

## **Determinación de áreas de riesgo por inundación en el municipio de Barrancabermeja mediante el uso los Sistemas de información Geográfica (SIG)**

Juan Carlos Esparza Piña – [jcesparza@unadvirtual.edu.co](mailto:jcesparza@unadvirtual.edu.co)

### **Resumen**

El presente estudio aborda la Identificación y evaluación del riesgo por inundaciones en el municipio de Barrancabermeja - Santander, Colombia. Este municipio, con economía basada en la Industria Petrolera (por los pozos y la refinería de Ecopetrol), se caracteriza por un clima cálido y tropical, con temperaturas promedio de 32 a 38 °C y una precipitación anual de **2,000 a 3,000 mm** de precipitación anual, concentrada en los meses de Abril a Noviembre y de Diciembre a Marzo. La mayor parte de la lluvia se concentra entre los meses de **abril y octubre**, con picos de precipitación durante los meses de **mayo, junio y octubre**. Durante estos períodos, las lluvias pueden ser intensas y provocar inundaciones en las zonas cercanas al río Magdalena y otras áreas bajas del municipio, afectando las comunidades circunvecinas al río magdalena

Adicionalmente Barrancabermeja, ubicada en una región baja y con una gran cercanía al **río Magdalena**, generalmente tiene un nivel freático **bajo**, lo que significa que el agua subterránea está relativamente cerca de la superficie, especialmente en las zonas cercanas al río y en áreas urbanas de la ciudad.

Este nivel freático bajo puede presentar tanto **ventajas** como **desventajas**:

- **Ventajas:** La cercanía del nivel freático puede facilitar la extracción de agua subterránea para consumo humano y agrícola sin la necesidad de perforaciones profundas.
- **Desventajas:** El nivel freático bajo también implica un mayor riesgo de inundaciones en épocas de lluvias intensas o desbordamiento de ríos. En estas situaciones, el agua subterránea puede subir rápidamente, lo que agrava el riesgo de inundaciones y afecta la estabilidad de las construcciones cercanas al agua.

Es importante destacar que el nivel freático también puede verse afectado por actividades como la **extracción excesiva de agua subterránea**, que puede bajar el nivel freático en algunas áreas, o por **contaminación** debido al vertido de aguas residuales industriales o de otro tipo.

La metodología aplicada incluye un análisis multicriterio desarrollado mediante los SIG utilizando ArcGISPro. Los datos geográficos y ambientales (modelos de elevación digital, caracterización de redes hídricas, uso del suelo, cobertura vegetal y precipitación) se integraron mediante el método de suma ponderada. Los criterios utilizados para clasificar las áreas de riesgo incluyeron

Modelación de elevación Digital de pendientes, identificación de drenajes, y cobertura vegetal, asignándoles unos porcentajes específicos basados en estudios previos.

El análisis reveló que el 80 % del territorio se encuentra en categorías de alto riesgo (muy alto y alto), lo que equivale a más de 78.000 hectáreas afectadas. Las áreas de muy alto riesgo (78 %) se concentran en zonas cercanas a cuerpos de agua especialmente el río Magdalena y las ciénagas que rodean este municipio, mientras que las de riesgo muy bajo (10 %) corresponden a elevaciones con buen drenaje. Este modelo permitió generar un mapa de riesgo que da las pautas para realizar políticas públicas que conlleven a realizar una correcta planificación territorial y la priorización de medidas de mitigación.

Entre las acciones recomendadas se encuentran la construcción y mejoramiento de sistemas de drenajes y alcantarillado, así como realizar obras de mitigación en zonas aledañas al río Magdalena y el fortalecimiento de la infraestructura, la reubicación de viviendas en zonas seguras y la conservación de ecosistemas estratégicos. Los resultados contribuyen a reducir la vulnerabilidad del municipio frente a desastres naturales y promueven una gestión territorial más resiliente.

*Palabras claves:* Inundación, riesgos, precipitación, geografía.

## **Introducción**

El municipio de Barrancabermeja, ubicado en el departamento de Santander, al Occidente del Departamento de Santander de Colombia, en este municipio está localizada la refinería de petróleo más grande de Colombia, perteneciente a la empresa estatal Ecopetrol. Gran parte de la economía de la ciudad gira en torno a la industria Petroquímica que se asienta en este municipio. La refinería de Barrancabermeja es la principal refinería del país, con una producción total de 350.000 barriles de combustible al día. Entre otras labores económicas de la región, se destacan la operación portuaria y los servicios logísticos para el transporte, la ganadería, la pesca, la agricultura y el comercio. Situado a una altitud de 75 m.s.n.m, el municipio presenta un clima tropical cálido con una temperatura media anual de 30 a 35°C, superior al promedio nacional, y un régimen de precipitaciones que alcanza los

2000 a 3000 mm anuales, distribuidos en los meses de **abril y octubre** días de más intensidad de lluvias. Con picos de precipitación durante los meses de **mayo, junio y octubre**, este tipo de eventos climáticos, incrementa la susceptibilidad a riesgos de inundación, especialmente en áreas de baja altitud y con drenaje deficiente.

La gestión del riesgo por inundaciones es un gran desafío neurálgico para la administración pública de Barrancabermeja, considerando su actividad económica principal que es la Industria petrolera y a la par el turismo y ecoturismo que promueve el Distrito como tal. Por lo tanto este tema de riesgos por inundaciones pueden generar pérdidas significativas en afectaciones en la infraestructura, así como en la exploración y explotación de pozos petroleros, interrumpir la conectividad vial y afectar los ecosistemas locales, aumentando la presión sobre la planificación territorial.

Este trabajo aborda la problemática mediante un análisis multicriterio basado en los sistemas de información geográfica (SIG), con el objetivo de identificar, caracterizar y evaluar las áreas de riesgo por inundación en el municipio. Este enfoque metodológico, busca ofrecer un panorama de la problemática actual para luego tener las herramientas en la toma de decisiones en planificación de ordenamiento territorial, mitigación del riesgo y conservación de los ecosistemas. Los resultados obtenidos aportan una visión integral del riesgo, destacando la necesidad de estrategias de adaptación y resiliencia para enfrentar los desafíos climáticos en Barrancabermeja.

## Objetivos

### General

Identificación del riesgo por inundación en el municipio de Barrancabermeja - Santander, mediante un análisis multicriterio utilizando los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

### Específicos

- Reconocer los niveles de riesgos de inundación ponderados.
- Generar una discusión académica entorno a las posibles medidas que se pueden realizar para mitigar la gestión del riesgo por inundación en el municipio de Barrancabermeja.
- Desarrollar un análisis multicriterio para clasificar las zonas de alto riesgo de inundaciones del municipio, teniendo en cuenta los factores como pendientes, proximidad a cuerpos de agua, drenajes y cobertura vegetal.

## Identificación del caso de estudio

El municipio de Barrancabermeja, ubicado en el departamento de Santander, al Occidente del Departamento de Santander de Colombia, en este municipio está localizada la refinería de petróleo más grande de Colombia, perteneciente a la empresa estatal Ecopetrol. Gran parte de la economía de la ciudad gira en torno a la industria Petroquímica que se asienta en este municipio. La refinería de Barrancabermeja es la principal refinería del país, con una producción total de 350.000 barriles de combustible al día. Entre otras labores económicas de la región, se destacan la operación portuaria y los servicios logísticos para el transporte, la ganadería, la pesca, la agricultura y el comercio. Situado a una altitud de 75 m.s.n.m, el municipio presenta un clima tropical cálido con una temperatura media anual de 30 a 35°C, superior al promedio nacional, y un régimen de precipitaciones que alcanza los 2000 a 3000 mm anuales, distribuidos en los meses de **abril y octubre** días de más intensidad de lluvias. Con picos de precipitación durante los meses de **mayo, junio y octubre**, este tipo de eventos climáticos, incrementa la susceptibilidad a riesgos de inundación, especialmente en áreas de baja altitud y con drenaje deficiente.

## Metodología

El estudio se basó en un análisis multicriterio implementado mediante los (SIG) en ArcGIS Pro, lo cual permitió identificar y de las áreas de riesgo por inundación en el municipio de Barrancabermeja - Santander. A continuación, se describe el proceso metodológico seguido, estructurado de manera cronológica para facilitar la comprensión.

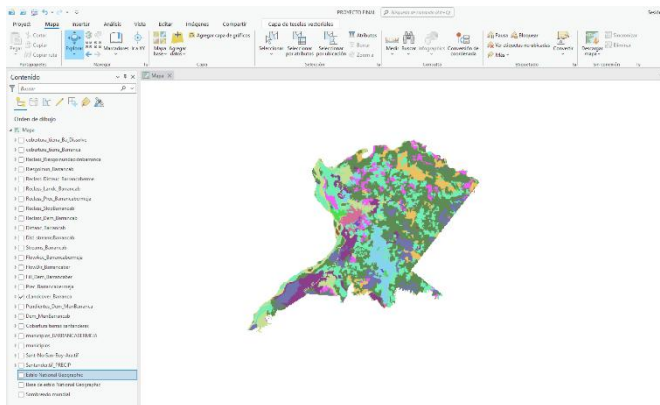
## 1. Recolección de datos geográficos y ambientales

### Fuentes de datos:

- Modelos de Elevación Digital (DEM) con alta resolución.
- Información hidrológica (red hídrica, zonas de drenaje).
- Capas de uso del suelo, cobertura vegetal y pendientes.
- Registros de precipitación mensual, específicamente del mes de octubre, según datos históricos del IDEAM.

### Figura 1.

### Cargue de capas de coberturas de tierras (Land cover) de Barrancabermeja.



Fuente: Autoría propia, 2024

## 2. Construcción del modelo de riesgo por inundación.

Se utilizó el modelo de análisis multicriterio basado en el método de suma ponderada, que integra diferentes variables para evaluar el riesgo de inundación

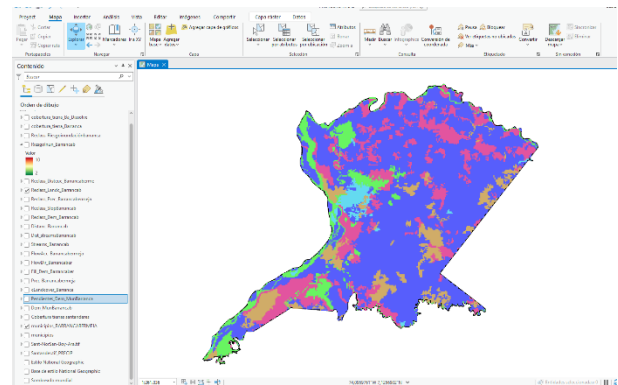
### Criterios utilizados:

**Pendiente:** Las áreas con pendientes menores a 2% se consideran más susceptibles a inundaciones.

**Proximidad a cuerpos de agua:** Se asignó mayor peso a las áreas cercanas a ríos y quebradas.

**Drenaje del suelo:** Las zonas con drenaje deficiente obtuvieron puntuaciones más altas.

**Cobertura vegetal:** Se clasificó y reclasificó en función de la capacidad de amortiguación de las inundaciones.



Los valores de los criterios se reclasificaron en categorías de 1 a 5, donde 1 representa bajo riesgo y 5 alto riesgo.

### Asignación de pesos:

Los pesos de cada criterio se definieron mediante consultas bibliográficas, siguiendo los métodos de análisis multicriterio documentados en Efraimidou y Spiliotis (2024) y González Valencia (2006). La fórmula empleada para la suma ponderada fue:

$$\text{Índice de Riesgo} = (P_{\text{pendiente}} \cdot W_{\text{pendiente}}) + (P_{\text{proximidad}} \cdot W_{\text{proximidad}}) + (P_{\text{drenaje}} \cdot W_{\text{drenaje}}) + (P_{\text{cobertura}} \cdot W_{\text{cobertura}})$$

Donde P es la puntuación de cada criterio y W es su peso relativo.

## 3. Generación del mapa de riesgo

Reclasificación y superposición de capas:

Cada criterio se transformó a una escala común y se integraron mediante operaciones de álgebra raster en ArcGIS Pro.



Fuente: Autoría propia, 2024.

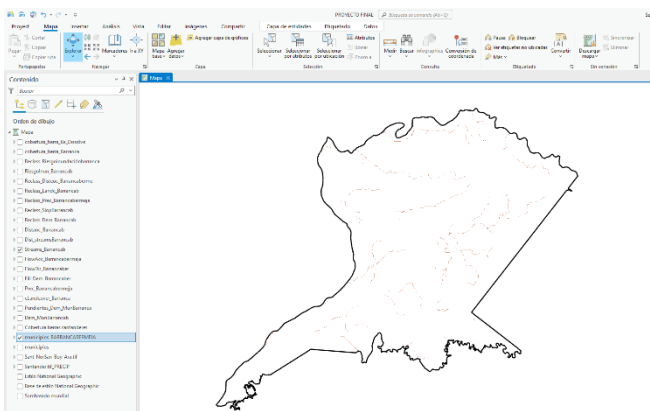
**Categorías de riesgo:**

El mapa de riesgo final se reclasificó en cinco categorías cualitativas: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, asignando simbología específica (verde para muy bajo, rojo para muy alto).

**Validación:**

El modelo fue validado mediante observaciones históricas de inundaciones y comparación con estudios previos, como los propuestos por Pineda y Suárez (2014).

**Figura 2. Reclasificación y superposición de capas del municipio de Barrancabermeja.**



Fuente: Autoría propia, 2024

**4. Análisis de resultados**

Los resultados del análisis se interpretaron utilizando herramientas de estadística espacial y visualización gráfica en ArcGIS Pro:

**Distribución espacial:** Identificación de áreas

críticas basadas en las categorías de riesgo.

**Cálculo de áreas:** Se calculó el área total en hectáreas para cada categoría de riesgo.

**Impacto potencial:** Se analizaron los efectos del riesgo en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas.

**Resultados**

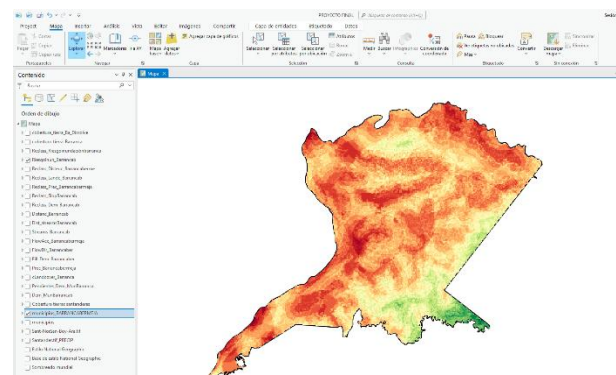
Las áreas de riesgo muy alto (color rojo) representan el 20,8 % del territorio del municipio de Barrancabermeja, con un área aproximada de 11.496,923 ha. Estas zonas se concentran principalmente en las áreas bajas cercanas a los principales cuerpos de agua y zonas de escaso drenaje natural, donde se incrementa la probabilidad de inundaciones severas.

Las áreas de riesgo alto (color naranja) abarcan el 30,1 %, con una extensión aproximada de 16.580,398 ha. Estas zonas también están relacionadas con terrenos propensos a inundaciones, pero con menor frecuencia o intensidad que las áreas de riesgo muy alto.

Las zonas de riesgo muy bajo (color verde) constituyen solo el 7 % del territorio, equivalentes a 3.884,738 ha. Estas áreas están asociadas a elevaciones mayores y condiciones de buen drenaje natural.

Las áreas de riesgo bajo (color amarillo) ocupan el 15,4 % del territorio, con un total de 8.502,541 ha. Estas zonas presentan una menor probabilidad de inundación en comparación con las categorías de mayor riesgo.

**Figura 3. Mapa riesgo por inundación en formato vectorial de Barrancabermeja.**



Fuente: Autoría propia, 2024.

La distribución espacial del riesgo muestra que más del 50 % del municipio se encuentra en categorías de alto riesgo. Esto indica una vulnerabilidad considerable que podría afectar tanto a las comunidades como a la infraestructura y los sistemas productivos. Las áreas seguras, clasificadas como de riesgo bajo, son limitadas y se localizan en zonas alejadas de los cuerpos de agua principales. Estas inundaciones generan unos impactos en la zona del municipio los cuales se clasifican en:

### Impacto potencial Comunidades

Las áreas de riesgo muy alto abarcan comunidades rurales que enfrentan una alta exposición a inundaciones recurrentes. Esto puede ocasionar pérdidas materiales y desplazamientos, aumentando la vulnerabilidad social.

### Infraestructura

Infraestructuras clave, como la Refinería, El Puerto, carreteras y puentes, podrían verse gravemente afectadas en las zonas de Alto riesgo alto. Esto afectaría la producción en esta industria Petroquímica

Ecosistemas locales, como Ciénagas, Ríos y quebradas, enfrentan alteraciones significativas debido a inundaciones extremas, afectando la biodiversidad de la región.

### Figura 4.

### Clasificación de riesgo por inundación del municipio de Barrancabermeja.

**Tabla 1. Clasificación de riesgo por inundación, área y porcentaje de afectación en el municipio de Barrancabermeja.**

Cuadro 13. Parámetros morfométricos de las principales cuencas

CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	ÁREA (Km)	PERIMETRO (Km)	LONGITUD		A. MAX (Km)	A. MED (Km)	FORMA				Pm (m/Km)	
					AXIAL	CAUCE			Fc	Kc	la	lh		
RIO MAGDALENA	1. SOGAMOSO													
	2. SAN SILVESTRE	2a. LLANITOS	192.00	58.75	26.20	25.75	7.53	7.33	0.28	1.20	3.48	0.97	0.97	
		2b. EL ZARZAL	237.30	58.45	24.00	31.70	14.79	9.89	0.41	1.07	1.62	0.67	12.28	
		2c. PEROLES	336.50	70.05	28.00	36.65	17.20	12.02	0.43	1.08	1.63	0.70	13.59	
		2d. VIZCAINA	206.20	74.75	27.60	30.50	12.70	7.47	0.27	1.47	2.17	0.59	0.82	
3. LA CIRA			161.20	53.20	18.43	19.10	9.38	8.75	0.48	1.18	1.96	0.93	3.59	
4. OPONCITO														

A. MAX: Ancho máximo (medido)  
A. MED: Ancho promedio (calculado)  
Ff: Factor de forma  
Kc: Coeficiente de compacidad  
la: Índice de alargamiento  
lh: Índice de homogeneidad  
Pm: Pendiente media del Cauce

Fuente:

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/10349/4251-10.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

Con la información suministrada, se Describe y analizando las cuencas y subcuencas que rodean al municipio de Barrancabermeja y las hectáreas en la cuál tienen una afectación muy alta, y concuerda con la información obtenida en el análisis Multicriterio de riesgos de Barrancabermeja

El análisis realizado demuestra la necesidad de implementar medidas de mitigación en las áreas de alto riesgo, como:

- Construcción de sistemas de drenaje y alcantarillado más eficientes.
- Fortalecimiento de la infraestructura existente para resistir inundaciones sobre el lecho del río que es la cuenca principal.
- Diseño y ejecución de proyectos de vivienda, y demás áreas que se requieran para mitigar el riesgo de inundación

Estos resultados permiten una planificación territorial más eficiente, contribuyendo a

reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia del municipio frente a eventos de inundación.

### **Conclusiones**

El análisis de riesgo por inundación realizado para el municipio de Barrancabermeja - Santander, a través de un enfoque multicriterio y el uso de SIG en ArcGIS Pro, me ha permitido identificar de manera detallada las áreas más vulnerables a inundaciones, contribuyendo a una mejor comprensión de los riesgos que enfrenta el municipio. Los resultados muestran que más del 80% del territorio está en categorías de alto riesgo, lo que resalta la urgente necesidad de diseñar y ejecutar estrategias de mitigación eficaces para reducir los impactos de las inundaciones sobre las comunidades, la infraestructura, los ecosistemas.

La metodología empleada, que integró criterios como DEM de pendientes, la proximidad a cuerpos de agua, el drenaje del suelo y la cobertura vegetal demostró ser efectiva para mapear y clasificar las áreas de riesgo. Además, la validación del modelo a través de datos históricos refuerza la fiabilidad de los resultados obtenidos.

A partir de los hallazgos del estudio, se recomienda la implementación de medidas estructurales y no estructurales, tales como la construcción de sistemas de drenaje eficientes, el fortalecimiento de infraestructuras, la reubicación de viviendas en zonas seguras y la conservación de ecosistemas naturales. Estas acciones no solo contribuirán a mitigar los efectos de las inundaciones, sino también a mejorar la resiliencia del municipio ante eventos climáticos extremos, promoviendo un

desarrollo más sostenible y seguro para sus habitantes.

La evaluación de riesgos por inundación en Barrancabermeja proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la planificación de ordenamiento territorial y la gestión del riesgo, favoreciendo en gran parte la adaptación del municipio a los desafíos climáticos y la protección de sus recursos naturales y económicos.

### **Recomendaciones**

En las zonas de riesgo medio y alto, promover las obras públicas que conlleven a la mitigación del riesgo alto, que combine cultivos agrícolas con árboles, puede ayudar a reducir la erosión del suelo y mejorar la absorción de agua. Además, las plantaciones de árboles pueden servir como barreras naturales contra las inundaciones.

Se recomienda implementar proyectos de tratamiento de aguas residuales agresivas a causa de la industria Petro-Química de los ecosistemas como las Ciénagas y Quebradas para el mejoramiento de la calidad del agua y así contribuir al mejoramiento del nivel freático que puede en cierta parte apoyar a la reducción del riesgo.

Las zonas con alto riesgo de inundación deben ser objeto de una planificación urbana y rural que limite el desarrollo de infraestructuras vulnerables, como viviendas. La reubicación de viviendas en zonas más altas y seguras puede evitar desplazamientos forzados en caso de inundaciones. Y la planificación de las actividades productivas debe priorizar y tenerse en cuenta en el desarrollo y ejecución del POT

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Condiciones

observadas en septiembre de 2019.

<https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/20.500.14471/10349/4251-10.pdf?sequence=10&isAllowed=y>

Weather and Climate. (s.f.). Barrancabermeja, Cesar, Colombia Climate. <https://weatherandclimate.com/colombia/santander/barrancabermeja>

Efraimidou, E., Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. Environmental Process. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>

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, Vol. 5(8), pp. 59–70. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7d5a99fe-dbcf-33b6-943e-dd92eebf52b6>

**Enlace de sustentación:**

[https://youtu.be/VKTT\\_PQsD5o](https://youtu.be/VKTT_PQsD5o)