

USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA

Autores:

Jarlin Andrea Riascos Martínez - jariascosma@unadvirtual.edu.co

José Oscar Jiménez Ulcue - jojimenezu@unadvirtual.edu.co

Yoleida Guaza Mina - yguazam@unadvirtual.edu.co

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

Resumen

Este estudio realizado al municipio de Popayán Cauca, identifica, analiza e investiga elementos cualitativos y cuantitativos. A partir de la utilización de multiprocesos de estudio con capas ráster utilizando la herramienta ArcGIS, esta capa permitió identificar, analizar dentro del municipio el mapa de riesgo de inundación por precipitaciones, a estas áreas se les asignó colores específicos en un mapa de riesgos (Land Cover). El resultado de estos estudios proyecta que las áreas pertenecientes al casco urbano y rural conformadas por las diferentes veredas están en un nivel muy alto, alto y medio de presentar inundación en un 75.1% durante los meses de altas precipitaciones y en un 24.9% en niveles bajos de presentar inundaciones, por lo cual se confirma según el mapa de riesgo obtenido que el municipio de Popayán es altamente propenso a las inundaciones, en casi todo su territorio. El Cauca se encuentra entre los cinco departamentos con más probabilidades en Colombia de enfrentar inundaciones de los cuales el municipio de Popayán se encuentra mayormente expuesto, el río Molino está relacionado al 18.8% de los eventos anuales de inundación, avalanchas y deslizamiento, la quebrada Pubus el 29,6% y el río Ejido el 45,3% (Osorio & Galindo 2021).

Palabras claves: ArcGIS, Geoproceso, Inundación, Mapa, Niveles, Popayán, Precipitación, Riesgo, Territorio.

Introducción

Popayán es un municipio que, debido a sus características demográficas, climáticas, relieve y ubicación geográfica presenta altas precipitaciones, durante todos los periodos del año aumentando especialmente, los meses de mayo a octubre, agregado a esta situación posee condiciones especiales en cuanto a topografía, inestabilidad de los suelos en los nacimientos de las cuencas hidrográficas, alta sismicidad, aumento demográfico alrededor de las fuentes

hídricas, la explotación descontrolada de sus recursos naturales por parte de la industria, la ganadería y agricultura ocasionando que en municipio más del 75.1% de su territorio se encuentre en riesgo muy alto, alto y medio de inundación, deslizamientos y avalancha. Situación que afecta a las poblaciones urbanas y rurales del municipio. Territorial del diciembre del año 2013 se registraron 300 afectaciones¹ en viviendas, 46 barrios inundados y el colapso del muro de contención del centro de reclusión de la Magdalena (ríos urbanos naturalizados, cultura y territorio 2023). En el Plan de Ordenamiento

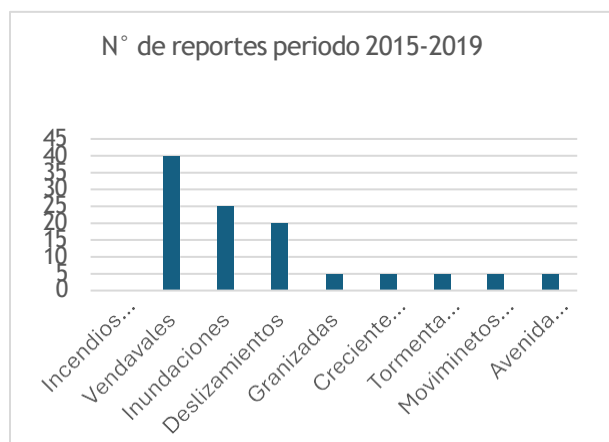
Territorial del municipio de Popayán, para el año 2024, no se cuenta aún con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en funcionamiento en el municipio encontrándose en una primera etapa de desarrollo, lo que agrava más la situación actual, debido a que los ríos son los receptores de las aguas residuales del municipio y en épocas de lluvias se incrementa su caudal y formación de represamiento por la formación de lodos residuales. (Plan de desarrollo municipal 2024-2027 Popayán Cauca).

Tabla 1.
Punto de vertimientos con permisos ambientales.

Fuente	Resolución CRC	Caudal	Estado
Rio Molino	8471 del 25/01/2016	150 L/s	Vigente 10 años
Rio Palace	8879 de 27/04/2016	500 L/s	Vigente 30 años
Rio Las Piedras	388 de 25/04/2003	850 L/s	Vigente 20 años
Rio Pisoje	9790 de 27/10/2018	80 L/s	Vigente 28 años

Nota: Esta tabla describe a los ríos, los cuales son descargadas las aguas residuales sin ningún tratamiento del municipio de Popayán Cauca, su número de licencia de aprobación por parte de las autoridades reguladoras del medioambiente la Corporación Regional de Cauca (C.R.C), caudal de aguas residuales permitidos en cada rio y años de vigencia de esta resolución. Fuente adaptada de Evaluación Integral de Prestadores Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S. P Agosto,2018-SUI.

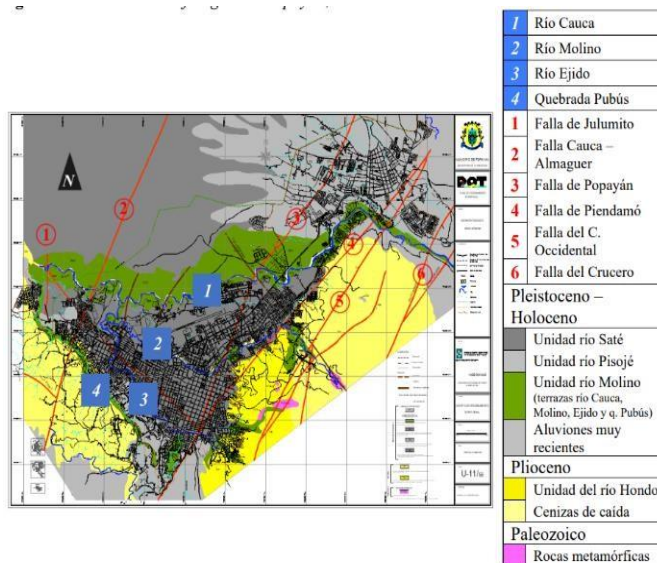
Figura 1.
Número de eventos hidro y climáticos reportados en el municipio de Popayán de 2015 al 2019.



Adaptado del Plan de desarrollo municipal 2024-2027 Popayán Cauca (2024).

Popayán por sus características físico-ambientales como son la falla de Romeral, sus tres ríos que la cruzan (Cauca, Molino, Ejido y la quebrada Pubús), su cercanía al volcán Puracé, los cerros tutelares y la intervención antrópica de carácter social, económica y las limitadas características físico-espaciales de la ciudad. Según la evaluación probabilística de riesgo de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre (UNGRD), el Cauca se encuentra entre los cinco departamentos con más probabilidades en Colombia de enfrentar sismos e inundaciones de los cuales el municipio de Popayán tiene la sexta pérdida anual multiamenazas más altas del Cauca con 175.109 millones de pesos. (Osorio & Galindo 2021). El río Molino está relacionado al 18.8% de los eventos anuales de inundación, avalanchas y deslizamiento, la quebrada Pubus el 29,6% y el río Ejido el 45,3% vinculado a cuerpos hídricos de Popayán. (Osorio & Galindo 2021).

Figura 2.
cuerpos hídricos con eventos anuales de inundación y desastres naturales en Popayán.



Adaptado del informe de Plano U-11 Geomorfológico de la cartografía del (POT de Popayán,2021)

- En 2016 se viene realizando obras de mitigación del riesgo por lluvias en todo el país, en el Cauca en el municipio de Popayán estas obras de drenaje, estructura de contención para evitar que en épocas de lluvia el material arrastrado por la corriente de los ríos genera represamiento y avalanchas. Estas obras presentaron un avance del 47.2% con una inversión de 1.455 millones de pesos. Con el convenio UNGRD y la Corporación Regional Autónoma del Cauca se espera que para los años siguientes el Cauca sea un departamento menos vulnerable en temporadas de lluvias. La inversión de estas obras supera los 3000 mil millones de pesos y beneficiarán a más de 250 mil personas. (UNGRD 2016). Para el 2020 para el Cauca fueron socializados y aprobados tres proyectos y un megaproyecto en entre la Oficina de Asesoría para la Gestión del Riesgo (OAGRD) y la Unidad para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) donde socializado y aprobados los siguientes proyectos para ser implementados: Construcción del centro Logístico Humanitario para el departamento del Cauca (CLH).
- Instalación y operación de Estaciones de Servicio de Radiodifusión Sonora de interés público para la Gestión del Riesgo Desastre en el Departamento del Cauca.
- Sistema de Alerta Temprana (SAT). Compuesto por Sistema de Detectores de flujo de Lodos, Vigilancia Sismológica y Sistemas de Alarmas y alertas para el Departamento del Cauca.
- Construcción de Obras de Mitigación del riesgo en el Departamento del Cauca. (Gobernación del Cauca 2020). En el 2024 Popayán inició su plan de ordenamiento territorial con el estudio

de amenazas geológicas y riesgo (POT) siendo crucial para ordenar adecuadamente el desarrollo urbano y rural, evitando así los asentamientos en zonas de riesgo y mejorar la gestión de las fuentes hídricas del territorio. Los avances de este plan de ordenamiento territorial para el municipio de Popayán se encuentra atrasada su aprobación (Diario del Cauca 2024). con la realización de esta investigación de geo procesos con la herramienta proyecto de estudio sobre las áreas y sus niveles de afectación en épocas de lluvia de Popayán Cauca se busca fortalecer cada uno de estos proyectos implementados en el municipio ayudando a prevenir, identificar y clasificar las áreas con niveles medios, altos y muy altos de riesgo de presentar inundaciones, deslizamientos en épocas de lluvia ayudando a mitigar las pérdidas económica, humanas agrícola y pecuarias por este fenómeno en el territorio. con la realización de esta investigación, por medio de geo proceso y con la ayuda de herramientas de ArcGIS pro nos permite identificar las áreas altamente potenciales a presentar inundaciones en épocas de lluvia, no

Objetivos

General

Analizar los riesgos asociados a las inundaciones en el municipio de Popayán Cauca, identificando el impacto que esto causa a la seguridad agroalimentaria, del territorio, identificando el mes, causas, frecuencia y áreas más vulnerables afectadas y los daños presentados por este fenómeno a la infraestructura, economía y calidad de vida de la población.

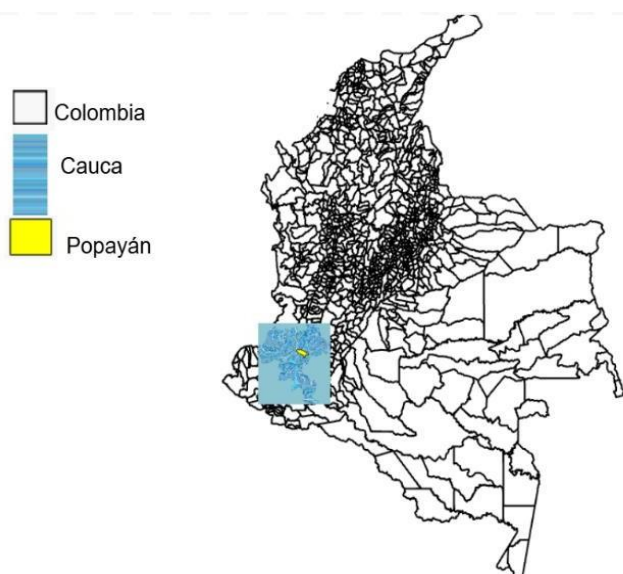
Específicos

- Crear un mapa de riesgos por inundaciones en el municipio de Popayán, identificando las áreas más vulnerables y las causas que contribuyen a su frecuencia por medio de la herramienta de ArcGIS.
- Evaluar el impacto de las inundaciones en la infraestructura, los servicios públicos, las áreas productivas y la calidad de vida de los habitantes del municipio.
- Contribuir por medio del mapa de riesgo ya elaborado, a las autoridades competentes y a la comunidad del municipio de Popayán a crear alternativas más confiables para prevenir, sistematizar y mitigar los riesgos por inundación y desastres al conocer las áreas más vulnerables del territorio.

Identificación del caso de Estudio.

Figura 3.

Mapa de ubicación del municipio de Popayán en departamento del Cauca



Nota: Elaboración propia, 2024.

El municipio de Popayán se encuentra ubicado en el suroccidente de Colombia, en el departamento del Cauca. Con una extensión de 512 km², es reconocido por su riqueza histórica, cultural y arquitectónica, además de ser un punto estratégico en la región Andina por su conectividad con el occidente colombiano. Su territorio combina áreas urbanas, rurales y zonas montañosas que forman parte de la cordillera Central, lo que influye significativamente en sus características ambientales y climáticas.

Desde el punto de vista climático, Popayán tiene un clima templado de montaña, con temperaturas promedio que oscilan entre los 16°C y 18°C. Su régimen pluviométrico está marcado por dos temporadas lluviosas, entre marzo-mayo y octubre-noviembre, siendo los meses de abril y noviembre los de mayor precipitación promedio. Según datos del IDEAM (2024), las lluvias en estos periodos alcanzan hasta 300 mm mensuales en algunas zonas, lo que aumenta significativamente el riesgo de desbordamiento de los ríos Molino y Cauca, que atraviesan el municipio.

Estas condiciones hacen que Popayán sea vulnerable a inundaciones, especialmente en sectores aledaños a los cauces de los ríos y en áreas urbanas con deficiencias en la infraestructura de drenaje pluvial. Las inundaciones recurrentes generan impactos negativos en la población, como el daño a viviendas, pérdida de cultivos, interrupción de vías y problemas de salud pública relacionados con el agua contaminada. Por ejemplo, eventos recientes en noviembre de 2023 afectaron gravemente a los barrios ubicados cerca del río Molino, causando el desplazamiento temporal de varias familias (IDEAM, 2024). Los principales ríos y quebradas asociados a las inundaciones en el municipio de Popayán son las siguientes:

El río Cauca

Es la principal arteria fluvial de occidente colombiano nace en el sur del país en el macizo colombiano, en el cerro español cerca al Páramo de Sotará. En el departamento del Cauca a una altura aproximada de 3.200 msnm. Tiene una longitud de 1.360 kilómetros y desemboca en el río Magdalena. Atraviesa de sur a norte 9 departamentos (Antioquia, Cauca, Valle, Caldas, Quindío, Risaralda, Córdoba, Sucre y Bolívar) presentando sus aguas para el desarrollo socioeconómico de 183 municipios. (CONPES 3624 de 2009). El 79% de sus aguas superficiales son usadas para la agricultura y la industria. (CVC, 2010). La cuenca alta se identifica un total de 23 subzonas hidrográficas de las cuales depende el suministro de más de 55 cabeceras municipales y distritales en las que se cuenta Popayán. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Subcuenca del río Molino

Está ubicada en el sur occidente colombiano centro del departamento del Cauca hacia el oriente del municipio de Popayán. Nace en la vereda Santa Helena, su área aproximada es de 67,87 km². Esta subcuenca cuenta con ocho (8) corregimientos diez (10), veredas y cuatro (4) comunas urbanas. Este río es el efluente principal del acueducto del municipio de Popayán, espacio paisajístico, y socio ambientales. (Alcaldía de Popayán, 2019).

Río Ejido

Hace parte de la subcuenca Molino- Pubús, fuente hídrica afluente directa del río Cauca. Es de gran importancia para el municipio por sus características socio ecológicas. Por la gran intervención humana está su ecosistema altamente deteriorada su trayectoria es por la

comuna 5, 6, 7, 8, 9 del municipio de Popayán. (Propuesta urbana río Ejido 2021)

Quebrada Pubús

La subcuenca quebrada Pubús se encuentra localizada en la zona oriental de la cabecera municipal de Popayán su área es de 6.82 km², se encuentra a una altura de 1800 msnm. Atraviesa parte de la zona rural como la vereda el Túnel, Samaniego, Puelenje, Torres, la Playa, Cajete, las Chozas, y zonas urbanas como la comuna 6, 7 y 9. Su deterioro de su cuenca por parte de la acumulación de residuos sólidos y la deforestación, hace que sea uno de los efluentes hídricos que genera más inundaciones en épocas de lluvias. (

El presente caso de estudio tiene como objetivo identificar los principales riesgos asociados a las inundaciones en Popayán y proponer estrategias de mitigación, como la restauración de áreas ribereñas, la mejora de la infraestructura de drenaje y la implementación de sistemas de alerta temprana. Este análisis se fundamenta en datos climáticos históricos, reportes del IDEAM y estudios territoriales recientes que destacan la necesidad urgente de abordar esta problemática para garantizar la sostenibilidad del municipio. (Diagnóstico ambiental para la restauración de la subcuenca quebrada Pubús del municipio de Popayán, 2017).

Metodología

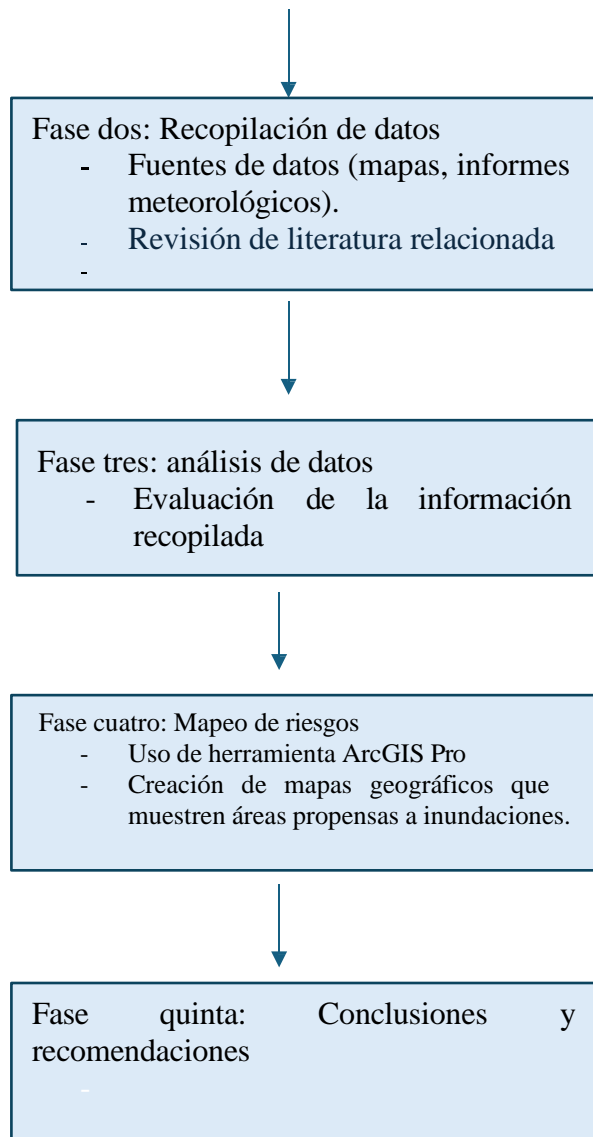
Diagrama metodológico

Título del Proyecto **ÁREAS DE RIESGO A INUNDACIONES PRESENTES EN EL MUNICIPIO DE POPAYAN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



Fase uno: Definición del problema

- Objetivos generales y específicos
- Identificación del caso de estudio



Nota: Elaboración propia,2024.

Para la identificación de los niveles y áreas de alto riesgo de inundación para el mes de octubre en el municipio de Popayán Cauca, se utilizó el análisis multicriterio por medio de análisis espaciales de sistema de información geográfico utilizando la herramienta de ArcGIS pro, dónde se obtuvieron diferentes capas y coberturas que permitió delimitar e identificar claramente las áreas, niveles propensos a inundarse. De igual manera se identificaron sus

fuentes hídricas que atraviesan el municipio y sus factores de riesgo.

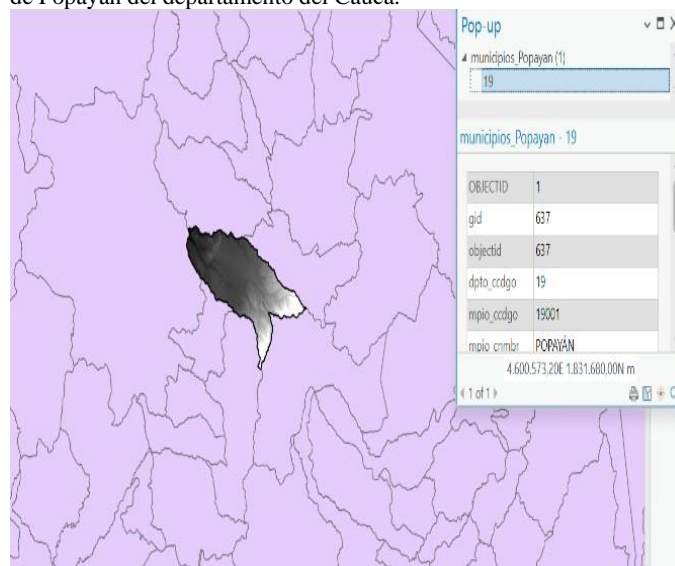
1). Pasos del análisis multicriterio para la creación del mapa por inundación del municipio de Popayán Cauca, por medio del cargue de las capas ráster.

1. Modelo de elevación digital DEM.

Brinda la información de talla de la altitud del municipio identificando los terrenos con elevación bajas o altas, y con esta información el profesional determinara las zonas más propensas en épocas de lluvia a inundarse o acumular agua. Equivale al 10% del riesgo de inundaciones en el análisis multicriterio. **Pasos:** se recorta del archivo ráster el municipio de Popayán que está inmerso en el departamento del Cauca por medio de la herramienta de ArcGIS, extracción por máscara quedando solo delimitado el municipio con su elevación.

Figura 4.

Recorte por medio de la extracción por máscara del municipio de Popayán del departamento del Cauca.



Nota: Elaboración propia,2024.

2. Pendiente

Permite identificar los grados de inclinación de los terrenos en un territorio. Equivale al 15%

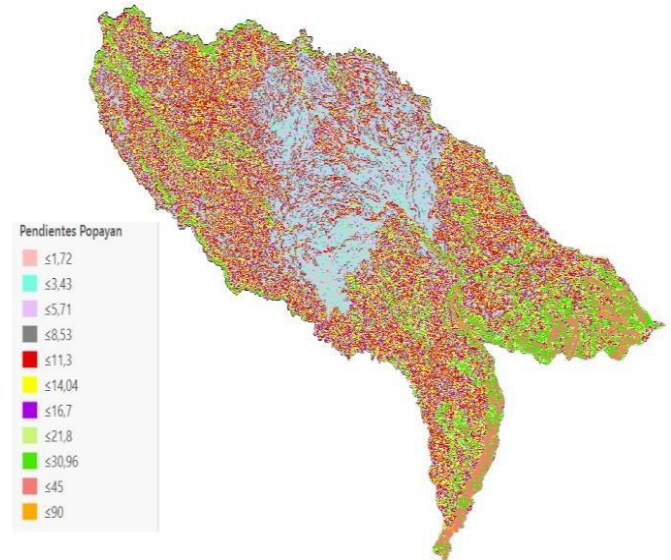
del riesgo de inundaciones en el análisis multicriterio. **Pasos:** cuando ya se tienen el DEM del municipio hacemos clic en la caja de herramientas y se selecciona superficie y se abre las opciones y se selecciona pendiente dándole do le clic.

3. Cobertura de tierra (Land Cover)

La identificación de coberturas en un territorio permite determinar por parte del profesional, cuáles son las zonas con más escasa vegetación, las cuales tendría mayores niveles de vulnerabilidad en cuanto deslizamientos e inundaciones en épocas de altas precipitaciones. Equivale al 10% del riesgo de inundaciones en el análisis multicriterio. **Pasos:** se ingresa al geo portal del IGAC, Colombia en mapas y se descarga en formato shapefile el Mapa de Coberturas de la tierra adaptación Corine Land Cover. República de Colombia. En escala 1:100. 000.periodo 2018.El archivo ya ingresado en el computador se descomprimir y cargar en un nuevo proyecto mapa ArcGIS pro la capa de cobertura de tierra. Dar clic en recorte para definir sobre el municipio de Popayán que se viene trabajando, luego se realiza el proceso de disolver, disolviendo el campo nivel _2. Se procede a transformar la capa vectorial en un ráster de la siguiente manera: se abre la caja de herramientas y se coloca en el buscador Herramientas de Conversión a ráster y se escoge la opción de polígono a ráster y se procede a dar doble clic. Descubriendo en el proyecto mapa ArcGIS el municipio con sus diferentes áreas, localización y color característico de cada una de ellas dentro del municipio como es: Zonas urbanas, Zonas industriales o comerciales, redes de comunicación, Zonas verdes artificiales no agrícola, cultivos permanentes y entre otras zonas identificadas en la figura 5.

Figura 5

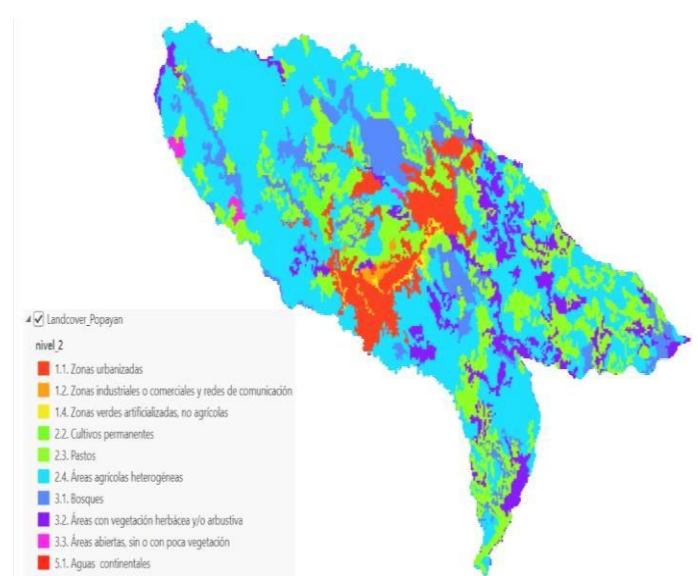
.DEM del municipio de Popayán y ráster de pendientes.



Fuente: Autoría propia, 2024.

Figura 6.

Cobertura de tierra (Land Cover) del municipio de Popayán.



Nota: Elaboración propia,2024.

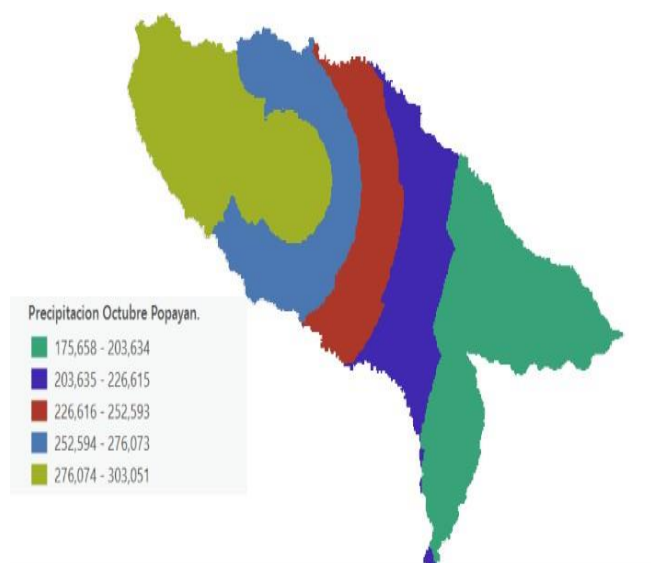
4. Precipitación

Identifica por medio de la cuantificación de los milímetros de agua caídas en el año los meses

con más precipitación. Elementó fundamental para el profesional poder identificar dentro del municipio las épocas que se puede presentar inundaciones. Equivale al 35% del riesgo de inundaciones en el análisis multicriterio. **Pasos:** se selecciona de la carpeta de Insumos de precipitación (recurso dado por el profesor) el mes dentro de Popayán que más precipitaciones presenta que en este caso fue el de octubre, que presento unas precipitaciones entre 175,658 mm a 303,051mm. Se descarga la carpeta TIFF en el computador y se procede a descomprimir el municipio Popayán y se agrega al proyecto mapa ArcGIS pro que se viene trabajando. Se abre la caja de herramientas y se escoge la opción de extraer por máscara, se pasa a la otra pestaña y se agregan los parámetros del DEM_municipio o pendiente_municipio. Y por último dar nombre a la capa extraída.

Figura 7.

Cantidad de mm de precipitación mes de octubre del municipio de Popayán



Nota: Elaboración propia,2024.

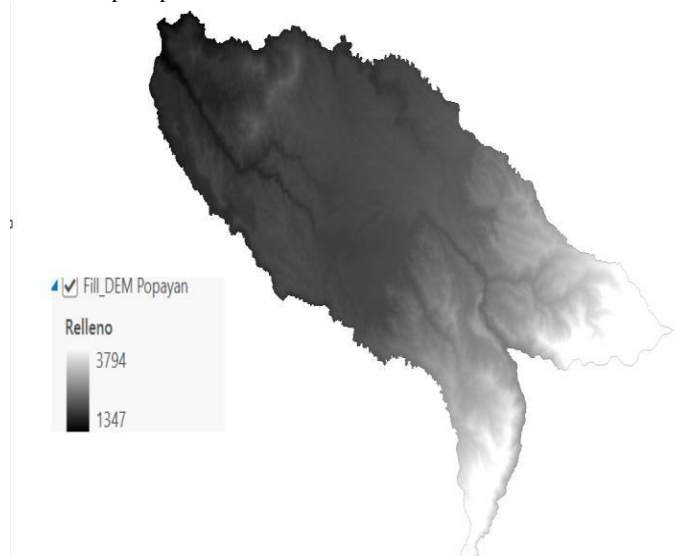
Distancia entre drenajes

Identifica las áreas de tierra más cercana a los ríos, quebrada, lagos o lagunas. Equivale al 30% del riesgo de inundaciones en el análisis multicriterio. **Pasos**

a. Flow accumulation

Figura 8.

Capa de acumulación de flujo del municipio de Popayán y su relleno de precipitaciones



Nota: Elaboración propia,2024.

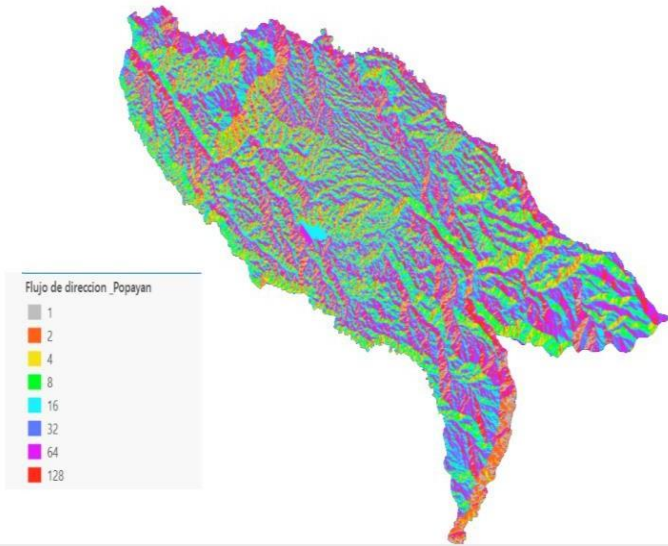
Del panel de “Contenido” desactive todas las capas y solo deje activo el ráster DEM_municipio para retomar el modelamiento de riesgo por inundación. Repita los pasos del 1 al 3 de la fase 3 sobre datos ráster para delimitar una cuenca hidrográfica hasta obtener el ráster de acumulación de flujo del municipio (Flow accumulation).

b. Flujo de dirección

Para mirar más detalladamente el flujo de acumulación y sus drenajes, se selecciona en el panel de opciones del ArcGIS FlowAcc_municipio, y da clic derecho selecciona la opción simbología, tipo de extensión y se selecciona Desviación típica. (Guía de actividades fase 4 -2024)

Figura 9.

flujo de dirección de Popayán



Nota: Elaboración propia,2024.

Figura 10.
flujo de dirección de Popayán



Nota: Elaboración propia,2024.

C. Distancia entre drenajes.

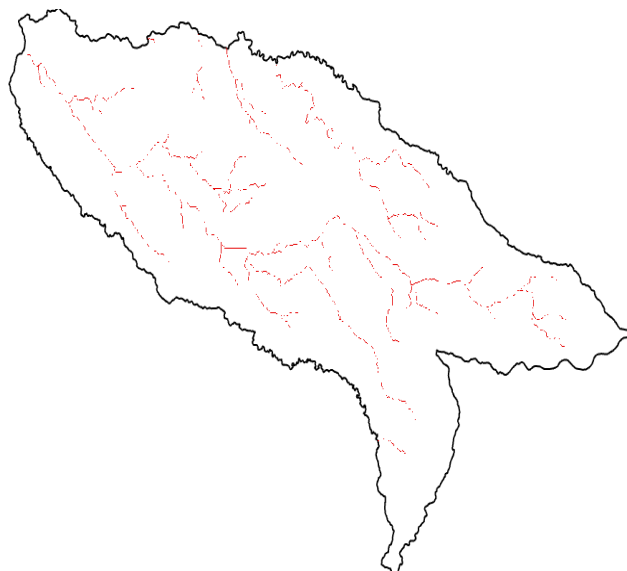
Para determinar el 1% de acumulación se debe tomar los ríos principales y quebradas importantes del municipio, y se realiza lo siguiente: se verifica el valor máximo de flujo de acumulación que para este caso de estudio del municipio de Popayán es de 292848 y se divide entre 100, este resultado debe ser un

número entero y si el resultado da en números decimales el valor deberá aproximarse para quedar en entero.

d. Reclasificación del ráster de flujo de acumulación en dos clases. Pasos:

Ingresar a la pestaña Análisis de la parte superior de la cinta luego seleccionar la caja de herramientas y poner en búsqueda reclasificar y luego clasificar y dar doble clic. Como ajustar los parámetros “Ráster de entrada: Seleccione la capa FlowAcc_municipio - Dar clic en el botón “Clasificar”, se abre una ventana “Clasificar”, verifique que el método este en Rupturas naturales (Jenks) para que pueda cambiar las Clases a 2 - En esa misma ventana se actualizarán los datos a dos clases, y en la parte inferior en los valores, cambie el primer valor y coloque el resultado del cálculo redondeado realizado del 1% del flujo de acumulación. Dar clic en aceptar para volver a la ventana de Reclasificar. Podrá evidenciar que la tabla que antes no tenía valores se ha reclasificado. - Ajuste lo siguiente, en la primera fila y columna de Iniciar cambie verifique que el valor inicie en 0, en esa fila y segunda columna Fin, deje el valor asignado del 1% redondeado, en la tercera columna de Nuevo coloque NODATA para esa primera final. - En la segunda final deje los datos por defecto, simplemente cambie en la columna Nuevo el valor de 2 a 1 - Deje por defecto la tercera fila de NODATA. - Ráster de salida: Darle nombre al archivo de salida, por ejemplo, streams_mun - Active la casilla Cambiar los valores ausentes por No Data” (Guía de actividades fase 4 -2024).

Figura 11.
Reclasificación del ráster de flujo de acumulación en dos clases. Pasos.



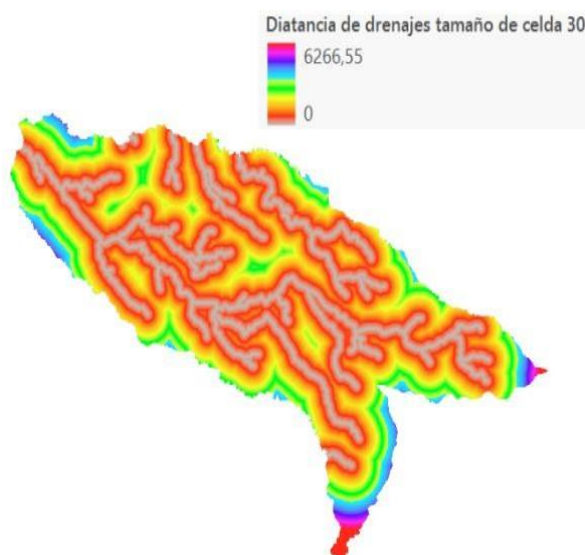
Nota: Elaboración propia,2024.

e. Distancia Euclidiana

pasos: abrir la caja de herramientas, en la búsqueda colocar distancia euclidiana, se da doble clic para seleccionar, Los parámetros se configuran así: Ráster o datos de origen de entidad de entrada: Seleccione el ráster streams_mun - Ráster de coste de distancia de salida entrada: Darle nombre al archivo de salida, por ejemplo, Dist_streams (Guía de actividades fase 4 -2024).

Figura 12.

Distancia Euclidiana



Nota: Elaboración propia,2024.

2). Reclasificación de todos los geoprocesos de las capas ráster anteriores para la reacción de la modelación riesgo por inundación del municipio de Popayán.

Con todas las capas (DEM_ municipio, pendientes, precipitaciones, coberturas de tierra y distancia de drenajes) ya cargadas, se procede hacer una reclasificación década una de ellas, para realizar el mapa de modelo de elevación de riesgo por inundación del municipio de Popayán, esto se hace con el objetivo de que todas las capas tengan una reclasificación en común cualitativa y cuantitativa.

Tabla 2 (X).

Clasificación cualitativa y cuantitativa de los niveles de riesgo.

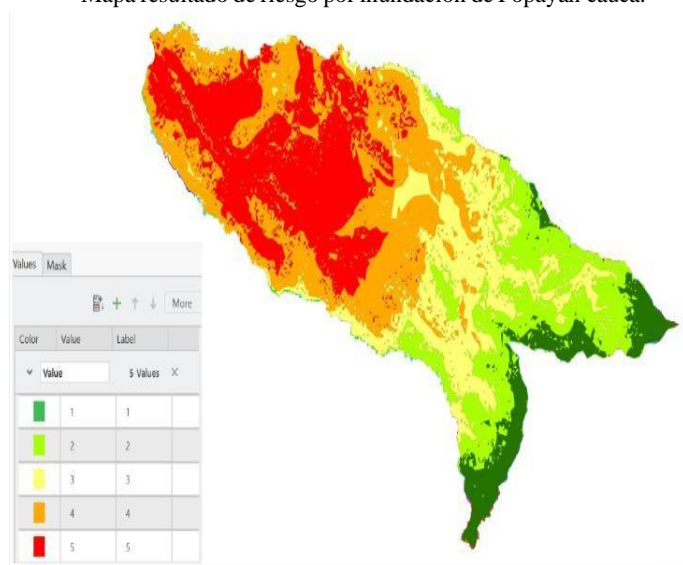
Valores Count	Casificacion_Cualitativa
2	9696 Riesgo muy bajo
4	44033 Riesgo bajo
6	70044 Riesgo medio
8	84751 Riesgo alto
10	291309 Riesgo muy alto

Nota: En esta tabla se muestra la clasificación cualitativa y cuantitativa de las diferentes coberturas de tierras nivel 2 de Corine Land Cover que van en número pares comenzando con el dos (2) que sería zonas con poco riesgo de inundaciones y finalizando con el diez (10) que serían zonas altamente inundables. Simplificadas mediante el uso del geoproceso de extracción por máscara. Elaboración propia (2024).

“Ingrese a la pestaña Análisis de la parte superior de las cintas y luego seleccione Herramientas, se abrirá un panel o ventana de Geoprocesamiento, allí en la caja de búsqueda coloque Reclasificar y luego escoger Reclasificar, de doble clic para seleccionar. Configure los parámetros así: - Ráster de

Figura 13.

Mapa resultado de riesgo por inundación de Popayán cauca.



Nota: Elaboración propia, 2024.

Entrada: Seleccione alguna de las cinco capas ráster encontradas anteriormente en forma ordenada, dar clic en el botón Clasificar, se abre una ventana “Clasificar”, verifique que el método este en Rupturas naturales (Jenks) para que pueda cambiar las Clases a 5 - En esa misma ventana se actualizarán los datos a cinco clases, de clic en aceptar para volver a la ventana de Reclasificar. Ajuste los valores de la tercera columna nuevo teniendo en cuenta que los rangos de Inicio y Fin de la primera fila corresponden a las áreas planas, es decir, las que presentarían un riesgo muy alto, cambie el 1 por el 10 (de acuerdo con la Tabla X), continúe modificando los valores siguientes en orden descendente, es decir, 8, 6, 4 y 2, este último representaría las zonas con mayor elevación que sería un riesgo muy bajo. - Deje por defecto la sexta fila de NODATA, ráster de salida: darle nombre al archivo de salida, Active la casilla “Cambiar los valores ausentes por No Data” (Guía de actividades fase 4 -2024).

Nota: Estos mismos pasos de reclasificación se realizan con cada una de las cinco (5) capas ráster encontradas en el paso uno (1).

- Reclasificación del DEM _ municipio, reclasificación pendiente, la clasificación de 2 a 10 las áreas que se encuentran con un valor de dos (2) son las que tiene más riesgo de inundación debido a la poca pendiente, ya en las otras capas como y están ordenados de forma descendente.

-Reclasificación precipitaciones la clasificación cuantitativa está en orden ascendente y el valor de diez (10) corresponderá a las áreas con mayor riesgo de inundaciones dentro del municipio.

-Cuando se realiza la reclasificación de la capa de coberturas de tierras, en el campo de reclass se selecciona el nivel_2 y se trae la información de las coberturas del suelo que están en el municipio y se clasifican los aeropuerto o zonas industrializadas como bajo riesgo con valor de 2 humedales, ríos como riesgo alto o muy alto y se coloca entre ocho (8) a diez (10) manualmente en la tabla.

En la reclasificación de drenajes se debe tener en cuenta que entre más cerca de distancia estén los drenajes tendrán más riesgo de presentar inundación y serán clasificados con un valor de diez (10) entre más lejos de distancia están los drenajes presentan menor posibilidad de presentar inundación y estos tendrán un valor de dos (2). Y los valores estarán ordenados de forma descendente (Guía de actividades fase 4 -2024).

“3. Capa ráster a capa vectorial.

Del resultado obtenido del análisis multicriterio, transformar la capa en una capa vectorial utilizando la herramienta de conversión de ArcGIS Pro (De ráster a polígono), luego de ello realice un geoproceto adicional de disolver (disolver el gridcode) para simplificar los datos. Una vez creada la capa vectorial, abra la tabla de atributos de la capa vectorial, en esta tabla, agregue dos nuevas columnas: una denominada Class_riesgo_inundación y otra denominada Área. En la columna “Área”, realice el cálculo de geometría para determinar el área de cada polígono.”

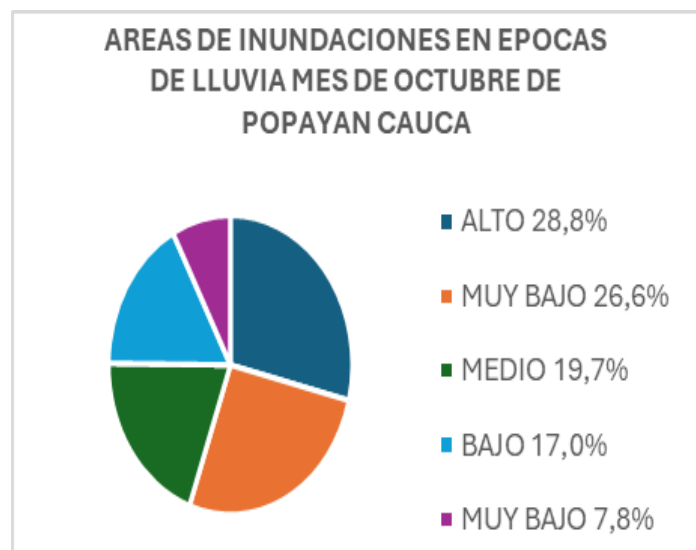
Resultados.

El mapa de riesgo por inundación muestra que el municipio de Popayán sus zona, que pertenecen al casco urbano y rural conformadas por las veredas: Cajetero Blanco, Charco, Pueblillo, el Arenal ,las tres Cruces, Julumito, Rejoya, las Mercedes, las Guacas, Clarete, San Isidro, las Torres, los Cerrillos, Aguas Claras, Santa Teresa, PISOJÉ, la Tetilla y Morinda, están en un nivel muy alto, alto y medio de presentar inundación en un 75.1%, en el mes de octubre de alta precipitación en esta zona, que aumentarían las aguas de la cuenca del río cauca, la subcuenca del río molino, Ejido, Piedras y la quebrada Pubús. Las veredas: Quintana, Santa Helena, el Hogar, Santa Barbara, San Isidro, la Cabuyera, y Dos Brazos presenta un valor bajo y muy bajo de presentar inundación equivalente al 24.9%. Con este trabajo de investigación se evidencia claramente que el municipio de Popayán es altamente propenso a las inundaciones, en casi todo su territorio, pudiendo identificar las áreas críticas que deben de tener mayor atención por aportes de las entidades del gobierno, las alcaldías y control de desastres para brindarles mayor atención y protección, en épocas de lluvias así poder evitar tragedias de pérdidas de vidas humanas, explotaciones pecuarias, deforestación de los suelos y hacer una mejor organización agroambiental del municipio de Popayán Cauca en cuánto a su plan de desarrollo, prohibiendo y controlando las construcciones de vivienda en áreas de alto riesgo de inundaciones, Controlar y salvaguardar los recursos naturales sobre todos la cuenca de los ríos para evitar las intervenciones humanas negativas como la deforestación, explotación de recursos mineros y la tala indiscriminada de árboles lo cual contribuye aún más a la presencia frecuente de desastres naturales. Como se puede observar en el mapa de resultados de áreas y niveles de inundación del municipio de Popayán se puede visualizar

ampliamente, (figura 13.) categorizadas e identificas las áreas de nivel muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, que pueden llegar a presentar en épocas de alta presencia de precipitaciones inundaciones, deslizamientos, represamiento de aguas o avalanchas. En la zona alta se evidencia mayor grado de presentar inundación debido a la influencia de la cuenca del río cauca, y por la deforestación y los asentamientos humanos. Según lo descrito en el acuerdo de Voluntades 2020 creada para la recuperación de la cuenca alta del río Cuaca, fue firmada entre entidades públicas y privadas se estableció la toma de acciones individuales para frenar el deterioro y destrucción de esta cuenca, con el objetivo de frenar su destrucción, deterioro y evitar desastres asociados a su desbordamiento, donde el municipio de Popayán es el más afectado.

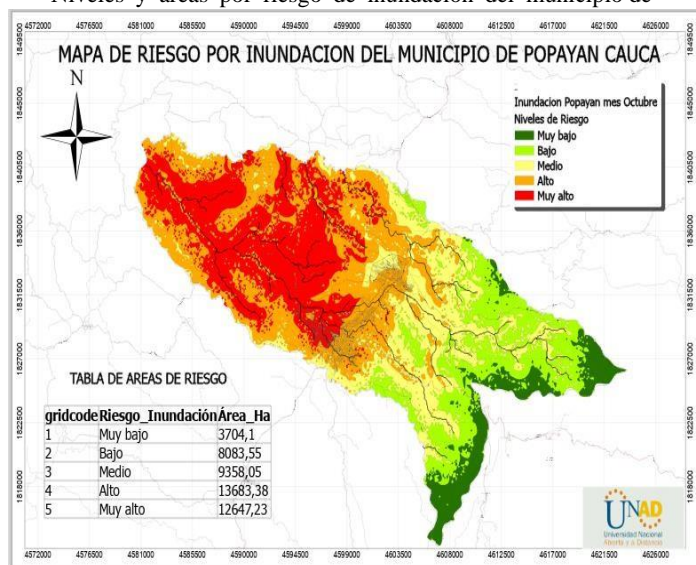
Figura 14.

Porcentajes de niveles de inundación según el área del municipio de Popayán.



Nota: Elaboración propia, 2024.

Figura 15.
Niveles y áreas por riesgo de inundación del municipio de



Nota: Elaboración propia,2024.

Tabla 3.
Valores cualitativos y cuantitativos de áreas de inundación del municipio de Popayán.

NIVELES DE RIESGO CUANTITATIVO	NIVLES CUALITATIVOS	HECTAREAS
1	Muy bajo	3704,1
2	Bajo	8083,55
3	Medio	9358,05
4	Alto	13683,38
5	Muy alto	12647,23

Nota: La tabla de atributos cuantitativa y cualitativa. Muestra los niveles de manera cuantitativa que son los números del uno (1) al cinco (5) y la cantidad de áreas que conforman cada nivel. Los tributos cualitativos muestran de manera ascendente el grado de afectación que tienen cada nivel y pone la alerta en las áreas con numeración más alta. Fuente: Autoría propia,2024 adaptado del programa de ArcGIS pro (2023).

Figura 16.
Áreas urbanas y rurales del municipio de Popayán.



Adaptada del Alcaldía Municipal de Popayán. (2019)
<http://www.popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>

La grafica de áreas inundables muestra el porcentaje de cada área según la clasificación de colores de Corine Land Cover, los resultados indican que el municipio de Popayán más del 75% de su territorio es inundable encontrados en un nivel de medio a muy alto en épocas de lluvia. Menos del 25% cuenta con zonas bajas y muy bajas de riesgo de inundación.

Conclusiones.

El análisis cuantitativo de las áreas de riesgo por inundaciones en el municipio de Popayán, Cauca, demuestra que un porcentaje significativo del territorio presenta niveles altos y muy altos de susceptibilidad a este tipo de eventos. Según la clasificación realizada, las áreas con riesgo muy alto abarcan 12,647.23 hectáreas, mientras que las áreas con riesgo alto cubren 13,683.38 hectáreas. En conjunto, estas zonas representan la mayor proporción del territorio en términos de vulnerabilidad.

Por otro lado, los niveles medio, bajo y muy bajo de riesgo suman un área significativamente menor, destacándose las 9,385.05 hectáreas en riesgo medio y reduciéndose considerablemente en las categorías baja y muy baja. Este panorama resalta que las mayores amenazas se concentran en zonas específicas, posiblemente relacionadas con el uso del suelo y la cercanía a fuentes hídricas como el río Cauca y sus afluentes.

El mapa y las estadísticas generadas mediante ArcGIS confirman que el 26.6% de las áreas evaluadas presentan un riesgo muy alto de inundaciones, siendo una alerta crítica para la planificación territorial. Estos resultados subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación y manejo sostenible de cuencas hidrográficas para reducir el impacto de las inundaciones en el municipio.

Recomendaciones.

Poner en funcionamiento la planta de tratamiento de aguas residuales, ya que según lo investigado en el plan de ordenamiento territorial del 2024 del municipio aún no está en funcionamiento y las aguas residuales son descargadas a los ríos, ocasionando el aumento de su caudal y contaminación en épocas de lluvias y formación de lodos.

Tener un mejor control en cuanto a la disposición de los residuos sólidos domiciliarios debido a que en el municipio de Popayán y en Colombia es muy común que las personas tiren los desechos a los ríos. Generando obstrucción de los cause palizadas y desbordamientos de los ríos.

Realizar forestaciones y control de zonas restringidas ambientales en los nacimientos de las cuencas hidrográficas porque, según lo observado en el mapa de riesgo, las zonas con mayor nivel de inundación son los lugares altos

de las cuencas hidrográficas de los ríos del municipio, lo que significa que sus barreras naturales están intervenidas por el hombre de manera negativa.

Hacer capacitaciones con los habitantes especialmente con los de las veredas de las zonas altas y explicar los niveles de riesgo que se encuentra el municipio para poder trabajar mancomunadamente el gobierno, las entes departamentales y municipales en la presión control de desastres en el municipio.

Hacer un buen ordenamiento territorial del municipio en donde se distribuyan según el mapa de riesgo las tierras que deben de ser para la preservación forestal, la agricultura, y los asentamientos humanos.

Con la recuperación de las fuentes hídricas en la cuenca del Río Cauca y la gestión del drenaje urbano y rural, se fortalece la economía, la productividad, se mitigan riesgos, se mejora el saneamiento y la calidad de vida de las comunidades generándose condiciones para la prosperidad del territorio y el fortalecimiento del tejido social y cultural.

Referencias bibliográficas.

1. Alcaldía de Popayán. (n.d.). Página oficial de la Alcaldía de Popayán. Recuperado de <https://www.popayan.gov.co>
2. Colombia en Mapas. (n.d.). Base de datos vectorial básica: Municipio de Popayán. Recuperado de <https://www.colombiaenmapas.gov.co>
3. ColHistórica. (2024). Municipios de Colombia: características ambientales y

- climáticas. Editorial Nacional. Bogotá, Colombia.
4. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). (n.d.). Página oficial de la CRC. Recuperado de <https://www.crc.gov.co>.
 5. Datos Abiertos Colombia. (n.d.). Conoce mi municipio. Recuperado de <https://www.datos.gov.co/stories/Conoce-mi-municipio>.
 6. Efraimidou, E., & Spiliotis, M. (2024). A GIS-based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Processes*, 11(1), Article 9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>
 7. Hernández Sampieri, R. (2019). Metodología de la investigación Plus. McGraw-Hill. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>.
 8. IDEAM. (2024). Análisis climático y riesgos asociados en el suroccidente colombiano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia.
 9. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (n.d.). Página oficial del IGAC. Recuperado de <https://www.igac.gov.co>.
 10. Osorio, A., & Galindo, O. (2021). Estado de la gestión del riesgo en el plan de ordenamiento territorial Acuerdo 006 de 2002 del municipio de Popayán Cauca. Facultad de Arquitectura Popayán, 15 –46. Recuperado de <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/1f8e1e8b87454ebc13a769ebe5b04dab6622a014.pdf>.
 11. Plan de desarrollo municipal del municipio de Popayán Cauca 2024-2027. (2024). Recuperado de <https://www.popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/PlanDesarrollo/Plan%20de%20Desarrollo%202024%20-%202027.pdf>.
 12. Esri. (n.d.). Software SIG de escritorio: Análisis cartográfico con ArcGIS Pro.
 13. Recuperado de <https://www.esri.com/ArcGIS/Productos>.
 14. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo. (n.d.). Página oficial de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo. Recuperado de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co>.
 15. Alcaldía de Popayán. (2022). Las lluvias dejan 13 barrios inundados en Popayán. Recuperado de <https://www.popayan.gov.co>.
 16. Meridiano Regional. (2023). Temporada de lluvias en Popayán genera inundaciones y afectaciones en barrios vulnerables. Recuperado de <https://www.meridianoregional.com>.
 17. Diario del Cauca. (2023). Gobernación del Cauca y Alcaldía de Popayán trabajan para mitigar el impacto de las lluvias. Recuperado de <https://www.diariodelcauca.com.co>.
 18. Alcaldía de Popayán. (2023). Informe sobre la gestión de riesgos de desastres y medidas de respuesta en Popayán. Oficina Asesora de Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de <https://www.popayan.gov.co/Secretaria>

syEntidades/Paginas/Oficina-Asesora-Gesti%C3%B3n-del-Riesgo.aspx.

19. Gobernación del Cauca. (2022). Plan de acción y medidas de mitigación para las inundaciones en el Cauca. Dirección de Gestión del Riesgo. Recuperado de <https://www.cauca.gov.co/NuestraGestion/Informes/Informe%20Final%200Auditor%20C3%20ADa%20Proceso%20Gesti%C3%B3n-del-Riesgo%202022.pdf>.
20. Defensa Civil de Colombia. (2023). Informe de acciones de respuesta y ayuda humanitaria en casos de inundaciones. Oficina de Respuesta y Emergencias. Recuperado de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Informes-de-Gestion/INFORME-DE-GESTION-UNGRD-2023.pdf>.
21. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2021). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co>.

Enlace de sustentación:

<https://youtu.be/wyDwoBkPzw4>