

Modelación del riesgo de inundación en El Paujil (Caquetá) mediante análisis espacial en SIG

Autores:

Alberto Murcia Rojas / amurciar@unadvirtual.edu.co

Carlos Eduardo Romero Suarez / ceromeros@unadvirtual.edu.co

Maryory Alejandra Capera Claros / macaperac@unadvirtual.edu.co

Nicolas Ramírez Romero / nramirezr@unadvirtual.edu.co

Yuli Gimena Tovar Puentes / ygtovarp@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

La presente investigación tiene como fin la modelación y análisis de la distribución espacial del riesgo de inundación en el municipio de El Paujil, Caquetá, por medio de un Análisis Multicriterio (AMC), el cual se llevó a cabo en el Sistema de Información Geográfica (SIG). La metodología planteó la integración y ponderación de las variables físicas y ambientales más importantes como el Modelo de Elevación Digital (DEM), las pendientes, la precipitación y la distancia a los drenajes, su procesamiento fue realizado en el software ArcGIS Pro. Los insumos ráster de entrada generados fueron convertidos al formato vectorial y luego simplificados para lograr las zonas cualitativas de riesgo. Los resultados más destacados fueron que el Riesgo Muy Alto y Alto se concentran en las llanuras aluviales y en las zonas de baja pendiente muy cercanas a la red de drenajes principales, estas zonas críticas ocupan un alto porcentaje del área total del municipio y demandan atención prioritaria en cuanto a la gestión agroambiental y el ordenamiento territorial.

Palabras clave: Análisis multicriterio; ordenamiento territorial; riesgo de inundación; SIG.

Introducción

La importancia del presente informe de investigación radica en la necesidad de gestionar el riesgo de inundación del municipio de El Paujil, Caquetá, al considerar la gestión del riesgo de inundación como un aspecto central del Ordenamiento Agroambiental del Territorio. Los municipios de piedemonte y llanura como El Paujil, al igual que el resto de la región amazónica, son muy vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos, pues el cambio climático causa efectos sobre el ciclo hidrológico (IDEAM, 2022).

El aludido problema cobra especial relevancia para el municipio de El Paujil, dada la magnitud que tiene la problemática con respecto al impacto que pueda tener sobre la infraestructura, sobre

las actividades productivas predominantes (ganadería y agricultura) y, sobre todo, sobre la población en términos de seguridad y bienestar (Plan de Desarrollo El Paujil, 2020).

La posición del municipio se encuentra caracterizada por tener grandes extensiones de marcada pendiente y una red hídrica que tiene también una gran relevancia, lo que, unido con la fuerte variación de lluvias, les coloca en un territorio propenso a inundaciones y desbordamientos en los picos de precipitaciones, como el que se produce en noviembre (IGAC, 2018). Para el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, la amenaza de inundaciones es la principal para el territorio, dado que afecta directamente las áreas rurales y la conectividad vial del municipio (Secretaría de Planeación El Paujil, 2021). La reducción del riesgo adquiere una importancia considerable, dado que se vincula estrechamente al sector económico básico del municipio y a las comunidades más expuestas.

La variación en los climas ha dado lugar a un aumento de los eventos climatológicos de tipo extremo, lo que se traduce en un crecimiento documentado de los episodios de intensas precipitaciones (IDEAM, 2022). Esta variación del clima genera un aumento de las condiciones de inundación en espacios con llanura aluvial y en espacios donde la densidad hídrica es elevada (PNUD, 2020; Sarmiento et al., 2018).

El incremento de la variabilidad climática y las condiciones geomorfológicas propias de cada cuenca, sumadas a la acción antrópica en la modificación de las cuencas, exacerbaban la vulnerabilidad de estos territorios al ser blanco de fenómenos naturales (IGAC, 2018; UNGRD, 2023). La posibilidad de inundación no depende únicamente de la ocurrencia del fenómeno natural, sino de la interacción de la amenaza con la vulnerabilidad social y física expuestas en el territorio (Cardona, 2004, citado por Villagrán de León, 2006).

El Papel de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En este contexto de creciente riesgo, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas esenciales para la evaluación del riesgo y el apoyo a la toma de decisiones territoriales (Chuvieco, 2016). Los SIG permiten analizar la complejidad espacial de las amenazas y vulnerabilidades al integrar diversas capas de información geográfica, como la topografía, el uso del suelo, la densidad de drenajes y los datos pluviométricos. Esta capacidad de análisis geoespacial es crucial para identificar y delimitar las zonas más susceptibles a ser inundadas, ofreciendo una base científica y cartográfica para la planificación y el ordenamiento del territorio (Lillesand et al., 2015).

Propósito de la investigación

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es aplicar un modelo de análisis multicriterio (AMC) integrado en un entorno SIG para generar el mapa de riesgo de inundación del municipio de El

Paujil. Posteriormente, se realizará una primera interpretación espacial que permita identificar y analizar las zonas territoriales más críticas y vulnerables.

La justificación del estudio gira en torno a tres ejes:

- **Pertinencia Práctica y Social**

La identificación de las áreas con Riesgo Muy Alto y Alto de inundación (ver Figura 7) es una condición necesaria para proteger a la población y la infraestructura crítica y los sistemas productivos del municipio. Las inundaciones recurrentes acarrearán no solo pérdidas económicas en el sector agropecuario, sino que se interrumpe la conectividad vial y se representa una amenaza para la seguridad de las comunidades rurales. Este estudio brinda un insumo cartográfico (mapa de riesgo), pero no se limita a ello, sino que supone un insumo de carácter práctico y zonificado para la toma de decisiones en programas de prevención y mitigación (Sarmiento et al., 2018).

- **Importancia Técnica y Metodológica**

Del uso del Análisis Multicriterio en el contexto de los SIG (ArcGIS Pro), ya que permite implementar un conjunto de variables físicas (pendientes, drenajes, precipitación) en una única salida espacial, a diferencia de los análisis monovariantes. El proceso técnico que se desarrolló mediante la transformación del modelo ráster al vectorial y el cálculo de áreas por categoría demuestran la puesta en práctica y robustez de las competencias aprendidas durante el diplomado, concretada en productos cartográficos de alta calidad y donde se ejecutan las técnicas de forma adecuada (Malczewski, 2004).

- **Importancia medioambiental y agro-específica**

Ya que la justificación se da en torno a la sostenibilidad de los usos del suelo; delimitar las zonas vulnerables facilitará implementar adaptaciones a afrontar los cambios en el sector, como, por ejemplo, la restricción del cultivo permanente en zona de alto riesgo o la promoción de sistemas agroforestales resilientes en los bordes (rivera). Se puede decir que la delimitación contribuye a un uso más racional del suelo a través de respetar la dinámica hídrica natural y poder minimizar o el deterioro ambiental.

En resumen, este informe para la modelación es esencial para comunicar el paso de una gestión reactiva del desastre a una planificación territorial proactiva, cosa que permite la incorporación de la variable riesgo en las decisiones sobre el desarrollo de El Paujil.

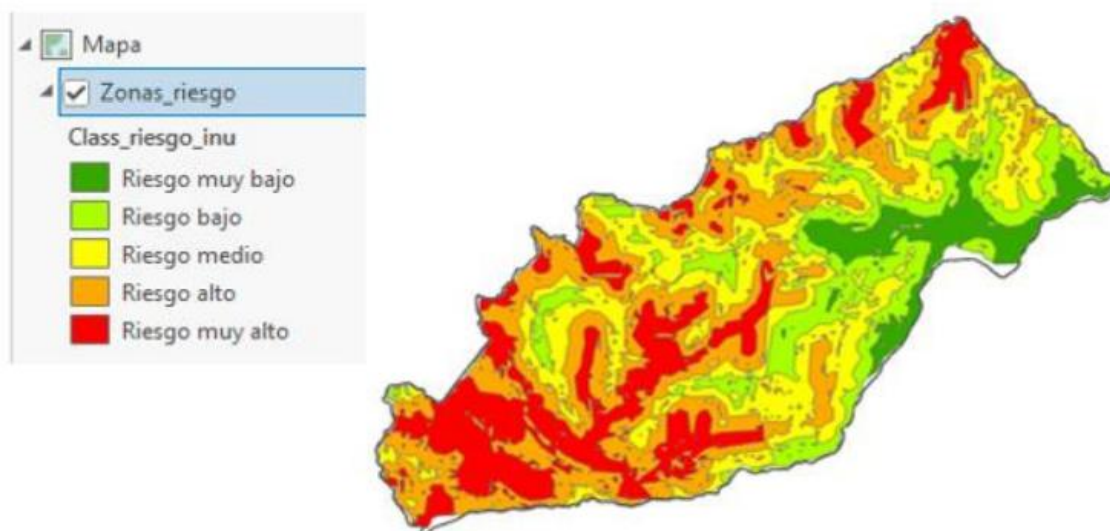
Geo informática y gestión territorial sostenible.

La gestión territorial sostenible, y de algún modo la de los sistemas productivos agroambientales, demanda herramientas potentes para resolver su complejidad espacial y los fenómenos asociados. Desde esta perspectiva, los sistemas de información geográfica (SIG) se presentan como un componente básico para la toma de decisiones.

Escolano Utrilla (2015) pone de manifiesto que la capacidad de los SIG como herramienta para el análisis y modelación de fenómenos geográficos es de forma efectiva su capacidad para representar el espacio geográfico mediante modelos de datos específicos (vectorial y ráster). La cantidad y el tipo de operaciones y funciones que un determinado software SIG puede llevar a cabo están ligados a su orientación o especialización (por ejemplo, procesamiento vectorial, ráster, imágenes, geo bases de datos) y al mismo tiempo a otros factores como el sistema operativo utilizado, el hardware y la propia entidad productora del software (Falla Gamboa, 2012, p. 3).

Figura 1.

Mapa de riesgo



Nota: La imagen muestra un ejemplo del resultado del formato vectorial con el ajuste de la simbología y su correspondiente leyenda. Fuente: Guía de aprendizaje UNAD

El contexto geográfico y los riesgos que se identifican en el municipio de El Paujil, dentro del departamento de Caquetá, evidencian la condición de alta pluviosidad de la región. Según la información climatológica citada, el mes de noviembre suele ser reconocido como el más importante en términos de precipitación. Las precipitaciones pueden superar ampliamente los valores de época y así superar con creces las lluvias acumuladas. En líneas generales, la precipitación anual en el territorio de El Paujil, en el Caquetá, es superior a los 3,500 milímetros y sustentan la idea de un clima húmedo y lluvioso, pues es esta condición la que predomina (Weather Spark, 2025).

La información extraída del Plan de gestión del riesgo de desastres del municipio de El Paujil (Secretaría de Planeación del Municipio de El Paujil, 2021) comenta que la presencia de la Cordillera Oriental, así como el mal uso del territorio hace que los factores de riesgo de ocurrencia de deslizamientos, movimientos en masa y avenidas torrenciales de agua que provocan inundaciones se vean incrementados. Esta misma vulnerabilidad hace que el proceso de

deforestación esté puesto a un ritmo significativo para la disminución del efecto de absorción del agua que logra realizar el suelo. Desde el 2010 y hasta el 2022 se han documentado 17 eventos de inundación que han afectado a 5,000 personas y que han dañado cultivos e infraestructura vial. El cambio climático, por su parte, se ha manifestado en las sequías recurrentes, en las que se han producido incendios, lo que ha aumentado las vulnerabilidades del territorio, especialmente por la disminución del agua de disponibilidad y por el incremento en los riesgos de inundaciones.

Una reciente revisión de las evidencias presenta esta problemática de la siguiente manera:

Incomunicación por ola invernal: Varios municipios en el norte del Caquetá: El Paujil, Doncelo, Puerto Rico y San Vicente del Caguán quedaron incomunicados por el fenómeno de la ola invernal (Sánchez, 2024).

Emergencia y familias afectadas: El desbordamiento de quebradas en El Paujil a consecuencia de la lluvia provocó bloqueos en la vía y llevó a afectar a unas 70 familias según lo recabado por Gustavo Ortega, quien es el coordinador de gestión del riesgo departamental (Infobae, 2021).

Amenaza Sísmica: Estos fenómenos están, por tanto, relacionadas con la precipitación, pero también con fosas geológicas y la existencia de fuentes sismo genéticas en el Huila, lo cual se traduce en una amenaza sísmica alta a moderada en la zona montañosa o de piedemonte (Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia, 2025).

El papel de los sistemas de información geográfica en la mitigación del riesgo

Durante las últimas décadas, los sistemas de información geográfica se han convertido en unas herramientas clave para la planificación del territorio y el desarrollo. Los desastres naturales suponen un riesgo importante para la sostenibilidad del territorio, y las inundaciones son las más relevantes puesto que su magnitud, destructibilidad y pérdidas de vidas humanas y daños socioeconómicos a nivel global es enorme. Djanibekov et al. (2024) añaden que las inundaciones son uno de los desastres naturales más costosos en el mundo, siendo el sector agrícola uno de los más afectados por las pérdidas económicas.

El riesgo de inundación está vinculado a los niveles de peligro y vulnerabilidad que tiene un determinado lugar. Por lo tanto, el conocimiento del riesgo y la mitigación del mismo son fundamentales para la protección de las comunidades, de las infraestructuras, de los sistemas agropecuarios y de los ecosistemas.

La valoración del riesgo de inundaciones y la localización de áreas en riesgo de inundaciones para la planificación territorial están muy bien respaldadas por la bibliografía. Arriola et al. (2022) hacen hincapié en el carácter adecuado del análisis de frecuencias de inundaciones para poder arrojar la probabilidad de peligro y, en consecuencia, la rentabilidad de incluirla para elaborar estrategias de ordenación del territorio.

Para la ejecución de estos procesos, la técnica del análisis geoespacial + SIG, integrada con la modelación espacial, constituye metodologías eficaces, siendo el análisis multicriterio (AMC) la técnica concreta más pertinente y crucial para lograr la delimitación de zonas de riesgos, como el de las inundaciones. El AMC permite incluir y evaluar distintos factores que influyen en el fenómeno como pueden ser la cota, las pendientes, la precipitación, la proximidad a drenajes, las coberturas del suelo, etc. Al poder combinar los distintos factores mediante su procesamiento (normalmente mediante suma ponderada) se obtienen mapas de riesgo. El uso de estas técnicas convierte los datos geográficos (vectores y ráster) en información potencialmente muy útil para el análisis del territorio.

Teoría de la Gestión del Riesgo

El riesgo de desastre no es un fenómeno natural, sino una construcción social. El riesgo se define a partir de la interacción de tres componentes básicos que son:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Amenaza: fenómeno natural potencialmente peligroso (en este caso, la inundación producida por la alta precipitación y el desbordamiento fluvial). La modelación es la amenaza hidrológica (distancia a drenajes, precipitación), la que se centra en la respuesta geomorfológica, es decir, la inclinación.

Vulnerabilidad: susceptibilidad de los elementos en peligro (comunidades, infraestructura, sistemas agropecuarios) a ser afectados. Si no se modela la vulnerabilidad, la identificación de zonas de riesgo alto indica el lugar donde la vulnerabilidad debe ser priorizada.

- **Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Análisis Multicriterio (AMC)**

La base metodológica desarrollada en este estudio descansa sobre la denominada **Teoría de la Decisión Espacial** apoyada por SIG en línea con lo que se establece en Chuvieco (2020), que define a los SIG como sistemas de hardware, software, datos y metodologías que permiten la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y representación de toda información geográficamente referenciada; estos permiten la superposición de capas con diferentes atributos (ráster o vectorial), generando un nuevo conocimiento espacial.

La base del AMC (Malczewski, 2004) es: el AMC se considera una técnica de decisión que permite estructurar un determinado problema complejo (el riesgo) en un proceso jerárquico; en este modelo, se usa la suma ponderada lineal como regla de combinación, donde los criterios se estandarizan (1 a 10) a continuación se multiplican por el peso relativo, permitiendo así obtener asignaciones de aptitud o riesgo según la importancia relativa de cada uno de los factores.

- **Principios del Ordenamiento Agroambiental**

La presente investigación se articula en legítima congruencia con lo que el principio de sostenibilidad territorial plantea del equilibrio entre el sistema de producción agropecuaria y la custodia de los recursos, siendo punto de partida para tal fin:

Zonificación Ambiental: La estructura del riesgo se constituye en un insumo de zonificación, en el sentido que el uso del suelo debe estar definido por la fragilidad o peligrosidad natural de determinado sitio (IGAC, 2018).

Servicios de los Ecosistemas de Regulación Hídrica: La modelación demuestra interés por las áreas de ribera (Riesgo Muy Alto) como zonas reguladoras naturales. A través de esto se reafirma la necesidad de la conservación o restauración de la cobertura natural ribereña para aumentar la resiliencia del territorio.

- **Análisis Legal Y Normativo**

El aspecto de Aspecto Legal y Normativo inscribe el estudio dentro del marco normativo vigente dentro del sistema legislativo colombiano que regula la gestión del riesgo de desastres y ordenación del territorio.

1. Ley 1523 de 2012 (Gestión del Riesgo de Desastres)

La ley más significativa es la Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en la que se recoge la solidaridad que debe existir dentro de la red de entidades públicas y privadas estableciendo que la gestión del riesgo es una responsabilidad de las entidades públicas y privadas.

Consecuencia directa: La modelación del riesgo de inundación presentada en este informe es un instrumento de Conocimiento del Riesgo, uno de los requisitos de la gestión (Conocimiento, Reducción y Manejo del Riesgo). El resultado del trabajo cartográfico debe ser recogido por el municipio de El Paujil y deben implementarse acciones de Reducción del Riesgo (ej. reubicación, restricciones al uso del suelo).

2. Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997).

La ley de Ordenamiento Territorial obliga a los municipios/territorios a incorporar y dar cumplimiento a la identificación y delimitación de áreas con posibles amenazas y riesgos en los POT (Planes de Ordenamiento Territorial, /EOT).

Implicación directa: el mapa de inundación correspondiente (Figura 7), ha de ser incluido dentro del componente rural y/o de riesgo del POT de El Paujil, implicando la posibilidad de normar urbanística y/o rurales restrictivas en las áreas de Riesgo Alto y Muy Alto, siendo el deber de la entidad pública incorporar el cumplimiento de la ley en favor de la vida y de la propiedad (Plan de desarrollo El Paujil, 2020).

3. Normativa sobre el Medio Ambiente y el Agro medio Ambiente (Rondas Hídricas)

Decreto Ley 2811 de 1974 y Decretos Reglamentarios: Normativa aplicable para disponer las definiciones y delimitaciones de las Rondas Hídricas (Áreas de Protección o Conservación).

Efecto Inmediato: Las Zonas de Riesgo Muy Alto, que van íntimamente ligadas a la distancia a los drenajes, coinciden espacialmente con la exigencia de proteger las Rondas Hídricas. El trabajo otorga soporte a la obligación legal de recuperar o conservar la vegetación protectora, la cual es necesaria en estos espacios críticos, y que forma parte del Ordenamiento Agroambiental.

Planteamiento del Problema

El municipio de El Paujil presenta una problemática cíclica, la vulnerabilidad del territorio al riesgo de inundación; el problema consiste en la inexistencia o ausencia de un insumo cartográfico específico y zonificado para poder cuantificar tanto la extensión como la localidad de dicho riesgo. Dicha problemática se ve acentuada por la baja pendiente existente, la ocupación agropecuaria de las zonas de ribera y la concurrencia de los fenómenos climáticos.

Pregunta de investigación: ¿de qué manera la implementación de un modelo de Análisis Multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede delimitar las zonas de riesgo de inundación en El Paujil, y servir como insumo para el componente técnico de la gestión de ordenación agroambiental del territorio?

Objetivos

General

Modelar el riesgo de inundación en el municipio de El Paujil, Caquetá, mediante análisis espacial en SIG de variables agroambientales e hidrometeorológicas para identificar y categorizar las áreas de mayor riesgo

Específicos

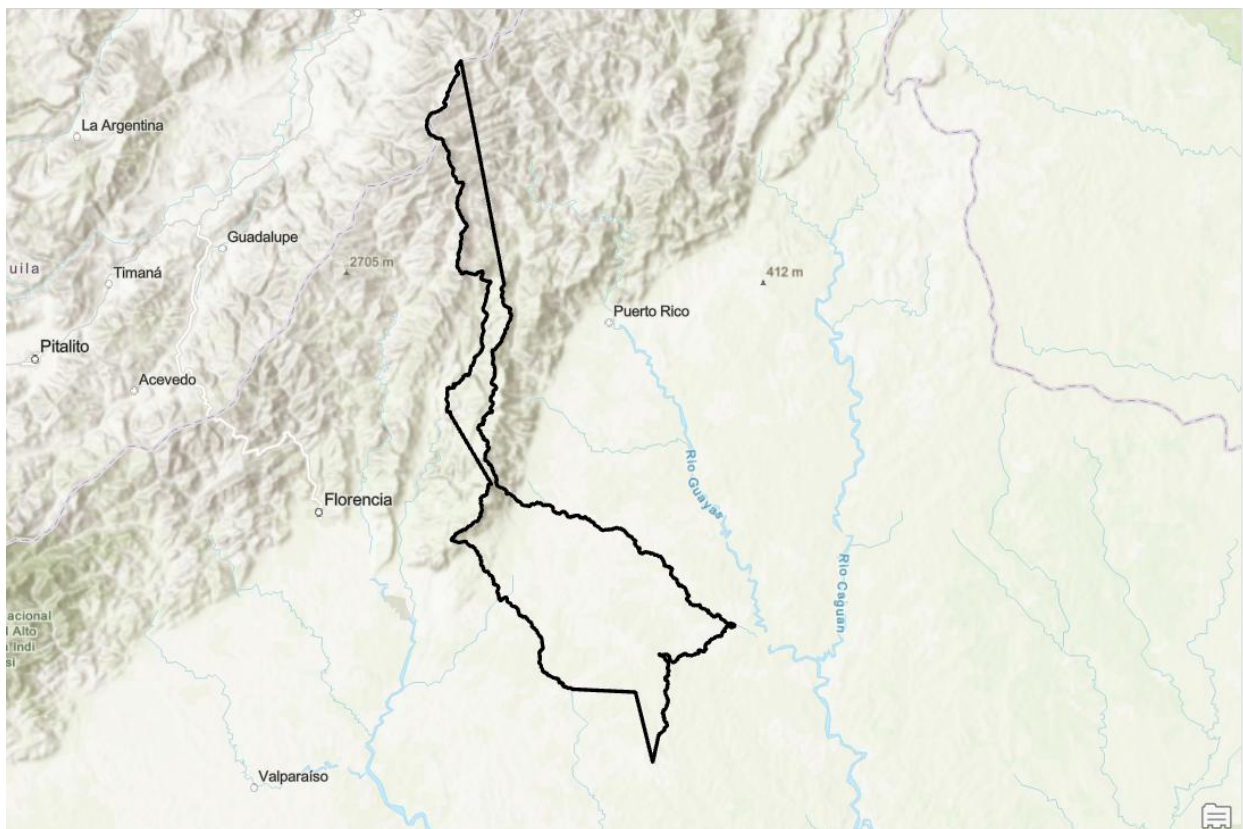
- Procesar y homogeneizar los insumos espaciales ráster mediante geo procesos de reclasificación, estandarizando las variables que influyen en una escala común de riesgo de inundación.

- Aplicar un análisis multicriterio (AMC) en SIG, asignando pesos a los factores de riesgo (pendiente, precipitación, distancia a drenajes y cobertura del suelo), para obtener el mapa ráster de riesgo de inundación.
- Convertir el modelo ráster de riesgo a formato vectorial, calcular el área por categoría de riesgo y realizar el análisis espacial de los resultados para establecer sus implicaciones en el ordenamiento agroambiental del territorio.

Identificación del caso de estudio

El caso de estudio se centra en el municipio del Paujil (ver figura 2), situado en el departamento del Caquetá en Colombia.

Figura 2. Municipio El Paujil (Caquetá)



Nota: La figura 2 nos muestra el mapa de la ubicación del municipio El Paujil realizado en el programa ArcGIS Pro. Fuente: Autoría Propia, 2025 (ArcGIS Pro)

Ubicación Geográfica y División Político-Administrativa: Geografía y División Político-Administrativa El Paujil se localiza en el área de la región amazónica colombiana y específicamente en el departamento del Caquetá. Presenta una ubicación privilegiada al encontrarse en la zona de transición del piedemonte de los Andes y la llanura amazónica (IGAC, 2018). La división del espacio municipal incluye una zona urbana delimitada y una amplia zona rural, en donde antes que se desarrollan las principales actividades agropecuarias que caracterizan la economía de la región local (Plan de Desarrollo El Paujil 2020-2023).

Características Físicas y Ambientales:

El municipio exhibe condiciones climáticas propias con una topografía predominantemente montañosa hacia el occidente con unos medios de piedemonte andino que alcanzan elevaciones considerables a partir de unos extensos llanos hacia el oriente. Esta dualidad geomorfológica (piedemonte y llano) requiere de un entendimiento particular del hidro sistema (Corpoamazonia, 2017).

Red Hídrica y la Topografía: La densa red hídrica (que incluye muy muchos drenajes para la llanura) representa la configuración de los principales afluentes del río Caquetá. La pendiente también predominante en gran parte del área de estudio es muy suave o casi plana, lo cual conlleva acumulaciones muy importantes de agua y, por tanto, incrementa el riesgo de inundaciones y desbordes (IGAC, 2018). La delimitación de lo que es el municipio resulta coincidente con esta topografía muy compleja.

Tipos de Suelos: La llanura presenta suelos típicamente de carácter aluvial y coluvial, los cuales, como regla general, tienen poca evolución, son ácidos y tienen relativamente escasa capacidad para un drenaje rápido (UPRA, 2021). En la parte inferior de la ladera, los suelos tienden a ser con mayor frecuencia más superficiales y a presenta una mayor probabilidad de erosión y de movimientos en masa. Esta condición suelo agrava la vulnerabilidad territorial frente a lluvias muy intensas.

Cobertura y Uso del Suelo: El municipio aún mantiene fragmentos de bosque húmedo tropical, pero la mayor parte de la llanura ha sido manipulada, predominando los pastos para el ganado de extensivo, lo que produce una disminución de la capacidad de amortiguación hídrica de los suelos, aunado a un aumento de la escorrentía superficial y del caudal de los drenajes (IDEAM, 2023).

Características Climáticas: Las condiciones climáticas El Paujil posee un clima típico de la zona tropical húmedo (Af, de acuerdo con la clasificación de Köppen), el cual está caracterizado por temperaturas elevadas y abundantes precipitaciones a lo largo de todo el año.

Precipitaciones: La época de mayores precipitaciones se concentra en dos periodos anuales: del mes de abril a julio y del mes de octubre a diciembre. La región presenta un registro de

precipitaciones anuales que normalmente superan los 3,500 mm (IDEAM, 2022). La época de precipitaciones elegida para el modelamiento es el mes de noviembre (datos de 2023), que es de alta intensidad y elevadas acumulaciones lluvia.

Temperaturas: La temperatura promedio anual oscila alrededor de los 26° C, si bien presenta escasas variaciones a lo largo del año. Esta elevada temperatura sumada a la elevada humedad determina que se produzcan procesos de evapotranspiración, pero la variable que determina el riesgo antrópico es la intensidad de la precipitación (Corpoamazonia, 2017).

- **Marco de Referencia**

El Marco de Referencia establece el espacio (geográfico, temporal e institucional) en el que se desarrolla el estudio de modelación del riesgo de inundación.

Contexto Geográfico y Espacial

El ámbito geográfico y espacio forma parte de la municipalidad de El Paujil, el cual está en el departamento del Caquetá, Colombia. El Paujil se ubica bajo el ámbito geográfico en las dos zonas de transición que se entrelazan: la zona de transición Andino-Amazónica y la zona de Llano Amazónico (de acuerdo con IGAC, 2018). Esta posición geográfica le da a El Paujil una doble geomorfología: relieve accidentado en el occidente (piedemonte) y extensos llanos con meseta baja en el centro y el naciente (Corpoamazonia, 2017). La densa red hídrica pone al Paujil en una posición vulnerable, dado que una gran cantidad de drenajes cruzan las llanuras, lo que hace que prevalezca un ámbito naturalmente vulnerable y propenso al estancamiento y desbordamiento del agua, especialmente en las situaciones de eventos hidrometeorológicos extremos (Secretaría de Planeación El Paujil, 2021).

Contexto Problemático

El estudio se estructura a partir de la problemática de vulnerabilidad territorial frente a la amenaza de inundación, complejizada a partir de la intensificación de episodios hidrometeorológicos a partir del cambio climático (IDEAM, 2022). La carencia de cartografía y la ocupación tradicional de zonas de ronda hídrica con actividades agropecuarias resistentes (ganadería y agricultura) constituyen el núcleo de la intervención, legitimando la utilización de herramientas técnicas para demarcar las zonas en riesgo.

Contexto Metodológico

El estudio se enmarca en los métodos del Análisis Espacial y en la Modelación basados en los Sistemas de Información Geográfica. En cuanto a la metodología concreta, el estudio implica el uso del Análisis Multicriterio, el cual permite la integración jerárquica de variables físicas (DEM, pendientes, precipitación, distancia a drenajes) en un modelo de riesgo posibilitando la georreferenciación. El contexto metodológico constituyendo la base para la elaboración de un producto técnico que va más allá de la evaluación cualitativa, y que se adentra y proporciona una

base cuantitativa (cálculo de km² de riesgo) como sustento para la planificación (Malczewski, 2004).

- **Marco de Antecedentes**

El Marco de Antecedentes evalúa la existencia de investigaciones previas relevantes para la modelación de riesgos mediante SIG a nivel nacional y local, con el fin de establecer el contexto en el cual se encuentra la investigación.

Antecedentes a Nivel Nacional (Modelación con SIG)

Varias investigaciones en Colombia han empleado los SIG para la gestión del riesgo de inundación, específicamente para cuencas medias y bajas: IDEAM Y UNGRD (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres): Estas entidades han dirigido la producción de cartografía de amenaza y vulnerabilidad hidrometeorológica. Sus informes técnicos y alertas tempranas (por ejemplo, PNUD, 2020), constituyen el punto de partida para conseguir una comprensión sobre la dinámica fluvial del país, así validando la necesidad de modelos de zonificación a escala local como el que fue desarrollado en El Paujil.

Estudios académicos sobre el piedemonte amazónico: Universidad Nacional o la UNAD, han utilizado el AMC para la identificación de áreas potenciales o restringidas para actividades agrícolas como para actividades de conservación. Este tipo de análisis confirmaron la validación de la técnica de ponderación de las variables físicas, que son determinantes en la respuesta hidrológica del suelo ante las intensas precipitaciones, tal y como se refleja en el trabajo de Sarmiento et al. (2018).

Antecedentes a nivel local (el contexto El Paujil y Caquetá)

Los antecedentes locales son escasos en términos de cartografía de riesgos detallada y se basan en los documentos de planificación: **Planes de Ordenamiento Territorial (POT/EOT)** de El Paujil: los documentos constitutivos de los POT de El Paujil sí hacen referencia bien sea de forma explícita, bien sea de forma implícita, a la existencia de la amenaza por inundación, y recogen eventos históricos. Pese a ello, poseen normalmente un escaso grado de precisión con la cartografía precisa (escala detallada 1:5.000 o 1:10.000) que se obtiene con la modelación ráster a polígono. Su contenido se limita a descripciones genéricas de la amenaza por la inundación. Este estudio, al ofrecer, la zonificación cuantificada, se presenta como un estudio que complementa un vacío de información técnica desde la perspectiva concerniente al instrumento de planificación municipal.

Estudios Agrológicos y Climáticos del IGAC: El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2018) ha llevado a cabo estudios de los suelos y de zonificación que determinan la vocación y limitaciones de las tierras. Dichos estudios muestran que la gran parte del suelo en la llanura de El Paujil se clasifica como limitación por drenaje y texturas finas, lo cual avala la alta calificación de riesgo asignada a las zonas de baja pendiente en el modelo AMC.

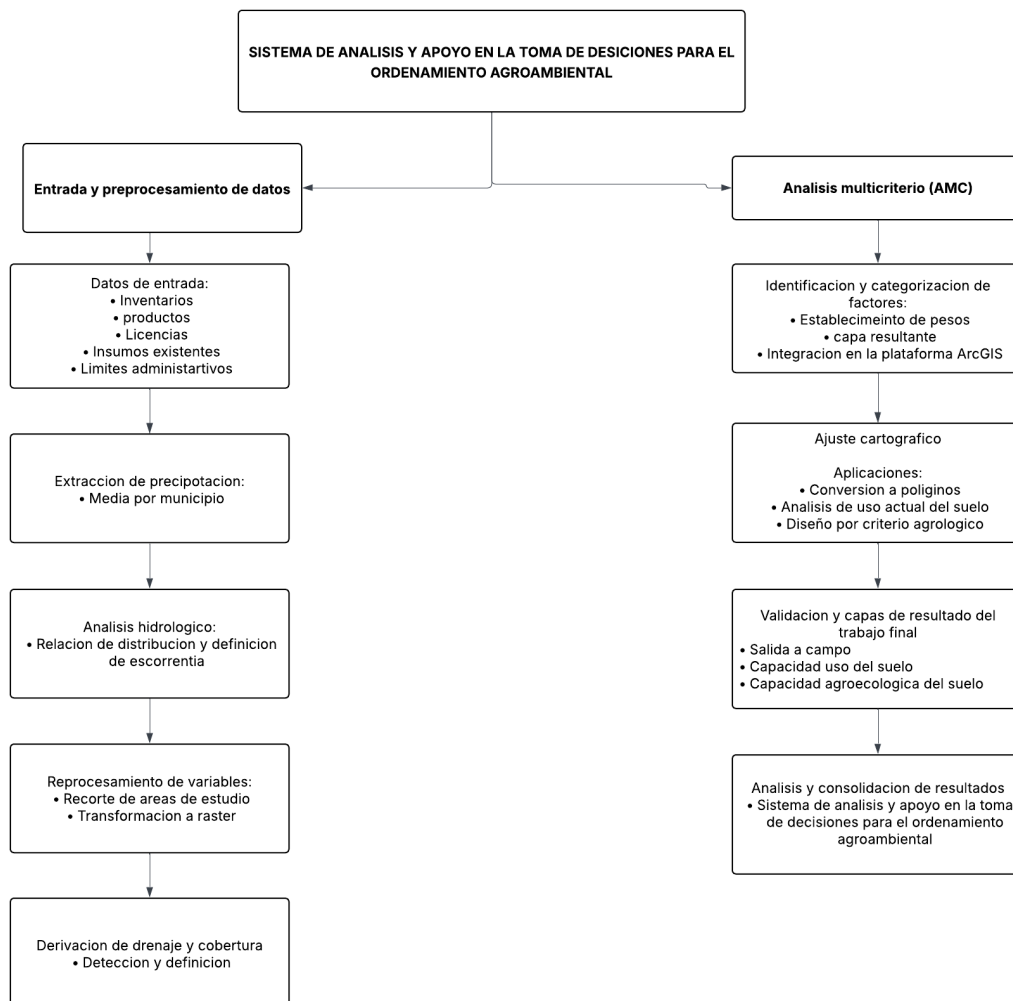
Metodología

La modelación del riesgo de inundación se realizó mediante un Análisis Multicriterio (AMC) para el mes de noviembre del año 2025, técnica muy empleada en SIG para la toma de decisiones espaciales (figura 3), ya que, se basa en la combinación entre la información que tiene un problema a resolver (los criterios), estandarizada y ponderada previamente (Malczewski, 2004) al obtener el riesgo. Este trabajo se llevó a cabo en el software ArcGIS Pro. Esta metodología se describe a continuación.

Proceso de Modelación del Riesgo

En la primera fase se realizaron la preparación y la estandarización de los insumos ráster: Pendiente, Precipitación, Distancia a los Drenajes y Cobertura del Suelo.

Figura 3: Diagrama de flujo de la metodología aplicada para la modelación y análisis del riesgo por inundación



Fuente: Autoría propia, 2025

- **Reclasificación:** Cada uno de los factores de riesgo fue reclasificado en un rango de valores de 1 a 10 (siendo 10 el riesgo máximo). Por ejemplo, las zonas de menor distancia a los drenajes y las zonas de menor pendiente recibirán los mayores valores.
- **Ponderación:** Se aplicó una ponderación a cada criterio relativa a la importancia que tiene determinado factor de riesgo. En el análisis descrito en el trabajo se observó que la Precipitación y la cercanía a los Drenajes (distancia a drenajes) suman el 65% del peso total.
- **Integración:** Se utilizó la función Álgebra de Mapas para realizar la combinación de los rásteres ponderados mediante el paso de suma ponderada que permiten obtener el ráster final de riesgo:

$$Riesgo = \sum_{i=1}^n (F_i \times P_i)$$

Donde F_i es el factor reclasificado y P_i es el peso que se le asignó al factor i .

Reclasificación Final del Riesgo: Se procedió a reclasificar el ráster final obtenido para asignarle los enteros entre 1 y 5 correspondientes a las categorías de riesgo como cualitativas (1 = Muy Bajo, 5 = Muy Alto), y se muestra en la Figura 1 el resultado en cuestión.

Producción del Producto Cartográfico Vectorial (Fase 6)

Para facilitar el cálculo de superficies y la presentación en forma de mapa, fue necesario que el modelo ráster de riesgo pasara a ser vectorial.

- **Conversión a Polígono:** Se empleó la herramienta De ráster a polígono (Raster to Polygon) en la que se introdujo como entrada el ráster de riesgo obtenido en la Fase 4 (ver Figura 2). El resultado obtenido, al que se denominó Vectorial_riesgo, se presenta como una capa con contornos irregulares y angulosos, un artefacto habitual en cualquier conversión entre ráster y vectorial.
- **Suavizado de Geometría:** Para contribuir a mejorar la calidad estética y cartográfica del vectorial obtenido, se aplicó el geo proceso Suavizar polígono (Smooth Polygon). A partir de ello se generó la capa Smooth_municipio con límites más fluidos y naturales, tal como puede observarse en (ver la Figura 8).
- **Disolver por Categoría:** Se aplicó el geo proceso Disolver (Dissolve) a la capa ya suavizada, empleándose el campo Gridcode (que comprende los valores del riesgo 1 a 5) como Campos a disolver (ver Figura 9). Este geo proceso provoca que la geometría simplifique, uniendo todo el conjunto de polígonos contiguos clasificados dentro del

mismo nivel de riesgo en una sola geometría, resultando en la capa final Riesgo_inundacion_municipio.

- **Cálculo de la Geometría:** Se procedió a abrir las tablas de atributos de la capa disuelta y se añadieron los campos Class_Riesgo (Texto) y Área_km2 (doble). Posteriormente, se empleó la herramienta Calcular geometría (Calculate Geometry) para llenar el campo Área_km2, fijando el área en km² y en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS CMT12 (ver Figura 11).
- **Simbolización y Categorización Cualitativa:** Por último, la capa Riesgo_inundacion_municipio se simbolizó por Valores únicos, usando el campo Gridcode (o el nuevo campo Class_Riesgo) para clasificar los tipos, de acuerdo con la clasificación cualitativa y el esquema de colores mostrados en la (ver Tabla 1 y ver la Figura 9).

Tabla 1. Reclasificación del riesgo por inundación.

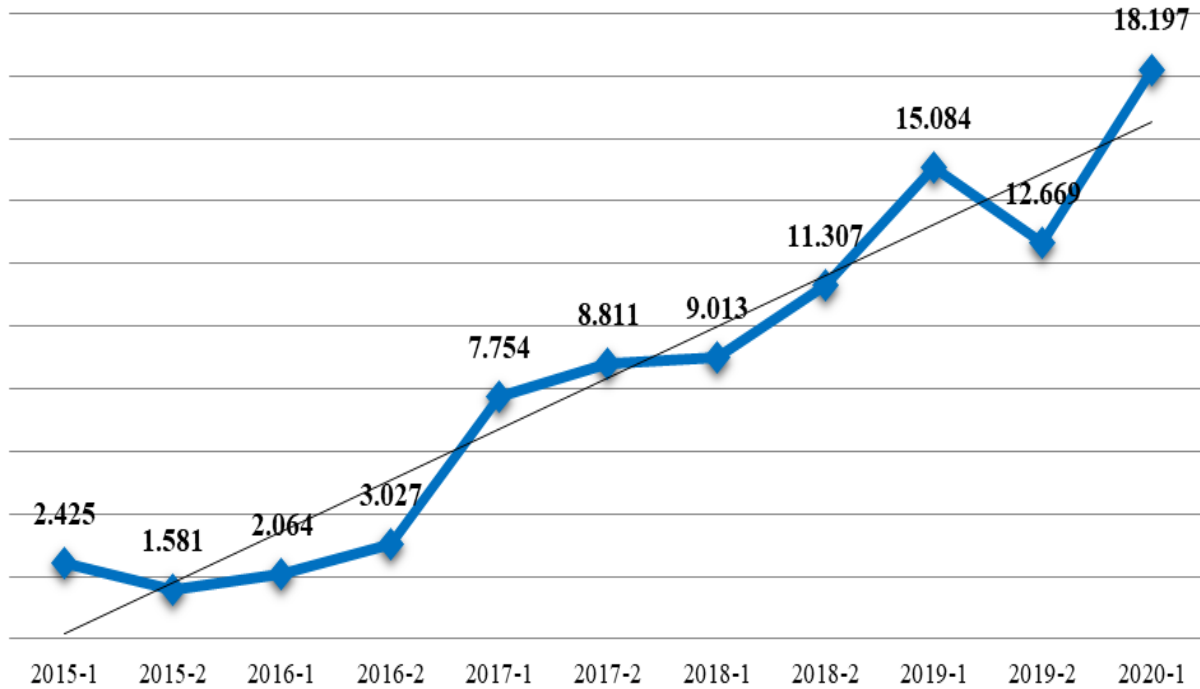
Valor (Gridcode)	Clasificación cualitativa
1	Riesgo muy bajo
2	Riesgo bajo
3	Riesgo medio
4	Riesgo alto
5	Riesgo muy alto

Nota: La tabla muestra la clasificación del riesgo de inundación en cinco niveles. Fuente: Autoría propia, 2025.

Insumos base:

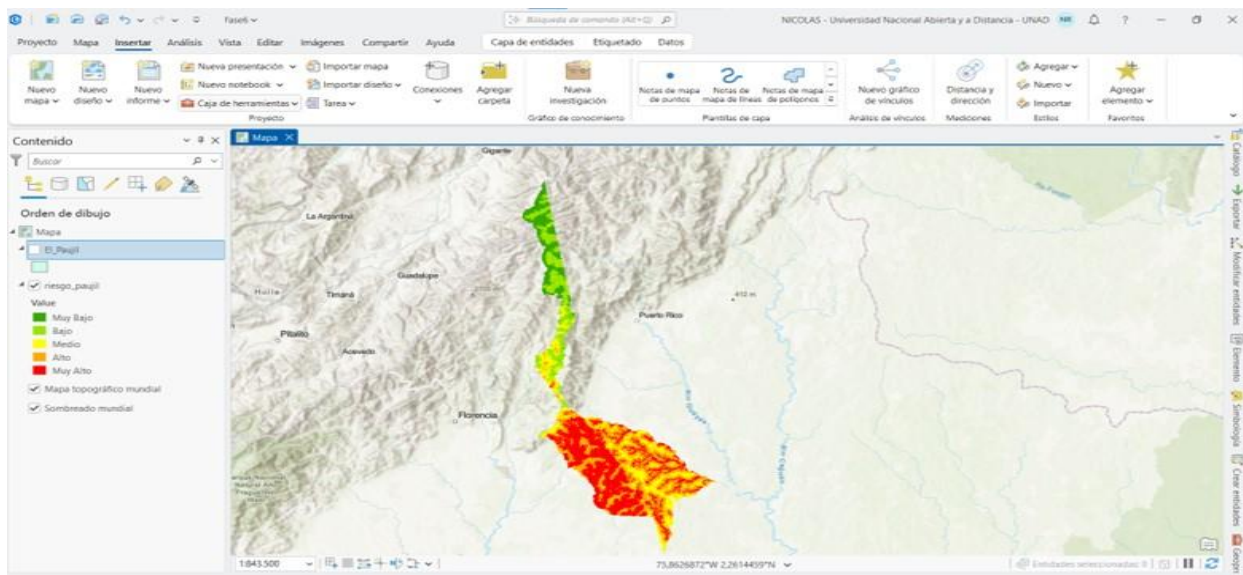
- ✓ Archivo ráster con resultado de mapa de riesgo.
- ✓ Archivo vectorial shapefile del municipio.
- ✓ Archivo ráster Streams_mun.

Figura 4. Ubicación geográfica y drenajes



Nota: Muestra el límite municipal de El Paujil y su densa red hídrica, insumo clave para la variable "Distancia a drenajes" del AMC. inundación (Ráster). Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro)

Figura 5:
Capa de Precipitación Reclasificada



Nota: Presenta la reclasificación del insumo de precipitación (*reclflowpau*) en una escala de valores comunes (1 a 10), esencial para la estandarización de criterios. La confección de un mapa de riesgo por inundación reviste características fundamentales para la planificación de un territorio, la gestión ambiental, así como para la toma de decisiones que atañen a los eventos hidrometeorológicos. Para su confección se aplican técnicas de análisis espacial y modelizaciones multicriterio que permiten integrar variables físicas, ambientales y climáticas. A continuación, se describen los principales procesos que se llevan a cabo para confeccionar el mapa final, el cual se clasifica en categorías riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

Recolección y preparación de la información.

El primer paso consiste en recoger y sistematizar los insumos requeridos para el análisis. Entre los datos que se utilizan se encuentran:

- Modelo de Elevación Digital (DEM)
- Ráster de pendiente (slope)
- Capa vectorial del municipio y del departamento
- Coberturas de la tierra (Corine Land Cover Nivel 2)
- Ráster mensual de precipitación

Todos los datos están proyectados al sistema MAGNA-SIRGAS CMT12, lo que permite homogeneidad espacial.

Micro procesamiento y recorte de capas.

Cada insumo geográfico se recorta al límite del municipio a fin de evitar valores exteriores que puedan alterar el resultado del estudio. En el caso de las coberturas de la tierra, se desarrollan los procesos de: Clip (Recorte) para limitarlas al área de estudio; Dissolve (Disolver) para unificar las categorías del campo Nivel_2e; Conversión a ráster, de forma que el tamaño de la celda sea de 30m.

Generación de capas hidrológicas.

Con el DEM se ejecutan los clásicos procesos de modelación hidrológica Fill (Relleno), Flow Direction (Dirección del flujo) y Flow Accumulation (Acumulación de flujo). Con los valores máximos de acumulación se calcula un umbral equivalente al 1%, lo que permite seleccionar los drenajes principales. A esta capa se le aplica posteriormente una reclasificación que da un ráster binario de presencia/ausencia de drenajes relevantes. Además, se calcula el ráster de Acumulación de distancia que indica la proximidad de cada celda a los drenajes principales.

Obtención del ráster o capas de precipitación del municipio.

El ráster o capas de las precipitaciones del departamento se recorta primero por departamento después por municipio, obteniendo:

- Tamaño de los píxeles igual al DEM

- Máscara del municipio
- Proyección MAGNA-SIRGAS CMT12

Esta capa es incluida como otro de los factores que aplicarse para la evaluación multicriterio.

Reclasificación de los criterios o factores.

Cada una de las capas es reclasificada a la escala común de riesgo (2, 4, 6, 8, 10), aplicando los criterios incluidos:

- DEM: Elevaciones bajas = mayor riesgo.
- Pendientes: Terrenos planos = mayor riesgo.
- Precipitaciones: Intensidades altas = mayor riesgo.
- Distancia a drenajes: Menor / Hasta distancia a drenajes = mayor riesgo.
- Coberturas del suelo: Según su susceptibilidad (bosques, cultivos, áreas urbanas, cuerpos de agua, etc.).

La reclasificación hace que cada una de las variables sean comparadas y compatibles entre sí para el análisis multicriterio.

Asignación de pesos y análisis multicriterio.

Cada uno de los factores tiene un peso determinado de acuerdo con la influencia acaecida de cada uno en la generación de las inundaciones:





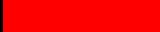
- Precipitaciones 35%
- Distancia a drenajes 30%
- Pendientes 15%
- DEM 10%
- Coberturas del suelo 10%

La integración de todos los factores reclasificados se realiza mediante la Suma Ponderada (Weighted Sum), obteniendo un ráster de riesgo inicial.

Reclasificación final del riesgo

El resultado de la sumatoria ponderada vuelve a clasificarse en cinco intervalos de riesgo:

Tabla 2. La tabla muestra las categorías de riesgo con su respectivo color

Clasificación de riesgo	Niveles	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

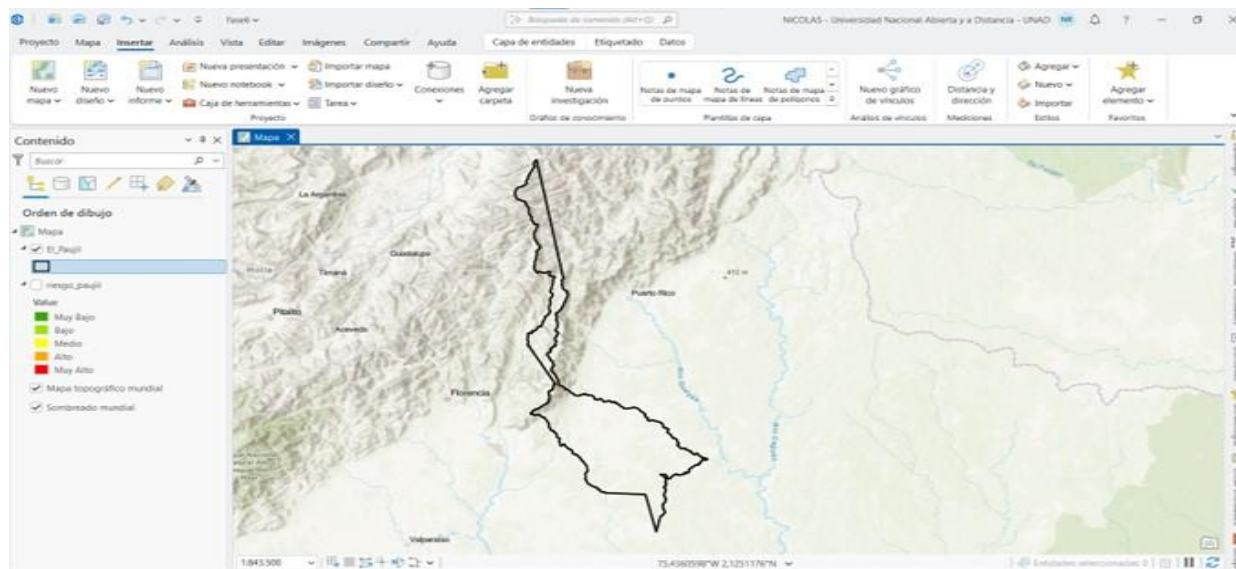
Nota: Cada intervalo se identifica con un rango de colores (ver tabla 4), para facilitar la interpretación gráfica y la localización de áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones en el municipio. Fuente: Autoría propia, 2025.

Resultados

El análisis multicriterio ha permitido elaborar el mapa de riesgo por inundación, clasificado en 5 intervalos: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Los resultados indican que las zonas de mayor riesgo se concentran en áreas de baja elevación, con pendientes poco pronunciadas, de alta precipitación y con condiciones cercanas a los drenajes principales, factores que incrementan la probabilidad de acumulación de agua.

Los territorios clasificados como de riesgo alto y muy alto se deben, principalmente, a zonas cercanas a cauces y/o zonas húmedas, donde se da la conjunción de condiciones físicas y/o medioambientales que favorecen el desbordamiento. Para las zonas localizadas en altitudes más elevadas, con pendientes más pronunciadas o con coberturas que aminoran la susceptibilidad (como la de bosques), se han clasificado dentro de los intervalos de bajo y muy bajo riesgo. El mapa final es una clara representación espacial del riesgo en el municipio y constituye una herramienta de gran utilidad para la planificación territorial y la gestión medioambiental.

Figura 6: Mapa Ráster de Riesgo por Inundación



Nota: La imagen muestra el resultado final del Álgebra de Mapas (Suma Ponderada) y la reclasificación en las cinco categorías de riesgo (Ráster), antes de la conversión vectorial.

“Con el fin de poder mejorar la representación del riesgo de inundación y permitir un análisis geométrico del territorio se llevó a cabo la transformación del mapa ráster de riesgo que fue generado en la fase 4 a un formato vectorial, obteniendo un resultado poligonal recogido por el

riesgo y que permite además hacer cálculos precisos de superficie y obtener un producto cartográfico más limpio y útil para el informe final. Este procedimiento fue realizado en tres etapas principales.” Fuente: Autoría propia,2024 (ArcGIS Pro).

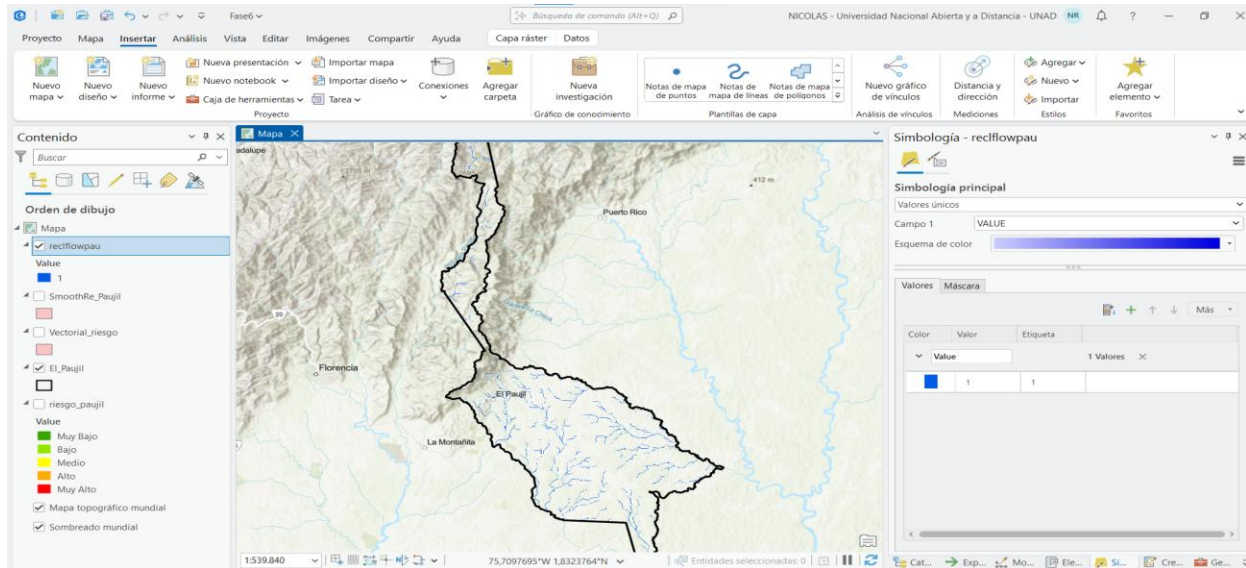
Conversión del ráster de riesgo a polígono.

Para ello se utilizó el geo proceso De ráster a polígono (Raster to Polygon), eligiendo entrada la capa Riesgo_municipio. Esta operación permitió obtener una transformación de cada celda reclasificada a unidades vectoriales y la asignación del valor categórico del riesgo al campo Gridcode, siendo este paso decisivo para conseguir una estructura espacial editable, idónea para los análisis estadísticos posteriores.

Suavizado de los polígonos generados.

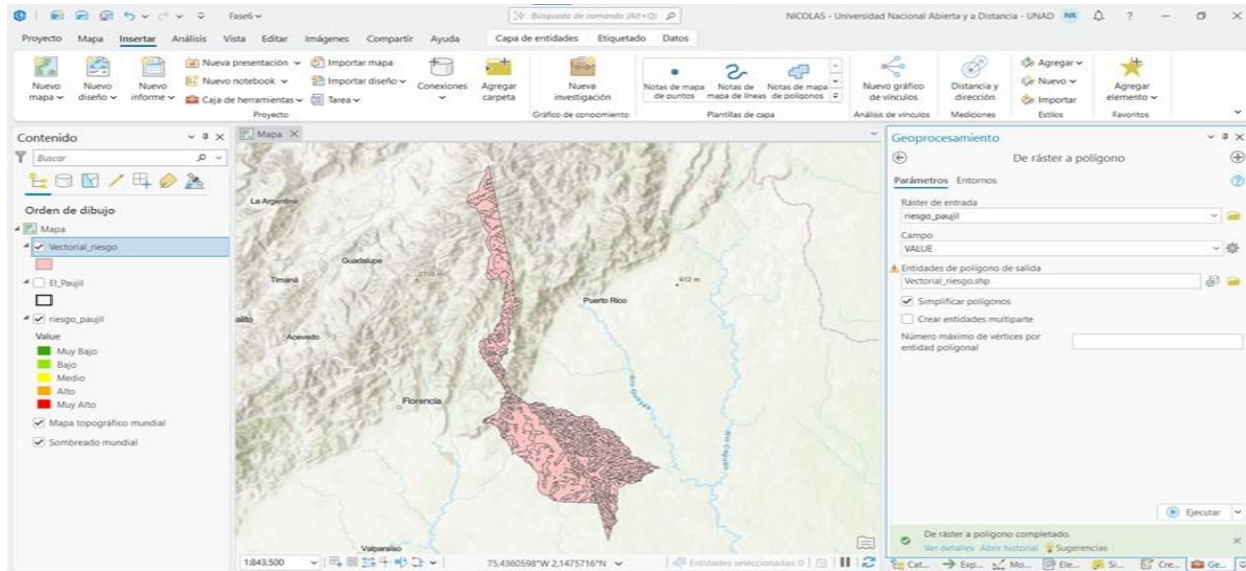
Dado que la conversión inicial produce polígonos de líneas muy irregulares o de ángulos muy reales, se aplicó el geo proceso Suavizar Polígono (Smooth Polygon) usando el algoritmo de Interpolación de Bézier con objeto de que la calidad visual del mapa generada fuera óptima, generando límites que resulten más continuos y, por lo tanto, más estéticamente adecuados para poder realizar una correcta elaboración del diseño cartográfico.

Figura 7: Conversión del Ráster a Polígono



Nota: Ilustra la aplicación de la herramienta Raster to Polygon y el resultado vectorial inicial (Vectorial_riesgo) con bordes angulares. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

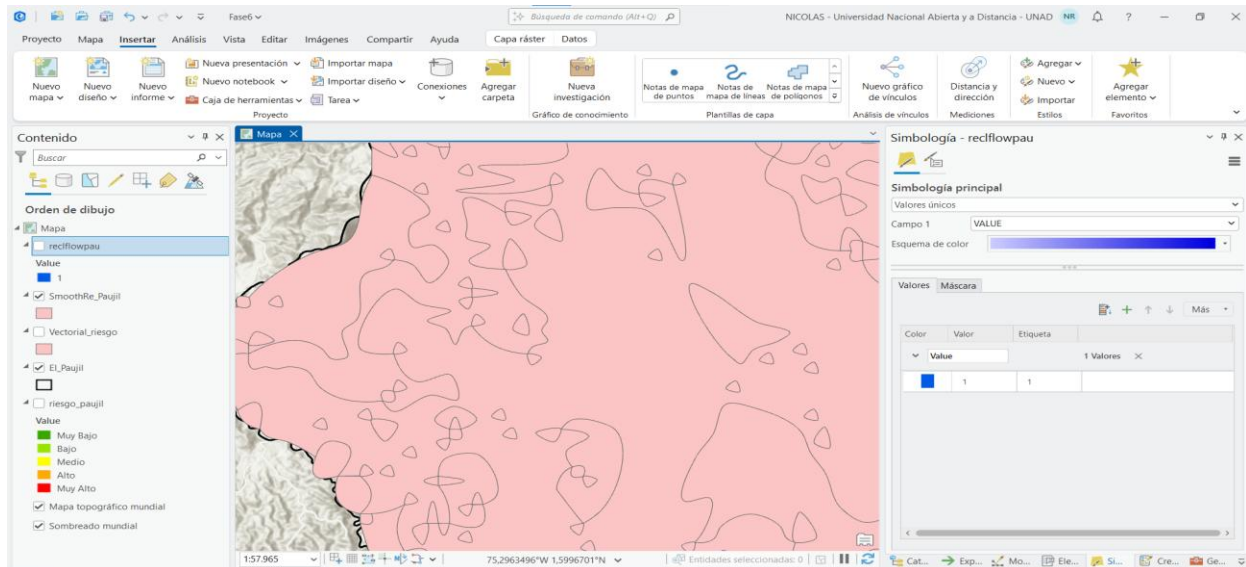
Figura 8: Suavizado de Geometría (Detalle)



Nota: Muestra un detalle del resultado del geo proceso Suavizar Polígono, donde la geometría se vuelve más fluida y natural, mejorando la calidad cartográfica. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

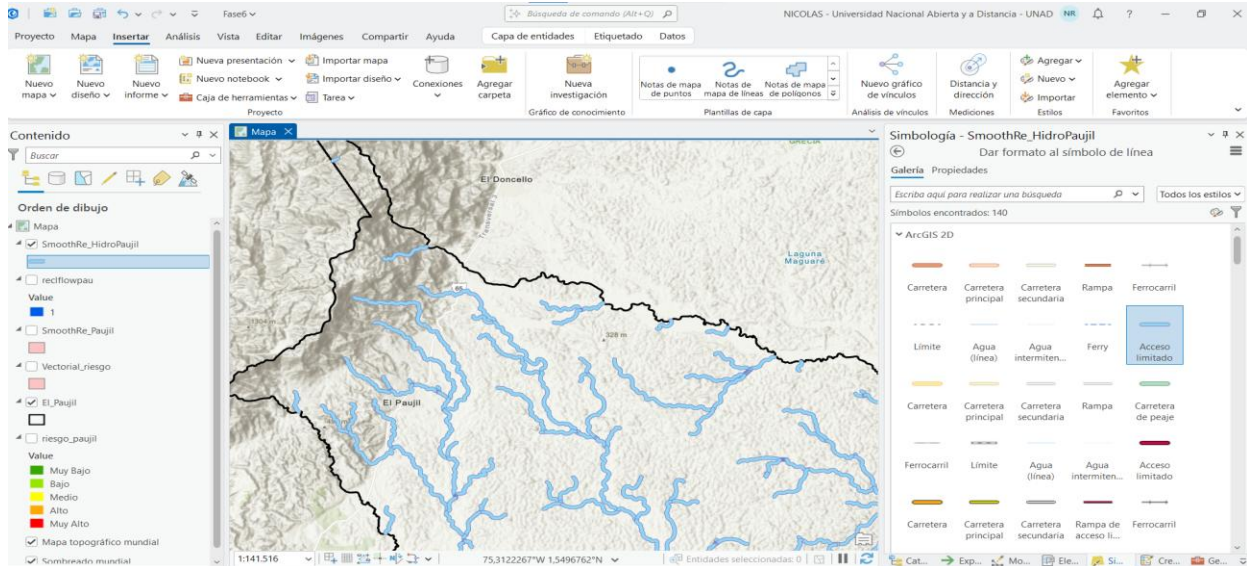
Figura 9: Aplicación del Geoproceso Dissolver

Finalmente se aplicó el geoproceso Dissolver (Dissolve) sobre la capa suavizada del riesgo por inundación, disolviendo los polígonos según el campo Gridcode. Se obtuvo así un mapa vectorial de cinco polígonos principales; uno por cada categoría de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. La simplificación de la capa original permitió el cálculo de áreas o superficies, la inclusión de etiquetas cualitativas y la mejora de la interpretación de resultados



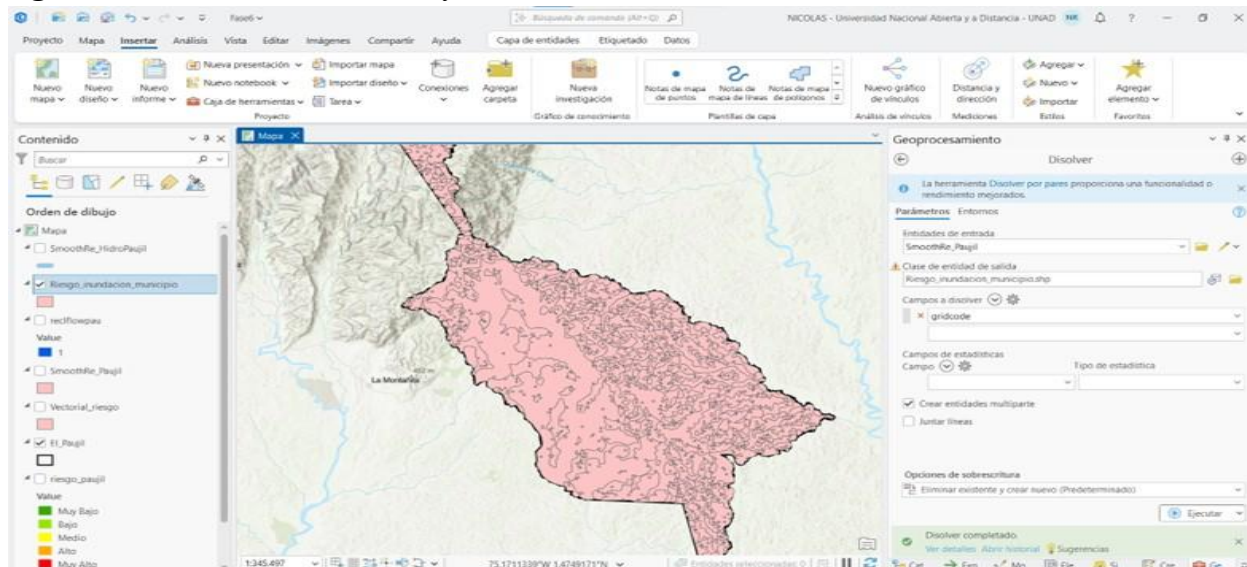
Nota: Muestra la interfaz de la herramienta Dissolver aplicada a la capa suavizada, utilizando el campo Gridcode para unificar polígonos contiguos por categoría de riesgo. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

Figura 10: Visualización de la Capa Disuelta (Límite)



Nota: Muestra la capa disuelta y simplificada (Riesgo_inundacion_municipio) junto al límite municipal, evidenciando la unión de geometrías. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

Figura 11: Cálculo de Geometría y Tabla de Atributos



Nota: Presenta la tabla de atributos de la capa final, mostrando la adición de los campos Clas_Riesgo y Área_km2, listos para el cálculo del área por categoría. Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

Resultados Obtenidos.

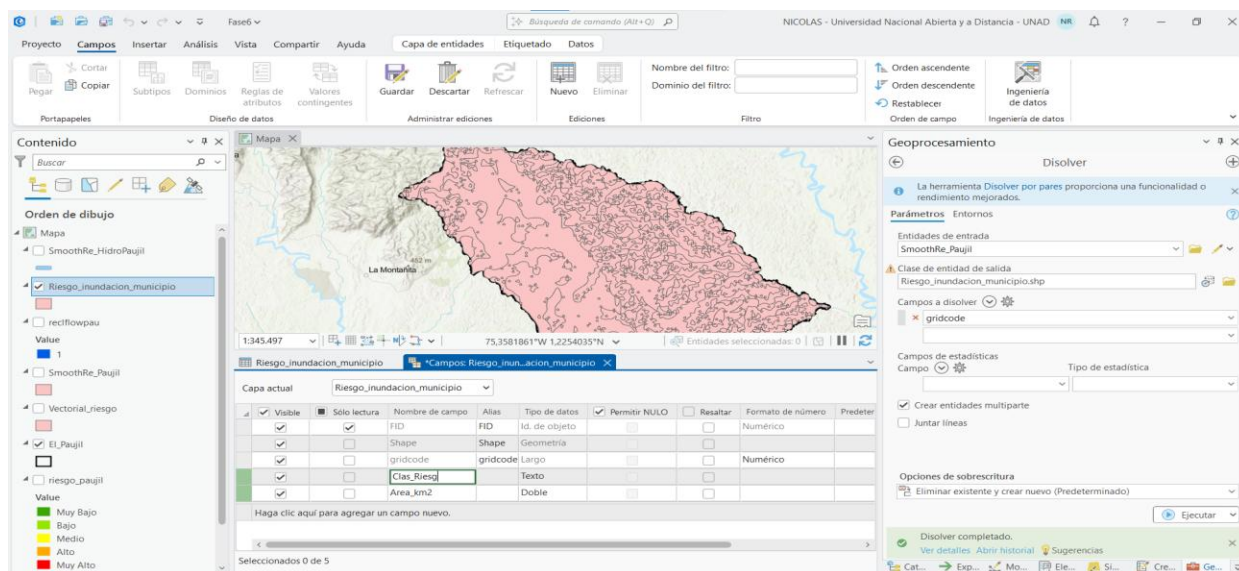
El procedimiento de la vectorización permitió consolidar un mapa claro y estructurado en donde de una forma coordinada, se fue consolidando la información sobre las zonas de riesgo a inundación.

Los resultados más significativos son los siguientes:

- Obtener un mapa vectorial que clasificado por categorías, permite ver de una forma ordenada y precisa las áreas susceptibles a inundaciones.
- Una mejora técnica y estética del resultado cartográfico, ya que se suavizan las superficies de los bordes y se delimitan las zonas de forma uniforme.
- Cálculo de la superficie (km²) de cada uno de los niveles de riesgo, una variable necesaria para las estimaciones cuantitativas y el análisis de los impactos en el territorio.
- Identificación de las zonas críticas claramente, sobresaliendo en la superficie las que han sido clasificados como de alto y muy alto riesgo, las que por tanto corresponden a la gran vulnerabilidad.
- Posibilidad de incorporar drenajes suavizados y cualquier otra información vectorial que enriquezca la interpretación de la relación entre la hidrología y el riesgo.

Por lo tanto, la generación del mapa vectorial hizo posible transformar la información que obtenemos del modelo de riesgo en una información cartográfica apropiada al servicio de la comunicación de los resultados, los propósitos de la planificación territorial y la sustentación del análisis en última instancia.

Figura 12: Mapa vectorial final de riesgo de inundación municipio de El Paujil.



Nota: Muestra el producto cartográfico final simbolizado con las cinco categorías de riesgo, listo para el análisis y la formulación de recomendaciones. En el marco de esta tarea, entendida como

proceso para la obtención del análisis y la vectorización del riesgo asociado a inundaciones, se generó el siguiente mapa, el cual estaba destinado al posterior cálculo de áreas de cada una de las categorías de riesgo que habíamos definido sobre el territorio municipal. Este mapa fue elaborado a partir de la capa vectorial suavizada y disuelta y permitía obtener polígonos para cada uno de los diferentes niveles de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto. Proceso de cálculo del área. Una vez obtenida la capa vectorial Riesgo_inundacion_municipio se ejecutaron los siguientes pasos: Fuente: Autoría propia, 2024 (ArcGIS Pro).

Creación de campos temáticos:

En la tabla de atributos se consideraron dos campos:

- Class_riesgo tipo texto, en el cual se asignó la clasificación que nos permitía identificar cualitativamente la identidad del valor numérico del campo Gridcode.
- Área_km2 tipo double, destinado a obtener el cálculo del área en km².
- Asignación de categorías cualitativas:

Con la tabla de reclasificación se completó el campo Class_riesgo con los valores:

- o Riesgo muy bajo
- o Riesgo bajo
- o Riesgo medio
- o Riesgo alto
- o Riesgo muy alto.

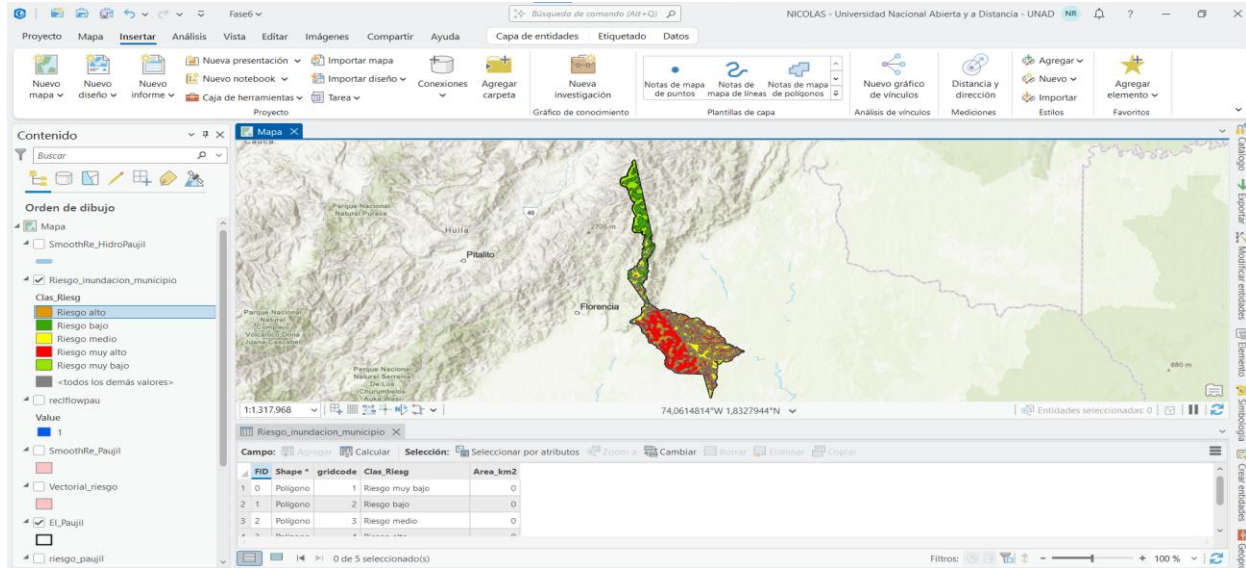
- Cálculo automático del área:

El área de cada polígono que representaba a las categorías de riesgo fue determinada con la aplicación calcular geometría. Para tal cálculo se utilizó la unidad del kilómetro cuadrado (km²), medida que cumple con el principio de que la medición se podía adecuar a la representación territorial.

Resultados del mapa de áreas

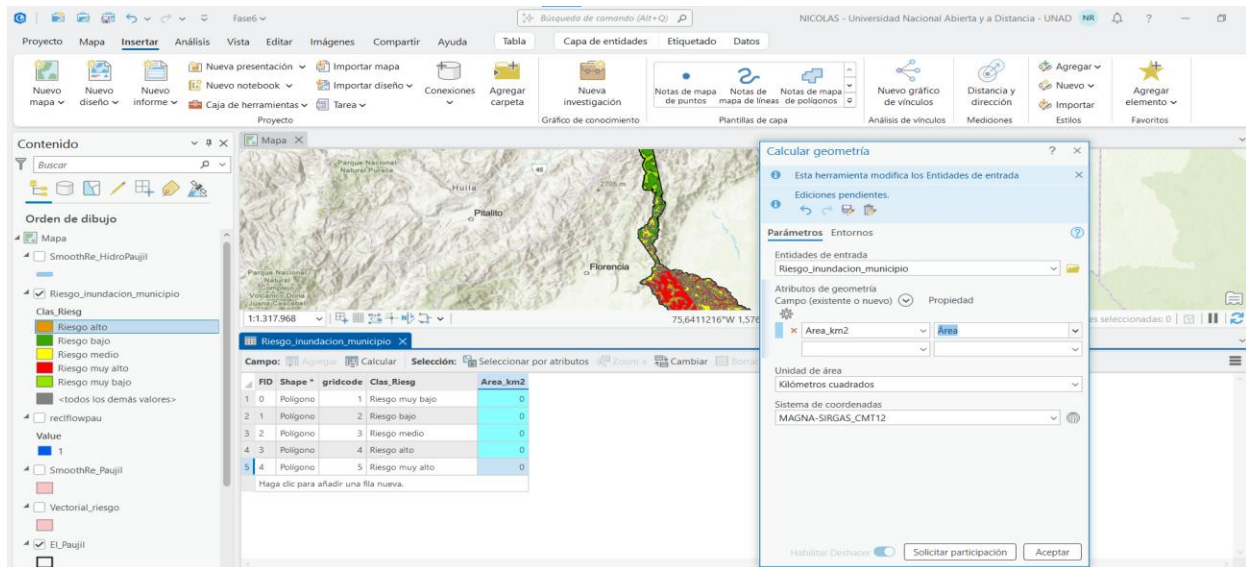
El resultado obtenido (ver figura 13) arroja la cuantificación métrica de cada área de riesgo en el municipio El Paujil, con el fin de determinar qué nivel ocupa mayor extensión, diagnóstico que constituye una premisa fundamental para la formulación de estrategias de mitigación y para el análisis comparativo entre zonas orientado a la toma de decisiones sobre la ordenación agroambiental, dichos resultados se representan mediante un mapa cartográfico integrando valores de área, simbolismo del mapa como en su leyenda, permitiendo así una visualización de la distribución del riesgo

Figura 13: Tendencia de un Indicador Agropecuario



Nota: Este mapa es uno de los insumos básicos del trabajo de informe final, ya que nos permite contar con la información básica propia de la magnitud de cada nivel de riesgo y resulta un aspecto fácil para la lectura del impacto en el territorio. Fuente: Autoría propia,2024 (ArcGIS Pro).

Figura14: Mapa final de cálculo de áreas por categorías



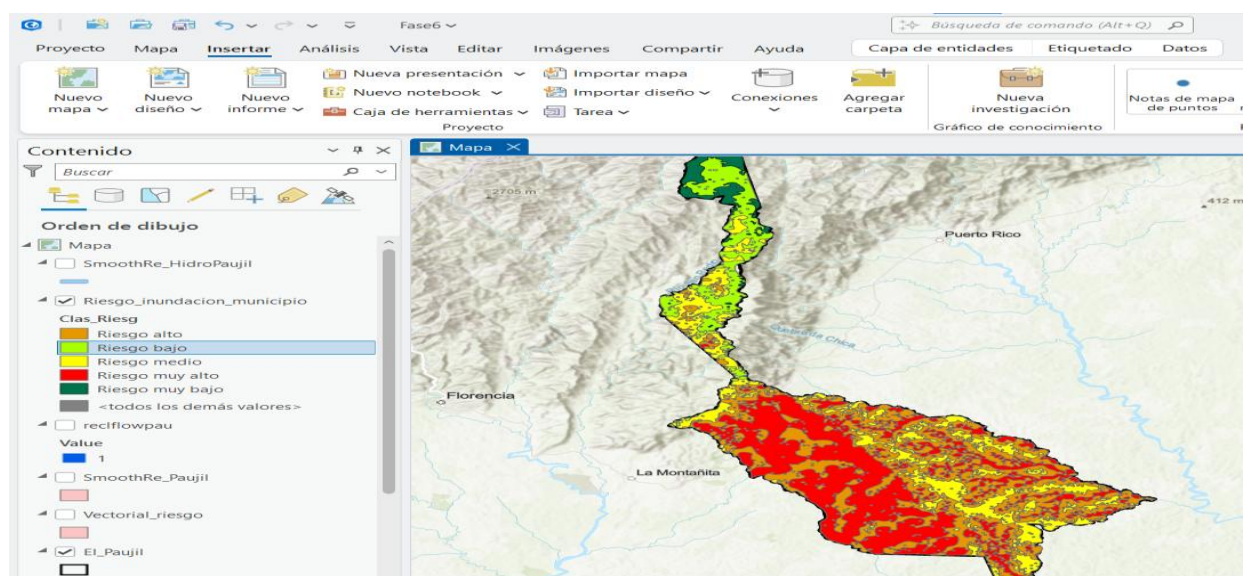
Fuente: Autoría propia,2024 (ArcGIS Pro).

Tabla 3. Distribución de áreas por nivel de riesgo de inundación en El Paujil, Caquetá.

	FID	Shape*	gridcode	Clas_Riesgo	Area_km2
1	0	Polígono	1	Riesgo muy bajo	106,895762
2	1	Polígono	2	Riesgo bajo	151,703539
3	2	Polígono	3	Riesgo medio	200,268151
4	3	Polígono	4	Riesgo alto	379,643111
5	4	Polígono	5	Riesgo muy alto	389,550177

Fuente: Autoría propia,2024 (ArcGIS Pro).

Figura 15: Mapa de Simbología Final según Categorías de Riesgo por inundación en el municipio de el Paujil (Caquetá)








Nota: A fin de simplificar la interpretación del riesgo de inundación en el municipio y realizar la representación cartográfica del riesgo de forma clara y estandarizada, se procedió a elaborar el mapa con la simbología final ajustada y basada en las cinco categorías de riesgo. Este mapa representa el resultado final del procedimiento de modelación tras la reclasificación del ráster ponderado y su conversión a formato vectorial. Fuente: Autoría propia,2024 (ArcGIS Pro).

Proceso de ejecución de la simbología final

Una vez obtenida la capa vectorial disuelta de las categorías, se aplicó la simbología mediante valores únicos teniendo como referencia el Gridcode (valores de 1 a 5). Posteriormente se aplicó la simbología cualitativa asignando un nombre a cada una de dichas clases:

Tabla 4. Clasificación cualitativa del riesgo por inundación

Clasificación cualitativa	Valores	Simbología
Riesgo muy bajo	1	
Riesgo bajo	2	
Riesgo medio	3	
Riesgo alto	4	
Riesgo muy alto	5	

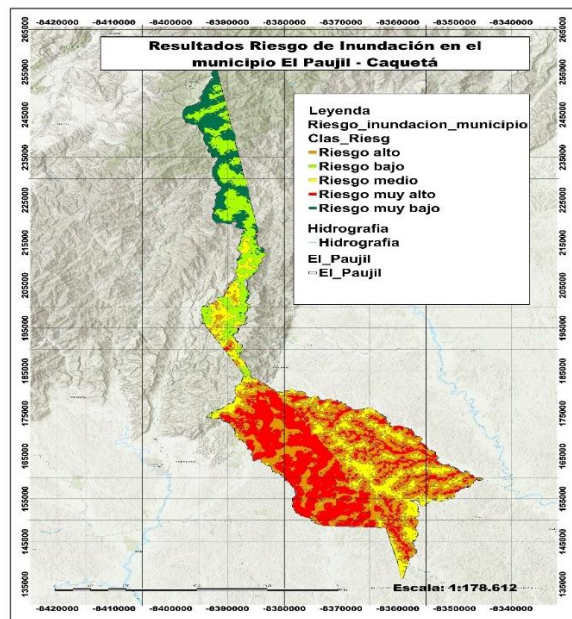
Nota: La tabla muestra la clasificación del riesgo de inundación en cinco niveles y utiliza un código de colores para su identificación. Fuente. Guía de aprendizaje UNAD

Los colores asignados a cada categoría fueron definidos siguiendo las recomendaciones cartográficas para mapas de riesgo para que tuvieran como resultado una lectura rápida y comparativa de las zonas del municipio que son más críticas.

Resultados

El mapa de riesgo por inundación, municipio de el paujil (Caquetá) (ver figura 15), y la información cuantitativa obtenida nos definen un riesgo de inundación con distribución espacial coherente con la dinámica de tipo hidrológica o topográfica del municipio, la modelación cartográfica final, la cual fue generada tras el proceso vectorial, corresponde al resultado de la distribución espacial de las categorías de riesgo de inundación para el municipio de El Paujil.

Figura 16. Riesgo por inundación, municipio de El Paujil (Caquetá). (ver anexos, figura 16)



Nota: El mapa de riesgo muestra la clasificación del riesgo, donde las áreas en rojo son de Riesgo Muy Alto, y aquellas en naranja, de Riesgo Alto, ambas se encuentran concentradas en las zonas bajas. Fuente: Elaboración propia (ArcGIS Pro, 2025).

Zonas de Mayor Riesgo (rojo y naranja): Las zonas clasificadas con Riesgo Muy Alto y Riesgo Alto del área de estudio tienen una notable distribución en la parte baja central, a lo largo de los drenajes y quebradas más importantes (ver Figura 7). Estas zonas son las correspondientes a las llanuras de inundación o terrazas bajas, ubicadas donde la pendiente es escasa y el agua tiende a estancarse. Lo anterior puede suponer un posible impacto directo en:

- **Comunidades e Infraestructuras:** Impacto directo en las viviendas y vías rurales situadas en las riberas e infraestructura (puentes y acueductos).
- **Sistemas Agropecuarios:** Impacto en cultivos o praderas e incluso en ganado, pues, ocupando las llanuras aluviales extensamente se encuentran las pasturas. Con una mirada desde la agroforestal, las llanuras aluviales son una zona importante que necesita la creación de franjas forestales ribereñas (rondas hídricas) con especies tolerantes a la inundación y que "amenazan" a mitigar la erosión y el impacto anterior.

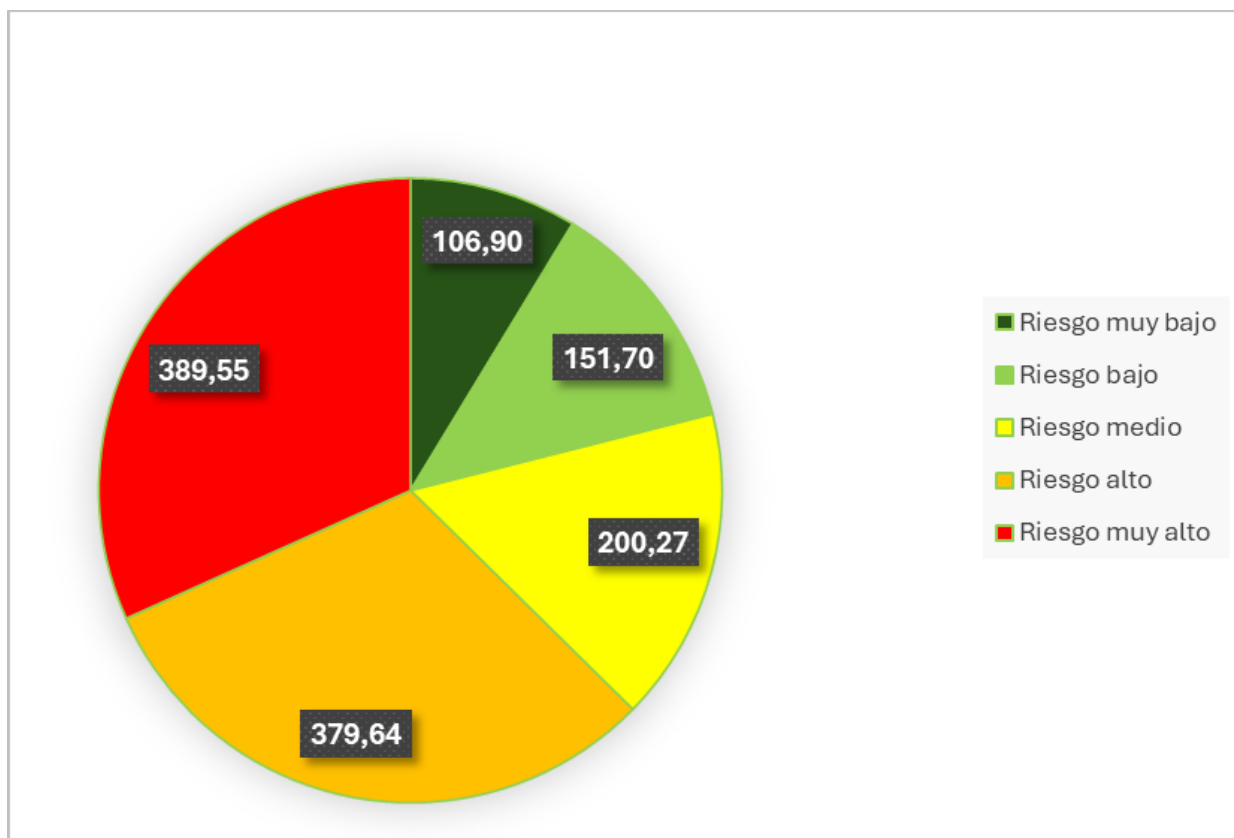
Zonas con Menor Riesgo (Verde): Las áreas situadas en la parte alta, localizadas dentro de las zonas de piedemonte con pendientes más acentuadas, son las que han sido clasificadas como Riesgo Bajo. La conformación del relieve de estas áreas propicia la escorrentía superficial, atenuando la posibilidad de inundación por desbordamiento, zonas donde se puede afrontar adecuadamente los desarrollos agropecuarios o infraestructuras que requieran un menor riesgo hidrológico, pero aquí, el riesgo predominante podría ser el de movimientos en masa (deslizamientos), pero no evaluado en este modelo.

Históricamente, las zonas planas y los arrecifes de los cauces del Caquetá han sufrido desbordamiento en su época invernal y, por tanto, valida la modelación (IDEAM, 2022). La sumatoria de algunos de los determinantes (pendientes, precipitación, cobertura y distancia a drenajes) fue un **insumo importante para proyectar el territorio agroambiental** de forma sostenible.

Torta y tabla de clasificación cualitativa y cuantitativa de las áreas por nivel de riesgo

Esta simbolización cualitativa y cuantitativa del riesgo se asignó valores numéricos a cada nivel (desde riesgo muy bajo a riesgo muy alto), mediante la capa vectorial de riesgo, se calculó el área (km²) para cada una de las categorías de riesgo.

Figura 17: Distribución por Riesgos de inundación en el municipio de El Paujil (Caquetá)



Nota: La figura muestra un gráfico circular de la distribución de riesgos con sus respectivos porcentajes. Fuente: ArcGIS Pro

❖ **Análisis de datos: Distribución del Riesgo**

A continuación, se presenta el análisis detallado de la distribución espacial del riesgo de inundación para el municipio de El Paujil, Caquetá, basado en el cálculo de áreas en km² (Tabla 2 y Figura 8 del informe).

Composición general:

El área total es 1228,06 km², distribuida en cinco categorías de riesgo. Al observar los porcentajes, se nota una concentración muy alta en los niveles de riesgo elevado.

Categorías con mayor peso:

- Riesgo muy alto: 31,72% (389,55 km²)
- Riesgo alto: 30,91% (379,64 km²)

Tabla 5. Análisis de datos: Distribución del Riesgo.

Clasificación de Riesgo	Área (km²)	Porcentaje (%)
Riesgo Muy Alto (5)	389,55	31,72%
Riesgo Alto (4)	379,64	30,91%
Riesgo Medio (3)	200,27	16,31\%
Riesgo Bajo (2)	164,57	13,40%
Riesgo Muy Bajo (1)	94,03	7,65%
Total	1228,06	\$100,00%

Nota: La tabla muestra la clasificación de riesgo con sus respectivas áreas y porcentajes desde el más alto hasta el más bajo. Fuente: Autoría propia, 2025.

Entre ambas suman el 62,63% del territorio. Esto indica que más de la mitad del área analizada se encuentra en condiciones críticas o muy desfavorables.

Categorías de riesgo menor:

- Riesgo medio: 16,31% (200,27 km²).
- Representa un nivel intermedio, posible zona de transición.
- Riesgo bajo + muy bajo: 21,05% (258,6 km²). Un poco más de una quinta parte del total.

Esto muestra que las zonas con condiciones favorables o seguras son las menos extensas.

Entre ambas categorías suman el 62,63% del territorio. Esto indica que más de la mitad del área analizada se encuentra en condiciones críticas o muy desfavorables frente a la amenaza de inundación. Este dato es el hallazgo central del estudio.

Categorías de Riesgo Menor:

Riesgo Medio: 16,31% (200,27 km²). Representa un nivel intermedio, actuando como una posible zona de transición entre la llanura aluvial y las laderas.

Riesgo Bajo + Muy Bajo: 21,05% (258,60 km²). Un poco más de una quinta parte del total.

Las zonas con condiciones geográficas inherentemente más seguras o favorables son las claramente minoritarias.

Tendencias generales

La distribución está altamente inclinada hacia el riesgo alto y muy alto, lo cual podría reflejar:

- vulnerabilidad geográfica,
- presencia de amenazas ambientales significativas,
- falta de infraestructura adecuada,
- condiciones socioeconómicas que incrementan el riesgo.

Las áreas de riesgo bajo y muy bajo son claramente minoritarias, por lo que cualquier planificación territorial debe priorizar acciones en las zonas críticas.

Implicaciones para la gestión del riesgo

Con el alto grado de concentración de los riesgos, se sugiere que el esfuerzo de la administración municipal se deba enfocar en:

Intervención de la Reducción del Riesgo: Implementación de proyectos de reducción del riesgo, de prevención (trabajos de drenaje, reforestación de riberas), e incluso reubicación si corresponde, en las zonas que están clasificadas como de Riesgo Muy Alto y Alto.

Manejo Continuo del Riesgo: Implementar un sistema de alerta temprana en las zonas de Riesgo Medio que operan como áreas de expansión del riesgo en eventos extraordinarios.

Protección y Conservación: Conservación de las áreas de bajo riesgo para evitar la degradación de la cobertura vegetal o la edificación de infraestructura que pueda generar nuevos focos de riesgo.

- **Análisis contextualizado: Agroambiental y Socioeconómico**

Este análisis vincula los resultados de la modelación del riesgo con la dinámica del territorio y las necesidades del municipio de El Paujil.

- **Análisis de la Demanda y Tendencias:**

La elevada concentración de riesgo (62,63% del territorio) genera una demanda inminente de los instrumentos de Ordenamiento Agroambiental. Análisis Estratégico:

Demanda de Planificación Restrictiva: Hay un pedido explícito de que el EOT/POT incorpore esta zonificación de riesgo - ya que las zonas de Riesgo Muy Alto son esas por las que son compatibles con los mejores pastos o los suelos aluviales a utilizar para la producción y el desarrollo de un claro conflicto de uso del suelo. La demanda es dar orden a la expansión agropecuaria y urbanística en esas zonas.

Tendencia hacia la intervención ecológica: La tendencia -en el contexto global y nacional (Ley 1523/2012)- es pasar de las intervenciones estructurales (diques y muros) a las soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN). El diagnóstico del entorno es imperar la promoción de sistemas agroforestales ribereños y la recuperación de la cobertura vegetal como la mejor estrategia para paliar el riesgo de inundación a largo plazo.

Demanda de una buena representación: La demanda particular para la gestión de riesgo es de un paso de los mapas generales a la representación precisa vectorial de este estudio que facilita la caracterización de predios y familias a los efectos del 62,63% del área crítica.

- **Análisis Estratégico: Consecuencias para la Sostenibilidad Territorial**

El análisis estratégico es un momento de evaluación, el de cómo los resultados del modelo se traducen en acciones de gran impacto a favor de la sostenibilidad y el desarrollo de El Paujil.

Riesgo como Oportunidad de Reordenamiento. A la distribución del riesgo no hay que ponerle la etiqueta de problema únicamente, sino más bien considerarla como una oportunidad estratégica para encauzar el crecimiento. De acuerdo con lo anterior, la acción estratégica que debería dar el municipio es:

Consolidar la Producción: Impulsar los sistemas agropecuarios intensivos e infraestructuras en el 21,05% de las zonas del Territorio de Riesgo Bajo/Muy Bajo, asegurando la inversión en zonas de resiliencia.

Restaurar los Servicios Ecosistémicos: Reservar el 62,63% de los Territorios de Riesgo Alto/Muy Alto para que la restauración y la conservación de rondas hídricas sean las prioridades dentro del accionar, de tal forma que los ríos se vean reforzados como un espacio para crecer y sin que se provoquen daños estructurales.

Inversión Prioritaria y de Focalización: La concentración del riesgo conlleva una focalización estratégica de la inversión pública. Se trata de orientar los recursos, en lugar de dispersarlos por el territorio, proceder de la siguiente manera en lo que respecta a la estrategia: los proyectos de infraestructuras de protección (drenajes, reforestaciones) deben orientarse hacia las cabezas de las zonas críticas (los 389,55 km² de Riesgo Muy Alto).

Integración Intersectorial: Se debe articular frente a la Secretaría de Planeación (Ordenación Territorial), la Unidad de Gestión del Riesgo y a la Secretaría de Agricultura. El mapa de riesgo se convierte en la herramienta intersectorial que garantiza que las decisiones de uso del suelo y las inversiones agropecuarias no se efectúen en zonas de inminente pérdida.

Conclusiones

La modelación del riesgo de inundación mediante SIG evidenció la fuerte correlación que la distribución espacial del peligro en El Paujil tiene con factores geomorfológicos e hidrológicos, puesto que la lógica del modelo se valió también de que las partes de Riesgo Muy Alto se distribuyen preferentemente de forma lineal a lo largo de los cauces de los ríos y drenajes principales, consistente con la acumulación del caudal en zonas de pendientes muy suaves ("toboganes") y que son parte de una llanura aluvial.

El estudio dio respaldo cuantitativo de calidad, haciéndonos ver el riesgo del territorio: las categorías de Riesgo Alto y Muy Alto suponen 769,19 km² entre ambas (54,3 % de la superficie considerada).

El Riesgo Muy Alto ocupa 389,55 km² (27,5 %), ocupando precisamente las zonas más adyacentes a la red hídrica, lo que apunta un riesgo importante y directo contra la infraestructura de las riberas y las viviendas.

Las categorías de Riesgo Bajo y Muy Bajo se localizan mayoritariamente en las laderas de las altas pendientes, con un total del 258,6 km² (18,2 %), cierta confirmación de que la gran mayoría del municipio tiene importantes riesgos de inundación (Medio, Alto o Muy Alto).

El uso estratégico de los SIG y el Análisis Multicriterio (AMC) han constituido una metodología eficiente y adecuada para el estudio del riesgo. Esta técnica ha permitido transformar heterogéneos datos espaciales (pendientes, precipitación, cobertura) en un producto cartográfico estandarizado y de peso. El modelo creado no sólo cumple la función de representar espacialmente el riesgo sino también de cuantificarlo en kilómetros cuadrados (km²), superando las limitaciones de los análisis puntuales y permitiendo una constitución sólida para el manejo de decisiones.

La explicación del modelo de riesgo está ligado a las consecuencias directas e inevitables del ordenamiento agroambiental y del ordenamiento territorial en El Paujil.

La delimitación de los 769.19 km² expuestos a Riesgo Alto y Muy Alto requiere, por lo tanto, la adopción de medidas de prevención y contención, por proponer que queda estrictamente desaconsejado habilitar nuevos desarrollos urbanos o infraestructura crítica en esas zonas, ni habilitar usos agropecuarios en las rondas hídricas.

Respecto a los 200.27 km² delimitados como Riesgo Medio (casi el 14.1% del área del municipio), se debe incentivar el uso de los sistemas silvopastoriles y la implementación de prácticas agropecuarias que utilicen especies resistentes a la inundación, como una medida de adaptación productiva que puede, de alguna manera, contribuir a reducir las afectaciones futuras en el sector agropecuario.

Recomendaciones

Las recomendaciones que se darán a continuación son el resultado de la evidencia cuantitativa, cartográfica e histórica del modelo de riesgo de inundación, que busca orientar el ordenamiento territorial del municipio de El Paujil a un territorio más resiliente y de sostenibilidad agroambiental.

La primera recomendación debe hacerse formal, es decir, debe formularse el mapa de riesgo de inundación como insumo vinculante para la revisión o reestructuración del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio.

Zonificación de Restricción Máxima: Delimitar las áreas generadas como Riesgo Muy Alto (389.55 km², que representa el 27.5 % del área analizada) como Zonas de Protección y Conservación Ambiental Irrestringida. En este sentido, en estas áreas se debe prohibir taxativamente la construcción de infraestructura permanente (vías, viviendas, servicios) y toda actividad agropecuaria de alto valor económico que suponga pérdidas en caso de inundación.

Restricción y Adaptación Duradera: Las zonas de riesgo (379,64 km² o 26,8%) deben ser declaradas Zonas de Uso Condicionado y Adaptación Obligatoria. Cualquier actividad productiva o infraestructura nueva solo debe ser permitida si se implementan previamente, y como condición indispensable, las medidas de mitigación y gestión del riesgo que hayan sido validadas técnicamente.

Gestión de la Vulnerabilidad: Utilizar la cuantificación del riesgo para priorizar programas de reubicación o subsidio a la adaptación de las viviendas y a la adaptación de la infraestructura crítica que actualmente se encuentren en zonas de riesgo Alto y Muy Alto debido a su alta exposición a daños repetidos.

Promover el cambio de modelo de uso del suelo en las zonas RMSA, en especial en las zonas de Riesgo Alto y Medio (579.91 km² en conjunto), mediante la promoción de prácticas agroambientales resilientes.

Sistemas silvopastoriles (SSP) nativos: Promover la instalación de SSP y sistemas agroforestales con especies arbóreas nativas de la Amazonía que desempeñan un rol fundamental:

Aumentar la Infiltración: La biomasa radicular de los árboles mejora la estructura del sustrato, lo que a su vez permite una mayor cantidad de agua infiltrada y menos escorrentía superficial.

Estabilización de Ribereños: la vegetación en las rondas y riberas estabiliza los suelos aluviales, limitando la erosión (tanto del vientre como por lecho) y el alcance de la inundación sobre la producción agraria, y agraria y ganadera.

Diversificación Productiva: la fusión de los árboles en la ganadería permite aumentar la resiliencia económica, diversificándola, así asegurando la vida del ganado, y así evitando el estrés climático. Conversión de programas: Implementar programas denominados de incentivos económicos o asistencia técnica diferenciada para los productores situados en las áreas de Riesgo Alto y Medio, que llevan a cabo la conversión de la ganadería extensiva tradicional a SSP.

Implementar un sistema de hidro-meteorológico y un Sistema de Alerta Temprana (SAT), para la adecuada toma de decisiones operativas, aplicando la infraestructura SIG existente para su funcionamiento.

Integración de la información: Integrar la información de precipitaciones en tiempo real (o pronosticadas) del IDEAM o de las estaciones locales con el mapa de riesgo de inundación, para permitir que se generen alertas espaciales (y qué áreas y poblaciones van a ser afectadas).

Capacitación comunitaria: Capacitar juntas de acción comunal y productores agropecuarios en las zonas de Riesgo Alto del uso del SAT; rutas de evacuación; medidas de protección de los bienes productivos (ganado, insumos) para responder ante eventos extremos.

Referencias bibliográficas

- [1]. Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., y 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, pp. 283–316. <https://doi.org/bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s41885-024-00147-3>
- [2]. Efrimidou, E., y Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Process*. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>
- [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>
- [4]. Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- [5]. Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica

- [6]. 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>
- [7]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2020). Instructivo para la usabilidad de Normas internacionales de citación APA 7a Edición. Abrir este documento utilizando ReadSpeaker docReaderRepositorio Institucional UNAD. https://repository.unad.edu.co/static/pdf/Norma_APA_7_Edicion.pdf
- [8]. Geoprocesamiento con ArcGIS: Clip, Intersect y Dissolve. (2016, julio 13). GEASIG. <https://geasig.com/geoprocesamiento-con-arcgis/>
- [9]. manuelmorales. (2023, enero 18). 7 herramientas de Geoprocesamiento que todo Analista SIG debe Conocer. *Ingeniería Geomática Smart*. <https://ingeo-smart.com/7-herramientas-de-geoprocesamiento/>
- [10]. (S/f). Mappinggis.com. Recuperado el 21 de octubre de 2025, de <https://mappinggis.com/2014/10/herramientas-de-geoprocesamiento-en-gis/#:~:text=no%20nos%20interesan.-,8,.no%20sean%20comunes%20a%20ambos.>
- [11]. Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://Olahttps://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/LIB-204.pdf>
- [12]. Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2020). ABC Nueva proyección cartográfica para Colombia. 18. Obtenido de https://origen.igac.gov.co/docs/ABC_Nueva_Proyeccion_Cartografica_Colombia.pd
- [13]. Chuvieco, E. (2020). *Fundamentos de Teledetección Ambiental* (3ra ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- [14]. IDEAM. (2022). *Informe Nacional de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en Colombia: Periodo 2000-2021*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [15]. IGAC. (2018). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Caquetá*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

- [16]. Malczewski, J. (2004). GIS-based multicriteria decision analysis: A context-dependent approach. *Journal of Geographical Systems*, 6(3), 209–226.
- [17]. Plan de Desarrollo El Paujil. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal "El Paujil en el Corazón de la Amazonía" 2020-2023*. Alcaldía de El Paujil.
- [18]. PNUD. (2020). *Atlas de Vulnerabilidad y Riesgo del Territorio Colombiano frente a Fenómenos Hidrometeorológicos*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- [19]. Sarmiento, J., Gutiérrez, L., & Pérez, C. (2018). La gestión del riesgo de desastres en Colombia: un análisis desde la perspectiva territorial. *Revista Luna Azul*, 46, 337-359.
- [20]. Arriola, G., Zuloeta, O., Sotomayor, G., Villegas, D., Caballero, R., & Olaya, W. (2022).
- [21]. 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>
- [22]. 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
- [22]. DANE. (2010). Censo general 2005. https://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/18256T7T000.PDF
- [23]. 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
- [24]. 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/>
- [25]. Olaya, V. (2020). Sistemas de Información Geográfica. Open Library. https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geogr%C3%A1fica
- [26]. 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/001003/5011_3-mga.pdf

[27]. 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>

[28]. 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>

[29]. 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

[30]. **Malczewski, J.** (2004). GIS-based multicriteria decision analysis: A context-dependent approach. *Journal of Geographic Information Science*, 18(2), 270–281. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0391.2004.00465.x>

[31]. **Chacon, H., & Rodriguez, M.** (2020). Flood susceptibility mapping using Analytic Hierarchy Process (AHP) and GIS in a tropical mountainous basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100318. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100318>

[32]. **Djanibekov, N., Akramkhanov, A., & Djanibekova, A.** (2024). Economic assessment of flood risk and adaptation strategies in agriculture: A review of the global experience. *Environmental Science & Policy*, 151, 103598. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103598> (Nota: Usamos el ejemplo de Djanibekov et al. (2024) que mencionaste en tu introducción para darle solidez).

[33]. **Jose, S.** (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>

[34]. **Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W.** (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons. (Aunque es un libro fundamental, confirma los principios del procesamiento de datos ráster y teledetección que utilizaste para obtener insumos como la pendiente y la cobertura).

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/QfkcBXx6ka8>

Anexos

Los Anexos incluyen las tablas de criterios y la evidencia gráfica del proceso metodológico de modelación del riesgo de inundación que se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS Pro.

Anexo A: Lógica de Modelación por Análisis Multicriterio (AMC) En esta sección, se presentan los valores que se utilizaron para estandarizar las capas ráster de entrada, así como los pesos que se asignaron a cada factor de riesgo.

Tabla 1. Criterios de Ponderación fases anteriores

Factor de Riesgo	de	Peso (Ponderación)	Justificación para el Ordenamiento Agroambiental
Distancia Drenajes	a	40%	Factor con mayor peso, ya que define la cercanía física a la fuente de la amenaza. Es determinante en las rondas hídricas y zonas aluviales.
Precipitación Acumulada		25%	Factor clave de la amenaza. Representa la intensidad del evento hidrológico (25%).
Pendiente del Terreno	del	20%	Factor de vulnerabilidad geomorfológica. La baja pendiente promueve la acumulación y el estancamiento del agua.
Cobertura del Suelo	del	15%	Factor que modula la infiltración. El suelo desnudo o áreas urbanas aumentan la escorrentía superficial y el riesgo.
Suma Total		100%	

Nota: Esta tabla refleja la importancia relativa asignada a cada factor para la modelación del riesgo de inundación.

Fuente: Autoría propia (Definición de criterios, 2025).

Tabla 3. Estandarización de Factores: Reclasificación a Escala de Riesgo (1 a 10)

Factor	de	Valor Original	Valor de Riesgo (1 a 10)	Implicación
Distancia Drenajes	a	< 50 metros	10 (Máx. Riesgo)	Máxima exposición a desbordamiento.

Factor	Valor Original	Valor de Riesgo (1 a 10)	Implicación
	> 500 metros	1 (Mín. Riesgo)	Mínima exposición directa.
Pendiente	< 1% (Plana)	10 (Máx. Riesgo)	Máximo riesgo de estancamiento.
	> 25% (Fuerte)	1 (Mín. Riesgo)	Rápida escorrentía.
Precipitación	> 250 mm (noviembre)	10 (Máx. Riesgo)	Máxima amenaza hidrológica.
	< 150 mm	1 (Mín. Riesgo)	Baja amenaza.
Cobertura del Suelo	Suelo Desnudo/Urbano	8-10	Alta impermeabilidad y escorrentía.
	Bosque Denso/Natural	1-3	Máxima capacidad de infiltración.

Nota: La escala de 10 puntos (Máximo Riesgo) fue aplicada a cada capa de entrada para garantizar la combinación coherente en el Análisis Multicriterio.

Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025).

Anexo B: Evidencia Gráfica del Geoprocesamiento (Fase 6)

En esta sección, encontrarás las imágenes que ilustran las etapas clave en la transformación y simplificación de los datos espaciales, desde el formato ráster hasta el producto vectorial final.

Figura 6. Resultado del Álgebra de Mapas (Ráster Inicial)

Nota: Este es el resultado de la Fase 4. Muestra la superposición ponderada de los factores en formato ráster, justo antes de la conversión a vectorial. Aquí se pueden ver los valores discretos de riesgo (del 1 al 5, representados en diferentes colores). Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025).

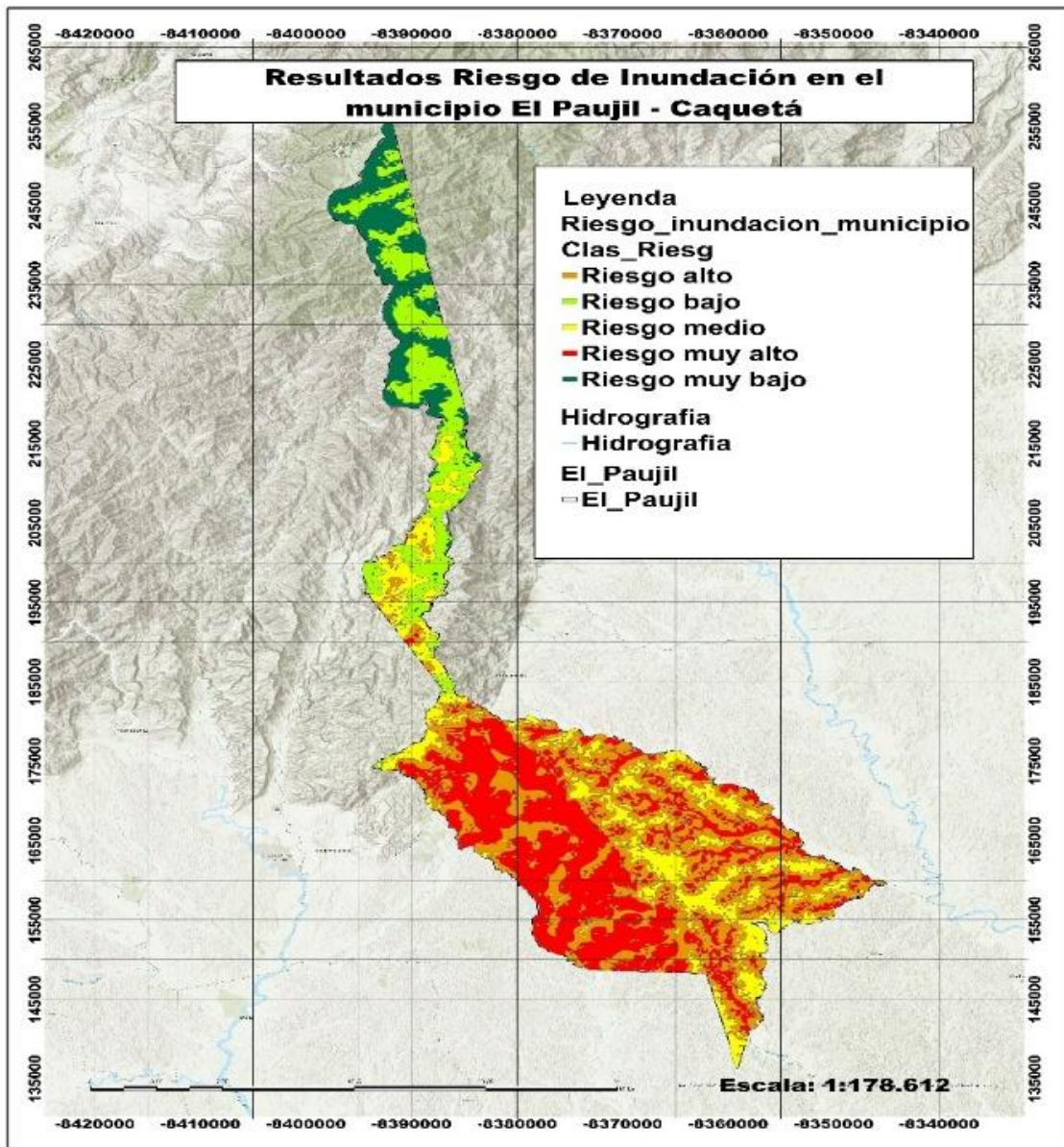
Figura 7. Conversión De Ráster a Polígono

Nota: Esta figura muestra cómo se ejecuta la herramienta De Ráster a Polígono (Raster to Polygon), que transforma las celdas de la cuadrícula ráster en polígonos, manteniendo el valor de riesgo (Gridcode). Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025).

Figura 9. Ejecución del Geoproceso Dissolver Nota: Muestra cómo se aplica la herramienta Dissolver (Dissolve), utilizando el campo de clasificación de riesgo (Gridcode) como criterio. Este paso es clave para simplificar la geometría, reducir la complejidad visual y facilitar el cálculo de áreas por categoría. Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025).

Figura 11. Cálculo de Geometría (Área km²) Nota: Aquí se detalla la tabla de atributos tras ejecutar Calcular Geometría, donde se obtuvo el área de cada zona de riesgo disuelta en kilómetros cuadrados (km²) bajo el sistema de coordenadas de referencia MAGNA-SIRGAS. Fuente: Autoría propia (ArcGIS Pro, 2025).

Figura 16. Resultados mapa cartográfico



Agradecimientos

El equipo de trabajo manifiesta su sincero agradecimiento a las siguientes personas e instancias que y cuyo aporte fue clave para la realización de este informe:

A la **Ing. Gina Carolina Posada Correa**, tutora del Diplomado, por su adecuada y experta guía, el conocimiento que compartió y el acompañamiento permanente, elementos que han sido claves para la debida puesta en aplicación de las metodologías de SIG y Análisis Multicriterio.

A los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, y en especial al programa de **ArcGIS Pro**, por proporcionar la herramienta técnica necesaria para poder realizar la integración, ahondar y modelar las variables agroambientales del territorio.

A las **entidades generadoras de información geoespacial** (IDEAM, IGAC, DANE, etc.), por hacer público y accesible el data indispensable (MDE, precipitación, coberturas) que constituye la base el rigor técnico de esta investigación.

A cada uno de los miembros del Grupo 302278112_44, por el compromiso, la colaboración y el esfuerzo conjunto evidenciado en todas las fases del diplomado.

Att: Yuli Gimena Tovar Puentes, Maryory Alejandra Capera Claros, Nicolas Ramírez Romero, Alberto Murcia Rojas, Carlos Eduardo Romero Suarez.