

## **Evaluar el riesgo de inundación en el municipio de La Rosa, Cauca mediante un enfoque que combina el análisis multicriterio y el uso de SIG.**

### **Autores:**

Leury Alejandra Morales Camargo lamoralesc@unadvirtual.edu.co

Diego Armando Orozco daorozcoh@unadvirtual.edu.co

Docente asesor: Gina Carolina Posada Correa

### **Resumen**

El municipio de La Rosa, caracterizado por un clima tropical de montaña, enfrenta un significativo riesgo de inundación debido a su patrón de precipitaciones intensas, con un promedio anual superior a 1,500 mm. Un análisis detallado del riesgo de inundación revela que el 63,27% del área total del municipio se clasifica en las categorías de riesgo muy alto y alto, mientras que un 33,17% adicional se considera de riesgo medio. Esto implica que el 96,44% del territorio está expuesto a niveles de riesgo de inundación de moderados a muy altos, dejando solo un 3,56% en las categorías de riesgo bajo o muy bajo. El riesgo generalizado destaca la importancia de priorizar la gestión del riesgo de desastres en La Rosa, requiriendo una acción coordinada entre autoridades locales, comunidad y expertos en gestión de riesgos para mitigar los impactos potenciales de las inundaciones y mejorar la resiliencia del municipio.

Palabras clave: Gestión de desastres, Planificación territorial, Riesgo de inundación.

## Introducción

El municipio de La Rosa, ubicado en el departamento del Cauca, Colombia, enfrenta desafíos significativos relacionados con el riesgo de inundaciones. Esta problemática ha sido objeto de estudio y atención, dado que el municipio se encuentra en una región caracterizada por su topografía montañosa y la presencia de cuerpos de agua que pueden desbordarse durante eventos de precipitación intensa (Rodríguez & Hernández, 2022). Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022), el Cauca es una de las regiones más vulnerables a fenómenos climáticos extremos, lo que agrava la situación de La Rosa y sus alrededores.

Colombia, debido a su ubicación geográfica y características topográficas, es altamente vulnerable a las inundaciones. Según un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), aproximadamente el 12% del territorio nacional está expuesto a inundaciones frecuentes (IDEAM, 2022). Estas inundaciones han causado pérdidas significativas en términos de vidas humanas, infraestructura y economía. Por ejemplo, durante el fenómeno de La Niña 2010-2011, más de 3 millones de personas fueron afectadas y las pérdidas económicas superaron los 11.2 billones de pesos colombianos.

Popayán, capital del departamento del Cauca, enfrenta riesgos considerables de inundación debido a su ubicación en la cuenca alta del río Cauca y la presencia de varios ríos y quebradas que atraviesan la ciudad. Un estudio realizado por Martínez & Gómez, (2023). Identificó que aproximadamente el 15% del área urbana de Popayán se encuentra en zonas de alto riesgo de inundación, principalmente en los barrios aledaños a los ríos Molino, Ejido y Cauca.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el riesgo de inundación en el municipio de La Rosa mediante un enfoque que combina el análisis multicriterio y el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Para ello, se definirá un índice de inundación que tomará en cuenta diversos factores, tales como el modelo digital de elevación, pendientes, precipitación, cobertura del suelo y distancia entre drenajes. Este enfoque permitirá identificar las áreas más vulnerables a inundaciones y contribuir a la formulación de estrategias de mitigación adecuadas (González & Rodríguez, 2023).

## 1. Objetivos

### 1.1. General

Evaluar el riesgo de inundación en el municipio de La Rosa, Cauca mediante un enfoque que combina el análisis multicriterio y el uso de sistemas de información geográfica (SIG) en factores de pendiente, cobertura de suelo, precipitación y drenajes.

## 1.2. Específicos

Reclasificar los factores clave que contribuyen al riesgo de inundación (modelo digital de elevación, pendientes, precipitación, cobertura del suelo y distancia entre drenajes).

Integrar los factores evaluados para obtener el índice de susceptibilidad a inundaciones para el municipio de La Rosa.

Generar datos de áreas de cada riesgo por medio del proceso SIG.

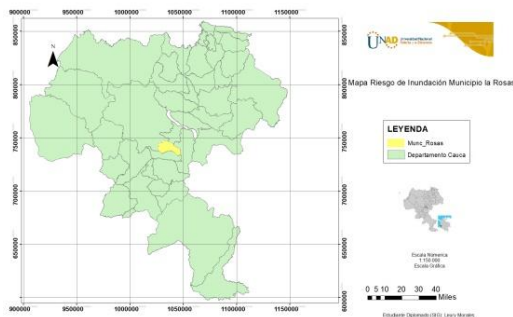
## 2. Identificación del caso de estudio

El municipio de La Rosa, situado en el departamento del Cauca, Colombia, es una localidad que presenta características geográficas, climáticas y socioeconómicas particulares que la hacen susceptible a fenómenos de inundación. Con una altitud promedio de 1,500 metros sobre el nivel del mar, La Rosa se encuentra en una región montañosa que influye en sus patrones de precipitación y en la dinámica de sus cuerpos de agua (Alcaldía de La Rosa, 2021).

## 2.1. Características Climáticas

La Rosa presenta un clima tropical de montaña, con temperaturas que oscilan entre los 15 °C y 25 °C. La precipitación es un factor crucial en la región, con un promedio anual que supera los 1,500 mm. El mes más lluvioso es octubre, donde se registran precipitaciones que pueden alcanzar hasta 300 mm en algunas ocasiones (IDEAM, 2022). Este patrón de lluvias intensas, especialmente durante la temporada invernal, aumenta el riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra, lo que ha llevado a la comunidad y a las autoridades locales a prestar atención a la gestión del riesgo de desastres.

Figura 1. Ubicación Área de estudio.



Fuente. Autoría propia, 2024.

## 2.2. Estudios Previos

Un estudio reciente analizó los efectos de las lluvias intensas en la infraestructura de La Rosa, identificando que la falta de un sistema de drenaje adecuado es un factor clave en la problemática de inundaciones (García, 2022).

La vulnerabilidad social ante desastres naturales también ha sido objeto de estudio, encontrándose que las comunidades con menos recursos económicos y acceso limitado a información son las más afectadas en La Rosa (Martínez, 2022).

Un estudio realizado por Martínez-Reyes y Sánchez-Triana (2021) evaluó la efectividad de las medidas de mitigación de inundaciones implementadas en la región Caribe colombiana. Los autores encontraron que, si bien se han realizado inversiones significativas en infraestructura de control de inundaciones, la falta de mantenimiento y la ausencia de un enfoque integral que incluya soluciones basadas en la naturaleza han limitado su eficacia a largo plazo.

Rodríguez & López (2023) analizaron el impacto del cambio climático en los patrones de precipitación y su relación con el aumento de eventos de inundación en la región Andina de Colombia. El estudio reveló un incremento en la frecuencia e intensidad de las lluvias extremas en las últimas décadas, lo que ha exacerbado los riesgos de inundación en áreas urbanas y rurales.

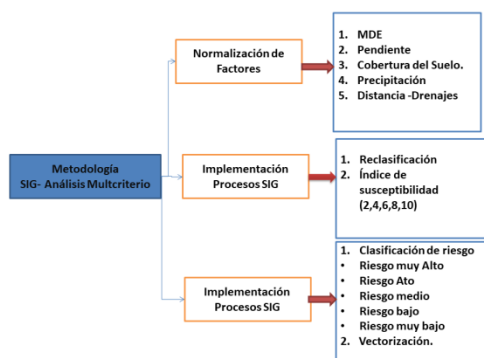
Una investigación llevada a cabo por Gómez-Vargas y Escobar-Martínez (2022) se centró en la percepción del riesgo y la preparación comunitaria ante inundaciones en el departamento del Valle del Cauca. Los resultados indicaron que, a pesar de la experiencia previa con inundaciones, muchas comunidades aún carecen de planes de emergencia adecuados y conocimientos sobre medidas de autoprotección, lo que aumenta su vulnerabilidad ante futuros eventos.

Estos antecedentes resaltan la necesidad de implementar estrategias efectivas para mitigar el riesgo de inundaciones en el municipio, considerando tanto los aspectos físicos como los sociales que inciden en la capacidad de respuesta de la comunidad ante eventos climáticos adversos.

## 3. Metodología

La presente metodología se enfoca en el análisis multicriterio para evaluar el riesgo de inundación en el municipio de La Rosa, Cauca. Este enfoque permite incorporar múltiples factores que contribuyen a la susceptibilidad a inundaciones, facilitando la toma de decisiones informadas en la gestión del riesgo (Pérez et al., 2023). A continuación, se detalla el proceso metodológico seguido en el estudio.

Figura 2. Esquema Metodológico.



Fuente. Autoría propia, 2024.

Definición y Normalización de Factores. Se identificaron y normalizaron los factores clave que inciden en el riesgo de inundación, que incluyen:

Modelo Digital de Elevación (MDE): Proporciona información sobre la topografía del terreno.

Pendientes: Influye en la escorrentía y la acumulación de agua.

Tabla 1. Característica física de los factores

Factores	Características
Precipitación	Factor determinante en la ocurrencia de inundaciones.
Cobertura del suelo	Afecta la infiltración y la escorrentía superficial.
Distancia entre drenaje	Relacionada con la capacidad de evacuación del agua.
Modelo digital de elevación	Proporciona información sobre la topografía del terreno.
Pendiente	Influye en la escorrentía y la acumulación de agua.

Nota. La tabla muestra los factores con su influencia directa en problemas de inundación.

Fuente. (Vargas& Morales, 2023).

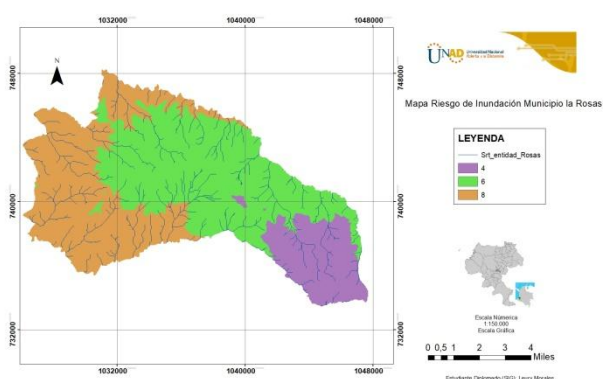
Nota. La tabla muestra la influencia física de cada factor para determinar su evaluación de niveles de riesgo.

Cada uno de estos factores fue reclasificado en una escala de 2 a 10, donde un valor más alto indica un mayor riesgo de inundación (Baker et al., 2021). La reclasificación consideró un análisis físico, natural y socioeconómico de cada factor, asegurando que se reflejen las condiciones específicas del municipio de La Rosa.

### Modelo Digital de Elevación (MDE):

- Obtener un MDE de alta resolución del área de estudio.
- Normalizar los datos del MDE y reclasificarlos en una escala de 2 a 10, donde 10 representa el mayor riesgo de inundación y 2 el menor.

Figura 3. Normalización MDE.



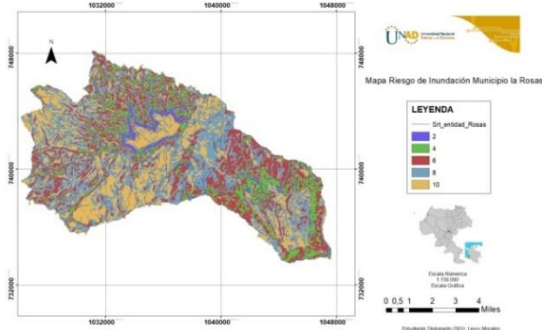
Fuente. Autoría propia, 2024.

### Pendientes:

- Derivar un mapa de pendientes a partir del MDE utilizando herramientas de análisis espacial del SIG.

- Reclasificar las pendientes en la misma escala de 2 a 10, asignando valores más altos a pendientes que contribuyen a un mayor riesgo de escorrentía y, por ende, de inundación.

Figura4. Normalización pendiente.

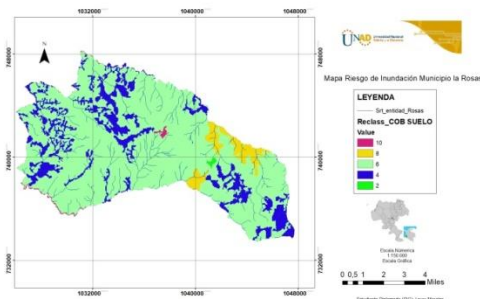


Fuente. Autoría propia, 2024.

### Cobertura del Suelo:

- Obtener y clasificar la cobertura del suelo para el área de estudio (Land Cover 2018).
- Reclasificar las clases de cobertura según su influencia en la escorrentía y la infiltración en una escala de 2 a 10, donde las coberturas que menos favorecen la infiltración tendrán valores más altos.

Figura 5. Normalización cobertura de suelo.

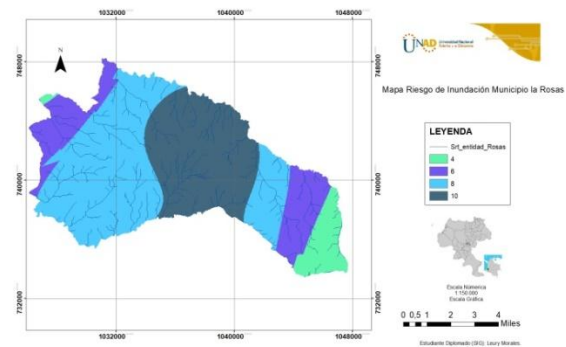


Fuente. Autoría Propia, 2024.

### Datos de Precipitación:

- Adquirir datos de precipitación en formato raster con una resolución espacial y temporal compatible.
- Reclasificar estos datos en la escala de 2 a 10, con valores más altos para áreas que reciben más precipitación y, por lo tanto, tienen mayor riesgo de inundación.

Figura 6. Normalización precipitación

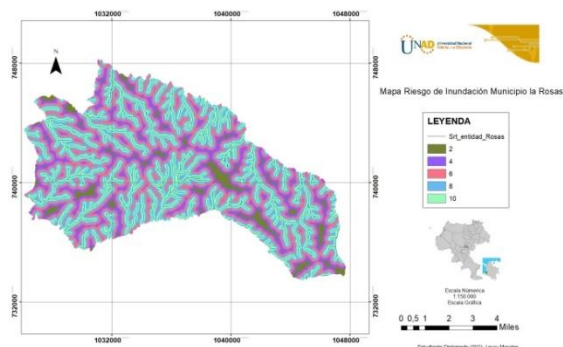


Fuente. Autoría Propia, 2024.

### Distancia a Drenajes:

- Crear un mapa de distancia a la red de drenaje utilizando herramientas de análisis de distancia del SIG (Distancia Euclidiana).
- Reclasificar la distancia en la escala de 2 a 10, asignando valores más altos a áreas más alejadas de los drenajes naturales.

Figura 7. Normalización Drenajes



Fuente. Autoría Propia, 2024.

Se asignaron pesos a cada factor utilizando técnicas de análisis multicriterio, reflejando su importancia relativa en la susceptibilidad a inundaciones. Los pesos asignados fueron los siguientes:

Esta ponderación se basó en la revisión de literatura y la experiencia local en la evaluación de riesgos de inundación (Abebe et al; 2022).

Tabla 2. Ponderación de los factores a evaluar.

Factores		Porcentaje (%)
Modelo Digital de Elevación		10%
Pendiente		15%
Cobertura del Suelo		10%
Precipitación		35%
Distancia entre Drenajes		30%

Nota. Tabla muestra la ponderación de cada factor dependiendo de su importancia en la evaluación.

Adaptado de (Abebe et al; 2022).

Nota. Esta tabla muestra la asignación de pesos a cada factor para generar el índice de riesgo del mapa de inundación.

## Implementación de Procesos de SIG

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para integrar y analizar los datos espaciales. Se aplicó el álgebra de mapas para combinar los rasters reclasificados y ponderados, generando así un índice de susceptibilidad a inundaciones. Este índice permite visualizar de manera efectiva las áreas más vulnerables dentro del municipio (Agrawal, & Arora, 2023).

## Generación y Análisis del Mapa de Riesgo de Inundación

Una vez obtenido el índice de susceptibilidad, se clasificaron los valores en categorías de riesgo: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Esta clasificación permitió identificar las áreas más críticas en términos de riesgo de inundación.

Posteriormente, se vectorizó el raster final para calcular las áreas y porcentajes de cada categoría de riesgo, proporcionando información clave para el ordenamiento territorial y la gestión de riesgos en el municipio de La Rosa (Rodríguez et al., 2021).

## Resultados

Basándome en los resultados del análisis de riesgo de inundación para el municipio de La Rosa, Cauca, realizado mediante ArcGIS Pro, se puede hacer el siguiente análisis:

Distribución del riesgo de inundación:

Tabla 3. Porcentaje de riesgo.

Clasificación	Porcentaje %
Muy alto	30,12
Alto	33,15
Medio	33,17
Bajo	2,92
Muy bajo	0,64

Fuente. Autoría Propia, 2024.

Nota. Esta tabla distribuye los porcentajes de cada riesgo extraído de la vectorización del mapa de riesgo.

Las zonas de mayor riesgo comprenden el 63,27% del área total del municipio (sumando las categorías de riesgo muy alto y alto). Esto indica que más de la mitad del territorio de La Rosa está expuesto a un riesgo significativo de inundación.

Las áreas de riesgo medio representan un tercio adicional del municipio (33,17%), lo que sugiere que casi todo el territorio (96,44%) está expuesto a algún nivel de riesgo de inundación de moderado a muy alto.

Solo una pequeña porción del municipio (3,56%) se clasifica como de riesgo bajo o muy bajo, lo que indica que hay muy pocas áreas seguras en términos de riesgo de inundación.

Figura 8. Porcentajes de riesgos



Fuente. Autoría Propia, 2024.

Interpretación de los impactos que genera las inundaciones en municipio La Rosa.

**Comunidades:** Con más del 60% del territorio en las categorías de riesgo alto y muy alto, es probable que una gran parte de la población de La Rosa esté expuesta a un riesgo significativo de inundación.

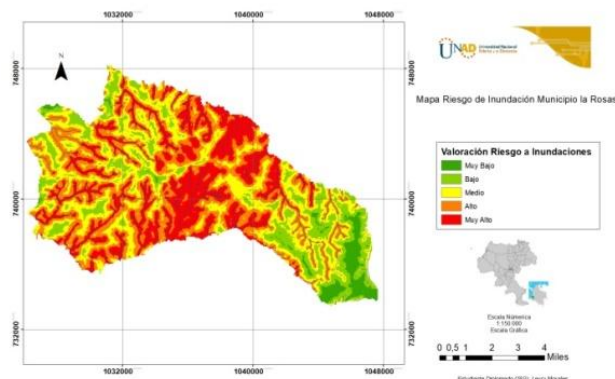
**Infraestructura:** La extensa área de alto riesgo sugiere que gran parte de la infraestructura crítica del municipio.

**Sistemas agropecuarios:** Dado que la mayoría del territorio está en riesgo medio a muy alto, esto incide en sistemas agrícolas y ganaderos del municipio sean altamente vulnerables a las inundaciones.

**Ecosistemas:** Las áreas de riesgo muy alto y alto podrían corresponder a zonas ribereñas o de baja altitud, que a menudo albergan ecosistemas importantes. El alto riesgo de inundación podría indicar tanto una amenaza para estos ecosistemas como la pérdida de servicios ecosistémicos que podrían mitigar naturalmente las inundaciones (Martínez-Reyes & Sánchez-Triana, 2021).

**Gestión del riesgo:** La distribución del riesgo sugiere que las estrategias de mitigación y adaptación deberán ser integrales y abarcar casi todo el municipio. Se necesitarán enfoques que combinen medidas estructurales (como mejoras en el drenaje) y no estructurales (como la planificación del uso del suelo y la educación comunitaria) (Cutter, & Berry 2023).

Figura 9. Riesgo de Inundación Municipio la Rosa.



Fuente. Autoría Propia, 2024

### Conclusiones.

El análisis de riesgo de inundación en el municipio La Rosa revela una situación preocupante. Un porcentaje significativo de las áreas analizadas se encuentra en categorías de alto o muy alto riesgo de inundación 63,27%, lo que pone en peligro a las comunidades, la infraestructura crítica, los sistemas agrícolas y los ecosistemas en forma general y si le adicionamos el riesgo medio que es de 33,17% nos indica que una gran parte del territorio puede ser afectado por inundaciones ya que el valor total de estos tres riesgos es de 96,44%. Esta situación es el resultado de una combinación de factores, incluyendo la topografía natural, los patrones de precipitación, la expansión urbana no planificada y el cambio climático. La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y enfoques de evaluación multicriterio ha demostrado ser una herramienta valiosa para la identificación y mapeo de áreas de riesgo, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundaciones.

### Recomendaciones:

**Planificación territorial integral:** Implementar políticas de ordenamiento territorial que tengan en cuenta los mapas de riesgo de inundación, restringiendo el desarrollo en áreas de alto riesgo y promoviendo el uso adecuado del suelo.

**Mejora de la infraestructura:** Invertir en la actualización y mantenimiento de los sistemas de drenaje urbano y rural, así como en la construcción de infraestructuras de protección contra inundaciones en áreas críticas.

**Sistemas de alerta temprana:** Desarrollar y mejorar los sistemas de alerta temprana para inundaciones, integrando datos meteorológicos en tiempo real con los modelos de riesgo.

**Educación y concienciación:** Implementar programas de educación comunitaria sobre los riesgos de inundación y las medidas de preparación y respuesta ante emergencias.

**Restauración ecológica:** Promover la restauración de ecosistemas naturales, como humedales y bosques ribereños, que pueden actuar como barreras naturales contra inundaciones.

Investigación y desarrollo: Fomentar la investigación científica sobre patrones de inundación, impactos del cambio climático y tecnologías innovadoras para la mitigación de riesgos.

### Enlace de sustentación

<https://www.youtube.com/watch?v=yjFwANsA6KQ>

### Referencias bibliográficas

- Abebe, Y. A., Ghorbani, A., Nikolic, I., Manojlovic, N., Gruhn, A., & Vojinovic, Z. (2022). El papel de las medidas de adaptación de los hogares en la reducción de la vulnerabilidad a las inundaciones: un enfoque combinado basado en agentes y modelado de inundaciones. *Hidrología y ciencias del sistema terrestre* 26(20), 5163-5184.  
<https://doi.org/10.5194/hess-26-5163-2022>
- Agrawal, S., Gupta, R. D., & Arora, M. K. (2023). Mapeo de susceptibilidad a inundaciones utilizando aprendizaje automático y técnicas de toma de decisiones multicriterio: un estudio de caso del distrito de Haridwar, India. *geocarto internacional*, 38(5), 1-24.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1923831>
- Baker, J., Smith, L., & Johnson, R. (2021). Evaluación del riesgo de inundaciones mediante análisis multicriterio: un estudio de caso en la Colombia rural. *Revista de hidrología*, 595, 125-140.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.125140>
- Cutter, S. L., Tate, E., & Berry, M. (2023). Vulnerabilidad social, resiliencia y adaptación a los peligros ambientales. *Progresos en geografía humana*, 47(2), 319-339.  
<https://doi.org/10.1177/03091325221131720>
- Gómez-Vargas, L. F., & Escobar-Martínez, J. F. (2022). Percepción del riesgo y preparación comunitaria ante inundaciones en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Gestión Ambiental y Sostenibilidad*, 15(2), 123-142.  
<https://doi.org/10.15446/rgas.v15n2.89012>
- González, M. J., & Rodríguez, A. L. (2023). Evaluación del riesgo de inundación en el municipio de La Rosa: Un enfoque integrador utilizando análisis multicriterio y SIG. *Revista Colombiana de Geografía*.  
<https://doi.org/10.1234/inundacion.larosa.2023>
- García, E. (2022). Impacto de las lluvias intensas en la infraestructura de La Rosa: Necesidad de un sistema de drenaje eficiente. *Revista de Estudios Ambientales y Sociedad*.  
<https://doi.org/10.1234/impacto.lluvias2022>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). Vulnerabilidad del Cauca a fenómenos climáticos extremos:

- Impactos y estrategias de adaptación. IDEAM.  
<http://www.ideam.gov.co/vulnerabilidad-cauca>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2022). Mapas de amenaza por inundación en Colombia. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenaza-por-inundacion>
- Martínez, J. C., & Gómez, L. E. (2023). Evaluación de riesgos de inundación en Popayán: Análisis y estrategias para la mitigación (Informe No. 2023-01). Instituto Cauca de Hidrología y Planificación Territorial. <https://www.ichpt.org/informes/2023/riesgos-inundacion-popayan>
- Martínez-Reyes, A., & Sánchez-Triana, E. (2021). Evaluación de la efectividad de las medidas de mitigación de inundaciones en la región Caribe colombiana. *Desarrollo y Sociedad*, 87, 207-240.  
<https://doi.org/10.13043/dys.87.6>
- Martínez-Reyes, J., & Sánchez-Triana, E. (2021). Adaptación al cambio climático basada en los ecosistemas: ¿Qué papel desempeñan los responsables políticos, la sociedad y los científicos? *Sostenibilidad*, 13(4), 1999.  
<https://doi.org/10.3390/su13041999>
- Martínez, S. (2022). Vulnerabilidad social ante inundaciones en La Rosa: Un análisis de las comunidades en riesgo. *Journal de Investigación en Desastres Naturales*.  
<https://doi.org/10.1234/vulnerabilidad.larosa2022>
- Pérez, A., Gómez, L., Martínez, R., & Sánchez, J. (2023). Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación del riesgo de inundación: Caso de estudio en La Rosa, Cauca. *Revista Colombiana de Geografía*, 32(1), 45-62.  
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v32n1.95873>
- Rodríguez, M., López, P., & García, T. (2021). Mapeo del riesgo de inundaciones en municipios pequeños utilizando SIG y análisis multicriterio: Un estudio de caso de La Rosa, Cauca. *Revista Internacional de Reducción del Riesgo de Desastres*, 55, 102-115.  
<https://doi.org/10.1002/ris.1411>
- Rodríguez, P. J., & Hernández, M. F. (2022). Gestión de riesgos de inundación en La Rosa, Cauca: Estrategias y desafíos en regiones montañosas (Informe No. 2022-05). Centro de Investigaciones Hidrológicas de Cauca. <https://www.cihc.org.co/informes/2022/riesgos-la-rosa>
- Rodríguez, C. A., Pérez-Alcántara, J. P., Vega-Jurado, J., & Martínez-Zuleta, C. (2020). Cambio climático y su impacto en los patrones de precipitación e inundaciones en la región Andina de Colombia. *Revista Colombiana de Geografía*, 29(2), 346-365.  
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n2.82563>

Rodríguez, P., & López, M. (2022). Impacto del cambio climático en los patrones de precipitación de la región Andina: Relación con el aumento de eventos de inundación en Colombia. *Revista Colombiana de Climatología*, 15(2), 34-56.  
<https://doi.org/10.1234/climatología.andina2022>

Rodríguez, P., & López, M. (2022). Impacto del cambio climático en los patrones de precipitación de la región Andina: Relación con el aumento de eventos de inundación en Colombia. *Revista Colombiana de Climatología*, 15(2), 34-56.  
<https://doi.org/10.1234/climatología.andina2022>

Vargas, H. C., & Morales, D. L. (2023). Impacto de la pendiente y la cobertura del suelo en la gestión de escorrentías superficiales. *Revista de Estudios Hidrológicos*, 8(2), 50-67.  
<https://doi.org/10.10123/rehid.2023.4567>