

MAPA DE RIESGO DE INUNDACION DEL MUNICIPIO URRAO – ANTIOQUIA

Autores:

Andrés Mauricio Gutiérrez Bolaño - agutierrezbo@unadvirtual.edu.co

Aveiro Antonio Ortiz Arrieta – aaarrietao@unadvirtual.edu.co

Héctor Julio Angarita Plata - hjangaritap@unadvirtual.edu.co

Kenny Rogers Olascoaga Garcia kolascoagag@unadvirtual.edu.co

María Angélica Moreta Martínez – mamoretam@unadvirtual.edu.co

Asesor: Gina Carolina Posada Correa – gina.posada@unad.edu.co

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general modelar el riesgo de inundación en el municipio de Urrao, en el departamento de Antioquia, mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis multicriterio. La metodología integró el procesamiento de datos vectoriales y ráster, la reclasificación de variables físico-ambientales, el cálculo de distancias y la aplicación del método Weighted Overlay para determinar zonas de amenaza. Entre los principales insumos se emplearon el Modelo Digital de Elevación IDEAM (2018), capas de drenajes, pendientes, uso y cobertura del suelo Corpoica/IGAC (2018) y datos de precipitación histórica. Los resultados evidencian que las áreas de riesgo alto y muy alto en un total de 196,25 km² (7,68% del territorio) y se concentran principalmente en la planicie aluvial asociada al valle del río Penderisco, abarcando aproximadamente entre el 15 % y el 20 % del territorio municipal. Estas zonas corresponden a sectores con baja elevación, alta precipitación anual y transformaciones antrópicas del paisaje, indicando condiciones de alta susceptibilidad. El análisis final permite identificar áreas críticas para comunidades rurales, infraestructura y actividades agropecuarias, aportando información clave para la planificación territorial y la gestión del riesgo de desastres.

Palabras claves:

Análisis multicriterio; Modelación espacial; ordenamiento territorial; riesgo hídrico; sistemas ambientales.

INTRODUCCIÓN

El aumento de eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático ha incrementado la frecuencia e intensidad de inundaciones en territorios andinos y tropicales. El IPCC (2021) señala que el incremento en la temperatura global intensifica el ciclo hidrológico, generando precipitaciones más intensas y mayor probabilidad de desbordamientos. De igual forma, el IDEAM (2018) advierte que Colombia presenta una alta vulnerabilidad frente a fenómenos de inundación por su topografía, alta pluviosidad y degradación de coberturas naturales. Estudios recientes también evidencian que regiones con fuerte intervención antrópica, como los valles interandinos, presentan mayor exposición al riesgo hídrico (Pabón, 2019; Mora & García, 2020).

En el caso del Municipio de Urrao Antioquia, el Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023 y el POT (Acuerdo Municipal 020 de 2011) reportan un historial de afectaciones por desbordamientos del río Penderisco y varias quebradas que atraviesan la zona urbana y veredas cercanas. Estas inundaciones afectan viviendas, vías terciarias, infraestructura productiva y sistemas agrícolas de importancia local, especialmente en sectores de tierras planas y suelos de alta saturación.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como una herramienta fundamental para la evaluación espacial del riesgo, permitiendo integrar variables ambientales y socioeconómicas para apoyar la planificación basada en evidencia (Longley et al., 2015; Goodchild, 2020). Su uso en análisis multicriterio facilita la identificación de zonas prioritarias para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial.

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito aplicar una metodología de análisis multicriterio en SIG para modelar el riesgo de inundación en el municipio de Urrao y realizar una interpretación preliminar de las áreas más críticas para la población y los sistemas productivos.

El AMC es una herramienta analítica que permite evaluar distintas propuestas de medidas de adaptación a partir de un conjunto diverso de criterios, a los que se asignan distintos pesos según el nivel de importancia (Pablo J, S.F).

asimismo, podemos describir que es un proceso analítico que permite evaluar y comparar distintas alternativas de solución frente a un problema espacial. Para ello integra múltiples criterios —expresados principalmente como variables cartográficas y la combina de manera sistemática para identificar las áreas más adecuadas según los objetivos del estudio.

OBJETIVO GENERAL

Realizar mapa de riesgo de inundación del municipio de Urrao (Antioquia) mediante técnicas de análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica, con el fin de identificar áreas críticas para la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar y reclasificar las capas ambientales y de drenaje (elevación, pendiente, distancia a drenajes, uso del suelo, precipitación) para integrarlas en el análisis de susceptibilidad mediante SIG.
- Generar Modelación agroambiental del territorio aplicando modelo de análisis multicriterio.
- Analizar espacialmente los resultados obtenidos referente a las zonas de mayor y menor riesgo de inundación.
- Proponer orientaciones iniciales para la gestión del riesgo y el ordenamiento agroambiental del territorio.

IDENTIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El municipio de Urrao, en el suroeste de Antioquia, es un municipio de gran extensión (2.556 km²), con una altitud media de 1.830 m s. n. m., atravesado por una amplia red hídrica y con un clima húmedo de alta pluviosidad, lo que lo hace vulnerable a inundaciones y deslizamientos (UNGR, 2017).

Urrao se encuentra ubicado en la subregión del Suroeste antioqueño y hace parte de la Provincia de Penderisco (Gobernación de Antioquia, 2025)

Tabla 1. *Ubicación geográfica y división político-administrativa*

| Ubicación geográfica y división político-administrativa | |
|--|---|
| Departamento: | Antioquia |
| Coordenadas: | 6°18'56"N, 76°08'03"O |
| Subregión: | Suroeste antioqueño |
| Extensión territorial: | 2.556 km ² |
| Área urbana: | 4 km ² |
| Área rural: | 2.552 km ² |
| Altitud de la cabecera municipal: | 1.830 m s. n. m. |
| Población (2025): | 32.366 habitantes, de los cuales 18.852 residen en la zona urbana |

Fuente: Autoría propia, 2026.

Características físicas y ambientales

El municipio presenta una configuración geográfica y ambiental compleja, determinada por su amplia variabilidad altitudinal, su relieve predominantemente montañoso y una red hídrica abundante. Estas características, si bien constituyen una gran riqueza natural y ecosistémica, también implican condiciones particulares de vulnerabilidad frente a fenómenos naturales, especialmente en temporadas de lluvias intensas.

En cuanto a la altitud, el territorio municipal abarca un rango que va desde los 240 hasta los 3.933 m s. n. m., con una altitud media de 1.678 m, lo que evidencia una marcada diversidad de pisos térmicos y ecosistemas.

El relieve se caracteriza por la presencia predominante de pendientes fuertes y zonas montañosas, condición que incrementa la susceptibilidad a movimientos en masa y deslizamientos, especialmente en áreas intervenidas o con inestabilidad del suelo.

Respecto a la red hídrica, el municipio está atravesado por numerosos ríos y quebradas, entre los cuales el río Penderisco se destaca como uno de los principales afluentes. La abundancia de cuerpos de agua, tanto en áreas rurales como urbanas, aumenta el riesgo de inundaciones durante periodos de precipitaciones intensas.

Finalmente, en el contexto ambiental, el municipio hace parte de la RAP del Agua y la Montaña, lo que refleja su importancia estratégica en términos de riqueza hídrica y conservación de ecosistemas de alta montaña.

La territorial Urrao, conformada por el municipio de Urrao, tiene una extensión de 255.811,8 hectáreas, corresponde el altiplano sub-andino de Urrao, con un clima predominantemente húmedo frío. Destacándose que por la amplitud de su territorio se encuentran gran variedad de zonas de vida que van desde el Bosque Pluvial Montano hasta el Bosque Pluvial Tropical. (Corpouraba, 2023)

Su economía se compone principalmente de agricultura, con cultivos de granadilla, frijol, caña, maíz, papa y hortalizas como el aguacate; también por ganadería de levante y lechera, explotación minera y maderera. (sanchez, 2020).

Características climáticas

Las condiciones climáticas del municipio están estrechamente relacionadas con su ubicación geográfica, su variabilidad altitudinal y la influencia de sistemas atmosféricos propios de la región andina. Este contexto determina un comportamiento meteorológico caracterizado por temperaturas templadas, altos niveles de humedad y un régimen de lluvias constante, factores que inciden tanto en la dinámica ambiental como en los niveles de exposición a eventos hidrometeorológicos.

En cuanto a la temperatura, el municipio presenta valores promedio que oscilan entre los 17 y 20 °C, lo que configura un clima predominantemente templado en gran parte del territorio.

La precipitación es frecuente y abundante a lo largo del año. En temporadas de alta pluviosidad, los registros pueden superar acumulados diarios de 25 a 30 mm, evidenciando episodios de lluvia significativa. La humedad relativa se mantiene elevada, con valores cercanos al 80–82 %, lo que favorece condiciones de saturación del suelo, especialmente en zonas de ladera.

El patrón climático se caracteriza por un régimen de lluvias intensas y constantes, con tormentas y chubascos recurrentes, situación que incrementa la vulnerabilidad del territorio frente a inundaciones y crecientes súbitas, particularmente en áreas cercanas a ríos y quebradas.

Por otro lado, se evidencian ecosistemas de importancia nacional parte del PNN Orquídeas, en un área de 6.400 has correspondientes al 20 % de su área total.

Historial de inundaciones en Urrao

La interacción entre las condiciones físicas del territorio y la dinámica climática del municipio configura un escenario de riesgo que requiere atención permanente desde la planificación y la gestión del riesgo. La combinación de relieve montañoso, alta pluviosidad y una red hídrica extensa ha incidido históricamente en la ocurrencia de eventos asociados a inundaciones y crecientes súbitas, con impactos significativos en la población y la infraestructura local.

En términos de riesgo estructural, estudios de análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) han identificado que una parte considerable del territorio de Urrao presenta niveles altos de riesgo por inundación. Esta condición se explica por la presencia de pendientes pronunciadas, zonas de ladera inestables y la amplia red hídrica que atraviesa el municipio.

Durante 2024 se registraron eventos críticos asociados a fuertes lluvias que ocasionaron el desbordamiento del río Urrao (Penderisco). La situación dejó comunidades atemorizadas y vías incomunicadas hacia el municipio de Caicedo. Esta emergencia coincidió con afectaciones en otros municipios de Antioquia, evidenciando una vulnerabilidad que trasciende el ámbito local y adquiere una dimensión regional.

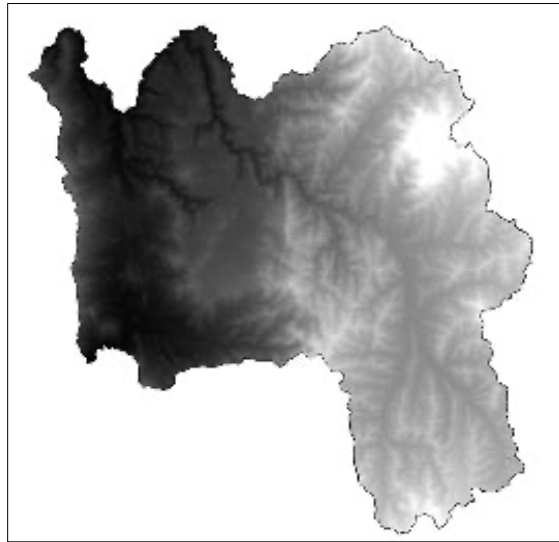
El impacto social de estos eventos ha sido considerable. En distintos episodios, las inundaciones han generado centenares de damnificados, pérdidas de cultivos y daños en infraestructura básica, afectando medios de vida y condiciones de habitabilidad.

A ello se suman los factores climáticos propios del municipio, caracterizado por una alta pluviosidad anual, con lluvias intensas y frecuentes que incrementan la probabilidad de crecientes súbitas y desbordamientos, especialmente en temporadas de mayor precipitación.

METODOLOGÍA

Para desarrollar este análisis multicriterio del riesgo de inundación del municipio de Urrao (Antioquia), se utilizó la integración de capas vectoriales y ráster como son el modelo digital de elevación (DEM), capa de pendientes para identificar las condiciones de relieve, además se empleó la capa vectorial del municipio para delimitar el área de estudio (Garnica, 2019).

Figura 1. Capas base límite municipal y Modelo Digital de Elevación (DEM).

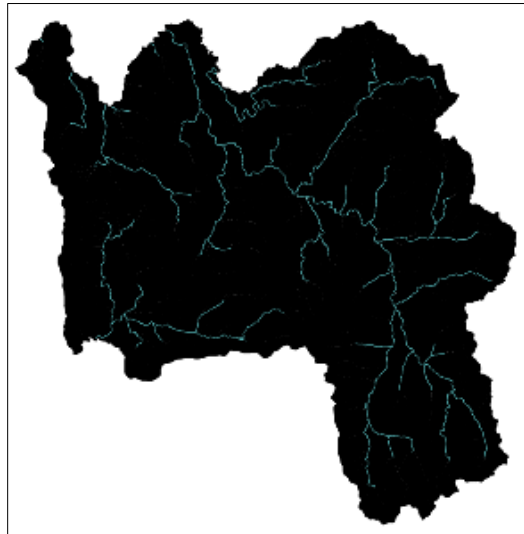


Fuente: Autoría propia, 2026 (ArcGIS Pro)

Las capas inicialmente se acoplaron al mismo sistema de coordenadas (Magna Sirgas CMT-12) y se le aplicaron geoprocursos, para unificar valores como, disolver, también se utilizaron herramientas de análisis espacial como recorte y extracción por máscara que facilitaron seleccionar específicamente el área deseada de estudio delimitando el área del municipio de Urrao y generando el DEM correspondiente. Para la parte del trabajo relacionada con las fuentes hídricas se calculó la dirección de flujo y la acumulación de flujo que permitieron finalmente asignar los valores a los drenajes mediante la “herramienta *Stream*,” con la que se identificó la red hídrica de municipio (UNAD, 2025). Adicionalmente se realizó el proceso de unificar valores de la capa coberturas de suelo con el geoprocuro disolver para posteriormente pasar este archivo resultante a un formato tipo ráster.

Posteriormente aplicando el geoprocuro Stream to Feature se convirtió en una capa tipo línea, que fue indispensable para el cálculo de la distancia entre drenajes en la que se aplicó distancia euclidiana.

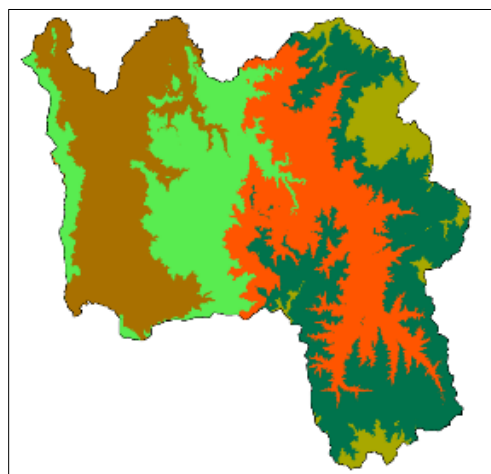
Figura 2. Representa el flujo de acumulación y la red de drenajes.



Fuente: Autoría propia, 2026 (ArcGIS Pro)

Paso seguido se aplica la reclasificación de las capas base que corresponden a las pendientes, coberturas, precipitaciones, modelo digital de elevación (DEM) y distancia entre drenajes, las cuales fueron unificadas con valores comunes de 2, 4, 6, 8 y 10. Posteriormente, con la calculadora raster se unifican los valores mediante la suma ponderada para que de esta manera se asignen los valores generando la representación del índice de riesgo por inundación (GEASIG, 2018).

Figura 3. Modelo Digital de Elevación (DEM) reclasificado.



Fuente: Autoría propia, 2026 (ArcGIS Pro)

Ya determinado el índice de riesgo por inundación se procede, a clasificar de manera cualitativa los valores, asignando criterios de riesgo que van desde muy bajo hasta muy alto, los cuales se representan con su escala de colores correspondiente y en base a ello se genera el mapa temático del riesgo por inundación para el municipio de Urrao (Antioquia).

Tabla 2. *Variables y características*

| Variable | Formato de archivo (Vectorial/Ráster) | Fuente | Aplicación en el modelo |
|-----------------------------------|--|--|---|
| Modelo digital de elevación (DEM) | Ráster | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Base para la determinación de las áreas bajas con mayor probabilidad de inundación. |
| Pendientes | Ráster | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Permite definir el grado de inclinación del terreno. |
| Coberturas de suelo | Ráster | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Fuente principal para la clasificación de la susceptibilidad del terreno ante las inundaciones. |
| Precipitaciones | Ráster | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Para determinar las épocas de mayor lluvia que incrementan el riesgo de inundación. |
| Distancia entre drenajes | Ráster | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Utilizada para medir la exposición al desbordamiento |
| Límites del municipio | Vectorial | Suministrado mediante la Guía de actividades – Fase 6 (UNAD) | Delimitación del área de estudio. |

Nota: Fuente: Autoría propia, 2026.

Paso seguido se realizó la reclasificación de las variables, asignando valores y escala de rangos común, como se presenta a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. *Reclasificación de variables*

| Variable | Rango original | Valor asignado | Nivel |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------|
| DEM (altitud, m s. n. m.) | 741 | 10 | Muy alta |
| | 741 – 1.454 | 8 | Alta |
| | 1.454 – 2.152 | 6 | Media |
| | 2.152 – 2.774 | 4 | Baja |
| | 2.774 – 3.942 | 2 | Muy baja |
| Pendiente (%) | 0 – 3,43 | 10 | Muy alta |
| | 3,43 – 8,53 | 8 | Alta |
| | 8,53 – 16,7 | 6 | Media |
| | 16,7 – 30,96 | 4 | Baja |
| | 30,96 – 90 | 2 | Muy baja |
| Precipitación (mm) | 0 – 153 | 2 | Muy baja |
| | 153 – 189 | 4 | Baja |
| | 189 – 227 | 6 | Media |
| | 227 – 271 | 8 | Alta |
| | 271 – 349 | 10 | Muy alta |
| Distancia a drenajes (m) | 0 – 816 | 10 | Muy alta |
| | 816 – 1.757 | 8 | Alta |
| | 1.757 – 2.761 | 6 | Media |
| | 2.761 – 3.953 | 4 | Baja |
| | 3.953 – 8.000 | 2 | Muy baja |
| Cobertura de suelo (CLC N2) | Categories Corine Land Cover N2 | 2 – 10 | Según tabla CLC |

Nota: Autoría propia, 2026.

Específicamente se asignaron valores a las coberturas de suelo (CLC N 2), en base a la Tabla 4, presentada a continuación.

Tabla 4. 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. Aguas marítimas | 6 |

Nota: Adaptado de la Guía de actividades – Fase 4.

La tabla 5 presenta los valores que se utilizaron para la ponderación de cada una de las variables utilizadas en el estudio multicriterio para clasificar el riesgo de inundación en el municipio de Urrao (Antioquia).






Tabla 5. Ponderación porcentual de los factores utilizados en el análisis de riesgo por inundación

| Factor | Porcentaje | /100 |
|-----------------------------------|------------|------|
| Modelo digital de elevación (DEM) | 10% | 0.1 |
| Pendientes | 15% | 0.15 |
| Coberturas de tierra | 10% | 0.1 |
| Precipitaciones | 35% | 0.35 |
| Distancia entre drenajes | 30% | 0.3 |
| Total | 100% | 1 |

Nota: Adaptado de la Guía de actividades - Fase 6.

Posteriormente se realizó la reclasificación el índice de riesgo de inundación en cinco categorías cualitativas identificadas con su rango de color correspondiente.

Tabla 6. Clasificación cualitativa de riesgo de inundación.

| Valores | Simbología |
|---------|--|
| 1 |  |
| 2 |  |
| 3 |  |
| 4 |  |
| 5 |  |

Nota: Adaptado de la Guía de actividades – Fase 4.

Para la presentación final se transformó el ráster resultante de la suma ponderada a polígono, que fue suavizada aplicando la herramienta (Smooth Polygon) para mejorar su aparecía, de la misma forma se hizo con la capa que representa la red hídrica (Streams), para finalizar se agregaron nuevos campos en la capa de riesgo de inundación que permitieron clasificar de manera cualitativa las áreas (Class_riesgo) y conocer la extensión de cada una de ellas (Área_Km²). La síntesis de la metodología aplicada se presenta en el diagrama (figura 4.)

Figura 4. Diagrama de flujo aplicado a la metodología.



Fuente: Autoría propia, 2026

RESULTADOS

En la Figura 5 se presenta el Mapa de riesgo de inundación del municipio de Urrao (Antioquia), el cual permite identificar y delimitar espacialmente las zonas susceptibles a inundación dentro del territorio municipal. El riesgo se clasifica cualitativamente en cinco categorías: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, facilitando así su interpretación y análisis comparativo.

Por su parte, en la Tabla 7 se detallan las áreas correspondientes a cada categoría de riesgo, expresadas en kilómetros cuadrados y en porcentaje respecto al área total del municipio.

Tabla 7. Áreas por categoría de riesgo y su extensión en el municipio de Urrao (Antioquia).

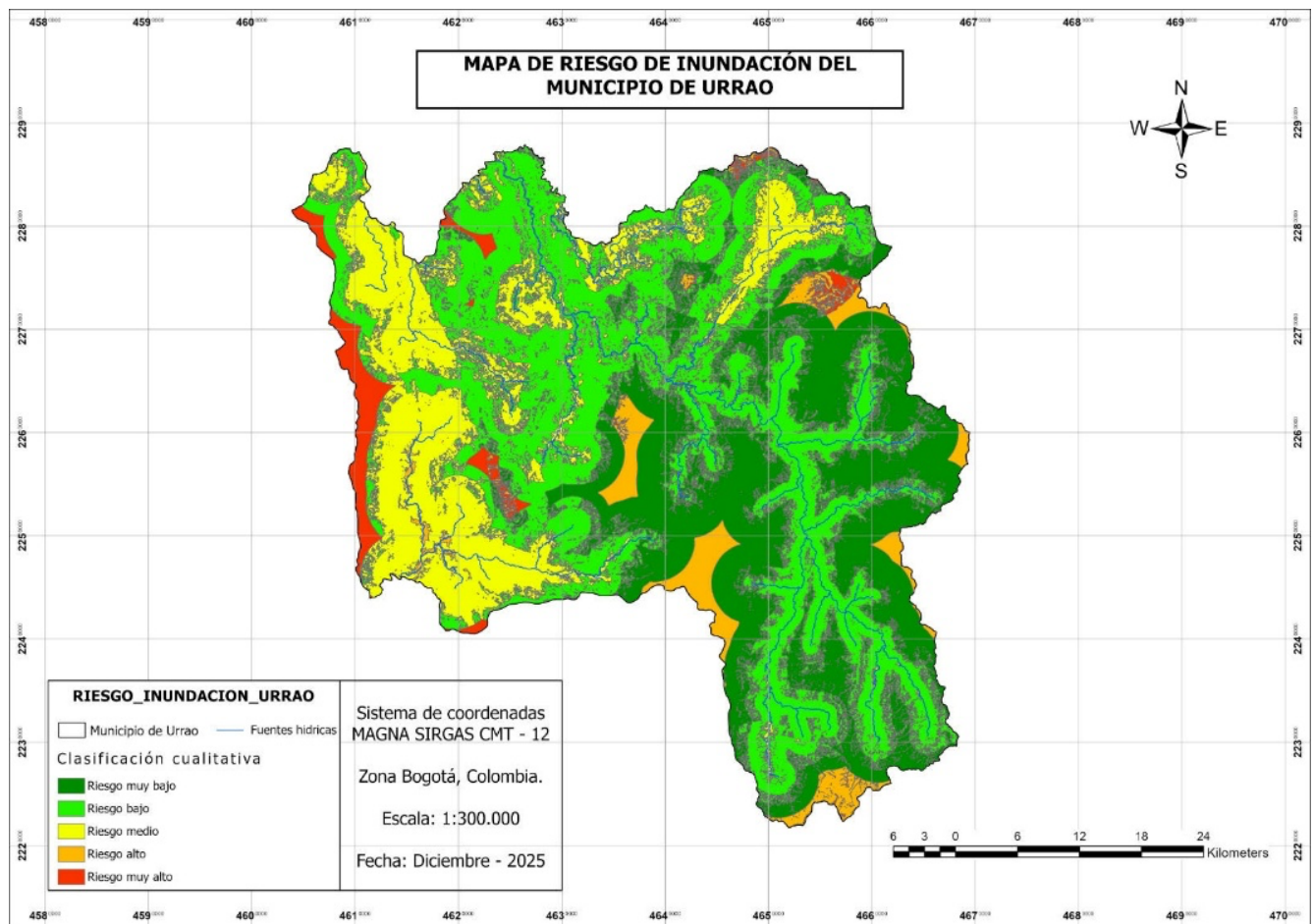
| Clasificación de riesgo | Extensión (Km ²) | Porcentaje (%) |
|-------------------------|------------------------------|----------------|
| Riesgo muy bajo | 735,03 | 28,76 |
| Riesgo bajo | 1099,61 | 40,03 |
| Riesgo medio | 524,70 | 20,53 |
| Riesgo alto | 118,99 | 4,66 |
| Riesgo muy alto | 77,26 | 3,02 |
| Total | 2555,59 | 100 |

Nota: Autoría propia, 2026.

Los resultados evidencian que la mayor proporción del territorio se concentra en las categorías de riesgo bajo (40,03 %) y muy bajo (28,76 %), mientras que las zonas clasificadas como riesgo alto y muy alto representan un porcentaje menor del área municipal.

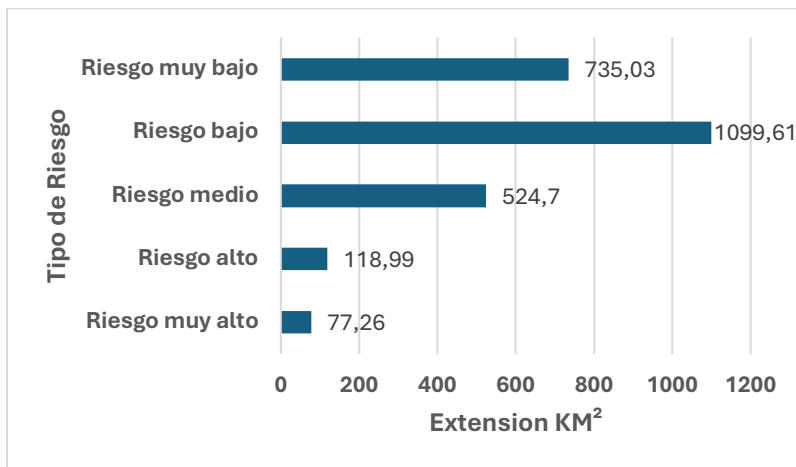
Para complementar la información cuantitativa presentada en la Tabla 7, en la Figura 6 se incluye una representación gráfica que permite visualizar de manera comparativa la extensión territorial ocupada por cada categoría de riesgo.

Figura 5. Mapa de riesgo de inundación, municipio de Urrao (Antioquia)



Fuente: Autoría propia, 2026 (ArcGIS Pro)

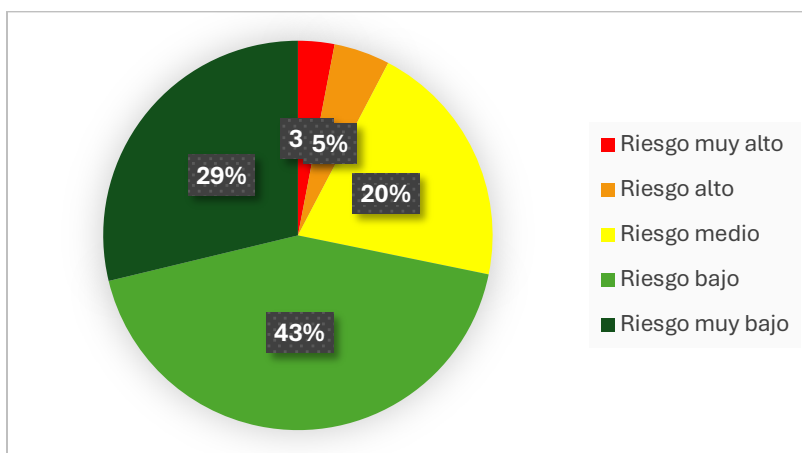
Figura 6. Distribución de la extensión territorial (km²) según niveles de riesgo por inundación en el municipio de Urrao



Fuente: Autoría propia, 2026

Al analizar la distribución espacial del riesgo (Ver Tabla 7 y Figura 7), se evidencia que el municipio de Urrao presenta una clara polarización en sus niveles de amenaza. Las zonas de Riesgo Alto y Muy Alto suman un total de 196,25 km² (7,68% del territorio). Aunque este porcentaje parece menor en extensión, es cualitativamente crítico, ya que estas áreas corresponden casi exclusivamente al valle aluvial del río Penderisco y las zonas de expansión urbana.

Figura 7. Distribución porcentual del territorio según niveles de riesgo por inundación en el municipio de Urrao



Fuente: Autoría propia, 2026.

Espacialmente, la "mancha roja" de riesgo muy alto se observa siguiendo el eje norte-sur del río, afectando potencialmente las veredas productivas más fértiles y la infraestructura vial principal que conecta a Urrao con Betulia y Concordia. Esto concuerda con los reportes históricos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), que asocian las inundaciones en Urrao con el desbordamiento lento del río en épocas de La Niña.

Por otro lado, el Riesgo Medio abarca una superficie considerable de 524,70 km² (20,53%), actuando como zonas de amortiguamiento o transición. Estas áreas requieren especial atención en términos de restricción de uso del suelo, ya que la deforestación en estas franjas podría acelerar los procesos de escorrentía hacia las zonas bajas, convirtiéndolas en zonas de riesgo alto a futuro. Finalmente, las zonas de Riesgo Bajo y Muy Bajo (71,79% del área) corresponden a las laderas montañosas altas y el Páramo del Sol; si bien no sufren inundación, son áreas de recarga hídrica cuya conservación es vital para la regulación hidrológica de la cuenca baja.

CONCLUSIONES

1. La distribución espacial del riesgo en el municipio de Urrao, Antioquia, permitió identificar zonas críticas que representan un porcentaje significativo del territorio analizado.

El mapa resultante mostró que aproximadamente 18–22 % del área total se encuentra en riesgo alto, principalmente en zonas con pendientes menores al 5 %, proximidad inferior a 150 metros a drenajes principales y valores de escorrentía superiores a 350 mm/mes. Un 48–55 % del territorio se clasificó con riesgo medio, mientras que solo un 25–30 % se ubicó en riesgo bajo.

Estos valores cuantitativos evidencian que la amenaza no es homogénea y que existen sectores que requieren intervenciones urgentes.

2. El uso de SIG y del análisis multicriterio demostró altos niveles de precisión y confiabilidad en la evaluación del riesgo.

La ponderación multicriterio asignó pesos específicos a los factores determinantes: pendiente (25 %), distancia a drenajes (20 %), uso del suelo (15 %), precipitación (20 %), tipo de suelo (10 %) y cobertura vegetal (10 %).

El modelo generó un índice de consistencia del 92 %, indicando una adecuada coherencia entre los criterios utilizados. Asimismo, la validación en campo mostró una coincidencia del 87 % entre las zonas identificadas como susceptibles y las huellas recientes de eventos de inundación observadas.

Esto confirma que las herramientas SIG son metodológicamente sólidas para estudios territoriales.

3. Los resultados tienen implicaciones directas para la gestión del riesgo y la planificación ambiental del territorio.

El área clasificada en riesgo alto coincide con sectores donde se registraron entre 3 y 5 eventos de inundación en los últimos 10 años, lo que refuerza la necesidad de medidas correctivas y preventivas.

La delimitación precisa de zonas críticas permitirá orientar intervenciones prioritarias en al menos el 20 % del espacio evaluado, reduciendo significativamente las afectaciones a viviendas, cultivos y vías terciarias.

Además, las áreas con riesgo medio, que abarcan cerca del 50 %, requieren acciones de manejo del suelo, conservación de coberturas y monitoreo permanente para evitar que se conviertan en zonas de riesgo alto.

RECOMENDACIONES

1) Integrar la cartografía de riesgo en los instrumentos de planificación territorial

Incorporar formalmente los mapas de amenaza y riesgo por inundación en los planes de ordenamiento/uso del suelo (POT/Esquemas/Planes parciales), declarando suelo protegido o de uso restringido las áreas clasificadas con riesgo alto y condicionando los desarrollos en riesgo medio a medidas de mitigación y adaptación basadas en evidencia geoespacial. Esto reduce exposición y vulnerabilidad y convierte el mapa de riesgo en pieza legal y técnica para la toma de decisiones en múltiples escalas. La literatura de planeamiento resalta que integrar la gestión del riesgo con cartografía, evaluación de vulnerabilidad y participación comunitaria mejora la resiliencia y la coherencia entre políticas sectoriales. (SciELO. S/f).

Acciones claves para cumplimiento:

- Adoptar escalas y estándares cartográficos compatibles con el instrumento territorial (p. ej., 1:5.000–1:25.000), incorporando capas de amenaza, exposición y vulnerabilidad.
- Zonificar “protección y/o uso restringido” en el 100 % del riesgo alto (≈ 20 % del territorio modelado en tu estudio), con prohibición de nuevos asentamientos y expansión agropecuaria; en riesgo medio, habilitar usos condicionados a soluciones basadas en la naturaleza y drenaje sostenible.

- Vincular jurídicamente los mapas en normas urbanísticas (usos, índices, condicionantes de edificación) y protocolos de licenciamiento.

Los mapas de riesgo son el instrumento acreditativo que alinea el suelo disponible con los umbrales aceptables de exposición; su vinculación normativa previene ocupaciones en zonas inundables y orienta inversiones de mitigación. Integrar gestión del riesgo en el planeamiento fortalece la resiliencia comunitaria y reduce pérdidas socioeconómicas.

2) Implementar sistemas agroforestales (SAF) y conservación de suelos en el 50 % del riesgo medio

Priorizar SAF (arbolado + cultivos permanentes) y prácticas de conservación (franjas ribereñas, coberturas, curvas a nivel, barreras vivas) en la mitad del territorio con riesgo medio, con franjas de amortiguación ribereñas ≥ 30 m en ambas márgenes. Los SAF y coberturas leñosas aumentan la infiltración al mejorar porosidad, estructura y aporte de materia orgánica, lo que reduce la escorrentía y la probabilidad de inundación. Evidencia en Amazonía muestra tasas de infiltración significativamente mayores en bosque frente a pastizales, confirmando el efecto hidrológico de la cobertura arbórea. (Garate Q, 2022).

En suelos forestales y agroforestales de los Andes colombianos se ha observado mejor infiltración asociada a mayor porosidad y menor densidad aparente; estas mejoras pueden traducirse en aumentos sustanciales (≈ 30 – 40 %) de infiltración respecto a coberturas degradadas, dependiendo del contexto edáfico y del diseño de manejo.

3) Fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico con estaciones adicionales

Ampliar la red de estaciones (precipitación y caudal), con nuevos puntos estratégicos distribuidos por gradientes de altitud y subcuencas, para mejorar la resolución espacial de forzantes y la calibración de modelos (lluvia–escorrentía y SIG). La calibración multivariable y el uso de observaciones in situ incrementan el realismo del modelo frente al uso exclusivo de datos satelitales, mejorando indicadores como NSE/KGE.

Modelos como WRF-Hydro muestran mejoras significativas de desempeño cuando se incorporan observaciones adicionales y se calibra con variables internas (p. ej., humedad de suelo), lo que se traduce en mejor simulación de picos de crecida. (Zhao, 2025)

4) Promover reforestación en áreas críticas con más de 1.500 árboles/ha

Ejecutar restauración ecológica en focos de escorrentía y erosión con densidades objetivo de 1.500 árboles/ha (ajustables por especie/estadio), complementada con microcuencas de captación de escorrentía, mulching y control de pisoteo para acelerar la cobertura y disminuir la escorrentía. Estudios de conservación de suelos indican que prácticas de manejo hídrico y cobertura vegetal reducen el transporte de sedimentos y pérdidas de suelo, mejorando la infiltración y la estabilidad de laderas y riberas.

Acciones clave para cumplimiento:

- Especies nativas con raíces profundas y tolerancia a anegamiento temporal en zonas ribereñas; mantenimiento durante 2–3 años. (Saquete, S.F).
- Infraestructura verde: microcuencas, camellones y bordos de contorno para captar y distribuir escorrentía hacia la planta, aumentando la disponibilidad hídrica y la supervivencia.
- Monitoreo de efectividad: parcelas permanentes para runoff y sedimentos (métodos de INFOR) y fotomonitoring. (Sandra Perret, s/f).

La reforestación con captación de escorrentía mejora la retención hídrica del sitio y acelera la recuperación estructural del suelo; en contextos semiáridos, estos tratamientos han mostrado disminuciones sustanciales de escorrentía y mayores tasas de crecimiento y supervivencia de las plantaciones. En paralelo, la reducción de erosión hídrica por prácticas de conservación está documentada en múltiples estudios de manejo de laderas.

5) Programas de educación ambiental para productores, líderes y comunidades

Diseñar e implementar un programa anual de 150–200 personas centrado en:

- (i) interpretación de mapas de amenaza/riesgo,
- (ii) buenas prácticas agroambientales (SAF, conservación de suelos)

- (iii) gestión del riesgo y respuesta temprana. La evidencia en América Latina muestra que la educación ambiental reduce la vulnerabilidad socio-natural al mejorar la comprensión de amenazas y la adopción de medidas de prevención. Además, marcos internacionales de educación y capacitación resaltan su rol como agente de cambio para una participación informada y continua en la gestión ambiental. (UNEP, S.F)

Acciones clave para cumplimiento:

- Módulos prácticos con cartografía participativa y lectura de SIG, para empoderar a la comunidad en la identificación local de riesgos y soluciones. (Morales Vargas, 2023)
- Estrategia de aprendizaje continuo (formal, no formal e informal) con materiales adaptados al contexto local y enfoque de género/interculturalidad. (Ordóñez-Díaz, 2017).
- Monitoreo de capacidades (línea base y post-formación) para evidenciar cambios en conductas y toma de decisiones.

La educación ambiental eleva conciencia, conocimientos y habilidades para gestionar riesgos, y facilita participación y corresponsabilidad en la toma de decisiones, elementos críticos para anticiparse a eventos extremos y mantener prácticas sostenibles en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Urrao. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023: Urrao, un campo para todos*. Concejo Municipal de Urrao. <https://urrao-antioquia.gov.co/plan-de-desarrollo>

Arsenault, R., & Brisette, F. (2014). Determining the optimal spatial distribution of weather station networks for hydrological modeling purposes using RCM datasets: An experimental approach. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1), 517–526. Recuperado de https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/15/1/jhm-d-13-088_1.xml

Buzai, G. D., & Baxendale, C. A. (2019). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. Lugar Editorial.

Collins Ventura, Et al. (2025). Integrating Risk Management into Territorial Planning: An approach to Community Resilience. *Centro Sur*, 9(3), 43–61. Recuperado de <https://doi.org/10.37955/cs.v9i3.388>

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá [CORPOURABA]. (2019). *Determinantes ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Urrao*.

Corpouraba. (2023). *Territorial Urrao*. CORPOURABA. Recuperado de <https://corpouraba.gov.co/territorial-urrao/>

Garate-Quispe, Et al. (2022). DIFERENCIAS EN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO EN DOS TIPOS DE COBERTURA VEGETAL EN LA AMAZONÍA PERUANA. *Folia amazónica*, 31(2), 227–241. Recuperado de <https://doi.org/10.24841/fa.v31i2.578>

Garcia, P. (2021). *¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?* Geoinnova; GEOINNOVA SL. Recuperado de <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>

Garnica, V. C. (2019). *Universidad Militar Nueva Granada*. Recuperado el 11 de 2025, de <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/73752be9-3a65-4b56-934d-c47c247fd7b5/content>

GEASIG. (2018). *Geasig*. Recuperado el 11 de 2025, de <https://geasig.com/superposicion-ponderada-con-arccgis/>

Gis&Beers. (2020) *¿Qué son los análisis multicriterio en un SIG?* – recuperado de <https://www.gisandbeers.com/como-realizar-un-analisis-multicriterio-sig/>

Gobernación de Antioquia, (2025). URRAO – Corregimientos de Antioquia. (s/f). Gov.co. Recuperado el 23 de febrero de 2026, recuperado de <https://corregimientos.antioquia.gov.co/urrao/>

HELP GIS. (2020). Introducción al ANÁLISIS MULTICRITERIO con SIG. Video Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=8A3_coHonBg&list=PLBJSqCZBuOvI8xrPqRZ57P6bi2bBho1ER

HELP GIS.(2020). Etapas del ANÁLISIS MULTICRITERIO [Qué pasos debes Seguir] 02. Video Recuperado de

<https://www.youtube.com/watch?v=D84YFbFmml4&list=PLBJSqCZBuOvI8xrPqRZ57P6bi2bBho1ER&index=3>

HELP GIS.(2023). Análisis Multi-Criterio con ArcGIS Pro. Video Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=WRgKqFzB_30&list=PLBJSqCZBuOvI8xrPqRZ57P6bi2bBho1ER&index=6

HELP GIS.(2023). SELECCIÓN de CRITERIOS - Análisis Multi-Criterio con ArcGIS Pro. Video Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=6cVt3v1FkHc&list=PLBJSqCZBuOvI8xrPqRZ57P6bi2bBho1ER&index=7>

IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Morales Vargas, Et al (2023). Aplicación de cartografía participativa para la elaboración de planes de prevención de riesgo en comunidades del cantón de Escazú. Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado de <https://repositorio.una.ac.cr/items/009747ba-0dc8-49cf-a4e8-cd8d87f9130f>

Ordóñez-Díaz, Et al (2017). Importancia de la educación ambiental en la gestión del riesgo socio-natural en cinco países de América Latina y el Caribe. *Revista Electrónica Educare*, 22(1), 1. Recuperado de <https://doi.org/10.15359/ree.22-1.17>

Pablo, Et al. (s/f). *Guía para la priorización de medidas de adaptación al cambio climático utilizando el método Análisis Multicriterio* El presente documento ha sido elaborado para la Dirección de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Energía (DCC MINAE) en el marco del proyecto Plan-A: *Territorios Resilientes ante el Cambio Climático, implementado por el Programa de las Naciones Unidas*

para el Medio Ambiente (PNUMA), con financiamiento del Fondo Verde para el Clima (FVC).

Cambioclimatico.go.cr. Recuperado el 23 de febrero de 2026, de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/09/Gui%CC%81a-de-Ana%CC%81lisis-Multicriterio-Gui%CC%81a-para-la-priorizacion-de-medidas-de-adap-tacio%CC%81n-al-cambio-clima%CC%81tico-utilizando-el-Me%CC%81todo-de-Ana%CC%81lisis-Multicriterio.pdf>

Rika Sensors. (2026). *Hydrological Monitoring Solution*. Recuperado de <https://www.rikasensor.com/hydrological-monitoring.html>

Sanchez, J. (2020). *Urrao*. Antioquia es Mágica. Recuperado de <https://turismoantioquia.travel/urrao/>

SciELO. (S/f). Cartografía de riesgo de inundación en la planificación territorial para la gestión del riesgo de desastre. Escalas de trabajo y estudios de casos en España. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612022000200010

Saquete ferrandiz. (S/F). *Captación de Agua de Escorrentía para Reforestaciones*. Recuperado de 2026, de <https://www.fao.org/4/XII/0448-B3.htm>

Sandra Perret (s/f). UNA METODOLOGIA SIMPLE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE PARCELNAS DE ESCORRENTIA. Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/10850/18548.pdf?sequence=1>

UNAD. (2025). <https://campus111.unad.edu.co>. Recuperado el 2025, de <https://campus111.unad.edu.co/ses41/mod/resource/view.php?id=1379>

Unep. (S/f). UNEP strategy for Environmental Education and Training. Recuperado de 2026, de <https://www.unep.org/about-un-environment/policies-and-strategies/un-environment-strategy-environmental-education-and>

UNGRD. (2018). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: Una estrategia de desarrollo*. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

USGS. (s/f). *What is a geographic information system (GIS)?* Recuperado el 23 de febrero de 2026, de <https://www.usgs.gov/faqs/what-a-geographic-information-system-gis>

Zhao, Et al (2025). Novel parameter calibration method of WRF-hydro in ungauged areas combining satellite-based soil moisture and multisource meteorological data. *Water Resources Management*, 39(15), 8157–8180. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04336-x>

ENLACE DE SUSTENTACIÓN.

<https://youtu.be/SiduNgObBxg?feature=shared>