

## **Análisis multicriterio en SIG para la identificación de zonas de riesgo de inundación en el municipio de Medio Atrato, Chocó**

Bercelio Rafael Arias Montes/ brariasm@unadvirtual.edu.co

Daniel Enoc Carvajal Castellanos/ decarvajalc@unadvirtual.edu.co

Fany Luceny Rojas Hernández/flojash@ unadvirtual.edu.co

Feybeer Duwan Infante Montejó/fdinfantem@unadvirtual.edu.co

Rubby Markley Duarte Tarquino/rmduartet@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Yetfersson Arley Serrato Velosa/Yetfersson.serrato@unad.edu.co

### **Resumen**

Este artículo pretende identificar los potenciales riesgos de inundación del municipio Medio Atrato (Choco), por medio de una clasificación cualitativa, mostrando las áreas con mayor y menor riesgo de inundación, contribuyendo así al desarrollo del plan municipal de gestión de riesgo, se aplicó el método de análisis multicriterio: herramienta de soporte en la toma de decisiones, junto con el uso de sistemas de información geográfica (SIG), contribuye a mejorar el ordenamiento territorial y tomar decisiones más precisas. El municipio de Medio Atrato cuenta con altos recursos hidrográficos en forma de ríos y quebradas, conformados por las microcuencas que son afluentes del Río Atrato, bajo estas características se logró evidenciar que el 34% del territorio presenta un nivel de riesgo muy alto dirigido hacia el fenómeno de inundación, las temporadas invernales entre octubre y noviembre vienen con precipitaciones continuas durante días, generando aumento en los caudales y provocando desbordamiento e inundaciones, las lluvias aumentan la escorrentía en cuencas empinadas, saturando suelos pantanosos y reduciendo la infiltración, por su topografía plana y bajas pendientes el riesgo de desastre es alto.

*Palabras claves:* Riesgo, gestión, desastres, inundaciones.

### **Introducción**

El cambio climático conforma uno de los más importantes factores que ha intensificado la frecuencia y magnitud de los desastres naturales a nivel nacional e internacional. El aumento desmedido de la temperatura del planeta ha logrado modificar algunos ciclos de precipitación generando lluvias más fuertes en periodos cortos, lo cual hace que el riesgo de inundación incremente en zonas tropicales húmedas (IPCC, 2021).

Según estudios científicos realizados en el año 2021 por el IPCC (Panel intergubernamental del cambio climático) señalan que la frecuencia e intensidad de precipitaciones extremas ha aumentado y seguirá cambiando en muchos territorios del planeta, lo que incrementa la exposición y la vulnerabilidad de poblaciones y ecosistemas.

En Colombia, cuando se presentan fenómenos como La Niña, las lluvias tienden a intensificarse más de lo normal. Esto ha generado desbordamientos de ríos y varios desastres naturales, como lo muestran estudios técnicos del IDEAM y la Universidad Nacional (2018, pp. 37–39, 85–87). En

el departamento del Chocó, donde llueve con frecuencia, el río Atrato suele desbordarse, lo que genera inundaciones recurrentes en sus zonas ribereñas.

En un informe publicado el 13 de septiembre del 2011 por el Comité Local Para La Prevención y Atención de Desastres (CLOPAD), en el municipio de Medio Atrato, Chocó, debido a lluvias intensas y cambio climático, en los años 1999 a 2009 se produjo 26 personas muertas en la comunidad de Tanguí, Medio Beté, Puné, Amé. En bienes materiales particulares, 2.000 viviendas averiadas 100 dañadas 200 millones de pesos en enseres. En bienes materiales colectivos: 15 Puestos de salud averiados, 1 Puesto de salud dañado, 15 instituciones sedes educativas averiadas 1 sede educativa destruida, 5 Plantas de energía eléctrica averiadas, bocatoma Acueductos averiados: Beté, San Roque, San Antonio de Buey y Llano de Bebaramá. En bienes de producción, 1.200 fincas familiares destruidas.

Hay ciertos factores que promovieron este suceso como la cercanía de los bienes a los ríos, comunidades acostumbradas al riesgo, confianza a las inundaciones y falta de acción preventiva para evitar el riesgo. Adicional, hubo cierto impacto cultural. No se pudieron realizar algunas actividades culturales como fiestas, encuentros deportivos, recreación. La población ya no pide ayuda humanitaria, sino soluciones definitivas al problema (CLOPAD, 2011)

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio de Medio Atrato, el riesgo de inundación es relevante por la localización del río Atrato y la fuerte dependencia de las comunidades con respecto a los sistemas fluviales. Adicional amplias zonas rurales y centros poblados están bastante sometidos a inundaciones recurrentes donde se afectan viviendas, vías, bienes de producción (EOT, Medio Atrato, 2019).

Lo anterior mencionado genera pérdidas económicas, deterioro de las condiciones sanitarias, afecta directamente a la seguridad alimentaria en comunidades étnicas y rurales.

Posteriormente, se puede decir que los Sistemas de Información geográfica son herramientas fundamentales para evaluar riesgos, es posible incluir variables hidrológicas, topográficas, climáticas y socioeconómicas, facilita identificar zonas críticas, y sirve como apoyo al momento de tomar decisiones en cuanto a ordenamiento territorial (Burrough & McDonnell, 2015).

El próximo ejercicio tiene como propósito realizar un análisis multicriterio asociado con Sistemas de Información Geográfica (SIG), ellos conforman una estrategia metodológica y se han consolidado como herramientas indispensables para analizar fenómenos, integrar distintas capas de información y evaluar riesgos precisos. (Escolano Utrilla, 2015). La integración de ambas permite combinar varias capas de información y así lograr ponderación de variables, producir mapas de riesgo de inundación en este caso del municipio Medio Atrato, Chocó, para así poder identificar zonas críticas y ofrecer bases para la priorización de medidas de reducción del riesgo. Las herramientas que ofrece SIG facilitan delimitar áreas sensibles a inundación y la construcción de escenarios de riesgo con zonas de severidad donde se reduce la subjetividad del análisis y garantiza resultados.

## Objetivos

### General

Aplicar un análisis multicriterio en un modelo de elevación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar las zonas de riesgo de inundación en el municipio de Medio Atrato, Chocó.

### Específicos

- Integrar variables físicas e hidrológicas del territorio, con el fin de generar un recurso cartográfico que apoye la gestión del riesgo de inundación utilizando modelos de elevación digital de cobertura de suelos y precipitación.
- Efectuar procesos de recorte y estandarización de capas de modelo digital de elevación, la pendiente, la red de drenaje, la cobertura del suelo y la precipitación, estableciendo el sistema de referencia espacial MAGNA-SIRGAS CTM12.
- Generar un modelo espacial de riesgo del municipio de Medio Atrato, Chocó utilizando ponderaciones claras donde representa las zonas con mayor riesgo de inundación.

### Identificación del caso de estudio

El municipio de Medio Atrato se localiza en el departamento del Chocó, región Pacífica de Colombia, con cabecera en Beté. Según el Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres (CLOPAD, 2011, p. 7), el territorio cuenta con una extensión aproximada de 562 km<sup>2</sup>, distribuida entre área urbana y rural, con predominio de población dispersa en comunidades ribereñas.

Desde el punto de vista físico ambiental, el municipio se encuentra en una zona de baja altitud, cercana a los 50 m s. n. m., con pendientes generales reducidas que favorecen la acumulación de aguas en planicies aluviales. El río Atrato, uno de los más caudalosos del país, atraviesa el municipio y constituye la principal red hídrica, acompañado de ciénagas y humedales que incrementan la susceptibilidad a inundaciones por desbordamiento y anegamiento en planicies de ribera. La caracterización morfométrica (pendiente, curvatura, acumulación de flujo) debe derivarse del Modelo Digital de Terreno (MDT) y/o del Modelo Digital de Elevación (DEM) publicados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, lo que permite cuantificar gradientes, identificar topografías cóncavas asociadas a convergencia de escorrentía y delimitar planicies de inundación con criterio técnico y trazabilidad (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], s. f.). A escala departamental, la autoridad ambiental Codechocó documenta procesos y líneas de gestión sobre restauración y cobertura vegetal que inciden en la regulación hidrológica, relevantes para interpretar el comportamiento del drenaje y la respuesta hidrológica del paisaje ante eventos intensos de lluvia (Codechocó, 2025). En síntesis, la combinación de baja altitud, pendientes suaves, conectividad hídrica amplia y mosaicos de humedales configura un escenario de alta

susceptibilidad a inundación que debe reflejarse en la mapificación de riesgo, sustentada en insumos oficiales y criterios geomorfológicos explícitos (IGAC, s. f.; Codechocó, 2025).

En cuanto al clima, el Medio Atrato comparte el régimen hídrico extremo del departamento del Chocó, considerado uno de los más lluviosos del mundo, El IDEAM, mediante sus productos climatológicos, caracteriza la región con acumulados anuales superiores a los 8.000 mm en varias estaciones de la cuenca del Atrato, con lluvias distribuidas prácticamente durante todo el año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015 pp. 25–27). Para el presente trabajo se seleccionó el mes de octubre, correspondiente al periodo de mayor acumulado de precipitación en la serie histórica regional, lo que permite analizar escenarios críticos de inundación y establecer parámetros climáticos operativos para la modelación espacial del riesgo (IDEAM, 2015 pp. 25–27).

Adicionalmente, es necesario contextualizar geográficamente el municipio en relación con la cuenca del río Atrato, destacando que su localización en una llanura aluvial de baja altitud ( $\approx 50$  m s. n. m.) y pendientes generales menores al 5% incrementa la susceptibilidad a inundaciones. Estos factores físicos limitan la capacidad de evacuación de aguas y favorecen procesos de acumulación y anegamiento en planicies de ribera, lo cual constituye un criterio técnico para la delimitación de zonas de riesgo (IGAC, s. f.; Codechocó, 2021). A ello se suma la influencia directa del río Atrato, cuya magnitud de caudal y conectividad con ciénagas y humedales genera una alta presión hidrológica sobre el territorio. La combinación de baja altitud, escasa pendiente y amplia red hídrica configura un sistema con baja capacidad de drenaje natural, donde los eventos de precipitación intensa tienden a desbordar rápidamente la capacidad de almacenamiento del suelo y de los cuerpos de agua, aumentando la frecuencia y magnitud de las inundaciones (IDEAM, 2015, pp. 25–27; Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], s. f.). En este sentido, la ubicación geográfica del municipio dentro de la cuenca media del Atrato no solo determina su exposición, sino que también explica técnicamente la vulnerabilidad estructural del paisaje frente a escenarios críticos de lluvia.

## **Metodología**

La metodología desarrollada para la construcción del producto cartográfico digital orientada a la modelación del riesgo de inundación se fundamentó en la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), integrando criterios hidrológicos, topográficos y territoriales mediante un análisis multicriterio en ArcGIS Pro. Este procedimiento permitió evaluar la amenaza y el riesgo de inundación como insumo clave para el ordenamiento agroambiental del territorio. En el análisis multicriterio se aplicaron diferentes factores para determinar los riesgos de inundación del municipio de Medio Atrato (Choco).

Factores para determinar el riesgo de inundación:

- ✓ Modelo de elevación digital DEM
- ✓ Ráster de pendientes

- ✓ Cobertura de Tierras
- ✓ Precipitaciones (octubre)
- ✓ Distancia entre drenajes

El proceso metodológico se estructura en dos fases principales, una de ellas orientada a la construcción de los factores físicos; y, por otro lado, enfocada en la ponderación, modelación espacial y elaboración del riesgo.

Preparación de insumos y homogeneización espacial. El proceso inició con la organización del material cartográfico requerido para la modelación hidrológica.

#### **A. Carga y verificación de capas base**

Se incorporaron al proyecto las siguientes capas:

- ✓ Límite municipal
- ✓ Modelo Digital de Elevación (DEM)
- ✓ Curvas de nivel
- ✓ Red hídrica

Estas capas conforman la base hidro-topográfica necesaria para la modelación de inundaciones. Su incorporación no solo estructura el análisis, sino que también garantiza que se realice dentro de los límites reales del territorio, mejorando la precisión y relevancia de los resultados obtenidos.

#### **B. Verificación del sistema de referencia**

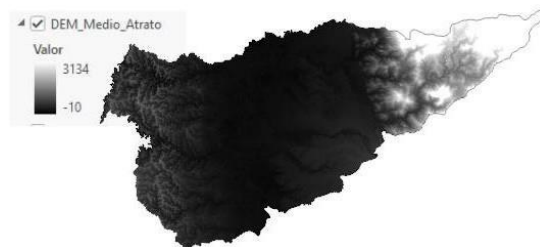
Todas las capas fueron revisadas para asegurar que compartieran el mismo sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12.

La coherencia espacial evita errores en cálculos hidrológicos como pendiente, dirección de flujo y distancias, garantizando precisión en la modelación

#### **C. Recorte del DEM del municipio de Medio Atrato**

##### **Figura 1**

Recorte DEM



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Se recortó el DEM, la hidrografía y demás capas al límite municipal.

El recorte permite que el análisis hidrogeomorfológico se concentre exclusivamente en el territorio de estudio, optimizando tiempos y reduciendo errores computacionales

#### **D. Construcción de los factores físicos**

Los factores físicos representan las condiciones naturales que influyen en la susceptibilidad a inundaciones. Estos fueron estandarizados mediante reclasificación para su integración posterior en el análisis multicriterio.

**Factor 1: Pendiente del terreno Cálculo de la pendiente (Slope)**

A partir del DEM se aplicó la herramienta Slope para generar un raster con los grados de inclinación del terreno.

**Figura 2**

*Cálculo de la pendiente*



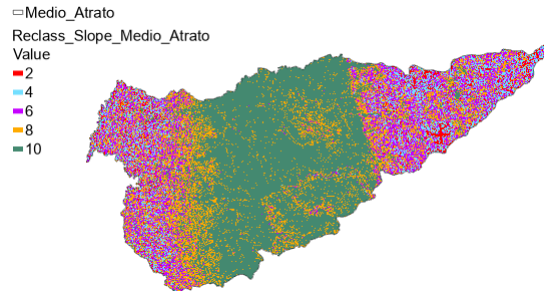
*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Terrenos planos o con baja pendiente favorecen el estancamiento del agua, incrementando la probabilidad de inundación. Por ello, la pendiente es un factor determinante en estudios hidrológicos.

**Reclasificación de la pendiente**

**Figura 3**

*Reclasificación de la pendiente*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Los valores resultantes se reclasificaron en un rango de 10, 8, 6, 4 y 2, este último corresponde a pendientes con mayor inclinación, que representarían un riesgo muy bajo.

**Acumulación de flujo**

**Figura 4**

*Acumulación de flujo*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Este factor se construyó a partir de tres geoprocesos concatenados.

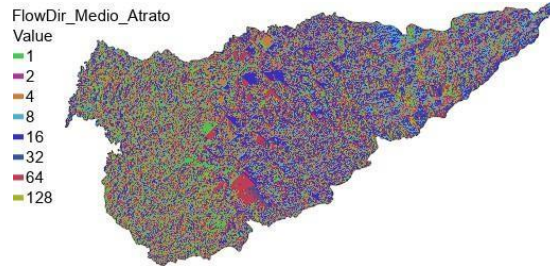
**1. Corrección de depresiones (Fill)**

Se eliminan depresiones artificiales presentes en el DEM. Las depresiones no reales pueden alterar el flujo natural del agua y generar errores en el cálculo hidrológico.

**2. Determinación de direcciones de flujo (Flow Direction)**

**Figura 5**

*Determinación de direcciones de flujo*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Se generó un raster que indica hacia dónde fluye el agua en cada celda. La dirección de flujo determina el recorrido del agua superficial, indispensable para modelar avenidas o acumulaciones.

**3. Cálculo de la acumulación de flujo (Flow Accumulation)**

Se estimaron las zonas donde convergen mayores volúmenes de escorrentía.

Las áreas con alta acumulación de flujo son puntos críticos donde el agua tiende a concentrarse, aumentando la probabilidad de inundación.

**E. Reclasificación del raster**

La acumulación se reclasificó en una escala de susceptibilidad. La reclasificación permite la comparación matemática con otros factores.

**Distancia al drenaje**

**1. Cálculo de distancia euclidiana (Euclidean Distance)**

**Figura 6**

*Cálculo de distancia euclidiana*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Se generó un raster que representa la distancia entre cada celda y el cauce hídrico más cercano. Las zonas más cercanas a ríos o quebradas presentan mayor riesgo de inundación por desbordamiento. Este factor evidencia el grado de exposición directa al drenaje.

## 2. Reclasificación del raster

Se asignó mayor puntuación a las zonas más cercanas a la red hídrica. La reclasificación homogeneiza la escala para su integración en el análisis multicriterio.

### F. Normalización y estandarización de los factores

Los factores fueron reclasificados bajo una misma escala numérica.

#### Tabla 1

*Clasificación cualitativa del riesgo*

Clasificación cualitativa	Valores
Riesgo muy bajo	2
Riesgo bajo	4
Riesgo medio	6
Riesgo alto	8
Riesgo muy alto	10

*Nota se basa en la correspondencia cualitativa–cuantitativa del riesgo*

Para armonizar la valoración de todas las variables del modelo multicriterio, se utilizó una escala de riesgo estandarizada que permite transformar rangos numéricos en niveles comparables de amenaza. Esta clasificación fue fundamental para la homogeneización de los valores durante las reclasificaciones posteriores.

La estandarización es un requisito fundamental del análisis multicriterio, permitiendo que todos los factores sean comparables y combinables en una sola fórmula de decisión espacial.

### G. Generación del mapa de distancias a drenajes

Con el propósito de representar la influencia de la red hídrica en la probabilidad de inundación, se calculó la distancia de cada celda respecto al drenaje más cercano a través de la herramienta Acumulación Distance. Este modelo permitió obtener un ráster continuo donde las zonas más cercanas a las corrientes superficiales presentan valores bajos de distancia, lo cual se interpretará posteriormente como mayor riesgo.

El uso de esta herramienta se justifica porque la proximidad a cuerpos de agua aumenta la probabilidad de anegamiento en eventos de alta lluvia o desbordamiento, y constituye uno de los factores más sensibles dentro de la dinámica de inundaciones en áreas rurales y periurbanas

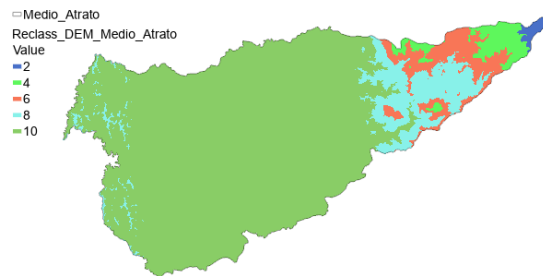
### H. Reclasificación temáticamente orientada de los factores

Cada variable territorial fue transformada mediante procesos de reclasificación, siguiendo la lógica del comportamiento físico de cada factor frente al riesgo de inundación. El objetivo de esta etapa fue convertir los valores continuos o categóricos originales en una escala uniforme basada en los valores 2, 4, 6, 8 y 10 establecidos en la Tabla 1.

## 1. Reclasificación del DEM

### Figura 6

#### Reclasificación del DEM



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

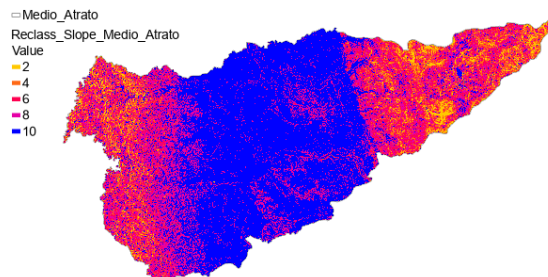
El modelo de elevación digital se reclasificó mediante el método Rupturas Naturales (Jenks) para identificar cinco rangos de altura. Su justificación radica en que las zonas con menor elevación presentan mayor probabilidad de acumulación de agua, mientras que las áreas altas tienden a comportarse como sectores de bajo riesgo.

Por ello, se asignaron valores de riesgo altos (10 y 8) a los rangos inferiores de elevación, y valores bajos (4 y 2) a las áreas más elevadas. Esta relación inversa permitió ajustar el comportamiento hidrológico del terreno al modelo multicriterio.

## 2. Reclasificación de la pendiente

### Figura 7

#### Reclasificación de la pendiente



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

La pendiente, derivada del DEM, se reclasificó siguiendo la misma metodología de Jenks. En este caso, su relación con el riesgo es también inversa: las pendientes suaves favorecen la acumulación de agua, mientras que las inclinadas facilitan el drenaje superficial y reducen la probabilidad de inundación. En consecuencia, las zonas planas recibieron valores altos y las zonas inclinadas valores bajos.

Este factor permite en la modelación del riesgo calcular e identificar la velocidad de escorrentía y la permanencia del agua en superficie.

## 3. Reclasificación del ráster de precipitación

**Figura 8**

*Reclasificación del ráster de precipitación*



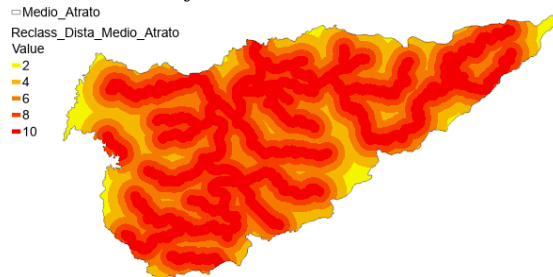
*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

El parámetro de precipitación mensual se reclasificó en cinco rangos de intensidad. A diferencia del DEM y la pendiente, su comportamiento frente al riesgo es directo: a mayor precipitación, mayor probabilidad de inundación. Por ello, los valores bajos fueron clasificados con riesgo 2 y los valores altos con riesgo 10. Esta variable constituye el insumo precipitante que activa la respuesta hidrológica del territorio.

**4. Reclasificación de las distancias a drenajes**

**Figura 9**

*Reclasificación de las distancias a drenajes*



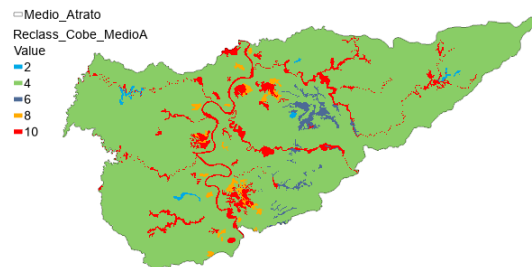
*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

El ráster generado en el paso de distancias se clasificó bajo el criterio de que entre más cercana esté una celda a un drenaje, mayor es la probabilidad de inundación. Por ello, las distancias menores recibieron la asignación de 10 y las mayores de 2. Esta relación permite reflejar adecuadamente la susceptibilidad a procesos de desbordamiento y saturación del terreno.

**5. Reclasificación de las coberturas del suelo**

**Figura 10**

*Reclasificación de las coberturas del suelo*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

**Tabla 2***Clasificación de coberturas de suelo nivel 2*

Corine Land Cover nivel 2	Clasificación de valores
1.1. Zonas Urbanizadas	6
1.2. Zonas Industriales o comerciales y redes de comunicación	2
1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	4
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	2
2.1. Cultivos transitorios	8
2.2. Cultivos permanentes	8
2.3. Pastos	4
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	8
3.1. Bosques	2
3.2. áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	4
3.3. áreas abiertas, sin o con poca vegetación	6
4.1. áreas húmedas continentales	8
4.2. áreas húmedas costeras	6
5.1. Aguas continentales	10
5.2. Agus marítimas	6

*Fuente: clasificación de coberturas de suelo nivel 2.*

La lógica de asignación se basó en la vulnerabilidad hidrológica relativa: coberturas como cultivos transitorios o áreas húmedas fueron consideradas de alto riesgo, mientras que bosques y zonas verdes recibieron valores bajos por su capacidad de regulación hídrica.

#### **I. Ajuste de simbología para asegurar consistencia en la interpretación**

El primer procedimiento consistió en ajustar la simbología de la última capa reclasificada correspondiente a la cobertura de suelos (Land Cover). Esto se realizó ingresando al panel de Contenido, seleccionando la capa reclasificada y accediendo a la opción Simbología. Dentro de esta ventana, se reemplazó el campo predeterminado “Nivel\_2” por el campo “Value”, que contiene los valores numéricos generados durante la reclasificación

Este ajuste fue fundamental para asegurar que el software representará en pantalla la intensidad del riesgo tal como se definió en el proceso de reclasificación. En otras palabras, la simbología pasó de depender de nombres o categorías cualitativas, a depender de una escala cuantitativa estandarizada (1–5), indispensable para el análisis multicriterio.

#### **J. Aplicación de pesos relativos para modelar el riesgo de inundación**

Para integrar los distintos factores que influyen en el riesgo de inundación, se recurrió a la técnica de suma ponderada, la cual asigna un peso específico a cada variable según su importancia relativa. Previamente se tomó como referencia la Tabla, donde se establecen los porcentajes de participación de cada factor dentro del modelo:

**Tabla 3**

*Criterios de análisis para el riesgo de inundación*

Factor	Porcentaje	/100
Modelo de elevación digital DEM	10%	0,1
Pendientes	15%	0,15
Cobertura de tierras (Land cover)	10%	0,1
Precipitación	35%	0,35
Distancia entre drenajes	30%	0,3
Total	100%	1

*Fuente: Criterios de análisis para el riesgo de inundación*

- ✓ La precipitación es el factor de mayor peso, pues determina directamente la cantidad de agua que ingresa al sistema.
- ✓ La distancia a drenajes se considera altamente influyente porque aproxima la susceptibilidad a desbordamientos.
- ✓ La pendiente regula la velocidad de la escorrentía.
- ✓ El DEM y la cobertura de la tierra complementan el comportamiento hidrológico superficial.

Estas ponderaciones permitieron construir un modelo que integra el aporte relativo de cada capa raster, reflejando cómo interactúan los factores ambientales en la conformación del riesgo.

**K. Construcción del raster de Ponderación mediante Weighted Sum**

**Figura 11**

*Construcción del raster de Ponderación*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

Posteriormente, se abrió la caja de herramientas (Toolbox) y se buscó el geoprocso Suma Ponderada (Weighted Sum). Este proceso permitió combinar las cinco capas reclasificadas en un único raster acumulativo. En la herramienta se configuraron los siguientes parámetros:

- ✓ En Rásteres de entrada, se agregaron las cinco capas reclasificadas: DEM, pendiente, cobertura de tierras, precipitación y distancia a drenajes.
- ✓ A cada raster se le asignó el peso correspondiente, previamente expresado en formato decimal.
- ✓ Se definió el nombre de salida Ponderacion\_Medio Atrato, el cual representa el raster síntesis del modelo.






- ✓ Después de ejecutar la herramienta, se desactivaron las capas individuales en el panel de Contenido, dejando únicamente la capa Ponderacion\_Medio Atrato, facilitando así su lectura visual.

**Reclasificación de niveles de riesgo a partir de la capa ponderada (Paso 10)**

El raster ponderado aún no representaba niveles de riesgo categóricos comprensibles para toma de decisiones. Para ello, se empleó la Tabla 4, donde se establecen los cinco niveles de riesgo:

**Tabla 4**

*Niveles de riesgo*

Valores	Simbología
1	
2	
3	
4	
5	

*Fuente: Reclasificación de riesgo por inundación*

Esta clasificación permitió traducir los valores continuos del raster en categorías discretas que facilitan la interpretación visual y la comunicación del riesgo hacia actores comunitarios, institucionales o académicos.

**L. Generación del mapa final de riesgo mediante Reclassify (Paso 11)**

Finalmente, se aplicó el geoprocso Reclasificar (Reclassify) para convertir el raster ponderado en un mapa final de riesgo. Los parámetros fueron:

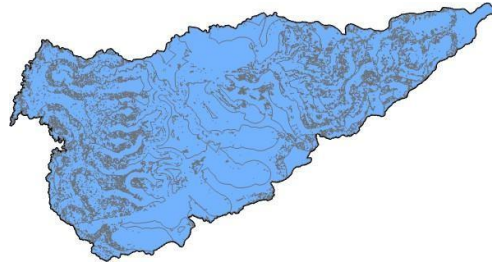
- ✓ Ráster de entrada: Ponderacion\_mun
- ✓ En la opción Clasificar, se eligió el método Rupturas naturales (Jenks) y se ajustó el número de clases a 5.
- ✓ En la columna “Nuevo”, se conservaron los valores del 1 al 5, en correspondencia con los niveles de riesgo definidos.
- ✓ Se activó la opción “Cambiar los valores ausentes por NoData” para evitar errores en la interpretación cartográfica.
- ✓ Se nombró la capa de salida Riesgo\_municipio.

Este proceso permitió obtener el mapa final que representa espacialmente las zonas con riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, consolidando la modelación multicriterio en un producto cartográfico final.

**M. Conversión del modelo ráster a formato vectorial**

**Figura 12**

*Conversión del modelo ráster a formato vectorial*



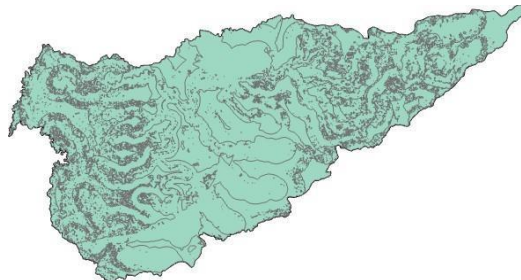
Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)

Una vez obtenido el mapa ráster de riesgo de inundación, se convirtió a formato vectorial con el fin de facilitar su interpretación y permitir análisis posteriores más precisos. La conversión a polígonos permite reconocer cada zona de riesgo como una unidad espacial diferenciada, lo que es fundamental para realizar cálculos de área, asignar categorías descriptivas y producir una cartografía final más clara y utilizable para la gestión territorial.

**N. Paso 4. Suavizado de los polígonos generados**

**Figura 13**

Suavizado de los polígonos generados



Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)

Después de la conversión, los polígonos presentaban bordes muy irregulares debido a la estructura cuadrículada del ráster. Para mejorar la presentación cartográfica, se aplicó un proceso de suavizado que corrige los ángulos bruscos y genera límites más naturales.

**Ñ. Disolución de polígonos según el nivel de riesgo**

Una vez suavizados los límites, se unificaron los polígonos que compartían el mismo nivel de riesgo. Este proceso genera una capa más ordenada y reduce la fragmentación espacial, permitiendo representar cada categoría de riesgo como grandes áreas homogéneas.

**O. Creación de nuevos campos descriptivos en la tabla de atributos**

**Tabla 5**

Tabla de atributos para la extensión

OBJECTID *	Shape *	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Class_riesgo	Área_km2
1	Poligono	1	731956,670047	58523074,816209	Riesgo muy bajo	58,40991
2	Poligono	2	2596545,028967	244728525,423863	Riesgo bajo	244,150288
3	Poligono	3	5022041,992818	379233566,833386	Riesgo medio	378,282004
4	Poligono	4	5724954,115384	614234296,032972	Riesgo alto	612,666755
5	Poligono	5	2558775,81973	509329878,646374	Riesgo muy alto	508,025694

Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)

Para complementar la información del mapa, se añadieron dos campos nuevos: uno destinado a asignar la categoría cualitativa de riesgo y otro para almacenar el cálculo del área de cada polígono. Estos campos permiten relacionar los valores numéricos provenientes del modelamiento con una descripción comprensible, además de cuantificar la extensión de cada zona.

**P. Asignación de las categorías cualitativas de riesgo**

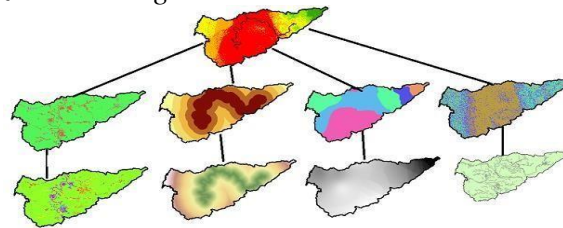
Con base en la clasificación del análisis multicriterio, a cada polígono se le asignó su categoría cualitativa correspondiente (muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto). facilitando la interpretación del mapa y estandariza los niveles de riesgo.

**Q. Cálculo del área de cada zona de riesgo**

Finalmente, para cada categoría espacial se calculó su superficie en kilómetros cuadrados. Este cálculo es fundamental para evaluar la magnitud del riesgo dentro del territorio, comparar la extensión de cada clase y sustentar los resultados del análisis cartográfico.

**Figura 14**

*Cálculo del área de cada zona de riesgo*



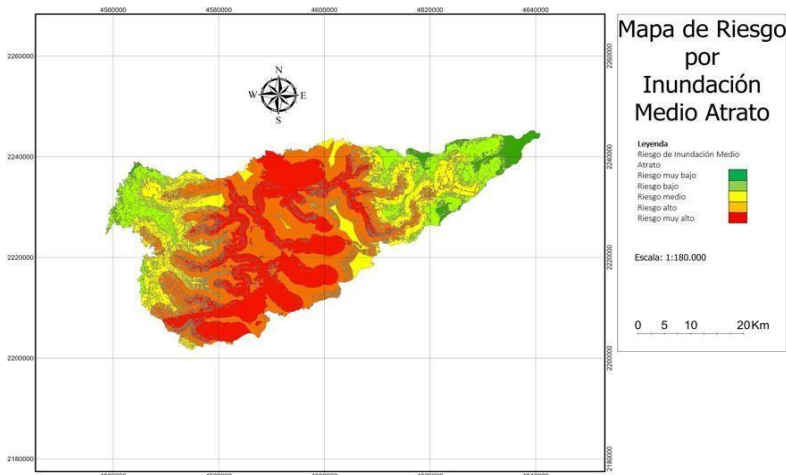
*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

**Resultados**

Para evidenciar las áreas críticas y realizar la cuantificación de los impactos provocados por las inundaciones, se generó tablas y figuras que permitieran hacer una comparación entre las categorías del riesgo; el análisis desarrollado muestra la distribución espacial en el territorio del Medio Atrato con los efectos negativos que afectan a las comunidades.

**Figura 15**

*Mapa de riesgo*



*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

La representación de las zonas de riesgo se hace a partir de los colores representativos de los niveles de riesgo, permitiendo identificar visualmente las áreas más afectadas para un mejor análisis y toma de decisiones.

**Tabla 6.**

*Áreas de las categorías de riesgo*

Clase de riesgo	Área_Km2	Porcentaje
Riesgo muy bajo	58,41	3%
Riesgo bajo	244,15288	14%
Riesgo medio	378,28204	21%
Riesgo alto	508,25694	28%
Riesgo muy alto	612,666755	34%
Total	1802	100%

*Fuente: Autoría propia, 2025, (ArcGIS Pro)*

**Figura 16**

*Áreas de las categorías de riesgo*



*Fuente: Autoría propia, 2025*

**Análisis de resultados:**

Principales factores tenidos en cuenta para determinar las zonas de muy alto riesgo y alto riesgo del Municipio del Medio Atrato.

**Factores antropocenos:**

- Tala indiscriminada de árboles alrededor de las cuencas hídricas que debilitan la capa vegetal suelo, generando erosiones y palizadas.
- La minería por el dragado crea playas artificiales altas que al crecer los ríos generan crecientes súbitos, desbordamiento y de igual manera el taponamiento de la cuenca.
- La patología de la construcción en asentamientos para vivienda urbana sobre las riberas de los ríos (aspecto cultural)

**Factores físicos:**

- Bajos planicies susceptible a inundaciones

- Precipitaciones
- Cobertura del suelo

El análisis permitió discriminar el territorio en los riesgos más evidentes: alto y muy alto, esto a partir de los datos arrojados por SIG generando el mapa detallado de las zonas más expuestas a las inundaciones arrojando una evaluación exacta del riesgo para el municipio del Medio Atrato. Normatividad de riesgo por inundaciones en Colombia – Ley 1523 de 2012 (Política Nacional de Gestión del Riesgo)

**Tabla 7**

*Niveles de riesgo*

VALOR	NIVELES	DESCRIPCION
<b>1</b>	Riesgo muy bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zonas altas del municipio</li> <li>✓ Pendiente alta buen drenaje permitiendo un escurrimiento eficiente</li> <li>✓ Hay una gran cobertura boscosa reduciendo la escorrentía</li> </ul>
<b>2</b>	Riesgo bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zonas medias</li> <li>✓ Pendiente alta buen drenaje permitiendo un escurrimiento eficiente</li> <li>✓ Hay una gran cobertura boscosa reduciendo la escorrentía</li> </ul>
<b>3</b>	Riesgo medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zonas ecotonos o piedemontes actúan como zonas de amortiguamiento y filtrado natural.</li> <li>✓ Por tener pendientes ligeramente altas y por su vegetación mitigan parcialmente las inundaciones.</li> </ul>
<b>4</b>	Riesgo alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zonas bajas en superficies planas alta acumulación de agua adyacentes al río Atrato; Pendientes bajas y/o elevaciones casi nulas; Áreas de mayor riesgo por acumulación hídrica dispuesta al desbordamiento; Distancias cortas generan desbordamiento próximas al drenaje menores a 300m y Zonas intervenidas por el hombre.</li> <li>✓ En peligro se encuentran comunidades como Beté, Tanguí, Medio Beté, Beberamá, Puné. Ya que el riesgo cae sobre puesto de salud, colegios, viviendas.</li> <li>✓ Eventos históricos reportados por CLOPAD (1999–2009)</li> </ul>
<b>5</b>	Riesgo muy alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zonas bajas en superficies planas alta acumulación de agua adyacentes al río Atrato; Pendientes bajas y/o elevaciones casi nulas; Áreas de mayor riesgo por acumulación hídrica dispuesta al desbordamiento; Distancias cortas generan desbordamiento próximas al drenaje menores a 300m y Zonas intervenidas por el hombre.</li> <li>✓ En peligro se encuentran comunidades como Beté, Tanguí, Medio Beté, Beberamá, Puné. Ya que el riesgo cae sobre puesto de salud, colegios, viviendas.</li> <li>✓ Eventos históricos reportados por CLOPAD (1999–2009).</li> </ul>

*Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro)*

Por la proximidad a los ríos Bete y Atrato, se observa que más del 60% de la zona clasificada como riesgo alto y muy alto los desbordamientos son frecuentes, las precipitaciones son recurrentes haciendo vulnerables a los habitantes de la región (Vásquez Morales, 2016). Así las cosas, se deben tomar acciones que ayuden a mitigar los impactos.

En cuanto al riesgo bajo y muy bajo la probabilidad de inundación es nula están alejados de los cuerpos de agua.

### **Conclusiones**

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) asociado con el análisis multicriterio es un método efectivo, preciso al momento de dar el riesgo de inundación. Es posible utilizar variables climáticas, hidrológicas que con ayuda de herramientas como reclasificación y la suma ponderada se puede dar con resultados cuantificables en una representación espacial.

Se demuestra que la distribución espacial al realizar los geoprocursos con la herramienta Argis-Pro muestra que la mayor vulnerabilidad se presenta en las planicies del río del Medio Atrato, con pendientes mínimas, elevaciones bajas y un flujo de agua extenso. Esto permite evidenciar las afectaciones históricas y obliga a generar una planificación anticipada.

Los nuevos modelos que han surgido como apoyo del análisis de la información para el ordenamiento agroambiental del territorio, entre ellos el Argis-Pro como herramienta fundamental para la toma de decisiones de medidas preventivas en la gestión del riesgo a través de la integración de las variables biofísicas, de riesgo y del uso del suelo; Permite una planificación estratégica y sostenible en la mitigación de los impactos ambientales del futuro.

Con el mapa de riesgo de Municipio de Medio Atrato, Chocó, se puede decir que cuenta con 1.115,7Km<sup>2</sup> con áreas de riesgo de inundación alto y muy alto, esto equivale al 62,1% del área total. Con lo anterior, se puede asegurar que el municipio Medio Atrato, Chocó es bastante susceptible a precipitaciones altas. El riesgo medio abarca 378,28 Km<sup>2</sup> equivale al 21,1%. Por último, el riesgo bajo ocupa 302,56 Km<sup>2</sup>, equivale al 16,9%, esto quiere decir que son las áreas óptimas para construcciones.

El Medio Atrato al estar ubicado en una llanura aluvial tan baja, en combinación con un régimen de lluvias intensas como es característico del Chocó, lo convierte en vulnerable a inundaciones. Además de esto, cuenta con pendientes suaves y un complejo de humedales, ciénagas y ríos, que mantienen el suelo saturado, afectando el drenaje natural esperado, facilitando el anegamiento en épocas de lluvia fuerte. Debido a esto es imperativo que haya una planificación territorial que tenga en cuenta esas condiciones y haga uso de criterios técnicos que permitan diseñar estrategias de adaptación adaptadas a la situación real del territorio.

### **Recomendaciones**

En el área de la Ingeniera Ambiental:

- Establecer programas de recuperación de los ecosistemas en los territorios degradados que ayuden a la retención hídrica prevaleciendo las riberas, regulando los flujos de agua evitando que sean vulnerables los sistemas forestales y agrícolas a las inundaciones

- Crear bancos de semillas nativas con vivero para reforestar permanentemente las zonas susceptibles, para fortalecer y dar estabilidad al suelo ayudando a la resiliencia de la productividad del territorio.
- Permitir que la naturaleza en su sabiduría reestablezca la vegetación nativa propia de la región como estrategia en el ordenamiento agroambiental del territorio favoreciendo la sostenibilidad productiva.

Desde la ingeniería Agroforestal, se evidencia la riqueza del municipio en la flora, fauna y en su riqueza hídrica, todas las actividades, culturales, sociales, recreativas y de transporte se realizan en los diferentes ríos, este se convirtió en un estilo de vida, al ser una zona de bajas pendientes, altas precipitaciones y rodeada de tanta hidrografía es bastante vulnerable a inundaciones, las alcaldías deben fortalecer la gestión del riesgo, no permitiendo construir tan cerca ni bajo del nivel de los ríos y así evitar pérdidas humanas y materiales.

Desde la agronomía se identifica la dificultad hacia la total eliminación del riesgo de inundación, se recomiendan ciertas prácticas que lograrán disminuir el riesgo; Pueden ser la siembra en surcos altos, drenajes superficiales o canales de desvío. Por otro lado, se recomienda sembrar cultivos que no sean susceptibles a la humedad como el arroz. Adicional, teniendo en cuenta la zonificación dada por medio de Sistemas de información geográfica (SIG), delimitar áreas de alto, medio y bajo riesgo de inundación y guiar la localización ideal para evitar que el uso productivo no se realice en zonas de alto riesgo. Por último, es importante establecer un programa de restauración de bosques, reforestaciones de árboles nativos y recuperar humedales, dado que son reguladores de las crecientes.

Desde el campo de la agronomía es clave que, en el Medio Atrato, se adopten medidas diferenciadas para los principales sistemas productivos, tales como el plátano, yuca y cacao, en lo que refiere al plátano, ajustar los calendarios de siembra y sembrar en terrazas altas con buen drenaje para reducir pérdidas por inundaciones; en la yuca, hacer uso de policultivos con coberturas vegetales que favorezcan la infiltración y disminuyan la erosión en laderas; y en el cacao, hacer uso de sistemas agroforestales con especies nativas promoviendo la resiliencia frente a excesos de agua y que fortalezcan la estructura ecológica principal.

### Referencias bibliográficas

- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.  
[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=kvoJCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Burrough,+P.+A.,+%26+McDonnell,+R.+A.+\(2015\).+Principles+of+geographical+information+systems.+Oxford+University+Press.&ots=aMG65mz7EB&sig=XL-qaTqWxGvAqiTFonO2cQFf8AI#v=onepage&q=Burrough%2C%20P.%20A.%2C%20%26%20](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=kvoJCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Burrough,+P.+A.,+%26+McDonnell,+R.+A.+(2015).+Principles+of+geographical+information+systems.+Oxford+University+Press.&ots=aMG65mz7EB&sig=XL-qaTqWxGvAqiTFonO2cQFf8AI#v=onepage&q=Burrough%2C%20P.%20A.%2C%20%26%20)

McDonnell%2C%20R.%20A.%20(2015).%20Principles%20of%20geographical%20information  
%20systems.%20Oxford%20University%20Press.&f=false

CODECHOCÓ. (2021, junio 4). *Restauramos para cuidar el medio ambiente*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó. <https://codechoco.gov.co/publicaciones/2804/restauramos-para-cuidar-el-medio-el-medio-ambiente/>

CODECHOCÓ. (2025, julio 25). *Con innovación tecnológica CODECHOCÓ avanza en proceso de restauración de 180 hectáreas en el municipio de El Carmen de Atrato*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó. <https://codechoco.gov.co/publicaciones/3944/con-innovacion-tecnologica-codechoco-avanza-en-proceso-de-restauracion-de-180-hectareas-en-el-municipio-de-el-carmen-de-atrato/>

Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres (CLOPAD). (2011). *Caracterización general de escenarios de riesgo: Municipio de Medio Atrato, Chocó*. CLOPAD. [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/28505/Caracterizacion\\_MedioAtratoChoco\\_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co:8443/bitstream/handle/20.500.11762/28505/Caracterizacion_MedioAtratoChoco_2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Concejo Municipal de Medio Atrato-Chocó. (2019). *Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medio Atrato - Chocó* [PDF]. Municipio de Medio Atrato – Chocó. [https://medioatratochoco.micolombiadigital.gov.co/sites/medioatratochoco/content/files/000183/9143\\_esquema-de-ordenamiento-territorial.pdf](https://medioatratochoco.micolombiadigital.gov.co/sites/medioatratochoco/content/files/000183/9143_esquema-de-ordenamiento-territorial.pdf)

Escolano Utrilla, S. (2015). *Primera parte. 2. La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos*. Obtenido de Sistemas de información geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía (pp. 47-78). Prensas de la Universidad de Zaragoza.: <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/44840>

IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y Universidad Nacional de Colombia (UNAL). (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Bogotá: IDEAM. [https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad\\_636602741696419023.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/variabilidad_636602741696419023.pdf)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2019). *Mapa de pendientes de Colombia (cobertura nacional)*. <https://datos.icde.gov.co/maps/IGAC-OIT::mapa-de-pendientes-de-colombia/about> Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). *Datos abiertos geoespaciales – Cartografía básica y modelos de elevación*. Subdirección de

Cartográfica y Geodésica. <https://www.igac.gov.co/datos-abiertos/datos-abiertos-geoespaciales>

IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_TS.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf)

**Enlace de sustentación:** <https://youtu.be/K7xPxsK2HI0>