura 5.**  
*Resultado inicial del análisis multicriterio antes de la reclasificación final.*

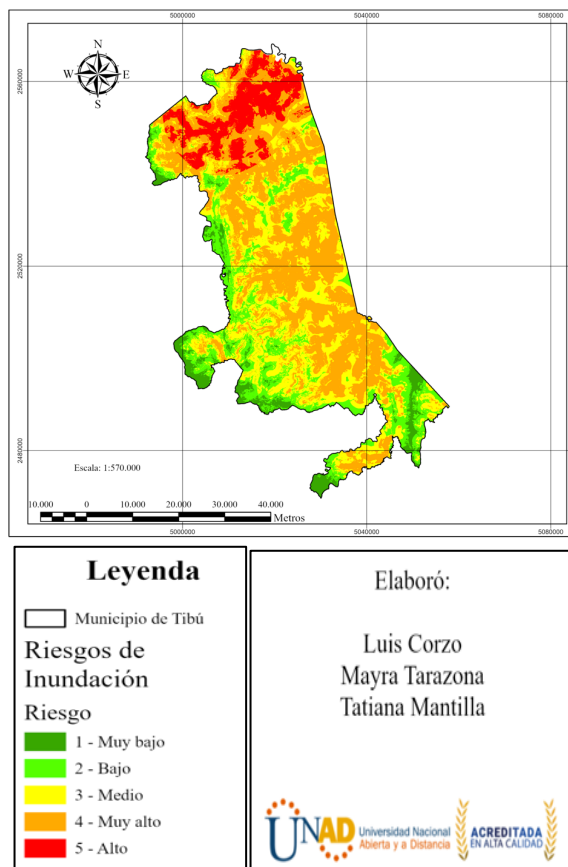


**Fuente:** Autoría propia, 2024.

**Resultados**

En esta sección, el Mapa de Riesgo de Inundación (Figura 6) clasifica el territorio de Tibú en cinco categorías cualitativas: muy bajo riesgo (muy bajo), bajo riesgo (bajo), medio riesgo (medio), alto riesgo (alto) y muy alto riesgo (muy alto). Estas categorías reflejan la probabilidad relativa de ocurrencia de inundaciones, en función de la combinación ponderada de factores críticos, como la precipitación, la distancia a drenajes, las pendientes, el modelo de elevación digital (DEM) junto con las coberturas del suelo. La aplicación de un enfoque de análisis multicriterio, complementado con herramientas SIG, permite una integración precisa y efectiva de estas variables, lo que resulta en un producto cartográfico robusto y fácilmente interpretable.

**Figura 6.**  
*Mapa de Riesgo de Inundación en Tibú.*



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

**Clasificación Cualitativa del Riesgo:** El análisis permitió determinar la extensión de las áreas en cada categoría de riesgo, las cuales se resumen en la Tabla 8.

**Tabla 8.** *Distribución del riesgo de inundación por categoría en Tibú.*

| Gridcode | Clase de riesgo | Área       | %      |
|----------|-----------------|------------|--------|
| 1        | Riesgo muy bajo | 13937,7585 | 5,21%  |
| 2        | Riesgo bajo     | 43533,5323 | 16,28% |
| 3        | Riesgo medio    | 75844,1376 | 28,36% |
| 4        | Riesgo alto     | 107218,036 | 40,09% |
| 5        | Riesgo muy alto | 25623,8312 | 9,58%  |

**Nota:** La tabla muestra la distribución del riesgo de inundación en el municipio de Tibú, que se clasifica en cinco categorías cualitativas: muy bajo riesgo (muy bajo), bajo riesgo (bajo), riesgo medio (medio), alto riesgo (alto) y muy alto riesgo (muy alto). Los valores indican el área en metros cuadrados y el porcentaje del territorio que corresponde a cada categoría. Estos datos permiten identificar las áreas más vulnerables y orientar estrategias de mitigación. Autoría propia.

La categoría de riesgo alto cubre el mayor porcentaje del territorio (40,09%), seguida de la categoría de riesgo medio (28,36%), lo que evidencia la prevalencia de áreas vulnerables en Tibú. Aunque las zonas clasificadas como de riesgo muy alto representan solo el 9,58% del territorio, estas abarcan áreas críticas que incluyen sectores urbanizados y agrícolas cercanos a cuerpos de agua.

### Identificación de Áreas Críticas:

#### Áreas de Mayor Riesgo (Muy Alto y Alto):

**Distribución Espacial:** Estas áreas se concentran principalmente en las proximidades del río Catatumbo, el río Tibú y sus afluentes, donde la topografía plana y la alta cercanía a cuerpos de agua incrementan significativamente la susceptibilidad a inundaciones.

**Usos del Suelo:** Predominan los cultivos transitorios y permanentes, zonas urbanizadas y áreas abiertas con poca vegetación, lo que amplifica el impacto potencial en términos de pérdida económica y daños a la infraestructura.

**Impacto Humano y Ambiental:** Estas zonas albergan importantes asentamientos humanos, lo que representa un grave peligro para la seguridad de las personas, comunidades y una mayor probabilidad de interrupción de servicios fundamentales como agua potable, electricidad y transporte.

#### Áreas de Menor Riesgo (Muy Bajo y Bajo):

**Distribución Espacial:** Localizadas en terrenos de mayor altitud y pendientes pronunciadas, alejados de los drenajes principales. Estas áreas tienen menor acumulación de agua y mayor capacidad de infiltración, lo que reduce su susceptibilidad.

**Usos del Suelo:** Se asocian con áreas boscosas y pastizales, que actúan como barreras naturales para el flujo de agua y mitigan la intensidad de las inundaciones.

**Oportunidades:** Estas zonas son ideales para implementar estrategias de conservación y actividades agropecuarias sostenibles.

#### Distribución Espacial del Riesgo

El análisis espacial muestra una distribución heterogénea del riesgo en Tibú:

Las áreas de **riesgo muy alto** representan el 9,58% del territorio y se concentran principalmente en sectores aledaños a drenajes principales, con alta densidad poblacional y uso intensivo del suelo para la agricultura.

Las áreas de **riesgo medio** (28,36%) incluyen terrenos intermedios que combinan características moderadas de vulnerabilidad y resiliencia.

Las áreas de **riesgo bajo y muy bajo** se ubican en regiones con mayor altitud y cobertura boscosa, con características naturales que favorecen la reducción del riesgo.

#### Impacto Potencial del Riesgo

El análisis revela los siguientes impactos potenciales en Tibú:

**Comunidades:** En las áreas clasificadas como de alto y muy alto riesgo residen comunidades vulnerables, expuestas a desplazamientos, pérdida de viviendas y afectaciones a su salud y

seguridad. Estas áreas incluyen barrios densamente poblados y asentamientos rurales.

**Infraestructuras:** Infraestructuras críticas como carreteras, puentes, sistemas de alcantarillado y estaciones de suministro eléctrico se encuentran en zonas de riesgo alto, lo que podría derivar en interrupciones significativas durante eventos de inundación.

**Sistemas Agropecuarios:** Los cultivos transitorios y permanentes en las áreas de riesgo alto y muy alto riesgo se encuentran expuestos a pérdidas considerables. Estas inundaciones no solo impactan la economía local, sino que también afectan la seguridad alimentaria de la región.

**Ecosistemas:** Las áreas inundables incluyen ecosistemas sensibles como humedales y cuerpos de agua, donde las inundaciones pueden alterar los hábitats naturales y disminuir la biodiversidad. Además, los aumentos en la sedimentación y la contaminación agravan el deterioro de estos ecosistemas.

### Interpretación de Resultados

El enfoque multicriterio aplicado en este estudio demuestra su efectividad para integrar variables complejas en un análisis espacial robusto. Los resultados reflejan las condiciones únicas de Tibú y brindan un fundamento científico robusto para:

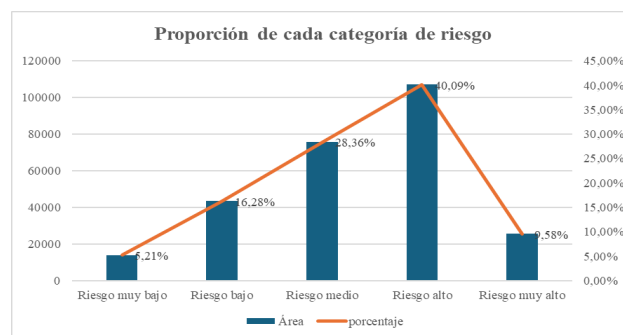
**Planificación Territorial:** Incorporar mapa en riesgo en las políticas municipales para priorizar intervenciones en las áreas más críticas.

- **Mitigación y Adaptación:** Desarrollar estrategias específicas, como la construcción de infraestructura resiliente, programas de reforestación y medidas de manejo hídrico.
- **Monitoreo y Evaluación:** Establecer sistemas de alerta temprana y realizar

actualizaciones periódicas del análisis para mejorar la preparación frente a eventos futuros.

A continuación, se presenta una gráfica que ilustra la proporción de cada categoría de riesgo, facilitando la comparación visual de las áreas afectadas.

**Figura 7.**  
*Proporción de cada categoría de riesgo.*



**Fuente:** Autoría propia, 2024.

### Conclusiones

En conclusión, la evaluación del riesgo de inundación en el municipio de Tibú, desarrollado mediante un enfoque multicriterio en un entorno SIG, permitió identificar áreas críticas susceptibles a inundaciones y proporcionar un fundamento científico confiable para la planificación territorial y la gestión del riesgo. Los resultados obtenidos destacan la importancia de considerar variables ambientales y geográficas en la modelación de riesgos, lo que permitió obtener conclusiones relevantes para el contexto local.

En primer lugar, se puede afirmar que el uso del análisis multicriterio fue idóneo para integrar variables como precipitación, distancia a drenajes, pendientes, coberturas de la tierra y el modelo digital de elevación (DEM). Este método permitió generar un modelo predictivo confiable que captura las condiciones

específicas de Tibú y refleja la distribución espacial del riesgo con un alto nivel de detalle.

Por otro lado, los resultados muestran que el 49.67% del territorio de Tibú se encuentra en categorías de riesgo alto o muy alto, concentrándose en áreas urbanas, zonas agrícolas y regiones cercanas a los principales drenajes. Esto evidencia que la vulnerabilidad está directamente relacionada con factores como la topografía plana, la alta pluviosidad y el uso intensivo del suelo.

Además, se identificaron los impactos potenciales que las inundaciones podrían tener en la región. Por ejemplo, las comunidades que residen en zonas clasificadas como de alto riesgo y muy alto están expuestas a desplazamientos, daños en infraestructura crítica y pérdida de bienes materiales. Asimismo, las actividades agropecuarias enfrentan riesgos significativos, afectando la economía local y la seguridad alimentaria. También, los ecosistemas, particularmente los humedales y cuerpos de agua, podrían sufrir alteraciones debido a la sedimentación y la contaminación asociadas con eventos de inundación.

Sin embargo, es importante destacar las limitaciones del estudio. Aunque los resultados son representativos y ajustados al contexto de Tibú, las conclusiones están limitadas por la calidad y resolución de los datos empleados, como el DEM y las capas de precipitación y coberturas de la tierra. Por consiguiente, la actualización periódica de estas capas podría mejorar la precisión de los modelos futuros.

En cuanto a la aplicabilidad de los resultados, los hallazgos obtenidos en este estudio resultan fundamentales para la formulación de políticas públicas y estrategias de mitigación en Tibú. No obstante, no deben extrapolarse a otros municipios o regiones sin realizar ajustes metodológicos y considerar las condiciones locales.

Finalmente, se plantean las siguientes recomendaciones: implementar mecanismos de alerta temprana y estrategias de evacuación para las áreas identificadas como de riesgo muy alto; desarrollar infraestructura resiliente, como sistemas de drenaje eficientes, especialmente en las zonas urbanas; promover prácticas agrícolas sostenibles en áreas de riesgo medio y alto para reducir la exposición a inundaciones; y realizar estudios periódicos que actualicen la información geoespacial y fortalezcan la habilidad de reaccionar frente a eventos climáticos extremos.

En síntesis, el presente estudio demuestra la importancia de emplear herramientas SIG y enfoques multicriterio en la evaluación de riesgos naturales. Aunque sus aportes están circunscritos al caso de Tibú, proporcionan una base metodológica replicable en contextos similares, siempre y cuando se adapten a las condiciones locales. Así, la implementación de estas herramientas no solo permite identificar las áreas más vulnerables, sino que también apoya la toma de decisiones fundamentadas para mitigar el riesgo y proteger comunidades, infraestructuras y ecosistemas.

### **Recomendaciones**

Desde la perspectiva de la ingeniería agroforestal y la agronomía, resulta esencial ejecutar acciones concretas que favorezcan el ordenamiento agroambiental del municipio de Tibú. Con base en los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones, orientadas a priorizar el balance entre las actividades humanas y la conservación del entorno natural.

En primer lugar, es fundamental implementar prácticas de manejo sostenible de suelos y agua. Para ello, se sugiere fomentar el uso de sistemas agroforestales, que integren árboles, cultivos y pastos para mejorar la infiltración de agua, reducir la escorrentía y minimizar la erosión.

Asimismo, sería beneficioso construir zanjas de infiltración y terrazas en áreas con pendientes pronunciadas, lo cual contribuirá a controlar el flujo hídrico durante lluvias intensas.

Por otra parte, la reforestación y restauración ecológica de áreas estratégicas es una medida crucial. Es imprescindible establecer programas de reforestación en riberas de ríos y zonas cercanas a drenajes, lo cual no solo mitigará el riesgo de inundaciones, sino que también ayudará a regular el ciclo hidrológico. Asimismo, se deben restaurar humedales y ecosistemas degradados, que actúan como amortiguadores naturales frente a eventos de inundación y ayudan a disminuir la sedimentación en los cuerpos de agua.

Además, el ordenamiento del uso del suelo es una prioridad clave. Es necesario revisar y actualizar los planes de ordenamiento territorial con el propósito de prevenir el desarrollo de asentamientos humanos y cultivos en áreas identificadas como de alto riesgo. En este sentido, sería adecuado delimitar zonas de amortiguación alrededor de los drenajes principales y promover cultivos resistentes a inundaciones en áreas agrícolas.

Por otro lado, es fundamental fortalecer la gestión del riesgo agroambiental. Una acción clave consiste en implementar sistemas de alerta temprana utilizando tecnologías accesibles, como mensajes de texto y aplicaciones móviles, para alertar a las comunidades sobre posibles eventos de inundación. Además, es importante capacitar a productores y habitantes locales en la adopción de prácticas de adaptación al cambio climático y manejo de emergencias, lo que permitirá una respuesta preventiva y eficaz.

Asimismo, la construcción de infraestructura resiliente y sostenible es esencial. Se recomienda diseñar y desarrollar sistemas de drenaje eficientes en las zonas urbanas y periurbanas de Tibú, reduciendo el impacto de

las lluvias torrenciales. Adicionalmente, la creación de reservorios de agua y sistemas de riego tecnificado apoyará la sostenibilidad de las actividades agropecuarias locales.

En cuanto al monitoreo, resulta relevante establecer programas continuos para evaluar el territorio. Estos programas pueden incluir el uso de imágenes satelitales y drones para detectar cambios en el uso del suelo y las condiciones ambientales. También se sugiere actualizar periódicamente el análisis multicriterio para incorporar cambios en las variables ambientales y asegurar la precisión de los mapas de riesgo.

Finalmente, se debe fomentar la participación comunitaria y la coordinación interinstitucional. Involucrar a las comunidades en el diseño y ejecución de estrategias de ordenamiento agroambiental fortalecerá la gobernanza territorial y aumentará el compromiso social. A nivel institucional, es esencial coordinar esfuerzos con entidades gubernamentales, ONGs y el sector privado para facilitar la financiación y ejecución de proyectos integrales.

En síntesis, estas recomendaciones presentan un enfoque integral que combina el desarrollo sostenible con una gestión eficiente del riesgo de inundaciones. Su implementación protegerá a las comunidades y los recursos naturales de Tibú, al tiempo que impulsará un modelo agroambiental resiliente frente a los retos climáticos.

### Referencias bibliográficas

- Ávila, H., Sisa, A., & De La Hoz, K. (2016). Hazard Analysis in Urban Streets Due to Flash Floods: Case Study of Barranquilla, Colombia. WIT Transactions on The Built Environment. [https://www.researchgate.net/publication/303362727\\_Hazard\\_Analysis\\_in\\_Ur](https://www.researchgate.net/publication/303362727_Hazard_Analysis_in_Ur)

- [ban Streets Due to Flash Floods Case Study of Barranquilla Colombia](#)
- Banco de la República. (2022). Impacto de los fenómenos climáticos extremos en Colombia: Análisis de pérdidas económicas y sociales. <https://www.banrep.gov.co>
- Banco Mundial. (2015). Métodos de evaluación de riesgos y amenazas de inundación. <https://collaboration.worldbank.org>
- Bedoya, C. (2022). Revisión de metodologías para determinar zonas de riesgo por inundación y estimación de pérdidas por daños utilizando SIG. Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co>
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR]. (2016). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Catatumbo. [https://corponor.gov.co/omar/OMAR\\_corponor/DOCUMENTO%20PLANEAR%20AJUSTADO%20-%20ENE%202017/3.%20CAPITULO%20Diagnostico-PLANEAR%202016-2035.pdf](https://corponor.gov.co/omar/OMAR_corponor/DOCUMENTO%20PLANEAR%20AJUSTADO%20-%20ENE%202017/3.%20CAPITULO%20Diagnostico-PLANEAR%202016-2035.pdf)
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR]. (2018). Plan Integral de Cambio Climático Departamento Norte de Santander. [https://corponor.gov.co/corponor/PICC/DNS/PRODUCTO\\_N\\_1\\_3206002.pdf](https://corponor.gov.co/corponor/PICC/DNS/PRODUCTO_N_1_3206002.pdf)
- Corzo Pérez, G. A., Mahmoud, H., & Gan, T. Y. (2024). Development of a hazard risk map for assessing pedestrian risk in urban flash floods: A case study in Cúcuta, Colombia. River Research and Applications. [https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/182146677/River - 2024 - Corzo Perez -](https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/182146677/River_-_2024_-_Corzo_Perez_-_Development_of_a_hazard_risk_map_for_assessing_pedestrian_risk_in_urban_flash_floods_A_case_study_in_cucuta.pdf)
- [Development of a hazard risk map for assessing pedestrian risk in urban flash floods A case.pdf](#)
- Duarte Vega, C. A., Montes Páez, E. G., & Velasco Abreo, D. F. (2024). Construcción de un modelo hidrológico e hidráulico (1D/2D) para el análisis de inundaciones urbanas en Cúcuta, Colombia. Revista Respuestas, 29(1). <https://doi.org/10.22463/0122820X.4710>
- Gil, L. (2019). Estrategias para la gestión del riesgo ante inundaciones en zonas urbanas del municipio de Tibú. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co>
- 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, 5(8), 59–70.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). Atlas Climatológico de Colombia. [http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Textos/Departamentos/memoNORTE\\_SANTANDER.pdf](http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Textos/Departamentos/memoNORTE_SANTANDER.pdf)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2023). Datos Abiertos Cartográficos. <https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/datos-abiertos-cartograficos>
- Kurowska, K., & Kowalczyk, C. (2022). Rural space modeling. MDPI. <https://www.mdpi.com>
- Olaya, V. (2020). Sistemas de información geográfica. Open Library. <https://openlibrary.org>

Pérez, R., & Salazar, C. (2013). Análisis de las pérdidas económicas causadas por La Niña 2010-2011 en Colombia. *Revista de Gestión del Riesgo*, 8(1), 45–65.

Rodríguez-Gaviria, E. M., & Botero-Fernández, V. (2013). Flood vulnerability assessment: a multiscale, multitemporal and multidisciplinary approach. *Journal of Earth Science and Engineering*, 3(2), 102.  
<https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/08/disenometodologico.pdf?locale=es>

Sisti, J. M. (2022). Fotointerpretación en agrimensura. Editorial de la UNLP EDULP. <https://sedici.unlp.edu.ar>

Toro, O. A. (2024). Análisis espacial. [Objeto\_virtual\_de\_Informacion\_OVI]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/61883>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD]. (2013). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres: Municipio de Tibú, Norte de Santander.  
[https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28599/PMGRD\\_TibuNteSantander\\_2013.pdf](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28599/PMGRD_TibuNteSantander_2013.pdf)

Vianna, S., et al. (2023). "Chapter 3. Agroenvironmental modeling and the digital transformation of agriculture". En S. Masshura, et al., *Digital agriculture: research, development and innovation in production chains* (pp. 51-70).

**Enlace de sustentación:**

<https://youtu.be/AG-mMvB-dHM>