

Modelación del riesgo de inundación mediante análisis espacial en el municipio de Soledad

Andrea Marcela Beleño Royet

Asesora

Gina Carolina Posada Correa

Universidad Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental

2026

Resumen

El presente trabajo aborda la modelación del riesgo de inundación en el municipio de Soledad mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y un análisis multicriterio. A partir de la integración de variables como pendiente, precipitación, cobertura de tierras, modelo digital de elevación y distancia a drenajes, se generó un modelo de riesgo en formato ráster, el cual posteriormente fue reclasificado y convertido a formato vectorial para su análisis espacial.

Como resultado, se identificaron cinco niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. En términos cuantitativos, el riesgo medio representa la mayor proporción del territorio con aproximadamente 18,11 km², seguido del riesgo bajo con 14,74 km² y el riesgo alto con 13,66 km². Por su parte, el riesgo muy alto abarca cerca de 6,38 km², mientras que el riesgo muy bajo corresponde a 5,08 km².

Estos resultados evidencian que más del 60 % del municipio se encuentra en condiciones de susceptibilidad media y alta frente a inundaciones, lo cual está asociado principalmente a su topografía plana, la cercanía al río Magdalena y la presión del crecimiento urbano. El estudio demuestra la utilidad del análisis espacial como herramienta clave para la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Palabras clave: Modelación ambiental, riesgo de inundación, SIG.

Tabla de Contenido

Introducción	6
Objetivos	8
Objetivo General	8
Objetivos Específicos	8
Identificación del Caso de Estudio	9
Ubicación Geográfica y División Político-Administrativa	10
Características Físicas y Ambientales Relevantes para el Riesgo de Inundación	11
Características Climáticas	12
Metodología	15
Preparación y Reclasificación de las Capas	16
Resultados	26
Recomendaciones	32
Referencias Bibliográficas	34

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Criterios Aplicados en el Análisis Multicriterio</i>	23
Tabla 2 <i>Reclasificación del Riesgo por Inundación</i>	25
Tabla 3 <i>Resultados de la Clasificación del Riesgo por Inundación en Soledad</i>	30

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de Riesgo de Inundación del Municipio de Soledad, Atlántico</i>	10
Figura 2 <i>Esquema Metodológico del Análisis Multicriterio</i>	15
Figura 3 <i>Modelo de Pendientes</i>	18
Figura 4 <i>Modelo Digital de Elevación (DEM)</i>	19
Figura 5 <i>Modelo de Cobertura de la Tierra del Municipio de Soledad</i>	20
Figura 6 <i>Modelo de Precipitación del Municipio de Soledad</i>	21
Figura 7 <i>Modelo de los Drenajes del Municipio de Soledad</i>	22
Figura 8 <i>Evidencia de la Asignación de las Clases de Riesgo</i>	24
Figura 9 <i>Distribución del Riesgo de Inundación en el Municipio de Soledad</i>	26
Figura 10 <i>Ponderación del Análisis Multicriterio</i>	27
Figura 11 <i>Relación entre Pendiente y Riesgo por Inundación</i>	28
Figura 12 <i>Mapa de Riesgo por Inundación del Municipio de Soledad</i>	29

Introducción

En los últimos años, el cambio climático ha generado un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias fuertes y tormentas, que incrementan el riesgo de inundaciones en muchas regiones del mundo. El IPCC (2021) señala que el calentamiento global ha provocado que la atmósfera retenga más humedad, lo que produce precipitaciones más intensas en periodos cortos de tiempo. Asimismo, la Organización Meteorológica Mundial (2021) indica que los eventos extremos relacionados con el agua han aumentado y afectan especialmente a zonas urbanas con alta población y problemas de drenaje. En Colombia, el IDEAM (2018) ha reportado una alta variabilidad climática y mayores riesgos asociados a temporadas de lluvias intensas, mientras que la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD] (2022) reconoce que las inundaciones son uno de los desastres que más impactos generan en el país.

En este contexto, el municipio de Soledad presenta condiciones que aumentan su vulnerabilidad frente a inundaciones. Su cercanía al río Magdalena, la baja pendiente del terreno y el crecimiento urbano desorganizado han generado ocupación de zonas susceptibles a anegaciones y sobrecarga en el sistema de drenaje pluvial. De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio (Alcaldía de Soledad, 2020), existen sectores que históricamente presentan afectaciones durante temporadas de lluvias intensas, impactando viviendas, vías y actividades comerciales. Esto no solo afecta la infraestructura, sino también la calidad de vida de la población y el desarrollo de actividades productivas.

Ante esta situación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se convierten en herramientas importantes para analizar y entender el riesgo de inundación, ya que permiten integrar diferentes variables como pendiente, precipitación y uso del suelo en un mismo modelo

espacial. Según Burrough y McDonnell (1998), los SIG facilitan el análisis multicriterio mediante la superposición de capas temáticas. Además, organismos como el UNDRR (2019) destacan que la información geoespacial es clave para apoyar la toma de decisiones y fortalecer la gestión del riesgo en los territorios.

Por lo anterior, el propósito de este ejercicio es aplicar un modelo de análisis multicriterio en un entorno SIG para generar el mapa de riesgo de inundación del municipio de Soledad y realizar una primera interpretación de las zonas más críticas, como apoyo a los procesos de ordenamiento agroambiental del territorio.

Objetivos

Objetivo General

Construir y analizar un producto cartográfico digital que represente el riesgo de inundación en el municipio de Soledad, utilizando herramientas SIG y técnicas de modelación espacial para apoyar el ordenamiento agroambiental del territorio.

Objetivos Específicos

Transformar, procesar y reclasificar la capa ráster de riesgo obtenida para generar un modelo vectorial que represente las diferentes categorías de inundación en el municipio de Soledad.

Calcular el área correspondiente a categoría de riesgo e interpretar estos resultados en relación con la dinámica territorial, ambiental y social del municipio.

Elaborar un diseño cartográfico final que incluya simbología adecuada, leyenda, escala y grilla de coordenadas, y analizar los hallazgos en términos del impacto potencial sobre comunidades, infraestructura y sistemas agroambientales.

Identificación del Caso de Estudio

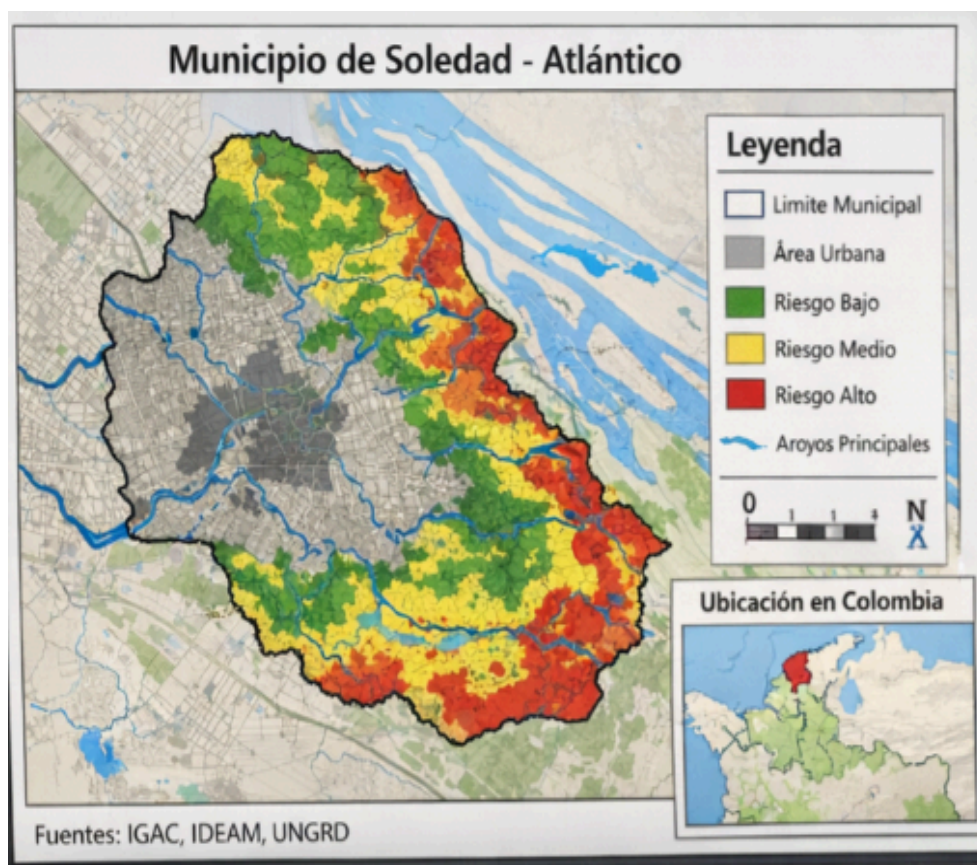
El municipio de Soledad se encuentra ubicado en el departamento del Atlántico, en la región Caribe colombiana, y forma parte del área metropolitana de Barranquilla. Este municipio se caracteriza por presentar una topografía predominantemente plana, una alta densidad poblacional y un crecimiento urbano acelerado, factores que lo hacen vulnerable frente a fenómenos naturales como las inundaciones.

Además, su cercanía al río Magdalena y la presencia de arroyos y drenajes urbanos incrementan el riesgo de acumulación de agua, especialmente durante temporadas de lluvias intensas. Estas condiciones, sumadas a problemáticas como el manejo inadecuado del drenaje pluvial y la expansión urbana desorganizada, generan escenarios de riesgo que afectan tanto la infraestructura como la calidad de vida de sus habitantes.

En la Figura 1 se presenta el mapa de riesgo de inundación del municipio, donde se identifican las diferentes categorías de riesgo (bajo, medio y alto), así como su distribución espacial dentro del territorio. Este mapa permite visualizar las zonas más vulnerables, destacando principalmente las áreas cercanas al río Magdalena, donde se concentran los niveles de riesgo más altos.

Figura 1

Mapa de Riesgo de Inundación del Municipio de Soledad, Atlántico



Nota. Mapa del riesgo de inundación del municipio de Soledad, Atlántico. Autoría propia.

Ubicación Geográfica y División Político-Administrativa

Soledad es un municipio ubicado en el departamento del Atlántico, en la región Caribe colombiana. Hace parte del Área Metropolitana de Barranquilla y limita al norte con Barranquilla, al sur con Malambo, al oeste con Galapa y al este con el río Magdalena (Alcaldía de Soledad, 2020). El municipio cuenta con una extensión aproximada de 67 km², donde más del 90% corresponde a zona urbana, mientras que el área rural es reducida y se encuentra distribuida en pequeños sectores periféricos (DANE, 2019). Debido a su densidad poblacional y rápida

expansión urbana, Soledad se considera uno de los municipios con mayor concentración demográfica del país.

Características Físicas y Ambientales Relevantes para el Riesgo de Inundación

El municipio de Soledad se localiza sobre una llanura aluvial asociada al río Magdalena, lo que le confiere una altitud muy baja, entre 2 y 12 metros sobre el nivel del mar (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2018). Esta condición geomorfológica hace que el territorio presente una alta susceptibilidad natural a inundaciones, debido a su origen sedimentario y a la dinámica hídrica propia de este tipo de ambientes.

La topografía del municipio es predominantemente plana, con pendientes generalmente inferiores al 5%, lo cual limita el drenaje natural del agua y favorece la acumulación de escorrentías superficiales, especialmente durante eventos de precipitación intensa (IDEAM, 2021). Esta situación incrementa el riesgo de inundación, ya que el agua tiende a permanecer en el terreno por más tiempo, afectando zonas urbanas y rurales.

Desde el punto de vista hidrológico, la red hidrográfica del municipio está dominada por el río Magdalena, el cual actúa como principal receptor de las aguas superficiales. A su vez, existen caños urbanos, canales pluviales y drenajes naturales que permiten la conducción del agua lluvia hacia este cuerpo hídrico. Sin embargo, el crecimiento urbano acelerado y, en muchos casos, no planificado, ha generado alteraciones en estos sistemas de drenaje, reduciendo su capacidad hidráulica y aumentando la probabilidad de inundaciones (UNGRD, 2022).

En relación con las condiciones climáticas, el municipio presenta un régimen de precipitaciones característico de la región Caribe colombiana, con periodos de lluvias intensas que pueden generar grandes volúmenes de escorrentía en cortos periodos de tiempo (IDEAM, 2018). Durante estas temporadas, la capacidad del sistema de drenaje suele verse superada, lo

que incrementa la ocurrencia de inundaciones, especialmente en zonas bajas y cercanas a drenajes.

Adicionalmente, factores antrópicos como la expansión urbana desorganizada, la ocupación de zonas inundables, la impermeabilización del suelo y la inadecuada disposición de residuos sólidos contribuyen a agravar la problemática. Estos elementos reducen la infiltración del agua en el suelo y aumentan la escorrentía superficial, generando condiciones de mayor vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos.

En conjunto, las características físicas, climáticas e intervenciones humanas en el territorio explican la alta susceptibilidad del municipio frente a inundaciones, lo cual resalta la importancia de implementar estrategias de planificación territorial y gestión del riesgo basadas en el análisis espacial.

Características Climáticas

La red hidrográfica del municipio de Soledad está influenciada principalmente por el Río Magdalena, que es el cuerpo de agua más importante de la zona y hacia dónde llegan la mayoría de las escorrentías. Dentro del municipio también existen caños, canales pluviales y drenajes naturales que ayudan a transportar el agua de lluvia. Sin embargo, muchos de estos atraviesan zonas urbanas donde el crecimiento ha sido rápido, lo que ha afectado su funcionamiento en algunos casos.

En cuanto al clima, Soledad presenta condiciones tropicales, con temporadas de lluvias intensas, sobre todo entre los meses de abril y noviembre. Durante estos periodos, se generan grandes cantidades de agua que aumentan el riesgo de inundaciones, especialmente en zonas más vulnerables.

Teniendo en cuenta las condiciones físicas e hidrológicas del municipio de Soledad, es posible identificar diversos escenarios de riesgo natural asociados principalmente a eventos de precipitación intensa. Entre estos se destacan las inundaciones urbanas generadas por lluvias fuertes, las cuales superan la capacidad del sistema de drenaje pluvial, provocando encharcamientos prolongados en diferentes sectores del municipio. Asimismo, se presentan desbordamientos de arroyos, caños y canales, afectando viviendas, infraestructura vial y espacios públicos, especialmente en zonas cercanas a estos cuerpos de agua.

Otro escenario relevante corresponde a la acumulación de agua en zonas topográficamente bajas, donde las condiciones del terreno y las deficiencias en el sistema de drenaje dificultan la evacuación del agua. Esta situación se ve agravada por el taponamiento de canales debido a la inadecuada disposición de residuos sólidos. De igual manera, el aumento de construcciones en áreas cercanas a cauces naturales incrementa la exposición de la población al riesgo de inundación, al ocupar zonas que naturalmente funcionan como áreas de amortiguación hídrica (UNGRD, 2022).

En cuanto a las características climáticas, el municipio se ubica en la región Caribe colombiana, presentando un clima cálido durante todo el año, con temperaturas elevadas y un régimen de lluvias estacional. Las precipitaciones se concentran principalmente en dos periodos lluviosos, siendo más intensas entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre (IDEAM, 2021). Estas lluvias, en muchos casos, se presentan de forma intensa y en cortos periodos de tiempo, lo que incrementa la generación de escorrentía superficial.

Adicionalmente, la baja altitud del municipio y su relieve predominantemente plano, con pendientes suaves, limitan el drenaje natural del agua, favoreciendo su acumulación en el territorio (IGAC, 2018). Según información cartográfica y documentos oficiales, estas

condiciones biofísicas hacen que el municipio sea altamente susceptible a la ocurrencia de inundaciones, especialmente en sectores donde el sistema de drenaje es insuficiente o presenta fallas estructurales.

Por otra parte, factores antrópicos como el crecimiento urbano acelerado, la impermeabilización del suelo y la ocupación de zonas inundables contribuyen a intensificar estos escenarios de riesgo. La reducción de áreas de infiltración y la alteración de los drenajes naturales incrementan la vulnerabilidad del territorio frente a eventos hidrometeorológicos.

En conjunto, las condiciones climáticas, físicas y antrópicas del municipio evidencian una alta exposición a eventos de inundación, lo cual resalta la necesidad de fortalecer la planificación urbana, mejorar la infraestructura de drenaje y promover estrategias de gestión del riesgo que permitan mitigar los impactos asociados a estos fenómenos.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se realizó un Análisis Multicriterio (AMC) en ArcGIS Pro, con el fin de modelar el riesgo de inundación en el municipio de Soledad.

Inicialmente, se realizó la recolección y preprocesamiento de las capas geográficas, incluyendo el Modelo Digital de Elevación (DEM por sus siglas en inglés), pendiente, cobertura del suelo, precipitación y distancia a drenajes. Posteriormente, cada una de estas variables fue reclasificada con el objetivo de estandarizar sus valores y hacerlas comparables.

A continuación, se asignaron ponderaciones a cada variable de acuerdo con su nivel de influencia en la generación de inundaciones. Finalmente, se aplicó un proceso de superposición ponderada, obteniendo como resultado un mapa ráster de riesgo, el cual fue posteriormente convertido a formato vectorial para facilitar su análisis.

Figura 2

Esquema Metodológico del Análisis Multicriterio



Nota. Esquema de la metodología de análisis multicriterio empleada para la identificación del riesgo de inundación en el municipio de Soledad, Atlántico. Autoría propia.

Preparación y Reclasificación de las Capas

Se realizó la organización de todas las capas previamente trabajadas, entre las cuales se incluyen el Modelo de Elevación Digital (DEM), la pendiente, la precipitación, la distancia a los drenajes y la cobertura del suelo. Esta etapa permitió estructurar de manera adecuada la información espacial necesaria para el análisis.

Posteriormente, cada una de estas capas fue sometida a un proceso de reclasificación. Dicho procedimiento consistió en asignar valores específicos a las distintas categorías o rangos de cada variable, en función de su nivel de influencia sobre el riesgo de inundación. De esta manera, se establecieron criterios homogéneos que facilitaron la comparación entre las capas.

La reclasificación se fundamentó en el comportamiento de cada factor frente a la ocurrencia de inundaciones; por ejemplo, zonas con menor elevación o menor pendiente recibieron valores que indican mayor susceptibilidad, mientras que áreas con condiciones menos

favorables para la acumulación de agua fueron clasificadas con valores de menor riesgo. De igual forma, variables como la precipitación, la cercanía a drenajes y el tipo de cobertura del suelo fueron ponderadas según su contribución al fenómeno.

Este proceso permitió estandarizar la información y prepararla para etapas posteriores de análisis, como la integración de capas y la generación de mapas de susceptibilidad, garantizando así una base metodológica coherente y consistente. En el DEM, las zonas más bajas recibieron valores más altos, porque ahí el agua se acumula más fácil.

En coherencia con el proceso de organización y reclasificación de las capas, se establecieron criterios específicos para cada variable, teniendo en cuenta su incidencia en la susceptibilidad a inundaciones.

En el caso de la pendiente, las áreas con menor inclinación fueron clasificadas con valores más altos de riesgo, debido a que presentan una menor capacidad de drenaje natural, lo que favorece la acumulación de agua. Por el contrario, las zonas con mayor pendiente facilitan el escurrimiento superficial, reduciendo la probabilidad de inundación, por lo que se les asignaron valores más bajos.

Respecto a la precipitación, se consideró que las zonas con mayores niveles de lluvia presentan una mayor probabilidad de experimentar eventos de inundación. En consecuencia, estas áreas fueron clasificadas con valores más altos de susceptibilidad, mientras que aquellas con menor precipitación recibieron valores más bajos.

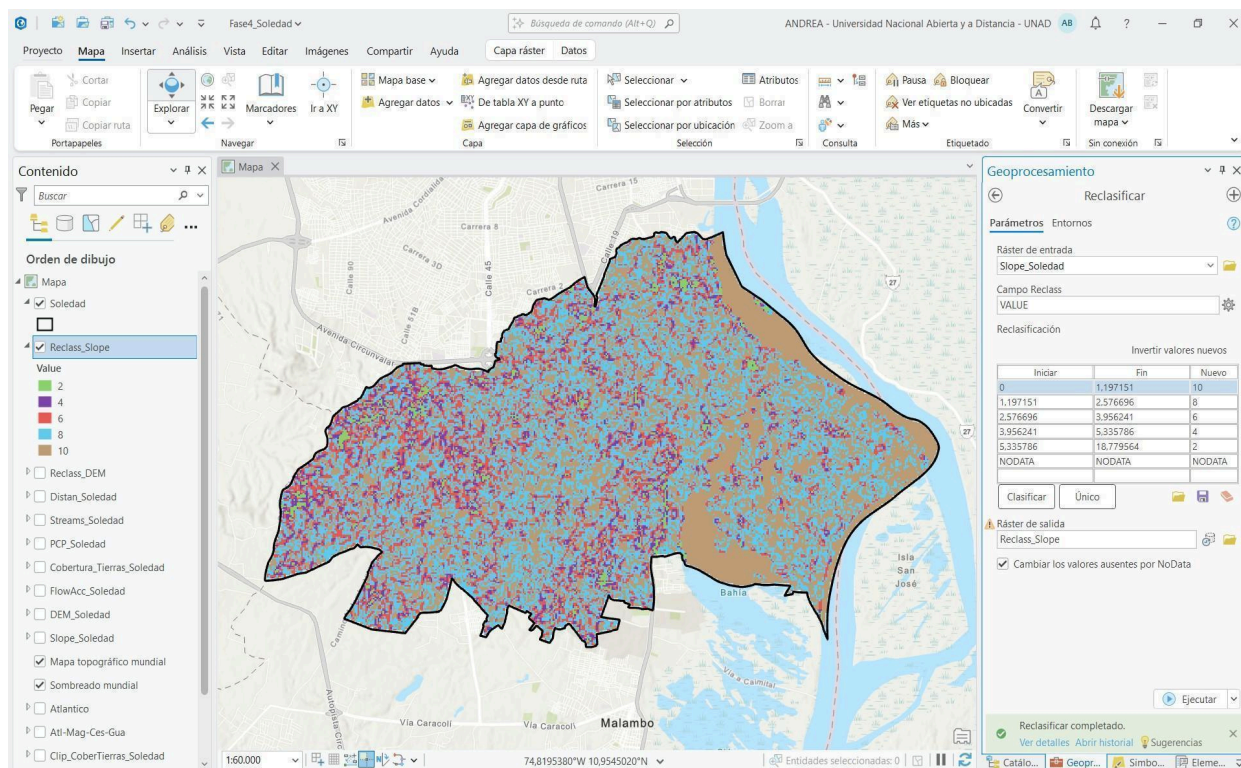
En relación con la distancia a drenajes, se asignaron los valores más altos a las áreas más cercanas a ríos, quebradas y otros cuerpos de agua, ya que el riesgo de inundación aumenta significativamente en escenarios de desbordamiento. A medida que la distancia a estos drenajes

incrementa, el nivel de riesgo disminuye, por lo que se asignaron valores progresivamente menores.

Finalmente, en la capa de cobertura del suelo, se identificó que las áreas urbanizadas o con escasa cobertura vegetal presentan una mayor susceptibilidad a inundaciones, debido a su baja capacidad de infiltración y mayor generación de escorrentía superficial. En contraste, las zonas con cobertura vegetal densa favorecen la infiltración del agua, reduciendo el riesgo, por lo que fueron clasificadas con valores más bajos. En la Figura 3 se presenta el modelo de pendientes. Este representa la inclinación del terreno, evidenciando predominio de pendientes bajas que favorecen la acumulación de agua.

Figura 3

Modelo de Pendientes

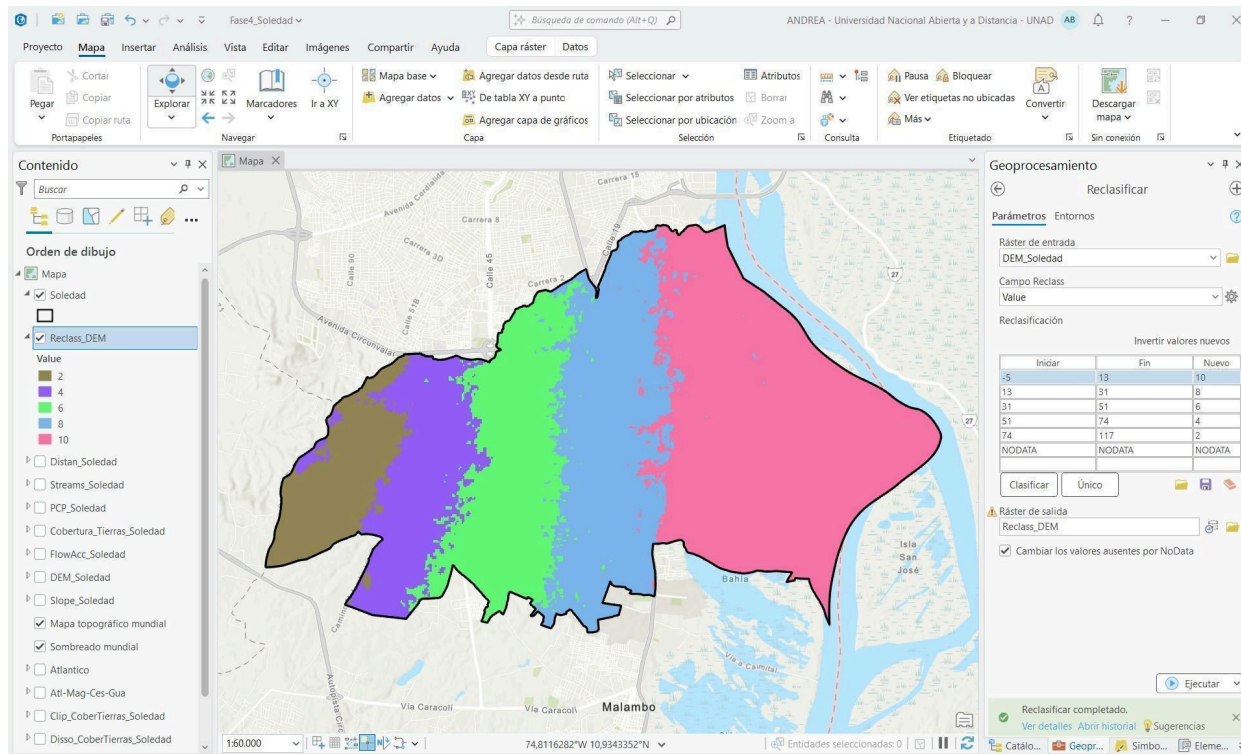


Nota. Modelación de la capa de pendientes para el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

En la Figura 4 se presenta el modelo digital de elevación (DEM) del municipio de Soledad, el cual muestra las variaciones altitudinales del terreno. Se identifican zonas de baja elevación cercanas al Río Magdalena, las cuales presentan mayor susceptibilidad a inundaciones debido a la acumulación de agua en estas áreas.

Figura 4

Modelo Digital de Elevación (DEM)

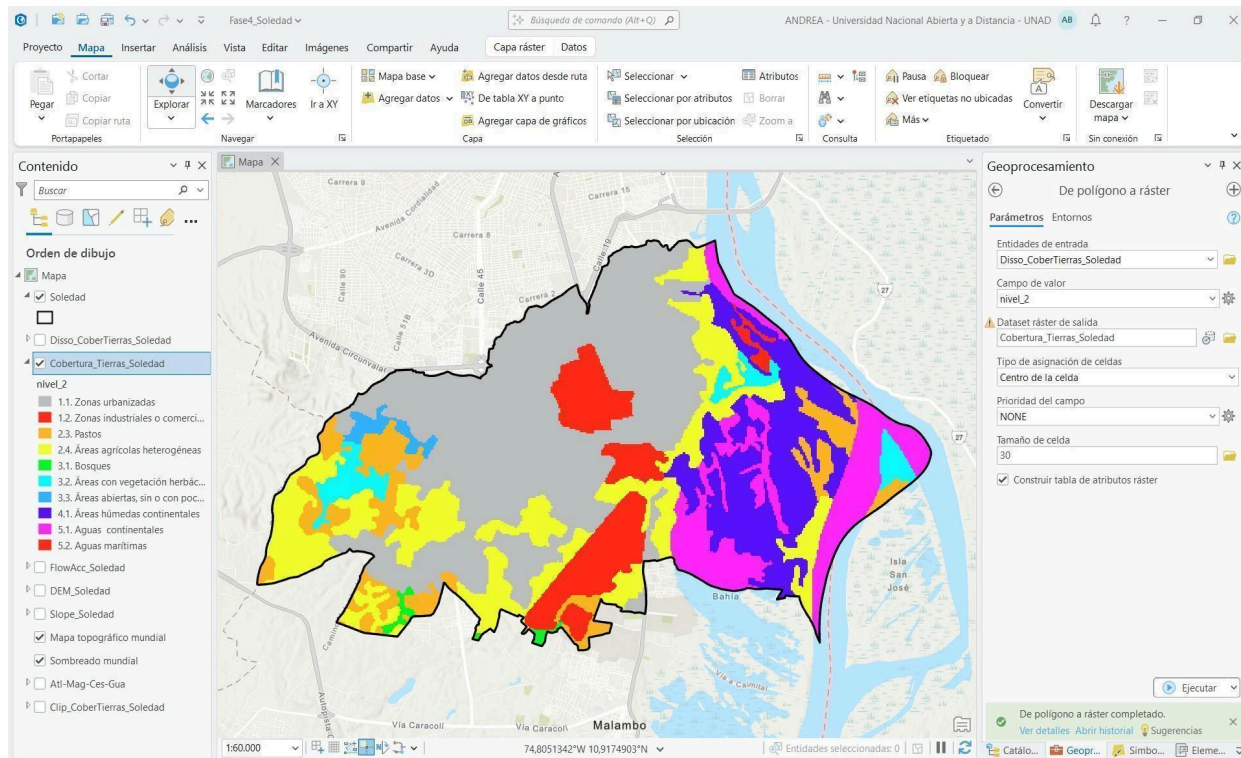


Nota. Procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM) para el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

En la Figura 5 se muestra el modelo de cobertura de suelos empleado, el cual permite identificar los diferentes usos del suelo. Se observa la presencia de zonas urbanizadas que presentan menor capacidad de infiltración, lo que incrementa la escorrentía superficial y el riesgo de inundación en estas áreas.

Figura 5

Modelo de Cobertura de la Tierra del Municipio de Soledad

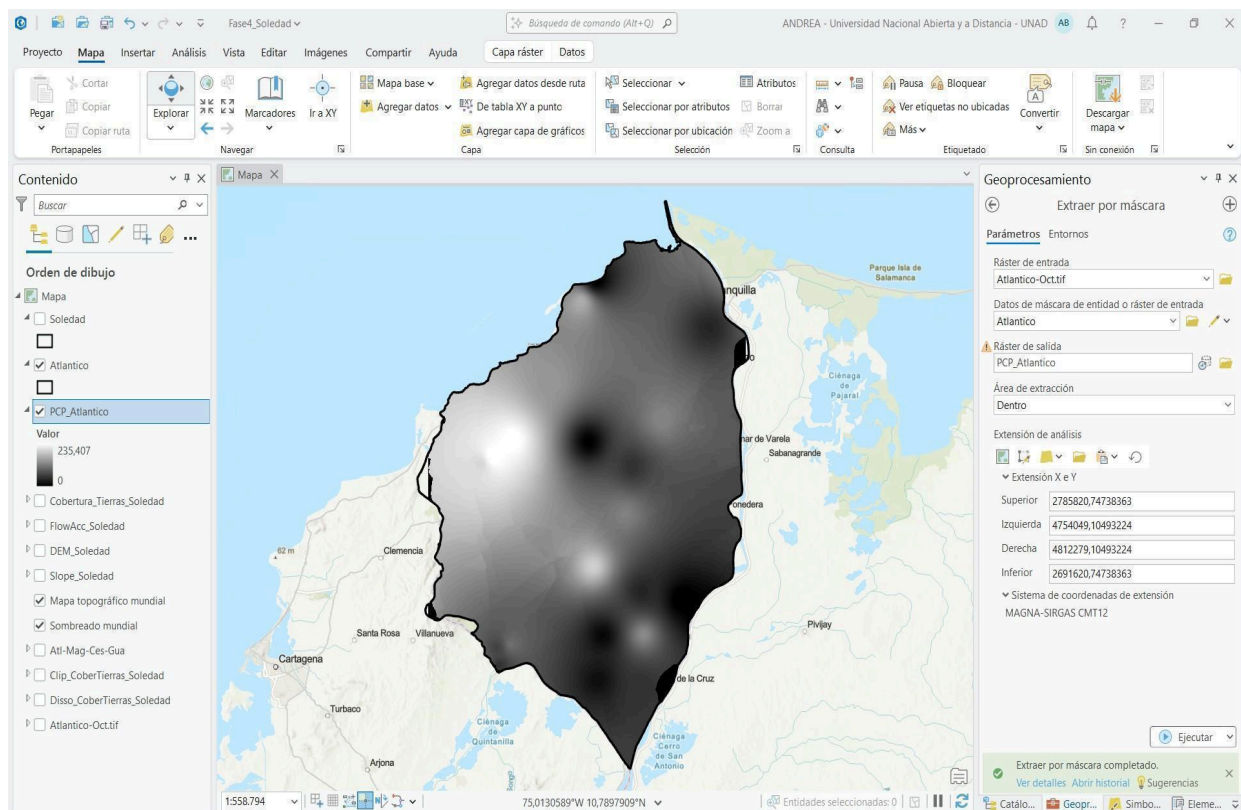


Nota. Modelación de la capa de cobertura del uso de tierra en el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

En la Figura 6, se presenta el modelo de precipitación del municipio de Soledad, el cual muestra la distribución espacial de las lluvias. Las zonas con mayores niveles de precipitación generan un mayor aporte de agua al sistema, aumentando la probabilidad de inundaciones, especialmente cuando coinciden con áreas de baja pendiente.

Figura 6

Modelo de Precipitación del Municipio de Soledad

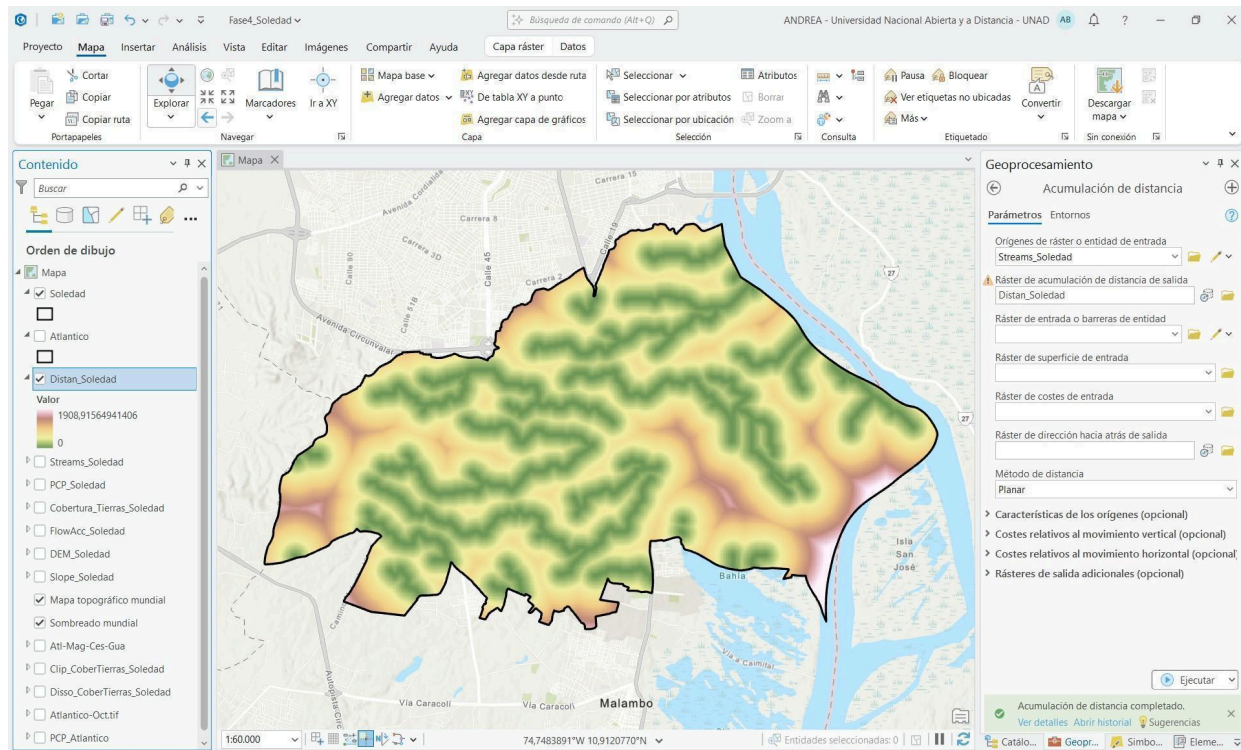


Nota. Modelación de la capa de precipitación en el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

Por último, la Figura 7 presenta el modelo de distancia a los drenajes del municipio de Soledad, el cual permite identificar la proximidad de las zonas a los canales y sistemas de drenaje. Se evidencia que las áreas más alejadas presentan mayor riesgo de acumulación de agua, mientras que las zonas cercanas pueden verse afectadas por desbordamientos durante eventos de lluvia intensa.

Figura 7

Modelo de los Drenajes del Municipio de Soledad



Nota. Modelación de la capa de drenajes en el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

El modelo multicriterio fue desarrollado en ArcGIS Pro mediante la integración de variables determinantes en la ocurrencia de inundaciones, tales como la pendiente, la distancia a cuerpos de agua y la cobertura del suelo. Cada una de estas capas fue estandarizada para permitir su comparación y posteriormente se les asignó un peso relativo según su nivel de influencia. Finalmente, las capas fueron integradas mediante un proceso de superposición ponderada, obteniendo como resultado un mapa ráster clasificado por niveles de riesgo, de acuerdo con la Tabla 1 que se muestra en seguida.

Tabla 1

Crterios Aplicados en el Análisis Multicriterio

Factor	Descripción	Ponderación (%)
Modelo digital de elevación (DEM)	Permite identificar las zonas más bajas donde el agua tiende a acumularse.	10%
Pendientes	Determina la inclinación del terreno y la capacidad de escorrentía	15%
Cobertura de la tierra	Define el uso del suelo y la capacidad de infiltración del agua.	10%
Precipitación	Representa la cantidad de lluvia que influye en la generación de escorrentía.	35%
Distancia a drenajes	Indica la cercanía a canales y arroyos que pueden facilitar o limitar el flujo.	30%
Total		100%

Nota. Se muestra los factores empleados en el análisis multicriterio y el porcentaje asignado para la ponderación. Autoría propia.

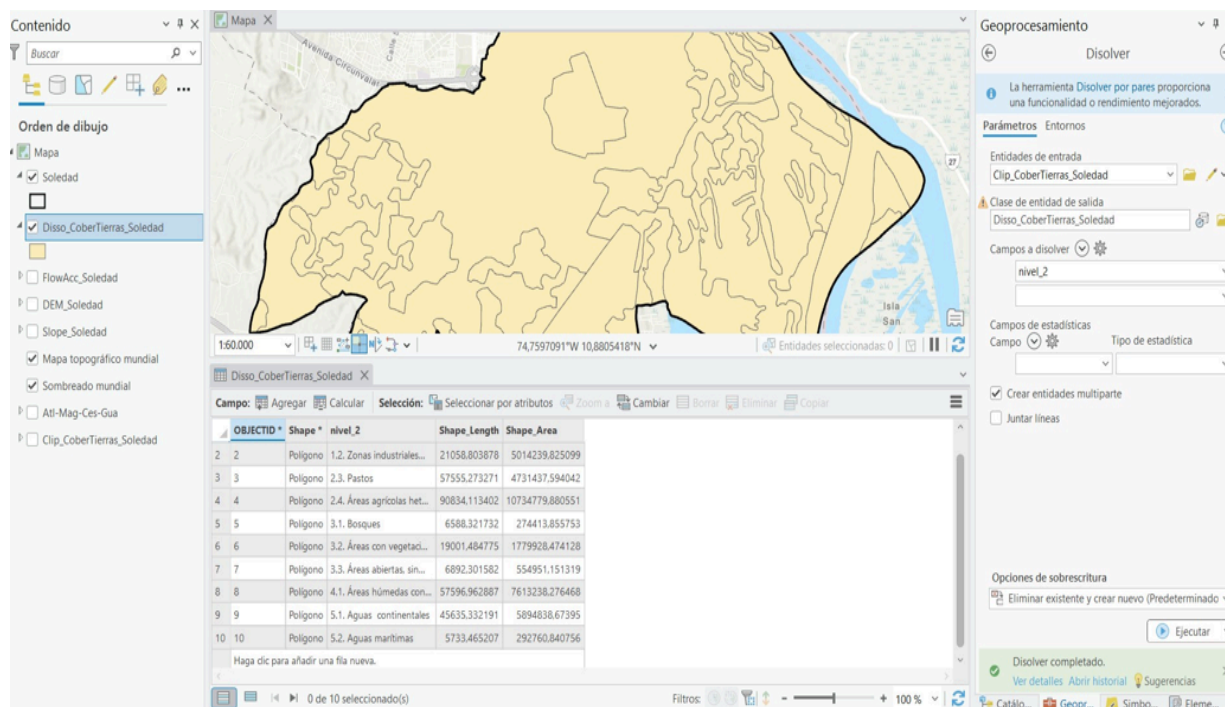
Después de obtener el resultado del análisis multicriterio, convertí el ráster a formato vector usando la herramienta *Raster to Polygon*. Esto me ayudó a trabajar mejor la capa y poder editarla con más facilidad. Luego hice una disolución por el campo *gridcode* para unir los polígonos que tenían el mismo nivel de riesgo y así dejar la capa más limpia.

En la Figura 8 agregué dos columnas nuevas: clase Riesgo Inundación y Área. En la primera puse los nombres de cada nivel de riesgo (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto), y en

la segunda calculé el área de cada polígono para saber cuánto medía cada clase en metros cuadrados.

Figura 8

Evidencia de la Asignación de las Clases de Riesgo








Nota. Evidencia de la clasificación del riesgo por inundación y su asignación en el municipio de Soledad, Atlántico, empleando ArcGIS Pro. Autoría propia.

Para que el mapa fuera más fácil de entender, ajusté la simbología usando colores diferentes para cada nivel de riesgo. A cada categoría le asigné un tono que fuera aumentando según la intensidad del riesgo. Con esto, las zonas de mayor y menor riesgo se pueden identificar de inmediato y el mapa queda mucho más claro para interpretarlo.

Tabla 2

Reclasificación del Riesgo por Inundación

Clasificación cualitativa	Valor	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

Nota. Se muestra la clasificación cualitativa, cuantitativa y la simbología de las clases de riesgo por inundación asignado. Autoría propia.

El análisis más detallado de los resultados para poder ver claramente cuáles eran las zonas más críticas del municipio, sobre todo las que quedaron en riesgo alto y muy alto. También revisé qué porcentaje ocupaba cada categoría de riesgo dentro del total del municipio, para entender mejor cómo está distribuido el problema. Con esto pude interpretar qué tanto podrían afectar las inundaciones a la infraestructura, a las comunidades y a las áreas del territorio que son más sensibles, lo que sirve bastante para pensar en futuras medidas de prevención.

Durante el desarrollo del proceso, se fueron registrando capturas de pantalla de los pasos más importantes realizados en ArcGIS Pro, como la configuración del análisis multicriterio, la conversión de ráster a vector y el ajuste de la simbología. Estas imágenes permiten complementar la explicación del procedimiento y facilitan que cualquier persona pueda replicar la metodología de manera adecuada.

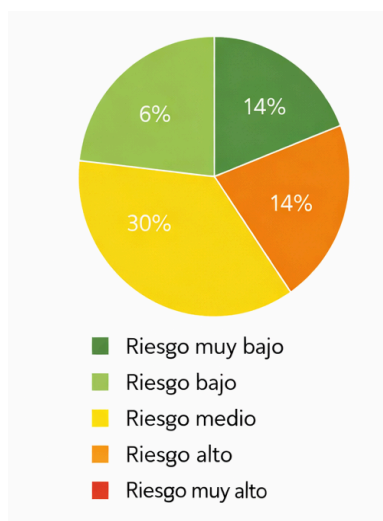
Resultados

En las Figuras 9 a 11 se presentan las gráficas estadísticas derivadas del modelo multicriterio aplicado en el municipio de Soledad. Estas representaciones incluyen la distribución espacial del riesgo, la ponderación asignada a las variables utilizadas en el modelo y la relación entre la pendiente y los niveles de riesgo, facilitando la interpretación de los resultados y la comprensión de la dinámica del riesgo de inundación en el territorio.

En primer lugar, la Figura 9 sobre la distribución del riesgo de inundación evidencia que el nivel medio representa la mayor proporción del territorio (30 %), seguido del riesgo bajo (aproximadamente 14 %) y del riesgo alto (14 %). Por su parte, el riesgo muy alto corresponde al 6 %, mientras que el riesgo muy bajo alcanza cerca del 14 %. Estos resultados indican que más del 60 % del territorio presenta condiciones de susceptibilidad media a alta frente a eventos de inundación, lo que confirma la vulnerabilidad estructural del municipio.

Figura 9

Distribución del Riesgo de Inundación en el Municipio de Soledad

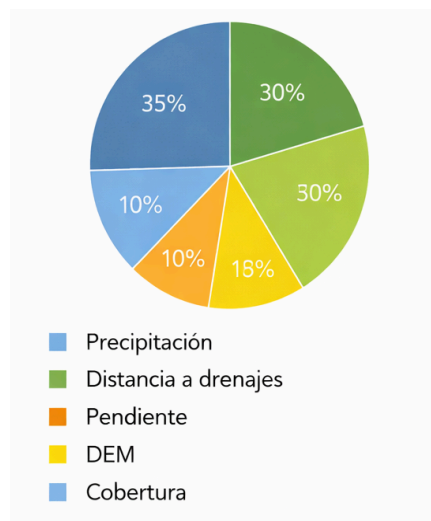


Nota. Se muestra la gráfica con la distribución porcentual por categoría de riesgo por inundación en el territorio del municipio de Soledad. Autoría propia.

En relación con la ponderación del análisis multicriterio, se observa que la precipitación (35 %) y la distancia a drenajes (30 %) fueron las variables con mayor peso dentro del modelo. Esto demuestra que la intensidad de las lluvias y la proximidad a cuerpos de agua constituyen los factores determinantes en la generación de inundaciones en el territorio. En contraste, variables como el modelo digital de elevación (10 %) y la cobertura del suelo (10 %) presentan menor incidencia relativa, aunque siguen siendo relevantes en la dinámica espacial del riesgo.

Figura 10

Ponderación del Análisis Multicriterio



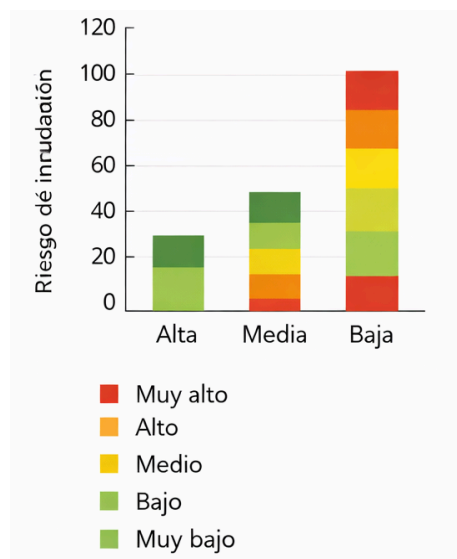
Nota. Se muestra los porcentajes de ponderación empleados en el análisis multicriterio. Autoría propia.

Asimismo, la relación entre pendiente y riesgo evidencia que las zonas con pendientes bajas concentran los niveles más altos de riesgo, mientras que las áreas con pendientes medias y altas presentan menor susceptibilidad. Este comportamiento confirma que la topografía plana del

municipio favorece la acumulación de escorrentía superficial, dificultando el drenaje natural del agua durante eventos de precipitación intensa.

Figura 11

Relación entre Pendiente y Riesgo por Inundación



Nota. Se muestra la relación entre las categorías de pendientes y las categorías de riesgo por inundación en Soledad, tras el análisis multicriterio. Autoría propia.

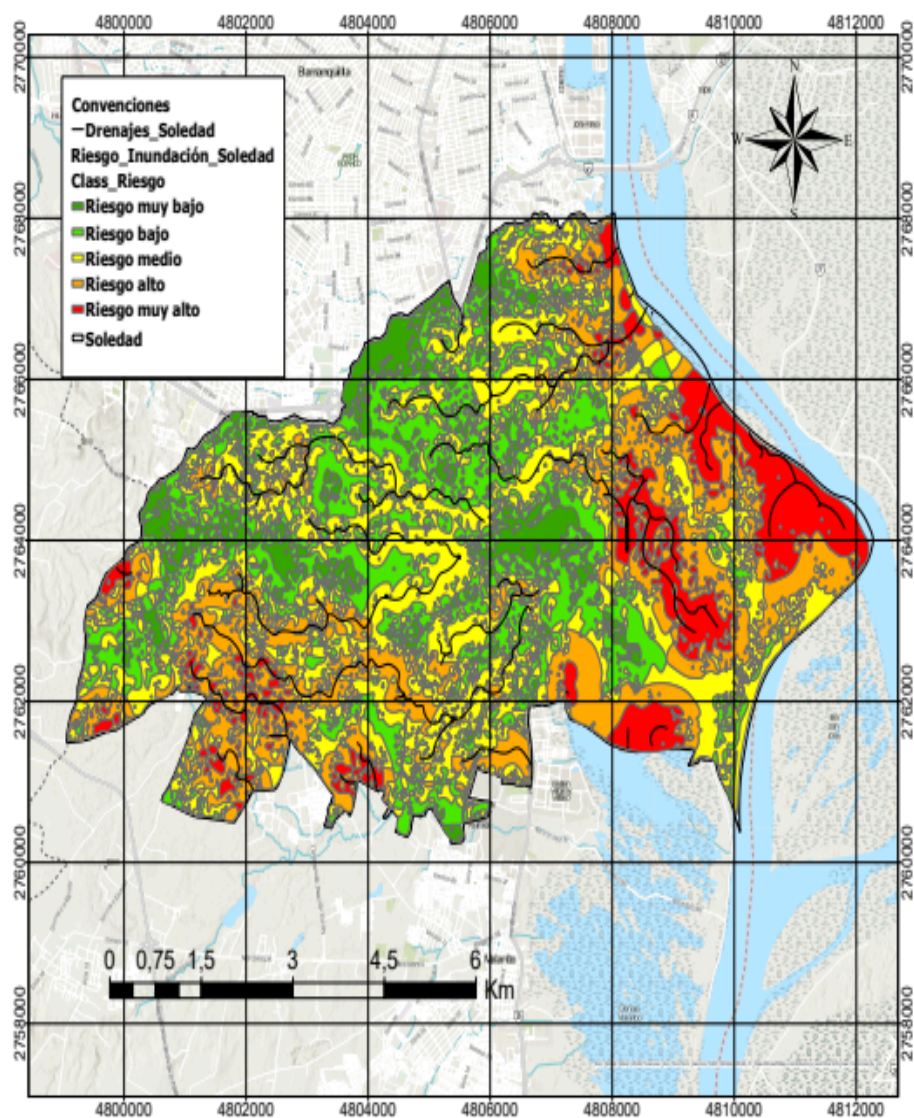
Por otra parte, la Figura 12 muestra la distribución espacial del riesgo dentro del territorio municipal. Se observa que las zonas clasificadas como riesgo alto y muy alto se concentran principalmente en el sector oriental, cercano al río Magdalena, así como en áreas urbanizadas con baja altitud. En contraste, las zonas con riesgo bajo y muy bajo se localizan en sectores ligeramente más elevados o con mejores condiciones de drenaje.

En general, los resultados estadísticos y espaciales confirman que el municipio presenta una exposición significativa frente a eventos de inundación, especialmente en sectores donde confluyen baja pendiente, cercanía a drenajes y alta intensidad de precipitación. Estos hallazgos

validan la pertinencia del análisis multicriterio como herramienta para la identificación de áreas críticas y el apoyo a la planificación territorial.

Figura 12

Mapa de Riesgo por Inundación del Municipio de Soledad



Nota. Mapa del riesgo por inundación en el territorio del municipio de Soledad obtenido a través del análisis multicriterio. Autoría propia.

Al analizar los resultados obtenidos del modelo multicriterio aplicado en el municipio de Soledad, se identificó la distribución espacial del riesgo de inundación en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (Tabla 3).

Tabla 3

Resultados de la Clasificación del Riesgo por Inundación en Soledad

No.	Categoría de riesgo	Área (m ²)	Área (km ²)	Gridcode
1	Riesgo muy bajo	5.082.877,35	5,083	1
2	Riesgo bajo	14.745.379,06	14,745	2
3	Riesgo medio	18.114.366,06	18,114	3
4	Riesgo alto	13.667.776,22	13,668	4
5	Riesgo muy alto	6.384.663,25	6,385	5

Nota. Las áreas corresponden a los polígonos resultantes de la modelación del riesgo de inundación en el municipio de Soledad. Autoría propia.

En términos de área, el riesgo medio es la categoría predominante con aproximadamente 18,11 km², lo que representa la mayor parte del territorio analizado. Esto indica que gran parte del municipio presenta una susceptibilidad moderada a inundaciones, especialmente en condiciones de lluvias intensas.

El riesgo bajo ocupa alrededor de 14,74 km², seguido del riesgo alto con aproximadamente 13,66 km², lo cual evidencia que existe una proporción significativa del territorio con condiciones que pueden favorecer la ocurrencia de inundaciones. Estas zonas suelen estar asociadas a áreas urbanizadas, con baja infiltración y sistemas de drenaje limitados.

Por su parte, el riesgo muy alto abarca cerca de 6,38 km², concentrándose en sectores críticos del municipio, generalmente en zonas de menor elevación y cercanas a drenajes naturales o canales. Estas áreas presentan mayor probabilidad de inundación y, por lo tanto, requieren atención prioritaria en términos de gestión del riesgo.

Finalmente, el riesgo muy bajo corresponde a aproximadamente 5,08 km², siendo la categoría menos representativa. Estas zonas suelen ubicarse en sectores con mejores condiciones de drenaje o ligeramente más elevados.

En términos porcentuales, se evidencia que más del 60% del territorio se encuentra entre riesgo medio y alto, lo que confirma que el municipio presenta una alta vulnerabilidad frente a eventos de inundación.

Estos resultados están directamente relacionados con las variables utilizadas en el modelo, especialmente la precipitación y la distancia a drenajes, que tuvieron mayor ponderación dentro del análisis multicriterio. Asimismo, factores como la baja pendiente y la topografía plana del municipio influyen significativamente en la acumulación de agua.

Además, los resultados obtenidos muestran coherencia con la realidad del territorio, ya que las zonas identificadas con mayor riesgo coinciden con sectores donde históricamente se han presentado problemas de inundación. Esto valida la utilidad del modelo multicriterio como herramienta para el análisis espacial del riesgo.

En general, el modelo permitió generar un mapa claro y funcional, que puede ser utilizado como insumo para la planificación territorial, la gestión del riesgo y la toma de decisiones por parte de las autoridades locales.

Recomendaciones

Después de analizar la Figura 12 se identificó que varias zonas del municipio de Soledad presentan niveles de riesgo alto y muy alto de inundación, principalmente en sectores de baja elevación y cercanos a drenajes o caños urbanos. Por esta razón, es fundamental que el municipio continúe fortaleciendo sus estrategias de gestión del riesgo, priorizando estas áreas críticas para la implementación de medidas de prevención y mitigación.

Una recomendación clave es mantener actualizada la información geográfica utilizada en los análisis. El territorio es dinámico y cambia constantemente debido al crecimiento urbano, la expansión de asentamientos y las variaciones climáticas. Si no se actualizan los datos, los modelos pueden perder precisión y dejar de reflejar las condiciones reales del municipio, afectando la toma de decisiones. Por ello, se recomienda realizar actualizaciones periódicas de capas como uso del suelo, drenajes y modelos de elevación.

También es importante integrar estos resultados dentro de los procesos de planificación territorial. Los mapas generados pueden servir como herramienta para la toma de decisiones en proyectos urbanísticos, obras públicas y expansión urbana. De esta manera, se pueden evitar construcciones en zonas de alto riesgo y priorizar intervenciones como el mejoramiento del sistema de drenaje, reduciendo así la vulnerabilidad futura del municipio.

Otra recomendación relevante es fortalecer los procesos de educación y sensibilización con la comunidad. Muchas personas habitan en zonas propensas a inundaciones sin tener conocimiento del nivel de riesgo al que están expuestas. Por lo tanto, socializar estos mapas y generar campañas de prevención permitiría mejorar la preparación de la población frente a eventos de lluvias intensas y reducir los impactos negativos.

Adicionalmente, se recomienda complementar este tipo de análisis con estudios más detallados, como modelaciones hidrológicas e hidráulicas, así como el monitoreo constante del Río Magdalena y los drenajes internos del municipio. Esto permitiría obtener resultados más precisos y fortalecer los sistemas de alerta temprana ante posibles eventos de inundación.

Por último, se propone como recomendación adicional la implementación de infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza, como la recuperación de zonas de amortiguamiento, creación de áreas de infiltración y conservación de espacios naturales. Estas medidas ayudan a reducir la escorrentía superficial, mejorar la capacidad de drenaje del territorio y disminuir el riesgo de inundaciones a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

Alcaldía de Soledad (2019). *Plan de ordenamiento territorial del municipio de Soledad*.

<https://curaduria2soledad.com/wp-content/uploads/2019/06/Zonificacon-pdf.pdf>

Alcaldía de Soledad (2020). *Plan de desarrollo municipal 2020–2023: Gran pacto social por Soledad*.

<https://www.fundacionexe.org.co/wp-content/uploads/2024/03/Plan-de-Desarrollo-Municipal-de-Soledad-2020-2023-Gran-pacto-social-por-Soledad.pdf>

Bárcenas Mantilla, J. S., Garcés Pinto, J. D. y Bohórquez Blanco, I. J. (2024). *Zonificación de riesgo por inundación mediante análisis multicriterio*.

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/65832/1/jsbarcenasm.pdf>

Bosque Sendra, J. (1997). *Sistemas de información geográfica*.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A. & Lloyd, C. D. (1998). *Principles of geographical information systems*. OUP Oxford.

Caracol Radio (2025, 30 de marzo). *Más de 380 familias damnificadas por lluvias en Soledad*.

<https://caracol.com.co/2025/10/01/mas-de-380-familias-damnificadas-dejan-fuertes-lluvias-en-soledad-atlantico/>

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*.

Grupo Planeta.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2020). *Ficha territorial*

Soledad, Atlántico.

<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/ago-2020-soledad-en-colombia.pdf>

- Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H. et al. (2024). Flood Impacts on Agriculture under Climate Change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *EconDisCliCha*, 8, 283–316. <https://doi.org/10.1007/s41885-024-00147-3>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI] (2023). *ArcGIS Pro documentation*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2015). *Gestión del riesgo de desastres para la seguridad alimentaria*, 35 p. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8187es>
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69, 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- Gobernación del Atlántico. (2025). *Obras en Soledad: Solución al problema de arroyos*.
- González Valencia, J. (2006). *Propuesta metodológica basada en análisis multicriterio*.
- Hernández-Sampieri, R. (2019). *Metodología de la investigación*.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2018). *Escenarios de cambio climático para Colombia*. <https://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2021). *Atlas climatológico de Colombia*. <https://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2020). *Cartografía básica nacional*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2021). *Sixth assessment report*.
- Luna, V. (2023). *Aplicación de SIG en análisis de riesgos*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2022). *Fichas de caracterización ambiental de municipios*.

<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/2025-12/anexo-1.1-caracterizacion-social-ambiental-y-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-para-los-municipios-priorizados.pdf>

Olaya, V. (2020). *Introducción a los sistemas de información geográfica*.

<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/LIB-204.pdf>

OpenStreetMap (2024). *Base de datos geográfica colaborativa*.

Pineda, L. D., & Suárez, J. E. (2014). SIG orientado a zonificación agroecológica. *Revista*

Ingeniería Agrícola, 4(3), 28-32. <https://www.redalyc.org/pdf/5862/586262041005.pdf>

QGIS Development Team (2023). *QGIS geographic information system*.

Sánchez, D. F., Torres, L. K., Morales, A. A. (2024). *Determinación de Áreas Inundables con Enfoque Multicriterio y Herramientas SIG, en municipio de Manizales, Caldas*.

<https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/65374/1/dfsanchezcasa.pdf>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR] (2019). *Global assessment report on disaster risk reduction*.

<https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD] (2022). *Informe nacional de gestión del riesgo*.

<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Informes-de-Gestion/Informe-de-Gestion-UNGRD-2022.pdf>

United States Geological Survey [USGS] (2022). *Digital elevation models*.

World Bank (2010). *Natural hazards, unnatural disasters*.

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/620631468181478543/pdf/578600PUB0epi2101public10BOX353782B.pdf>

Enlace del Video: <https://youtu.be/oL3Sw0h-fVc>