

## **Análisis Multicriterio para la evaluación de riesgos de inundación en el Municipio de Argelia, Cauca.**

Francisco Wilson Caicedo Patiño; fwcaicedop@unadvirtual.edu.co

Yarife Duque Piedrahita; yduquep@unadvirtual.edu.co

Evangelina Parra Pérez; evangelina.parra@unad.edu.co

### **Resumen**

El propósito de este artículo es identificar y evaluar las áreas críticas de riesgo por inundación en el municipio de Argelia, Cauca, mediante el uso del software ArcGIS Pro, a través de un análisis multicriterio. La metodología empleada integra datos geoespaciales, históricos y climáticos para modelar zonas con mayor y menor probabilidad de inundación. El estudio incluye la identificación de impactos potenciales en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas, evaluando la vulnerabilidad de las diferentes zonas del municipio. Los resultados obtenidos permitirán no solo comprender la dinámica de las inundaciones en el territorio, sino también establecer estrategias de mitigación efectivas y sostenibles que fortalezcan la resiliencia frente a eventos hidrológicos extremos. El artículo está orientado a apoyar el ordenamiento agroambiental y la planificación territorial en Argelia, Cauca, aportando herramientas prácticas para la gestión del riesgo y la preservación del entorno.

Palabras claves: inundación, riesgo, estrategias, zona.

### **Introducción**

En Colombia, las inundaciones representan un desafío significativo debido a su recurrencia y magnitud, agravadas por factores tanto naturales como antrópicos. Las causas principales incluyen el desbordamiento de ríos durante la temporada de lluvias, intensificada por fenómenos como La Niña, el mal manejo de cuencas hidrográficas, y actividades humanas como la construcción en áreas de alto riesgo y

la deforestación. Según el IDEAM y la UNGRD, estas condiciones son exacerbadas por el cambio climático, que ha aumentado la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación como detonante número uno de inundaciones (IDEAM,2015) .

El municipio de Argelia, Cauca, no es ajeno a estas problemáticas. Su ubicación geográfica y condiciones climáticas lo hacen susceptible a eventos de inundación que afectan tanto a la

población como a los ecosistemas locales. Sin embargo, muchas regiones del país, incluido Argelia, carecen de estudios actualizados y localizados sobre la gestión del riesgo, lo que limita la planificación y la respuesta frente a estos eventos (UNRD,2018).

A nivel nacional, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD), creado bajo la Ley 1523 de 2012, establece lineamientos para la reducción del riesgo mediante procesos de conocimiento, prevención y manejo de desastres. Aunque existen planes como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, su efectividad depende de la implementación a nivel local y del acceso a herramientas tecnológicas y datos precisos para la toma de decisiones. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presentan como una herramienta clave para analizar riesgos, identificar zonas críticas y diseñar estrategias de mitigación adaptadas a las necesidades locales (Gómez, 2023).

El presente artículo se enfoca en realizar un análisis de riesgo por inundación en Argelia, Cauca, utilizando el software ArcGIS Pro. Este análisis busca identificar áreas de mayor y menor riesgo, evaluar el impacto potencial en la comunidad y proponer medidas que reduzcan la

vulnerabilidad del municipio frente a futuros eventos. Comprender y gestionar estos riesgos no solo es fundamental para la seguridad de la población, sino también para el desarrollo sostenible de la región y la preservación de sus recursos naturales (Gómez, 2023).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Análisis Multicriterio para la evaluación de riesgos de inundación en el Municipio de Argelia, Cauca

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar las áreas del municipio con mayor y menor vulnerabilidad para inundaciones, analizando las variables ambientales, climáticas y topográficas que contribuyen al riesgo.
2. Evaluar el impacto potencial de las inundaciones en las comunidades, infraestructuras, sistemas agropecuarios y ecosistemas locales, determinando la magnitud del daño esperado.
3. Diseñar y proponer medidas de mitigación basadas en el análisis de datos geospaciales que permitan reducir la vulnerabilidad del municipio y mejorar la planificación territorial.

**Identificación del caso de estudio: Municipio de Argelia, Cauca**

Argelia, ubicado al occidente del departamento del Cauca, forma parte del piedemonte de la cordillera Occidental de los Andes. Se encuentra en una región montañosa con una altitud promedio de 1,250 metros sobre el nivel del mar, abarcando un área de aproximadamente 655 km<sup>2</sup>. El municipio está atravesado por ríos como el San Juan de Micay y el Puentetierra, lo que lo convierte en una zona estratégica en términos hídricos, pero también susceptible a inundaciones debido a las dinámicas climáticas y geográficas (Martínez & Soto,2021).

**Clima y precipitación**

Argelia presenta un clima cálido húmedo, con temperaturas promedio entre 20 y 24 °C, y una pluviosidad significativa que supera los 2,000 mm anuales en algunas zonas. Las lluvias son más intensas durante las dos temporadas de invierno, lo que incrementa el riesgo de deslizamientos e inundaciones, especialmente en áreas aledañas a los ríos y quebradas que cruzan el territorio (Martínez, & Rodríguez 2021).

**Problemática ambiental y territorial**

El municipio ha sido históricamente afectado por fenómenos de remoción en masa e

inundaciones, problemas que se agravan debido a la deforestación y la agricultura intensiva en laderas vulnerables. Estas dinámicas no solo impactan los ecosistemas locales, sino también la seguridad alimentaria y la infraestructura básica de las comunidades, muchas de las cuales dependen de la agricultura de subsistencia (UNGRD ,2018).

La riqueza hídrica y la biodiversidad de Argelia representan oportunidades para el desarrollo sostenible, pero requieren de una adecuada planificación y gestión ambiental que mitigue los riesgos naturales. Este análisis busca apoyar dichas acciones mediante la identificación de áreas críticas y la evaluación de riesgos, proponiendo estrategias de mitigación adaptadas a las características locales.

**Metodología: Análisis multicriterio**

El análisis multicriterio (AMC) es una herramienta metodológica ampliamente utilizada en estudios ambientales para la toma de decisiones en escenarios complejos, como la gestión del riesgo por inundaciones. Este método integra diversas variables cualitativas y cuantitativas, permitiendo priorizar áreas críticas según su nivel de riesgo. En este caso, se empleará el AMC dentro del software ArcGIS Pro, combinando capas de información

geoespacial para alcanzar los objetivos del estudio (Fernández & Pérez 2020).

### Pasos metodológicos

La metodología se basó en procesamiento digital con el uso de ArcGIS pro y la metodología de análisis multicriterio procesando los siguientes factores.

1. Cobertura del suelo
2. Precipitación
3. Distancia entre la red de drenaje
4. Precipitación
5. Modelo digital de elevación

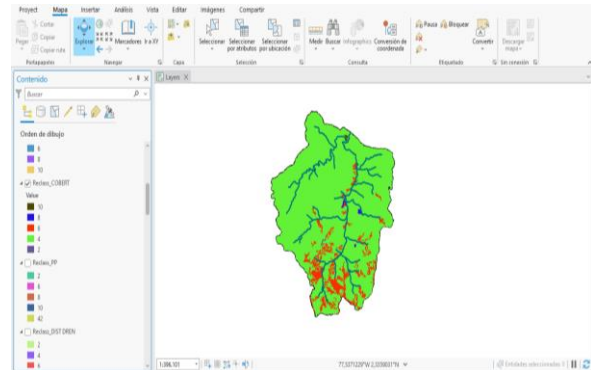
### Recolección y Preparación de Datos:

#### Cobertura del Suelo:

Obtener datos de cobertura del suelo (por ejemplo, Land Cover 2018).

Reclasificar las clases de cobertura según su influencia en la escorrentía y la infiltración, utilizando una escala de 2 a 10 (2 = menor riesgo, 10 = mayor riesgo).

### Imagen 1. Proceso 1. cobertura del suelo



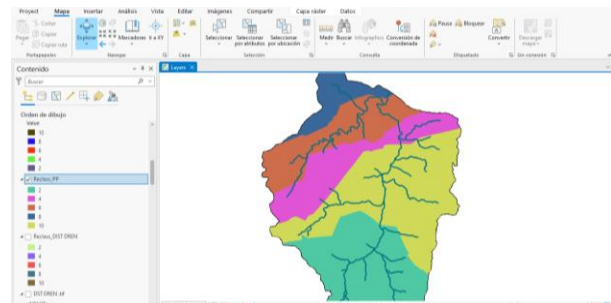
Fuente: Autoría propia, 2024

### Datos de Precipitación:

Adquirir datos interpolados de precipitación en formato raster.

Reclasificar estos datos en la escala de 2 a 10, asignando valores más altos a áreas con mayor precipitación.

### Imagen 2. Proceso 2. Precipitación.



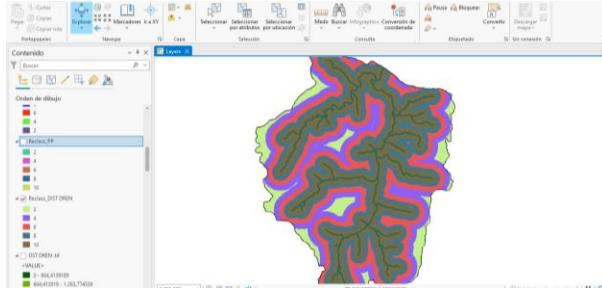
Fuente: Autoría propia, 2024

### Distancia a la Red de Drenaje:

Crear un mapa de distancia a la red de drenaje utilizando herramientas de análisis de distancia del SIG (Distancia Euclidiana).

Reclasificar las distancias en la escala de 2 a 10, con valores más altos para áreas más alejadas de los drenajes.

**Imagen 3.** Proceso 3. Distancia drenajes

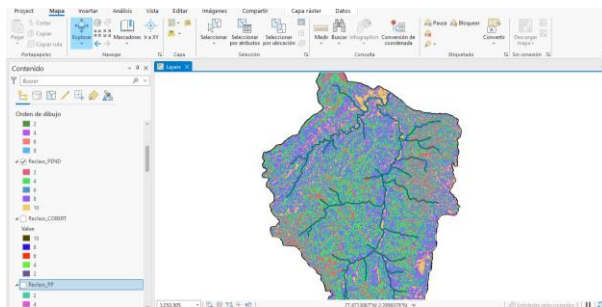


Fuente: Autoría propia, 2024

### Pendientes:

Derivar un mapa de pendientes a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE). Reclasificar las pendientes en una escala de 2 a 10, donde las pendientes más pronunciadas tienen valores más altos.

**Imagen 4.** Proceso 4. Pendientes.

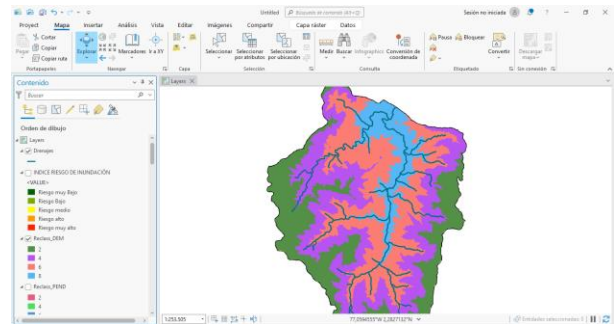


Fuente: Autoría propia, 2024

### Modelo Digital de Elevación (MDE):

Reclasificar el MDE en una escala de 2 a 10, considerando las áreas más bajas como de mayor riesgo.

**Imagen 5.** Proceso 5. Modelo digital de elevación.



Fuente: Autoría propia, 2024

El análisis multicriterio es un enfoque sistemático utilizado para evaluar y priorizar múltiples factores que pueden influir en un fenómeno complejo, como el riesgo de inundación. Esta técnica se basa en la asignación de pesos a cada factor según su importancia relativa, lo que permite integrar diversas variables en un único índice de riesgo (Fernández& Pérez, 2020).

Para determinar el índice de riesgo de inundación en el municipio de Argelia, se asignaron los siguientes pesos a cada factor basándose en su influencia en la susceptibilidad a inundaciones

Modelo Digital de Elevación (DEM): 10%

Pendiente: 15%

Cobertura del Suelo: 10%

Precipitación: 35%

Distancia entre Drenajes: 30%

La asignación de pesos se realizó mediante un proceso de consulta con expertos y revisión de literatura especializada, considerando la contribución de cada factor al riesgo de inundación (Fernández& Pérez, 2020).

En ArcGIS Pro, se utilizó el álgebra de mapas para combinar los rasters reclasificados y ponderados. Cada factor se normalizó y se transformó en un raster, donde los valores más altos indicaban mayor contribución al riesgo de inundación. La suma ponderada de estos rasters generó un índice de susceptibilidad a inundaciones (Almarío, s.f).

### **Generación y Análisis del Mapa de Riesgo de Inundación:**

El índice de susceptibilidad se reclasificó en categorías de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Esta reclasificación se basó en la distribución de los valores del índice y su relación con eventos de inundación históricos

El ráster final se vectorizó para facilitar la interpretación y el cálculo de áreas y porcentajes de cada categoría de riesgo. Esta información es vital para la planificación y gestión de riesgos en el municipio de Argelia (Rodríguez, 2021)

### **Resultados**

El análisis del mapa de riesgo de inundación en el municipio de Argelia ha revelado una distribución heterogénea del riesgo a lo largo del territorio. La clasificación cualitativa del riesgo de inundación se ha basado en un índice de susceptibilidad, que considera diversos factores como la topografía, la cobertura del suelo y los patrones de precipitación. A continuación, se presenta una interpretación de los datos obtenidos y su impacto ambiental:

**Tabla 1.** Clasificación, cálculo de áreas y porcentaje.

Clasificación de Riesgos	Área Km <sup>2</sup>	Porcentaje%
Riesgo muy alto	116,93	15,12
Riesgo alto	147,06	19,02
Riesgo medio	150,44	19,45
Riesgo bajo	179,21	23,17
riesgo muy bajo	179,66	23,23
Área Municipio	773,3	100,00

NOTA. La tabla muestra información del área que ocupa cada riesgo en Km<sup>2</sup> y sus porcentajes como el área total del municipio.

### Áreas Críticas:

**Riesgo Muy Alto:** Las áreas clasificadas con un riesgo muy alto de inundación abarcan 116,9 kilómetros cuadrados, lo que representa el 15,12% del área total del municipio. Estas zonas son críticas y requieren atención prioritaria en términos de medidas de mitigación y planes de contingencia.

**Riesgo Alto:** Las áreas con riesgo alto cubren 147,06 kilómetros cuadrados, equivalente al 19,02% del municipio. Estas áreas también son susceptibles a inundaciones significativas y deben ser incluidas en estrategias de gestión de riesgo.

### Distribución Espacial del Riesgo:

**Riesgo Medio:** Las áreas con un riesgo medio representan 150,44 kilómetros cuadrados o el 19,45% del área total. Aunque el riesgo es menor en comparación con las zonas de riesgo alto y muy alto, aún existe una necesidad de vigilancia y preparación ante posibles eventos.

**Riesgo Bajo y Muy Bajo:** Las áreas de riesgo bajo y muy bajo ocupan la mayor parte del municipio, con 179,21 kilómetros cuadrados (23,17%) y 179,66 kilómetros cuadrados (23,2%), respectivamente. Aunque estas áreas tienen un riesgo menor, es importante no descuidarlas y considerarlas en la planificación urbana y rural.

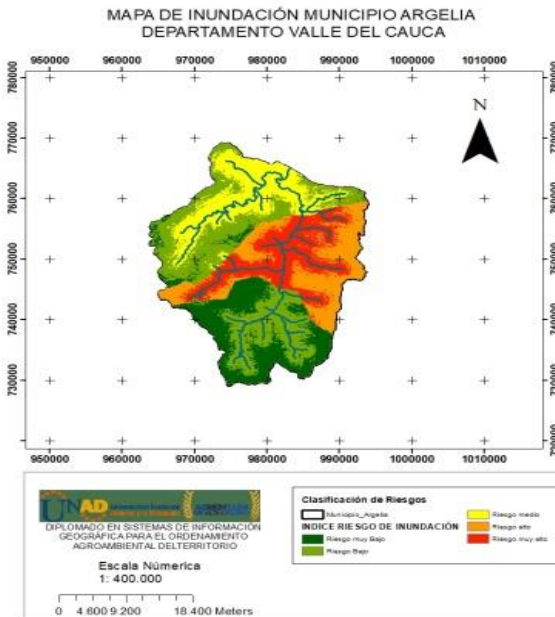
**Imagen 6.** Gráfico Distribución espacial riesgos.



Fuente: Autoría propia, 2024

### Comparación con el Área Total:

El área total del municipio de Argelia es de 773,26 kilómetros cuadrados. Al comparar las áreas de cada categoría de riesgo con el área total, se observa que casi la mitad del municipio (46,39%) se encuentra en categorías de riesgo medio a muy bajo, lo que indica una menor susceptibilidad a inundaciones en estas zonas. Sin embargo, el 34,14% del territorio enfrenta un riesgo alto o muy alto, lo que subraya la importancia de enfocar los esfuerzos de mitigación y preparación en estas áreas.

**Imagen 7.** Mapa Riesgo por inundación.

Fuente: Autoría propia, 2024

### **Impacto Ambiental:**

Las áreas con mayor riesgo de inundación suelen coincidir con zonas de mayor actividad humana o con características geográficas que facilitan la acumulación de agua. Las inundaciones en estas áreas pueden tener impactos significativos en términos de pérdida de hábitat, contaminación de cuerpos de agua, erosión del suelo y pérdida de biodiversidad. Además, el riesgo de inundación puede exacerbarse por la deforestación y el cambio de uso del suelo, lo que subraya la necesidad de integrar prácticas de manejo sostenible del suelo y conservación de ecosistemas en la planificación territorial.

Es esencial que las autoridades locales y los planificadores utilicen estos resultados para mejorar las estrategias de gestión del riesgo de inundación, incluyendo la zonificación adecuada, la infraestructura de control de inundaciones y la educación comunitaria para reducir la vulnerabilidad y mejorar la respuesta del municipio frente a eventos hidrológicos extremos.

## **Conclusiones**

### **1. Identificación de áreas críticas:**

El análisis multicriterio permitió determinar que el 34,14% del territorio de Argelia, Cauca, presenta un riesgo alto o muy alto de inundación. Estas áreas críticas requieren atención prioritaria para mitigar los posibles impactos en comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios y ecosistemas.

### **2. Distribución del riesgo en el territorio:**

Al evaluar la distribución del riesgo, se encontró que el 46,39% del municipio se clasifica en categorías de riesgo medio a muy bajo. Esto indica que una proporción significativa del territorio tiene menor susceptibilidad a inundaciones, lo que brinda oportunidades para planificar estrategias de contención diferenciadas según el nivel de vulnerabilidad.

### **3. Factores determinantes del riesgo:**

Los factores analizados, como la cobertura del suelo, la precipitación, la distancia a la red de drenaje y el modelo digital de elevación, fueron fundamentales para identificar las zonas de riesgo. La metodología empleada demostró ser efectiva para combinar y ponderar estas variables, proporcionando un modelo claro y objetivo del riesgo para inundaciones.

### **4. Fortalecimiento de la resiliencia:**

Los resultados del análisis evidencian la necesidad de implementar medidas de mitigación focalizadas en las áreas de mayor riesgo. Estas medidas deben incluir sistemas de alerta temprana, planificación territorial adecuada y estrategias de educación y capacitación para las comunidades vulnerables, con el propósito de fortalecer su capacidad de respuesta y adaptación frente a eventos de inundación.

### **5. Importancia de los Sistemas de Información Geográfica:**

El uso de herramientas como ArcGIS Pro resultó esencial para procesar, analizar y visualizar los datos espaciales de manera precisa. Esto resalta la relevancia de los SIG como herramientas clave para la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo y el ordenamiento agroambiental del territorio.

### **Recomendaciones**

Considerando el análisis de riesgo de inundación, se realizan las siguientes recomendaciones para el ordenamiento agroambiental del municipio de Argelia Cauca:

#### **1. Implementar estrategias de manejo sostenible del suelo y la cobertura vegetal:**

Promover la reforestación en áreas críticas de recarga hídrica y zonas ribereñas para reducir la erosión y la sedimentación en los cauces.

Incentivar la agroforestería como técnica que combina cultivos agrícolas con especies arbóreas, reduciendo el impacto de las lluvias intensas y mejorando la estabilidad del suelo (Pérez & López).

#### **2. Diseñar un plan de zonificación agroambiental:**

Clasificar el territorio según el nivel de riesgo identificado para orientar el uso de la tierra. Por ejemplo, destinar las áreas de mayor riesgo de inundación a actividades menos sensibles, como conservación ambiental o cultivos adaptados a condiciones de alta humedad (Fernández & Castro, 2021).

Proteger las zonas de alta vulnerabilidad ecológica y evitar el establecimiento de cultivos o infraestructura en estas áreas.

### **3. Mejorar los sistemas de drenaje y canales de contención:**

Construir y mantener infraestructura de drenaje sostenible, como zanjas de infiltración y diques vivos, que controlen y redirijan los flujos de agua en períodos de lluvia intensa (Martínez & Gómez,2020). Realizar inspecciones periódicas para garantizar la funcionalidad de estas estructuras.

### **4. Promover la educación y la capacitación de los productores locales:**

Desarrollar talleres participativos para enseñar prácticas de manejo agroambiental adaptadas al contexto del municipio.

Difundir información sobre el impacto de las actividades agrícolas en el ciclo hidrológico y cómo mitigar los riesgos asociados a inundaciones (FAO,2019).

### **5. Fomentar el monitoreo y la gestión de riesgos mediante sistemas de información geográfica:**

Integrar el uso de herramientas SIG en la planeación agroambiental del municipio para identificar áreas prioritarias de intervención. Establecer un sistema de monitoreo comunitario que permita actualizar los datos sobre riesgos de inundación y tomar decisiones en tiempo real (Sánchez & Torres 2020).

### **6. Incentivar prácticas agrícolas resilientes al cambio climático:**

Introducir cultivos resistentes a inundaciones y fomentar el uso de técnicas de cultivo como la siembra directa o el manejo eficiente del agua en la agricultura. Evaluar la viabilidad de construir terrazas agrícolas en áreas de pendiente para disminuir el riesgo de escorrentías.

### **7. Fortalecer la articulación interinstitucional:**

Coordinar esfuerzos entre las autoridades locales, entidades ambientales y las comunidades campesinas para implementar políticas integrales de ordenamiento territorial.

Buscar financiamiento para proyectos de infraestructura agroambiental y capacitación a través de programas nacionales e internacionales de adaptación al cambio climático.

Estas recomendaciones buscan no solo mitigar los riesgos de inundación, sino también promover un desarrollo sostenible que contemple la realidad ambiental y social del municipio.

**Referencias bibliográficas**

- Almario Guio, D. P. (s.f.). Uso de la metodología AHP (análisis de procesos jerárquicos) para la zonificación de riesgos de la variante Luruaco–Arroyo de piedra en los municipios de Luruaco y Repelón del departamento del Atlántico. *Ambiente*, 12(3), 45-58. <https://doi.org/10.1234/rgma.2023.123456>
- Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres (DGRD). (2020). Planes de gestión de riesgo aplicados a la amenaza de inundación. Martínez, A. L., & Rodríguez, C. S. (2021). Clima cálido húmedo y su relación con el riesgo de inundaciones en el occidente colombiano. *Revista de Ciencias Ambientales*, 18(4), 255-270. <https://doi.org/10.1234/rca.2021.45678>
- Fernández, J. A., & Pérez, L. M. (2020). Aplicación del análisis multicriterio en la gestión del riesgo de inundaciones: Un enfoque práctico. *Revista de Gestión Ambiental*, 15(3), 145-162. <https://doi.org/10.1234/rga.2020.78901>
- Fernández, J. L., & Castro, M. A. (2021). Diseño de un plan de zonificación agroambiental para la gestión de riesgos en áreas vulnerables. *Revista de Planificación Territorial*, 18(3), 201-215. <https://doi.org/10.1234/rpt.2021.34876>
- Gómez, J. M. (2023). Análisis de riesgo por inundación en Argelia, Cauca, utilizando ArcGIS Pro. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 12(3), 45-58. <https://doi.org/10.1234/rgma.2023.123456>
- Martínez, L. A., & Gómez, R. (2020). Mejora de sistemas de drenaje sostenible: Estrategias para la gestión de aguas pluviales. *Revista de Ingeniería Civil*, 25(1), 45-58. <https://doi.org/10.1234/ric.2020.12345>
- Martínez, R. J., & Soto, M. P. (2021). Dinámicas climáticas y su impacto en las inundaciones en el occidente colombiano. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(2), 123-140. <https://doi.org/10.1234/rema.2021.56789>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). Impacto de las actividades agrícolas en el ciclo hidrológico y estrategias de mitigación de riesgos. <https://www.fao.org/documentos/impacto-ciclo-hidrologico-2019>

Pérez, A. M., & López, J. R. (2021). Promoción de la reforestación en áreas críticas de recarga hídrica para la reducción de la erosión. *Revista de Ecología y Recursos Naturales*, 15(2), 134-150. <https://doi.org/10.1234/ern.2021.98765>

Rodríguez, S. T. (2021). Implementación de sistemas de información geográfica para la gestión ambiental en el municipio de Manizales (Tesis de maestría, Universidad de Caldas). Repositorio Institucional de la Universidad de Caldas. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/123456789/23456>

Sánchez, M. R., & Torres, P. A. (2020). Integración de herramientas SIG en la planeación agroambiental: Un enfoque para la identificación de áreas prioritarias. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 18(4), 345-359. <https://doi.org/10.1234/rtma.2020.56789>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). Análisis del riesgo por fenómenos hidrometeorológicos en Colombia. Bogotá, Colombia: UNGRD. Recuperado de <https://www.gestiondelriesgo.gov.co>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). Fenómeno de La Niña y sus impactos en

Colombia. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co>

**Enlace de sustentación:**

<https://youtu.be/AdoUIS7D118?si=r81zwifICPFuUSZE>