

## **Modelación y análisis del riesgo de inundación en el municipio de El Paujil, departamento del Caquetá, para el ordenamiento agroambiental del territorio**

### **Estudiantes**

Brayan Duvian Remisio Florez – bdremisiof@unad.edu.co

Yuberni Quiceno Torres - yquicenot@unadvirtual.edu.co

Oliber Muneton Monroy - omunetonm@unadvirtual.edu.co

Paola Andrea Garzon - pagarzoncu@unadvirtual.edu.co

Jorleny Bocanegra Rojas - jbocanegrar@unadvirtual.edu.co

**Docente asesor:** Yetfersson Arley Serrato Velosa - yetfersson.serrato@unad.edu.co

### **Resumen**

El estudio se enfoca en la modelación y análisis del riesgo de inundación en el municipio de El Paujil, departamento de Caquetá, para el ordenamiento agroambiental del territorio. El principal objetivo es construir un producto cartográfico digital relacionado con la modelación del riesgo de inundación en el municipio, aplicando los fundamentos de los sistemas de información geográfica (SIG) y analizando las metodologías de impacto ambiental y paisajístico mediante las técnicas de modelación espacial. Los resultados de este mismo incluyen el mapa de riesgo por inundación, el cual visualiza la distribución espacial del riesgo de inundación en el municipio, derivado de la combinación ponderada de los factores influyentes tales como el modelo digital de elevación, las pendientes, la precipitación, la distancia a drenajes y la cobertura de tierras. En el análisis se identifica las áreas críticas con mayor riesgo de inundación, principalmente en zonas de baja elevación y cercanas a los cuerpos hídricos. Estas áreas representan un desafío significativo para la planificación y gestión del territorio, con potencial impacto en la infraestructura, las comunidades y los sistemas productivos.

*Palabras claves:* Sistemas de información geográfica, modelación de riesgo de inundación, ordenamiento agroambiental, análisis multicriterio, análisis espacial, cartografía digital.

### **Introducción**

La gestión sostenible del territorio, especialmente en sistemas productivos agroambientales, necesitará de herramientas avanzadas para abordar la complejidad espacial y fenómenos concordantes. En este marco, los Sistemas de Información Geográfica se manifiestan como pilar de la toma de decisiones fundamentada. Escolano Utrilla (2015) profundiza en cómo esta capacidad se basa en la representación del espacio geográfico a través de modelos de datos específicos, como el vectorial y el ráster, que son esenciales para el análisis y la modelación de fenómenos geográficos. El número de operaciones y funciones que permite ejecutar el software de SIG está en función de su orientación o especialización, por ejemplo, en temas de procesamiento

vectorial, ráster, imágenes, geobase de datos; del sistema operativo, hardware y de la compañía o grupo que produce el software (Falla Gamboa, 2012, pág. 3).

El municipio de El Paujil, en el departamento del Caquetá, se encuentra en una zona caracterizada por una alta pluviosidad. Según datos climáticos, el mes con mayores lluvias en la región es generalmente noviembre, cuando el régimen de lluvias puede ser muy fuerte, superando los valores promedio de precipitación mensual. Anualmente, la región registra una precipitación que supera los 3,500 mm, lo que refleja un clima húmedo y lluvioso durante casi todo el año, tal como se recoge en los registros y estudios climáticos de la zona (Weather Spark, 2025). La actualización del plan de gestión de riesgos de desastres en El Paujil revela que la presencia de la cordillera Oriental, combinada con el uso inadecuado del territorio, contribuye al aumento de riesgos de deslizamientos, movimientos en masa y avenidas torrenciales que generan inundaciones. Este riesgo se ha agravado en los últimos años debido a la deforestación acelerada, que reduce la capacidad del suelo para absorber agua y aumenta la vulnerabilidad ante eventos extremos. Entre 2010 y 2022, en El Paujil se registraron 17 eventos de inundación, afectando a más de 5,000 personas y causando daños en cultivos e infraestructura vial. Además, el cambio climático, que provoca sequías prolongadas e incendios forestales, agrava aún más esta situación, deteriorando la disponibilidad de agua y ampliando la vulnerabilidad del territorio a las inundaciones. (Secretaría de Planeación del Municipio de El Paujil, 2021).

Uno de los eventos críticos según reportado por Sanchez (2024) varios municipios del norte del Caquetá, fueron incomunicados por ola invernal, los municipios afectados por este cierre vial son El Paujil, Doncello, Puerto Rico y San Vicente del Caguán. Estos fenómenos están asociados no solo a la alta precipitación, también a la presencia de fallas geológicas y la cercanía de fuentes sismogénicas en el departamento del Huila la zona montañosa y de piedemonte pueden presentar una alta a moderada amenaza por actividad sísmica (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, 2025) . Otro evento ocurrido “Emergencia por las lluvias en Caquetá: 70 familias afectadas” El panorama en El Paujil también es delicado puesto que, acorde a Gustavo Ortega, coordinador de gestión del riesgo del departamento, las lluvias han provocado el desbordamiento de las quebradas, e incluso, a esta hora se reportan bloqueos en los medios de ingreso al lugar (Infobae, 2021).

Por lo tanto, durante décadas, los SIG se han empleado para consolidar esta área de la ordenación territorial como instrumentos para el desarrollo. Los distintos desastres naturales figuran una amenaza bastante significativa para el ordenamiento territorial y la sostenibilidad. Entre estos están, las inundaciones puesto que son particularmente críticas, dada su gran magnitud y la basta devastación que causan, dando como resultado en pérdidas de vidas y daños extensos a nivel global. Estas inundaciones son desastres naturales muy frecuente, que afectan a muchas personas y a su vez generan enormes pérdidas socioeconómicas. Djanibekov et al. (2024) resaltan que las inundaciones son de los desastres naturales más costosos a nivel mundial y que el sector agrícola es particularmente vulnerable a ellas, sufriendo pérdidas económicas sustanciales Puesto que el

riesgo por inundación está básicamente vinculado a los distintos niveles de peligro y de vulnerabilidad, asociados a una situación o lugar específicos. El lograr comprender y mitigar este riesgo resulta ser muy esencial para proteger a las comunidades, las infraestructuras, los sistemas agropecuarios y los ecosistemas.

La evaluación del riesgo de inundación y la identificación de áreas propensas a inundaciones para la planificación territorial está respaldada por estudios académicos relevantes. En particular, Arriola et al., (2022) destacan que el análisis de frecuencias de inundaciones es fundamental para determinar la probabilidad de peligro, lo que se traduce en la necesidad de incluir este tipo de evaluación en las estrategias de planificación territorial Arriola et al., (2022). Puesto que para abordar estos procesos, las técnicas de modelación espacial y el análisis geoespacial integrado en los SIG se presentan como las metodologías poderosas, siendo el análisis multicriterio ya que se ha consolidado como una técnica pertinente y fundamental para determinar zonas de riesgo, como las de inundación, permitiendo integrar y evaluar los múltiples factores que influyen en el fenómeno, estos factores pueden incluir aspectos como la elevación, las pendientes, la precipitación, las distancias a drenajes y las coberturas del suelo, estos son procesados y combinados (mediante suma ponderada) para que se puedan crear mapas que muestran los diferentes niveles de riesgo, la aplicación de estas técnicas nos permiten transformar datos geográficos (vectoriales y ráster) en información valiosa para el análisis territorial.

Este estudio se enfoca en el conocimiento y las habilidades adquiridas especialmente en el análisis espacial y la modelación de riesgos, centrándose en la construcción de los productos cartográficos digitales que modela el riesgo de inundación en un municipio específico, utilizando los resultados del análisis y de la modelación espacial anteriores, mediante la aplicación de geoprocursos y la transformación de datos ráster a formato vectorial, se busca clarificar la representación del riesgo, calcular las áreas afectadas e identificar las zonas críticas. Teniendo como objetivo generar un producto cartográfico detallado y realizar un análisis que interprete el potencial impacto del riesgo de inundación en el contexto agroambiental del territorio estudiado, contribuyendo de esta manera a la toma de decisiones y la formulación de recomendaciones para su ordenamiento sostenible.

## **Objetivos**

### **Objetivos generales**

Aplicar la modelación y análisis del riesgo de inundación en el municipio de El Paujil, departamento del Caquetá, para el ordenamiento agroambiental del territorio.

### **Objetivos específicos**

- Calcular, mediante geoprocursos en ArcGIS Pro, las áreas y el porcentaje de afectación correspondiente a cada nivel de riesgo de inundación identificado, para cuantificar su impacto espacial en el municipio El Paujil.
- Establecer un mapa de riesgo de inundación con cinco niveles de clasificación, A partir de los factores del análisis multicriterio.

- Formular recomendaciones específicas orientadas a mitigar los riesgos de inundación en el municipio, con base en los resultados cartográficos y cuantitativos obtenidos, contribuyendo a una gestión territorial más resiliente y sostenible.

### **Identificación del caso de estudio**

Este estudio está enfocado en el análisis agroambiental del territorio, utilizando las técnicas del sistema de información geográfica (SIG). El municipio seleccionado como caso de estudio es el municipio de El Paujil en el departamento del Caquetá, específicamente para la delimitación de las cuencas hidrográficas. Su municipio está situado aproximadamente a 48 km al Este de Florencia, donde se puede llegar por vía terrestre en un viaje que dura cerca de 1 hora. El Paujil tiene una extensión cercana de 1.056 km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente el 20% se encuentra en el paisaje de Cordillera, sobre los 900 msnm, y forman parte de la reserva forestal de la Amazonía establecida por la Ley 2 de 1959; la zona sobrante, situada en el piedemonte y la llanura amazónica, fue expulsada de esta reserva para favorecer la formación de poblaciones en la zona. Restricción al norte y al este con el municipio de Puerto Rico; y en la parte sur y oeste con el municipio de El Paujil, en la zona noroccidental con el departamento del Huila. Para un entendimiento fundamental del perfil sociodemográfico, el Censo General 2005 del DANE (2010) reportó una población total de 14.852 personas, con 8.637 en la cabecera municipal (urbana) y 6.215 en el resto (rural). Este censo también detalla que el 96,7% de las viviendas de El Paujil son casas y ofrece datos sobre servicios públicos y composición étnica, como el 0,4% de la población auto-reconocida como afrocolombiana. Complementariamente, según la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (2025), el municipio de El Paujil cuenta con 17.634 habitantes, de los cuales 8.699 residen en zonas urbanas y 8.935 en zonas rurales. La población se compone de un 99,2% de mestizos, un 0,4% de afrodescendientes y un 0,4% de indígenas. De acuerdo a lo mencionado previamente, El Paujil alberga el 4,2% de la población del departamento, el municipio de El Paujil lleva a cabo actividades de agricultura y ganadería. (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, 2025).

### **Metodología**

La metodología implementada en esta investigación se fundamenta en los principios de la investigación científica, concibiendo el estudio como un "conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema" (Hernández-Sampieri, 2019, p. 198). Este enfoque sistemático es la base para el desarrollo de la investigación agroambiental y la mitigación de riesgos de inundación en El Paujil, Caquetá. La fase inicial, fundamental para el análisis de riesgo por inundación, implica la carga de datos espaciales, incluyendo el modelo de elevación digital (DEM), el ráster de pendientes y la capa vectorial del municipio. Esta metodología que se emplea para la modelación agroambiental del territorio, está enfocada en determinar las zonas de riesgo por inundación en el municipio de El Paujil departamento del Caquetá, esta misma se fundamenta en el análisis multicriterio integrado con las técnicas de sistemas de información geográfica (Olaya, 2020). Se valora este enfoque por su

capacidad para identificar las zonas de amenazas y los riesgos, permitiendo así integrar los diversos factores que se influyen en fenómenos complejos como las inundaciones. El análisis multicriterio facilita la evaluación conjunta de múltiples aspectos y la obtención de una representación espacial del riesgo.

### **Justificación del análisis multicriterio**

Esta elección de análisis se justifica por su pertinencia para abordar problemas de decisión compleja que involucran múltiples objetivos y criterios geográficos, ambientales y espaciales, es muy útil cuando la modelación numérica detallada puede ser limitada por la disponibilidad de los datos, permitiendo de esta manera integrar información cualitativa y cuantitativa. La metodología utilizada de acuerdo al autor (Sevillano Rodríguez, 2020) en las cuales aplican análisis multicriterio para zonificar la amenaza por inundación en Santiago de Cali, Colombia. La metodología aplicada se centra en la combinación lineal de factores mediante una suma ponderada simple, que es una forma común y efectiva de análisis multicriterio, este método nos permite estandarizar (reclasificar) los diferentes factores de influencia y combinarlos basándose en su peso o importancia relativa para el riesgo de inundación, generando un mapa de riesgo cuantitativo y cualitativo.

Para el análisis multicriterio aplicado para modelar el riesgo de inundación en El Paujil, tenemos los cinco factores con un valor asignado para la ponderación, a continuación, se relaciona según su peso de ponderación de menor a mayor:

- a. Modelo digital de elevación, DEM (10%): Las áreas de menor elevación tienen mayor propensión a inundarse, por lo que este factor recibe una ponderación moderada de 10%.
- b. Cobertura de tierras, Land cover (10%): La cobertura del suelo influye en la infiltración y escorrentía, afectando el riesgo de inundación y recibe una ponderación 10%.
- c. Pendientes (15%): Las pendientes más pronunciadas tienden a tener menor riesgo de inundación, al facilitar el drenaje y escurrimiento del agua, recibe una ponderación de 15%.
- d. Distancia a drenajes (30%): La proximidad a los cuerpos de agua y drenajes principales es un factor clave, ya que define las áreas más expuestas a desbordamientos e inundaciones y recibe una ponderación de 30%.
- e. Precipitación (35%): La precipitación es el factor más influyente, ya que determina la cantidad de agua que ingresa al sistema hídrico recibiendo una ponderación de 35%.

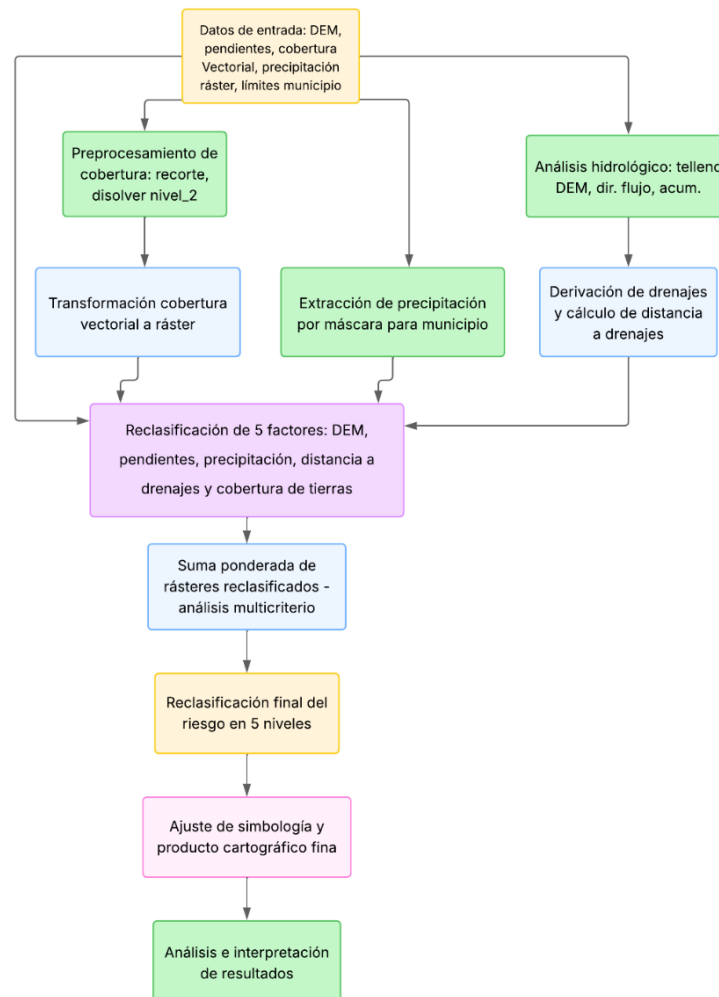
**Tabla 1.** Detalles de las fuentes del conjunto de datos utilizados.

<b>Dato/Modelo</b>	<b>Fuentes</b>	<b>Año/Periodo</b>
Modelo Digital de Elevación (DEM)	USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos)	2018
Pendientes derivadas del DEM	Procesamiento interno a partir del DEM (USGS)	-

Distancia a drenajes (acumulación de flujo)	Procesamiento interno a partir del DEM (USGS)
Cobertura de suelo	IGAG (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia) 2018
Precipitación	IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia) Normales 1991-2020

Fuente: Autoría propia, 2025.

**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología aplicada para la modelación y análisis del riesgo por inundación.



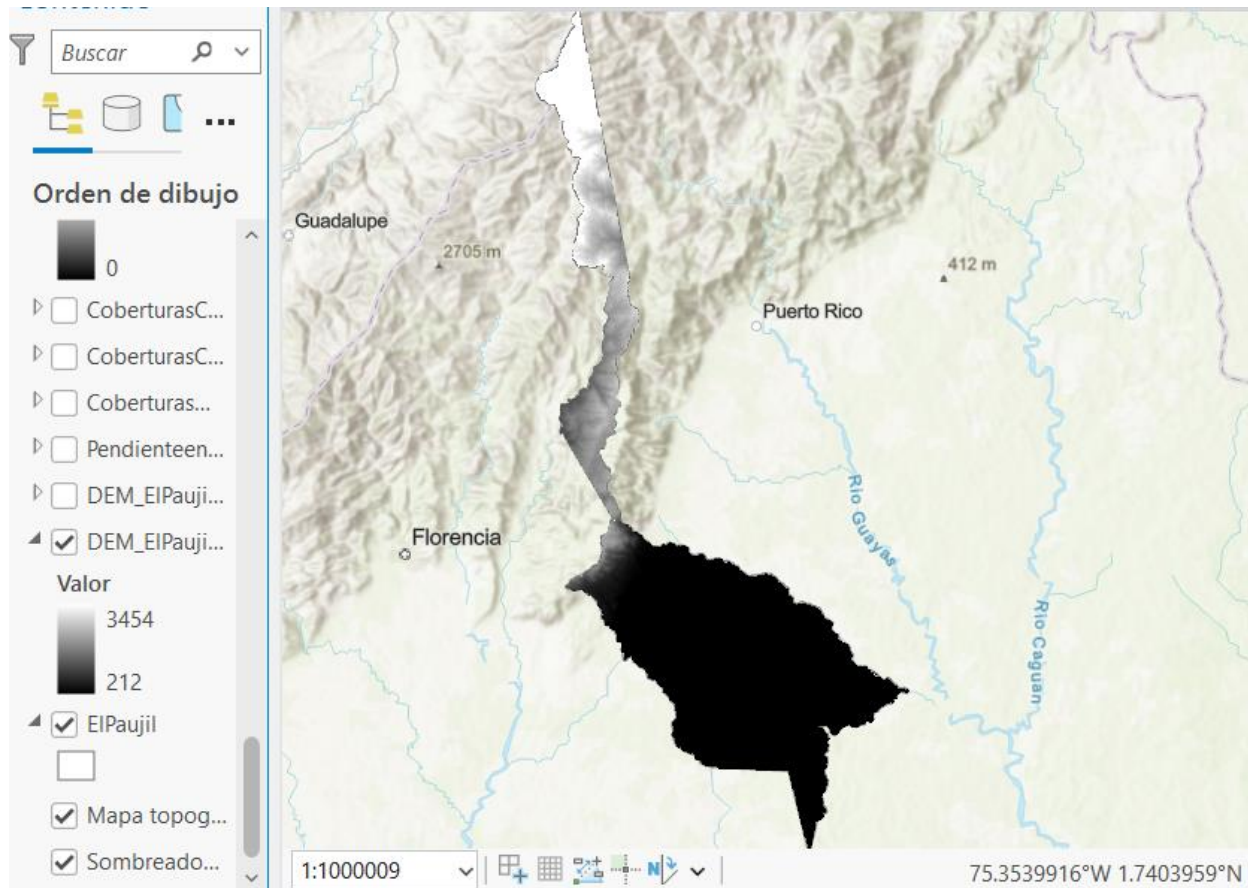
Nota: La imagen muestra el flujo de la metodología aplicada para la modelación y análisis del riesgo por inundación en el municipio de El Paujil departamento del Caquetá. La metodología inicia con la carga de datos fundamentales como el modelo de elevación digital (DEM), la capa de pendientes, la cobertura vegetal vectorial, los datos de precipitación en formato ráster y los límites

municipales, estos son procesados mediante técnicas geoespaciales que incluyen la transformación de coberturas a formato ráster, la extracción de valores de precipitación específicos y el análisis hidrológico completo. Posteriormente, se derivan los drenajes principales y se calculan las distancias a estos. Los cinco factores determinantes son reclasificados y combinados mediante el análisis multicriterio con la suma ponderada, generando un mapa de riesgo con cinco niveles de clasificación. Este proceso culmina con el refinamiento cartográfico y el análisis espacial de los resultados, proporcionando una herramienta clave para la gestión territorial. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

### Explicación del diagrama de flujo paso a paso

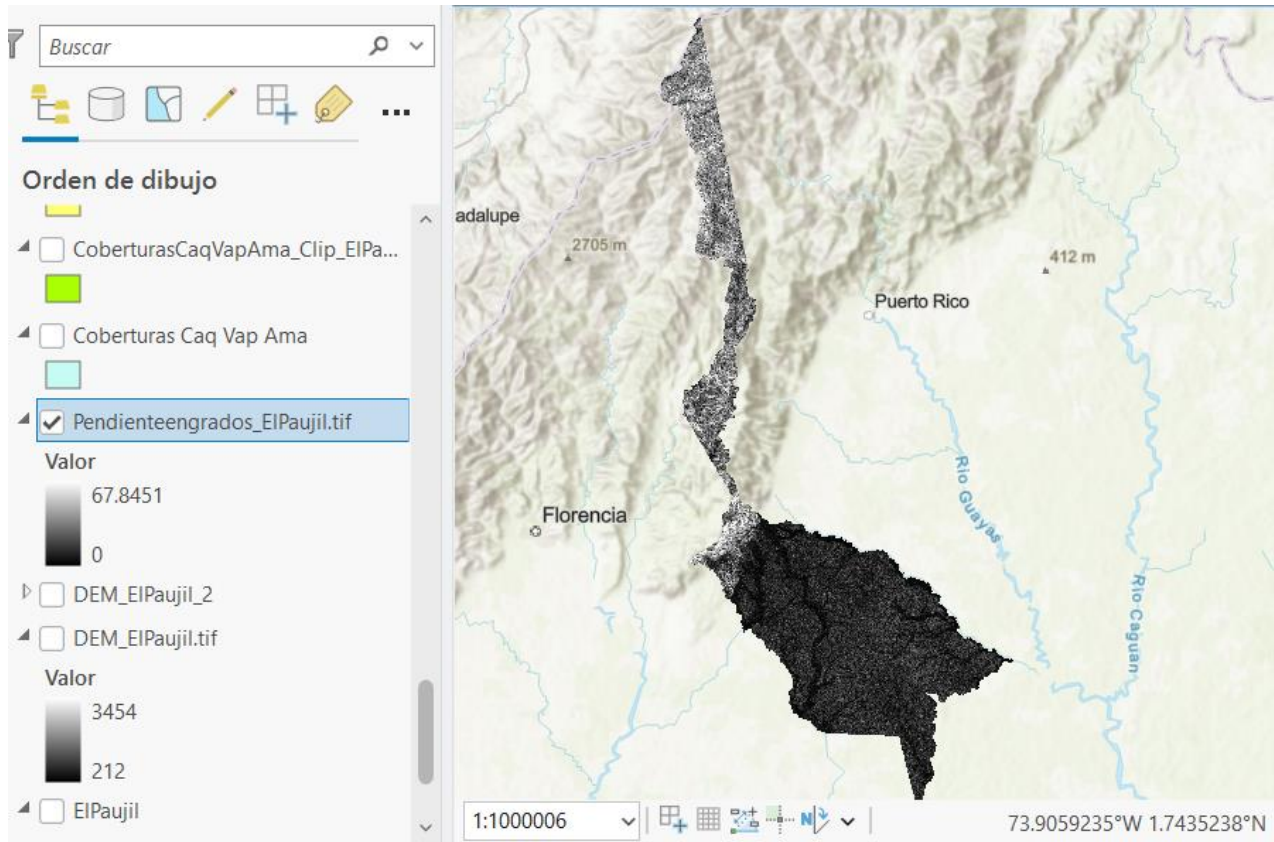
Carga de datos iniciales: Se cargan en ArcGIS Pro las capas base necesarias, el modelo de elevación digital (DEM), el ráster de pendientes derivado del DEM, la capa vectorial de cobertura de tierras, el ráster de precipitación a nivel de departamento, y el archivo vectorial de los límites del municipio de El Paujil.

**Figura 2.** Proceso de carga del modelo de elevación digital DEM y la capa vectorial del municipio de El Paujil – Caquetá.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

**Figura 3.** Proceso de carga del modelo de elevación digital ráster de pendientes del municipio de El Paujil – Caquetá.

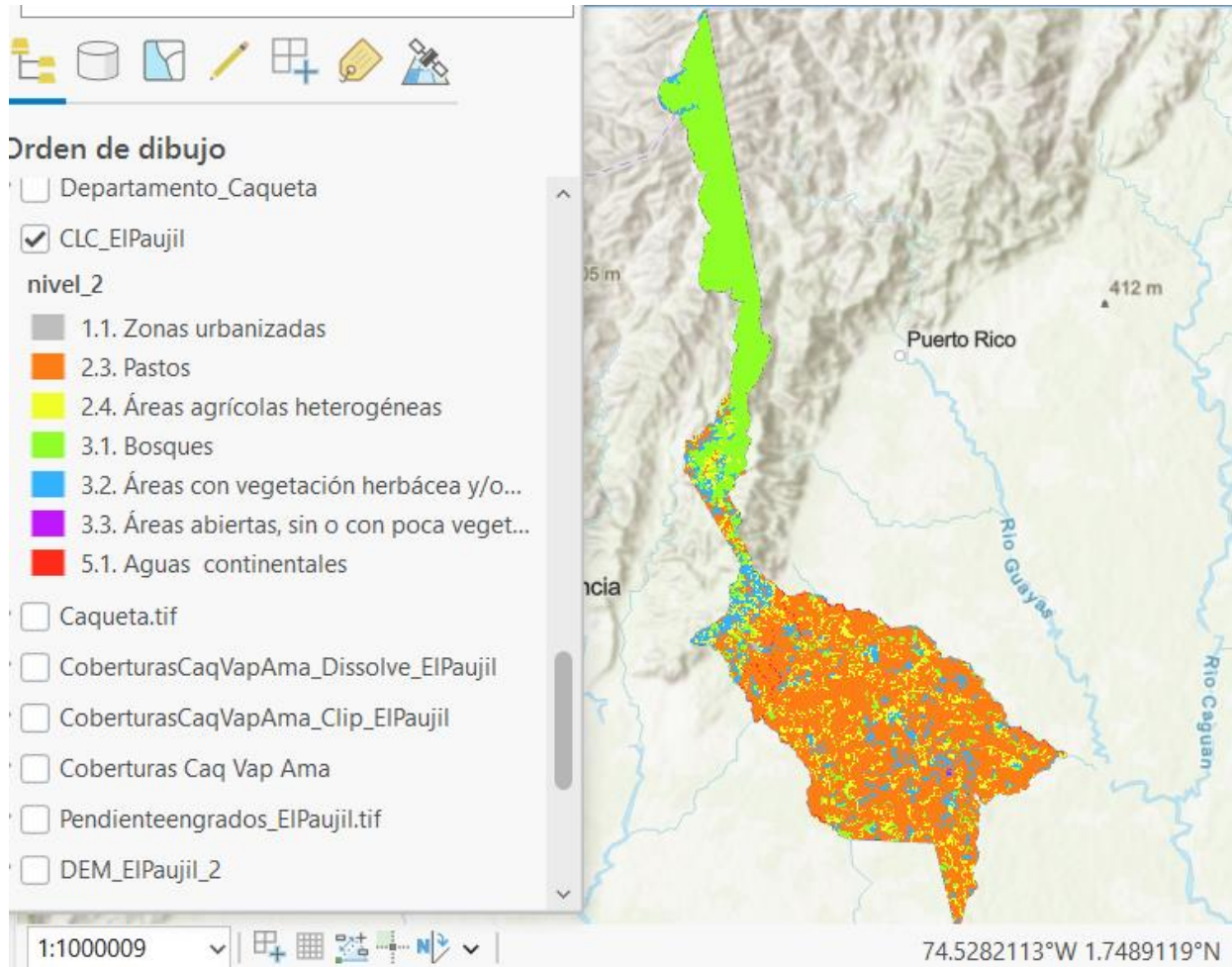


Nota: Las imágenes muestra la fase inicial de carga de datos espaciales en donde se importan tres componentes fundamentales.

Para el análisis de riesgo por inundación, se importan componentes fundamentales como el modelo de elevación digital (DEM), el ráster de pendientes derivado del DEM, y la capa vectorial del municipio (Olaya, 2020) que proporciona información altimétrica del terreno, el ráster de pendientes derivado del DEM, que indica la inclinación del terreno; y la capa vectorial del municipio de El Paujil, que delimita el área de estudio. En esta etapa se constituye a la base para los procesos posteriores de análisis espacial, puesto que estos insumos permiten caracterizar las condiciones físicas del territorio y así establecer los parámetros iniciales para la modelación hidrológica. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Transformación cobertura vectorial a ráster: La capa vectorial de cobertura de tierras disuelta se convierte a formato ráster utilizando la herramienta de polígono a ráster (Polygon to Raster). Se especifica el campo Nivel\_2 como campo de valor para que los píxeles del ráster adquieran los valores correspondientes a cada tipo de cobertura.

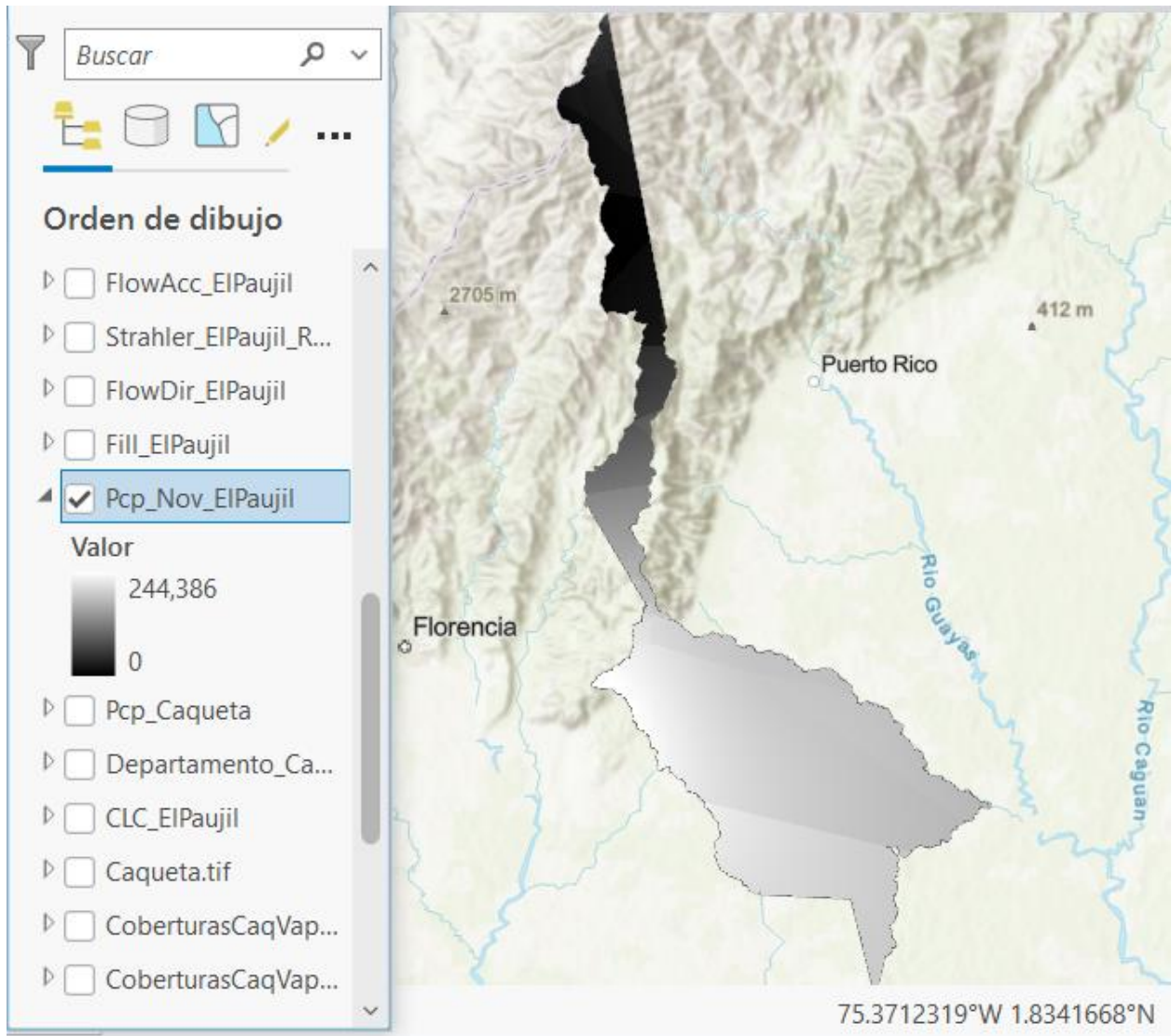
**Figura 4.** Proceso de transformación de vectorial a ráster, mediante la herramienta de polígono a ráster.



Nota: La imagen muestra el proceso de conversión de datos vectoriales (polígonos) a formato ráster mediante la herramienta conversión de polígono a ráster. Esta transformación nos permite homogenizar los datos de cobertura de suelo en una malla regular de celdas, facilitando su integración con otras capas ráster como elevación o precipitación en el modelo de riesgo por inundación. Este proceso cuenta con parámetros clave como el tamaño de celda y el campo de atributos a convertir, garantizando así la precisión en la representación espacial de las características. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Extracción de precipitación por máscara para el municipio: Se utiliza la herramienta Extraer por máscara (Extract by Mask) para recortar el ráster de precipitación del departamento, obteniendo así un ráster de precipitación que cubre únicamente el área del municipio de El Paujil.

**Figura 5.** Proceso de extracción de precipitación por máscara del municipio.



Nota: La imagen muestra el proceso de extracción de los datos de precipitación por máscara al área municipal mediante la herramienta extraer por Máscara. Este procedimiento utiliza como insumos el ráster departamental de precipitación y la capa vectorial de límites del municipio, generando como resultado un nuevo ráster que contiene exclusivamente los valores de precipitación correspondientes al territorio de El Paujil. Este paso es fundamental para garantizar que los análisis posteriores de riesgo por inundación consideren únicamente las condiciones climáticas locales. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Derivación de drenajes y cálculo de distancia: A partir del ráster de acumulación de flujo, se identifican los cursos de agua principales (drenajes) mediante una reclasificación simple (en 2 clases), luego, se calcula la distancia desde cada píxel del municipio a los drenajes más cercanos

utilizando la herramienta "Acumulación de distancia" (Distance Accumulation). Este ráster representa la proximidad a los cuerpos de agua.

**Figura 6.** Proceso de cálculo de distancias desde los drenajes hasta el municipio.

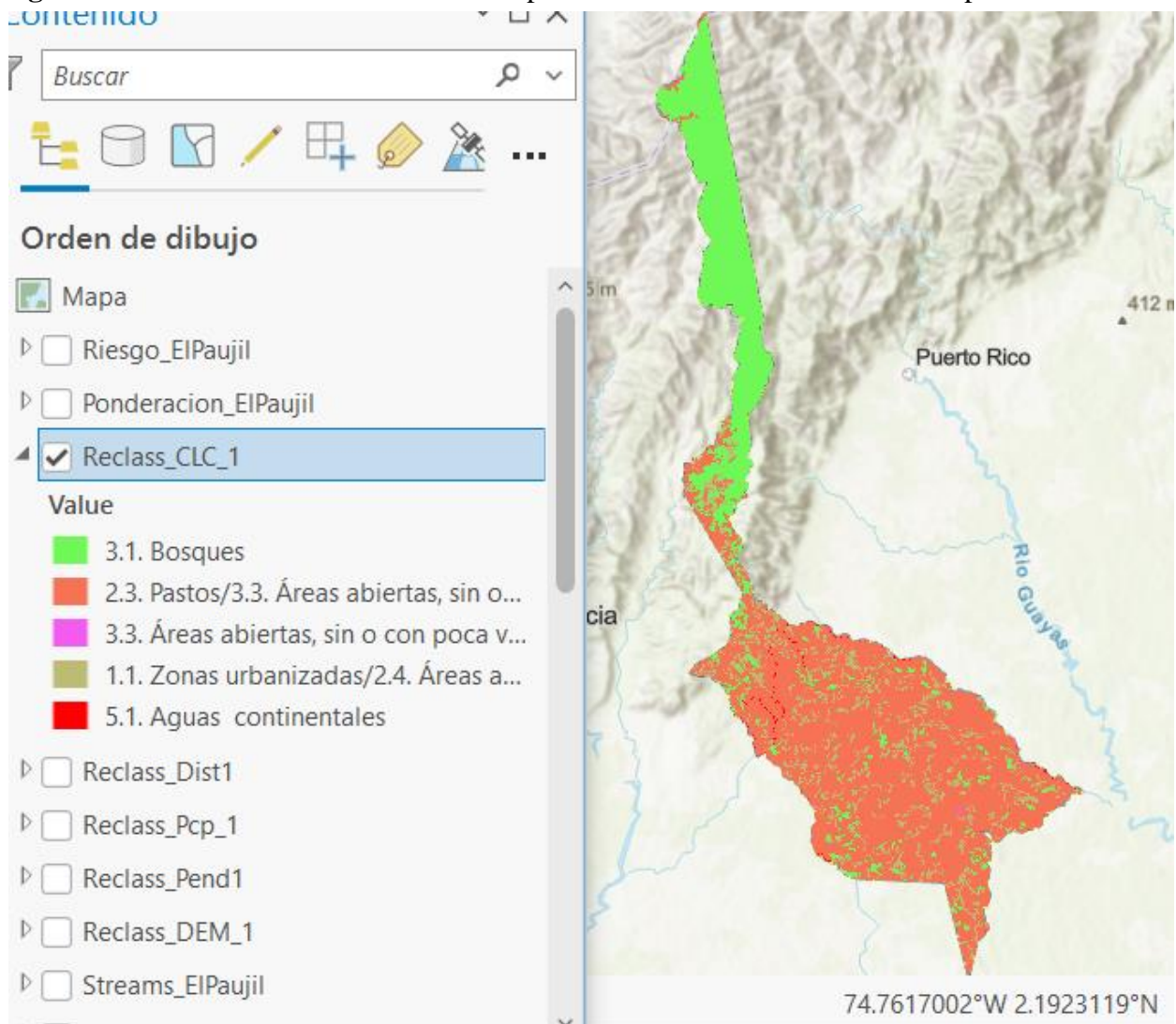


Nota: La imagen muestra el proceso del cálculo de distancias desde los drenajes (Streams\_mun) hasta el área municipal, utilizando la herramienta acumulación de distancia en ArcGIS Pro. Este procedimiento incluye la configuración de parámetros clave como el ráster de entrada (red de drenajes), el ráster de salida (distancias calculadas), el tamaño de celda, la máscara espacial y el sistema de coordenadas de referencia. Dando como resultado resultado un mapa de distancias a cuerpos de agua, variable fundamental para evaluar la vulnerabilidad a inundaciones en El Paujil. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Reclasificación de los 5 factores: Este es un paso clave del análisis multicriterio, cada uno de los cinco factores de influencia para el riesgo de inundación (DEM, pendientes, precipitación,

distancia a drenajes, cobertura de tierra) se reclasifica a una escala común de valores, de 2 a 10. La asignación de estos valores se basa en el criterio de riesgo (menor elevación = mayor riesgo/valor 10; mayor pendiente = menor riesgo/valor 2). Para las coberturas, se asignan valores de riesgo específicos a cada tipo Nivel\_2, Se utiliza principalmente el método de rupturas naturales (Jenks) para factores cuantitativos.

**Figura 7.** Proceso de reclasificación del mapa de coberturas de tierra del municipio en 5 clases.

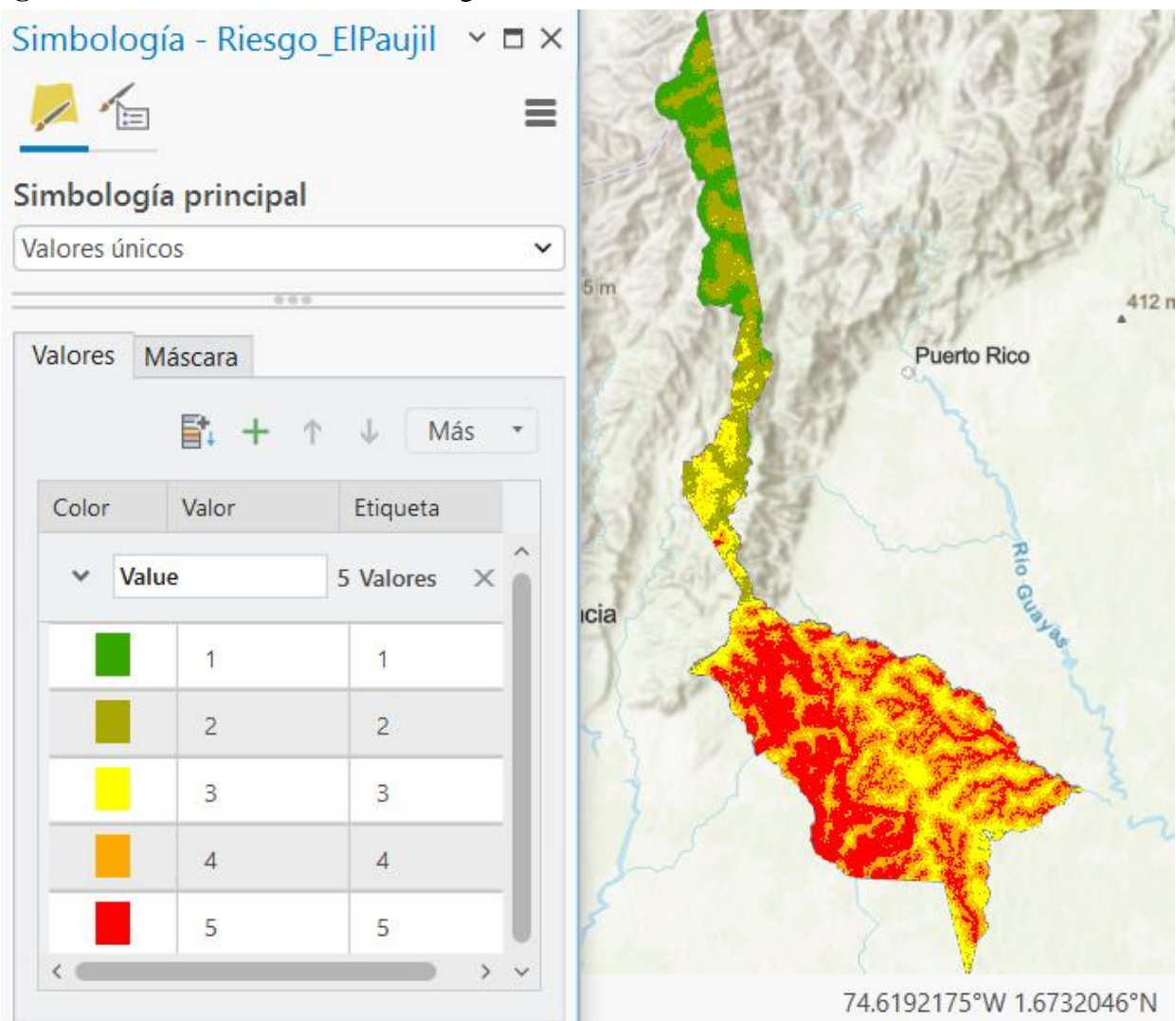


Nota: La imagen muestra el proceso de reclasificación del mapa de coberturas de tierra del municipio, en donde mediante la herramienta reclasificar se categorizan los usos del territorio en 5 clases de riesgo (valores de 2 a 10) según su influencia en la vulnerabilidad a inundaciones. Este paso transforma el ráster CLC\_municipio en una capa temática que pondera cada tipo de cobertura (bosques, cultivos, zonas urbanas, entre otros.) en función de sus características hidrológicas y su relación con la escorrentía superficial del municipio de El Paujil. La reclasificación nos permite

estandarizar los valores para su integración en el posterior análisis multicriterio. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

Reclasificación final del riesgo: El ráster resultante de la suma ponderada se reclasifica nuevamente, generalmente en 5 clases, para definir los diferentes niveles de riesgo de inundación (Riesgo muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto). Esto convierte los valores continuos del ráster de ponderación en categorías de riesgo discretas. Se asigna una simbología de color a las clases de riesgo final (verdes para riesgo bajo, rojos para riesgo alto), l resultado del análisis de riesgo por inundación en el municipio, incluyendo los elementos básicos de un mapa (leyenda, escala, título, etc.).

**Figura 8.** Reclasificación final del riesgo de inundación.



Nota: La imagen muestra el proceso final del análisis de riesgo por inundación en, donde el ráster resultante de la suma ponderada (que integra los cinco factores clave como la elevación, la

pendiente, la precipitación, la distancia a drenajes y la cobertura del suelo) es reclasificado en cinco categorías discretas de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Este proceso representa la culminación de lo que es la metodología del análisis multicriterio aplicada, transformando los valores continuos del modelo en clases interpretables que nos permiten identificar espacialmente las zonas de mayor vulnerabilidad en el municipio de El Paujil. La reclasificación considera los valores críticos de los factores que, al ser superados, provocan un cambio significativo en la probabilidad de inundación, es decir, los umbrales naturales de ruptura en la distribución de los datos, generando de esta manera una herramienta cartográfica fundamental para la gestión territorial. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

## Resultados

Se tienen como resultados los hallazgos del análisis de riesgo por inundación en el municipio de El Paujil departamento del Caquetá, obtenidos mediante la aplicación del análisis multicriterio, integrado con las técnicas de sistemas de información geográfica (SIG). Estos resultados se presentan a través de la mapificación del riesgo y el análisis cuantitativo de las áreas afectadas por cada nivel de riesgo.

### Mapa de riesgo por inundación

El principal resultado de la modelación es el mapa ráster de riesgo por inundación (figura 9), este mapa, es transformado a formato vectorial y disuelto por nivel de riesgo, visualiza la distribución espacial del riesgo de inundación en el municipio. Cada píxel o bien cada polígono en el mapa representa un nivel de riesgo específico, derivado de la combinación ponderada de los factores influyentes (DEM, pendientes, precipitación, distancia a drenajes, y cobertura de tierras).

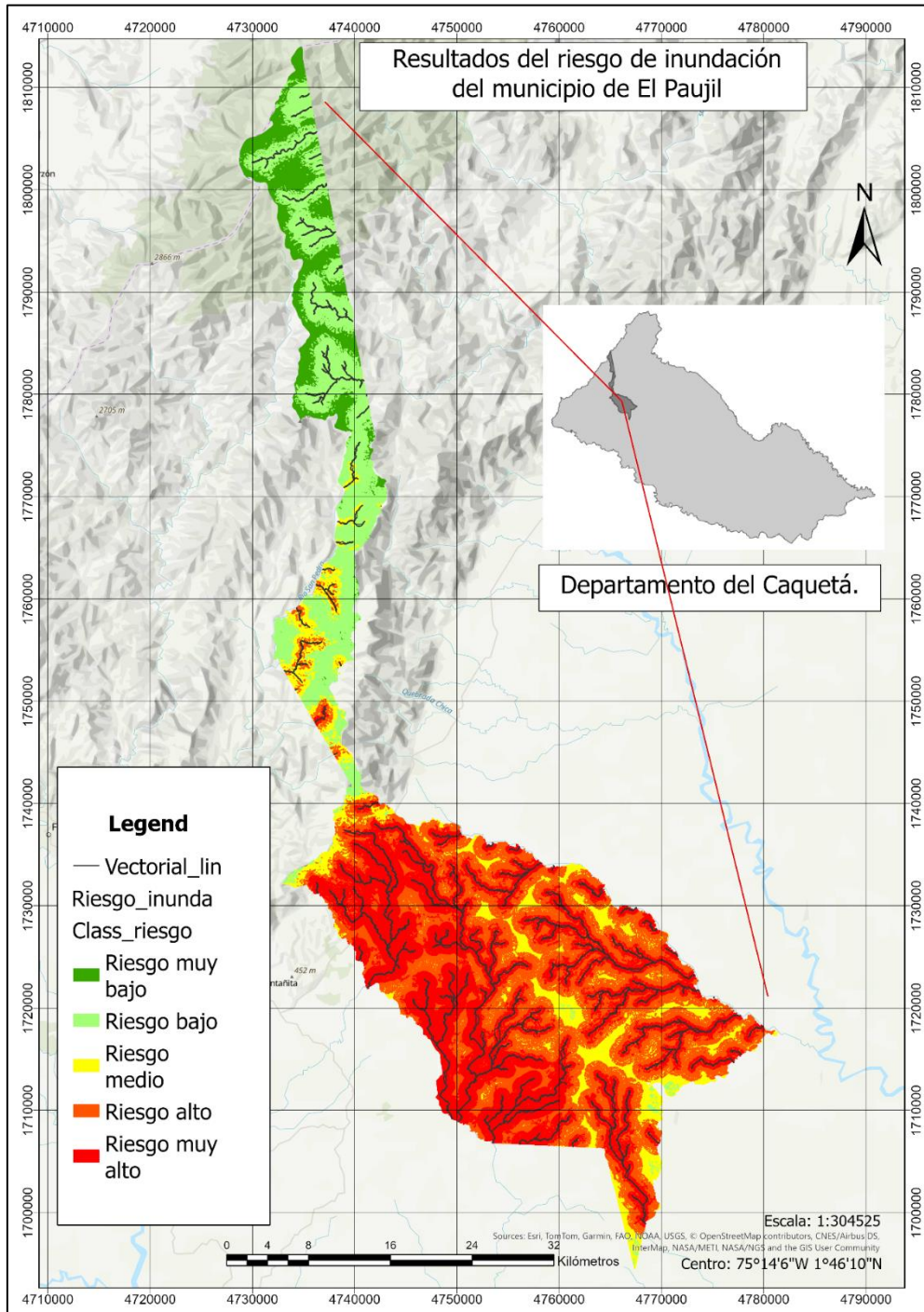
### Tabla de clasificación cualitativa y cuantitativa de las áreas por nivel de riesgo

Esta clasificación cualitativa del riesgo se realizó asignando valores numéricos a cada nivel (de riesgo muy bajo a riesgo muy alto), mediante la capa vectorial de riesgo, se calculó el área en hectáreas (ha) para cada una de estas categorías de riesgo.

**Tabla 2.** distribución de áreas por nivel de riesgo de inundación en El Paujil, Caquetá.

Índice	Class_riesgo	Área_ha
1	Riesgo muy bajo	10286.26
2	Riesgo bajo	16216.23
3	Riesgo medio	21979.25
4	Riesgo alto	38826.23
5	Riesgo muy alto	34193.05

**Figura 9.** Mapa de riesgo por inundación del municipio de El Paujil con la simbología ajustada según los niveles de riesgo.



Nota: La imagen muestra el mapa que presenta los resultados del análisis espacial de riesgo por inundación en el municipio de El Paujil - Caquetá, obtenido mediante la integración de cinco factores clave (elevación, pendiente, precipitación, distancia a drenajes y cobertura del suelo) a través de un análisis multicriterio en ArcGIS Pro. Los factores fueron estandarizados a escala

1:304525 y ponderados según su influencia relativa, generando un índice continuo que posteriormente se reclasificó en cinco categorías cualitativas: muy bajo (verde oscuro), bajo (verde claro), medio (amarillo), alto (naranja) y muy alto (rojo). Esta representación cartográfica permite el identificar claramente las zonas de mayor vulnerabilidad, destacando las áreas críticas que requieren de medidas prioritarias de gestión del riesgo y constituye una herramienta fundamental para la planificación territorial sostenible en el municipio. Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

**Figura 10**, Gráfico de barras circular de distribución porcentual en hectáreas de las áreas por cada nivel de riesgo, según la Tabla 1.



Fuente: Autoría propia, 2025 (ArcGIS Pro).

El gráfico de la figura 10 cuantifica los resultados del análisis de riesgo por inundación en el municipio, mostrando la distribución porcentual del territorio municipal en cinco categorías de vulnerabilidad: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Estos valores, expresados en hectáreas (ha), se extrajeron directamente de la tabla de atributos del mapa de riesgo (Figura 9), Esta representación gráfica permite una comprensión inmediata de la proporción de área afectada por cada nivel de riesgo, destacando especialmente las categorías de mayor vulnerabilidad (alto y muy alto) que requieren de atención prioritaria en la planificación territorial.

### Análisis de los resultados

En el mapa de riesgo, como la tabla 1 distribución de áreas por nivel de riesgo y su gráfico de distribución porcentual revela la distribución espacial del riesgo por inundación en el municipio y la superficie total del municipio es de aproximadamente la suma de las áreas reportadas de aproximadamente 121501.02 hectáreas.

En comparación con los resultados de los años anteriores, la zona del municipio en la zona urbana no se han presentado riesgos por inundación, esto debido a que la topografía inclinada de la cabecera municipal no presenta mayor riesgo por el afluente que atraviesa en el municipio. En el área rural del municipio la población más afectada son los campesinos, por causa de los desbordamientos de los afluentes como las quebradas y lagunas, afectando las vías de acceso y comunicación a sus predios. Al comparar estos resultados con eventos históricos de inundación en el municipio de El Paujil, se observa que, en años anteriores, la zona urbana del municipio no ha registrado riesgos significativos de inundación. Esto se debe a la topografía inclinada de la cabecera municipal, que minimiza el riesgo asociado al afluente que atraviesa el municipio y para el área rural, la situación es diferente. Históricamente, los campesinos han sido los más afectados, especialmente por el desbordamiento de quebradas y lagunas, lo que ha impactado negativamente en las vías de acceso y la comunicación hacia sus predios. Un ejemplo de afectación es la dificultad que enfrentan a los niños para acceder a los centros educativos rurales, así como el obstáculo que representa para el campesino el transporte de sus cosechas.

### **Identificación de las áreas críticas mayor riesgo**

Las áreas clasificadas como riesgo alto de aproximadamente 38826.23 hectáreas y de riesgo muy alto 34193.05 hectáreas, representan las zonas más críticas y vulnerables a sufrir impactos significativos por inundaciones, en conjunto, estas dos categorías suman un aproximado de 73019.28 hectáreas, lo que constituye la mayor proporción del área total del municipio, geográficamente, estas zonas de alto y muy alto riesgo están asociadas a las bajas elevaciones, las pendientes suaves, las alta precipitaciones, y la proximidad a la red de drenajes.

### **Identificación de áreas de menor riesgo**

Las áreas con riesgo muy bajo de aproximadamente 10286.26 hectáreas y riesgo bajo con 16216.23 hectáreas son las menos propensas a sufrir inundaciones severas, ambas suman un total aproximado de 26502.49 hectáreas. Estas áreas se localizan en zonas de mayor elevación o bien en pendientes más pronunciadas o alejadas de los principales cuerpos de agua como las quebradas y las lagunas.

### **Distribución del riesgo**

El nivel de riesgo predominante en el municipio de El Paujil es el riesgo alto, puesto que este riesgo ocupa la mayor superficie con 38826.23 hectáreas, seguido por el riesgo muy alto con una superficie de 34193.05 hectáreas. Esto nos da a entender que una proporción muy considerable del territorio municipal presenta una vulnerabilidad bastante significativa a las inundaciones. En el caso del riesgo medio esta también tiene una presencia importante con un área de 21979.25 hectáreas, mientras que los niveles de riesgo bajo y riesgo muy bajo ocupan las menores extensiones en estas áreas.

Esta información detallada sobre la identificación de las áreas críticas de mayor y menor riesgo de inundación en el municipio de El Paujil será de gran utilidad para priorizar las acciones de gestión del riesgo y la planificación territorial en el territorio.

### **Interpretación del impacto potencial**

Puesto que la alta concentración de las áreas clasificadas con riesgo alto y riesgos muy alto, el impacto potencial de las inundaciones en municipio de El Paujil es muy considerable, puesto que estos riesgos se encuentra en la zona urbanas y las zonas rurales del municipio, especialmente en las comunidades, en las infraestructuras como las vías y las edificaciones, en los sistemas agropecuarios como los cultivos transitorios, las zonas de pastoreo y los ecosistemas ubicados dentro de estas zonas. Las inundaciones pueden reducir significativamente los ingresos netos del sector agrícola, llevando a la conversión de tierras de pastoreo a usos menos vulnerables (Djanibekov et al., 2024). Las áreas de muy alto riesgo coincidentes con cuerpos los de agua, zonas planas y zonas bajas, siendo susceptibles a los daños severos, teniendo en cuenta esto las áreas de menor riesgo podrían servir como zonas de refugio ya que se encuentran en la cordillera o bien para actividades menos vulnerables a este tipo de amenaza. Es muy importante superponer el mapa de riesgo con capas de información socioeconómica y de infraestructura para identificar de manera precisa las zonas poblaciones y los bienes más expuestos.

### **Conclusiones**

Se ha logrado la identificación precisa de las áreas críticas del municipio en términos de riesgo por inundación, lo cual se alinea con la capacidad de los SIG de ser herramientas poderosas para recolectar, almacenar y gestionar datos espaciales, como señalan Sosa-Franco et al. (2023). Contrario a las zonas de riesgo muy bajo con 10.286 hectáreas y riesgo bajo 16.216 hectáreas, que representan la menor susceptibilidad, las categorías de riesgo alto con extensión de 38.826 hectáreas y riesgo muy alto con 34.193 hectáreas concentran la mayor extensión del territorio, sumando un total de 73.019 hectáreas. Estos sistemas facilitan el procesamiento de consultas para la recuperación y manipulación de información georreferenciada, clasificadas en selección, consultas de atributos y espaciales (Sosa-Franco et al., 2023). Esta distribución evidencia que una proporción muy significativa del municipio se encuentra expuesta a un riesgo muy considerable."

La clasificación del riesgo y la cuantificación de las áreas por nivel, proveen una base cuantitativa y espacial fundamental para comprender la magnitud de los riesgos y su distribución en El Paujil, el hecho de que los niveles alto y muy alto ocupen las mayores superficies en ese orden de magnitud, se resalta la necesidad de priorizar la gestión y la intervención en estas extensas áreas identificadas en el mapa (Figura 10).

Los resultados obtenidos permiten una interpretación inicial del potencial impacto de las inundaciones en el municipio, las áreas delimitadas con riesgo alto y muy alto son aquellas donde probablemente se localizan elementos vulnerables clave como comunidades, infraestructura (vial, servicios públicos), sistemas productivos (agropecuarios) y ecosistemas, los cuales estarían más

expuestos a las consecuencias de un evento de inundación. Este análisis espacial es un insumo bastante esencial para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo total

### **Recomendaciones**

El uso prioritario del mapa de riesgo en la planificación territorial, puesto que el mapa de riesgo por inundación debe ser adoptado como una base fundamental para los instrumentos de ordenamiento territorial y la toma de decisiones en el municipio de El Paujil, específicamente, se recomienda un enfoque particular en la gestión y la regulación de los usos del suelo en las áreas identificadas con riesgo alto y riesgo muy alto, puesto que los SIG facilitan esta integración del conocimiento espacial en la planificación.

La priorización de las intervenciones en las áreas críticas, con base en la cuantificación de áreas y la localización espacial de los niveles de riesgo, es recomendable priorizar la asignación de recursos y el desarrollo de proyectos de mitigación, la adaptación y la gestión del riesgo en las 73019.28 ha que concentran el riesgo alto y muy alto, ya que el conocimiento preciso de la ubicación y extensión de estas áreas es muy crucial para una inversión eficiente.

La realización de estudios de detalle en las zonas de alto riesgo ya que aunque el análisis multicriterio proporciona una visión general del riesgo, las áreas clasificadas como lo son las de riesgo alto y muy alto requieren de estudios hidrológicos e hidráulicos más detallados, la metodología SIG y AMC utilizada es bastante pertinente como una primera aproximación, pero los estudios de mayor resolución y complejidad en estas zonas críticas permitirían refinar el nivel de amenaza y diseñar las medidas de mitigación ingenieriles más específicas y efectivas.

La integración con datos de vulnerabilidad complementar el mapa de amenaza por inundación con un análisis espacial detallado de los elementos vulnerables en municipio, la identificación y el mapeo de la ubicación de comunidades, infraestructura como viales y de servicios públicos, el sistemas productivos agropecuarios y ecosistemas dentro de las zonas de riesgo (utilizando capacidades SIG de superposición) es muy esencial para determinar el riesgo total y evaluar el potencial impacto, permitiéndonos dirigir las medidas de gestión hacia donde la combinación de amenaza y vulnerabilidad es mayor.

El promover las prácticas agroambientales adaptadas al riesgo en las áreas dedicadas a sistemas productivos identificadas en las zonas de riesgo por inundación, es recomendable fomentar la implementación de prácticas agroambientales específicas. Djanibekov et al. (2024) señalan que la adaptación de las prácticas agrícolas, como el cambio de uso del suelo y la diversificación de cultivos, es una estrategia clave para reducir los costos de los daños por inundación en la producción agrícola. Esto para poder incluir la selección de cultivos resilientes a inundaciones, la implementación de sistemas de drenaje adecuados, la gestión de la vegetación ribereña (considerando las zonas de influencia de drenajes analizadas) y las medidas de conservación de

los suelos que reduzcan la escorrentía, la mapificación permite al ubicar geográficamente dónde aplicar estas prácticas prioritariamente.

El considerar el riesgo en la planificación de infraestructura, puesto que el mapa de riesgo debe ser una herramienta clave para la planificación y el diseño de nueva infraestructura en el municipio, por ende se debe evitar, en la medida de ser posible, la construcción en zonas de riesgo alto y muy alto o si es inevitable, incorporar diseños de ingeniería resilientes que minimicen los daños y garanticen la funcionalidad durante los eventos de inundación, ya que la evaluación de infraestructura existente en relación con el mapa de riesgo también es un paso recomendado.

El diseño de los sistemas de alerta temprana y programas de educación utilizan el mapa de riesgo para delimitar las áreas geográficas prioritarias para la implementación del sistema de alerta temprana de inundaciones y el desarrollo de programas de capacitación y sensibilización dirigidos a la población residente en las zonas de mayor riesgo.

El enfoque de la gestión de las cuencas hidrográficas conecta el análisis de riesgo por inundación con la gestión integrada de las cuencas hidrográficas del municipio, las acciones en las partes altas de la cuenca (reforestación, manejo sostenible de los bosques) pueden influir en la magnitud de las inundaciones en las zonas bajas, el sistema de información geográfica nos permite visualizar estas interconexiones espaciales y planificar acciones a nivel de las cuencas.

La actualización y el refinamiento continuo al reconocer que el modelo se basa en los datos de entrada y las ponderaciones específicas, es recomendable la actualización periódica del mapa de riesgo a medida que se dispongan de datos más recientes o de mayor resolución (DEM, coberturas de tierra, series de precipitación) o si bien se ajustan las ponderaciones de los factores con base en retroalimentación o los estudios adicionales, ya que lo sistema de información geográfica son herramientas dinámicas que nos facilitan estas actualizaciones.

### **Referencias bibliográficas**

Arriola, G., Zuloeta, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R., & Olaya, W. (2022). Evaluación del riesgo de inundación empleando un sistema de información geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río la leche lambayeque. *Revista Científica Epistemia*, Vol. 6(1), pp. 60-73. <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2132>

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia. (2025). Municipio el Paujil. Corpoamazonia.

[https://www.corpoamazonia.gov.co/region/caqueta/Municipios/Caq\\_Paujil.html#0](https://www.corpoamazonia.gov.co/region/caqueta/Municipios/Caq_Paujil.html#0)

DANE. (2010). Censo general 2005. [https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/18256T7T000.PDF](https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/18256T7T000.PDF)

Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., & Paulik, R. (2024). Flood Impacts on Agriculture under Climate Change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *Economics of Disasters and Climate Change*, Vol. 8, 283–316. <https://doi.org/10.1007/s41885-024-00147-3>

Escolano Utrilla, S. (2015). Primera parte. 2. La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos. En S. Escolano Utrilla (Ed), *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>

Falla Gamboa, J. (2012). *GeoProcesamiento: De geodatos a geoinformación*. UCIPFG. [https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/GeoProcesamiento\\_nov\\_2012.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/complementarias/GeoProcesamiento_nov_2012.pdf)

Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>

INFOBAE. (2021, mayo 18). Emergencia por las lluvias en Caquetá: 70 familias afectadas. Infobae. <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/05/18/emergencia-en-caqueta-cerca-de-70-familias-se-vieron-afectadas-por-fuertes-lluvias/>

Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library. [https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_geogr%C3%A1fica](https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica)

Secretaría de Planeación del Municipio de El Paujil. (2021). Actualización del plan de gestión de riesgos de desastres del municipio de El Paujil. Secretaría de Planeación, Municipio de El Paujil. [https://elpaujilcaqueta.micolombiadigital.gov.co/sites/elpaujilcaqueta/content/files/001003/50141\\_3-mga.pdf](https://elpaujilcaqueta.micolombiadigital.gov.co/sites/elpaujilcaqueta/content/files/001003/50141_3-mga.pdf)

Sanchez, L. (10 de Agosto de 2024). Varios municipios del norte de Caquetá, incomunicados por ola invernal. Radio Nacional de Colombia. <https://www.radionacional.co/noticias-colombia/invierno-en-colombia-lluvias-incomunican-norte-de-caqueta>

Sevillano Rodriguez, M. E. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, Vol. 25(25), pp. 47-76. <https://doi.org/10.21138/gf.661>

Sosa-Franco, I., Pérez-Guerra, G., Machado-García, N., & Elena-Ruiz Pérez, M. (2023). Method for query processing in a geographic information system. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 32(2), pp. 1–9. <https://research-ebSCO>

[com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3](http://com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3)

Weather Spark. (s.f). El clima en El Paujil, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia).  
[https://es.weatherspark.com/y/22367/Clima-promedio-en-El-Paujil-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#google\\_vignette](https://es.weatherspark.com/y/22367/Clima-promedio-en-El-Paujil-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette)

**Enlace de sustentación:**

[https://youtu.be/kx-k1\\_KqRhA](https://youtu.be/kx-k1_KqRhA)