

Aplicación de las tecnologías de información geográfica para identificar sectores en riesgo por inundaciones del río Mocoa en la ciudad de Mocoa.

Humberto Mauricio Dávila Rueda

Julián Rios Guzmán

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Directora

Sandra del Carmen Rodríguez Luna

Geógrafa, Especialista en sistemas de información geográfica, Magister en Geofísica

Línea de Investigación

Territorios Inteligentes y Sostenibles

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2024

Resumen

En el presente trabajo se aplican las herramientas básicas de sobreposición en sistemas de información geográfica, para aplicar en cualquier software GIS, como son: intersección, clip, unión y la inclusión de información clave en la tabla de datos asociada a la forma geográfica, para definir las zonas con amenaza por inundaciones que afectan a la cabecera municipal de Mocoa, en el departamento del Putumayo.

El mapa de amenazas se elaboró combinando *a) información semicualitativa* con encuestas e inventario y georreferenciación de inundaciones según la percepción de la comunidad y *b) cuantitativa* tomando mapas de geomorfología, delimitando el cauce, pendientes, aplicando cotas de máxima inundación por perfiles con metodología de Ordoñez (2011), delimitando el cauce del río Mocoa en analizando imágenes de satélite de los años: 1969, 1985, 2001, 2013, 2017 y 2023 e identificando los predios y líneas vitales que se encuentran en condición de amenaza alta por inundaciones del río Mocoa.

Una vez se cuente con el mapa de amenazas, sobre la categoría de amenaza alta se identificarán los predios, edificaciones educativas y líneas vitales de red eléctrica y red vial, potencialmente afectadas por inundaciones en la ciudad de Mocoa.

Con la zonificación de amenazas por inundaciones utilizando las tecnologías de información geográfica, el municipio cuenta comuna herramienta que le permite modernizar sus insumos cartográficos, toda vez que los mismos estaban en CAD, contar con bases de datos que le permiten atender las disposiciones de Ley en especial de ley 21 de 1991 e identificar los sectores sobre los cuales debe gestionar proyectos para la reducción del riesgo de desastres.

Palabras clave: Sistema de Información Geográfica, Inundaciones del Río Mocoa.

Abstract

In this work, the basic tools of overlay in geographic information systems are applied in any GIS software, like intersection, clip, union, and the inclusion of information in the database associated with the geographical shape, to define the areas with flood in the Mocoa, Putumayo, Colombia.

The hazard map was prepared by combining a) semi-qualitative information with surveys and inventory and georeferencing of floods according to the perception of the community and b) quantitative information taking geomorphology maps, delimiting the riverbed, slopes, applying maximum flood levels by profiles with Ordoñez (2011) methodology, delimiting the course of the Mocoa River in analyzing satellite images of the years: 1969, 1985, 2001, 2013, 2017 and 2023 and identifying the properties and lifelines that are in a condition of high threat due to flooding of the Mocoa River.

Once the hazard map is available, the properties, educational buildings, and vital lines of the electrical and road network, potentially affected by flooding in the city of Mocoa, will be identified in the high threat category. With the zoning of flood hazards using geographic information technologies, the municipality has a common tool that allows it to modernize its cartographic inputs, since they were in CAD, to have databases that allow it to comply with the provisions of Law, especially Law 21 of 1991 and to identify the sectors on which it must manage projects for disaster risk reduction

Keywords: Geographic Information System, Flood Mocoa River.

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA.....	10
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. ANTECEDENTES	17
4. REFERENTE NORMATIVO Y LEGAL	23
5. REFERENTE TEÓRICO.....	28
6. METODOLOGÍA.....	33
6.1 COMPILACIÓN INFORMACIÓN	33
6.2 ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS DATOS.....	33
6.3 DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN DE LOS MODELOS DE DATOS.	34
6.4 ELABORACIÓN DE LOS RESPECTIVOS MAPAS.....	36
6.5 ENFOQUE METODOLÓGICO	37
6.6 TIPO DE ESTUDIO	37
7. RESULTADOS	39
7.1 REPORTES DE EMERGENCIA	39
7.2 INVENTARÍO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN.....	40
7.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	42
7.4 GEOFORMAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES	46
7.5 DEFINICIÓN DE PERFILES	49
7.6 IDENTIFICACIÓN DE ALTURAS MÁXIMAS DE INUNDACIÓN.....	51
7.7 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	52
7.8 MAPA DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN	52
7.9 ELEMENTOS EXPUESTOS EN EL SUELO URBANO	57
8. CONCLUSIONES	58

9. RECOMENDACIONES.....	59
10. BIBLIOGRAFÍA	60

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Zonificación de Amenazas para la ciudad de Mocoa según PBOT 2008.....	13
Figura 2. Modelo para la interpolación de datos inundaciones máximas rio Mocoa, método Kriging.....	35
Figura 3. Modelo para la identificar elementos expuestos a inundaciones máximas rio Mocoa, sobreposición básica.....	35
Figura 4. Metodología para el análisis de amenazas por inundaciones en Mocoa por el rio Mocoa.....	36
Figura 5. Formato de encuestas de evaluación para inundaciones.....	41
Figura 6. Análisis de la dinámica del rio Mocoa entre los años 1969 a 2022.	46
Figura 7. Susceptibilidad por inundación - elementos geomorfológicos escala 1:2000 en la ciudad de Mocoa y periurbana.....	49
Figura 8. Perfiles cada 25 m paralelos al cauce del río	50
Figura 9. Interpolación de perfiles	52
Figura 10. Delimitación de los puntos interpolados de retorno de 10, 100 y 500 años.....	53
Figura 11. Unión de la 3 zonificación utilizando herramienta SIG.....	53
Figura 12. salida grafica del resultado de la unión de los tres periodos de retorno para el rio Mocoa. ...	54
Figura 13. Amenaza por Inundación en el suelo urbano.	56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Reportes de emergencias por inundaciones en la ciudad de Mocoa	10
Tabla 2 Reportes de Emergencias desde 2001 hasta julio de 2021 en Mocoa	39
Tabla 3. Susceptibilidad por inundación - elementos geomorfológicos del municipio de Mocoa.	47
Tabla 4. Máximas alturas para períodos de retorno de 10, 100 y 500.....	51

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

Los eventos por inundación desempeñan un papel importante en el desarrollo de un municipio, toda vez que desconocer los sectores donde pueden existir afectaciones por inundación fomenta las construcciones en sectores que potencialmente pueden destruirse por este fenómeno natural.

En los procesos de ordenamiento territorial del país orientados por la Ley 388 de 1997, se requiere identificar aquellas zonas afectadas por amenazas naturales y de origen antrópico, para establecer la figura de protección o restricción de desarrollo urbanístico en aquellos sectores afectados por amenazas altas por inundaciones y deslizamientos.

De otra parte, desde la expedición en 1974 del decreto Ley 2811 (Código de los Recursos Naturales) en Colombia todos los propietarios de predios con limite en drenajes permanentes o intermitentes, deben dejar un retiro de 30 metros al lado y lado de la fuente hídrica.

La ciudad de Mocoa se emplaza en el piedemonte andino amazónico sobre un abanico y limitado al oriente por el rio Mocoa, la dinámica fluvial de este rio promovió el desplazamiento de este, dejando áreas libres que empezaron a ser ocupadas por construcciones, estos sectores se han visto afectados por inundaciones en diferentes años y es necesario conocer en esa dinámica del rio Mocoa, si las áreas inundables volverán a inundarse y que sectores se encuentran expuestos a esta amenaza.

1.1 Descripción del área problemática

El municipio de Mocoa ha sufrido inundaciones por encontrarse colindante al río Mocoa y otras fuentes hídricas, según los reportes de emergencia de la Unidad Nacional de Gestión del riesgo de Desastres (UNGRD, 2022) retomados de los estudios básicos de riesgos para el municipio de Mocoa (Mocoa, 2023) el río Mocoa ha presentado los siguientes eventos de inundación:

Tabla 1. Reportes de emergencias por inundaciones en la ciudad de Mocoa

FECHA	Evento
07/abr/01	Desbordamiento del río Mocoa. fueron reubicadas 6 familias.
12/jun/09	desbordamiento ríos Mulato, Mocoa y Pepino.
24/dic/11	Afectada la sede de la d.c.c, afectados equipos de oficina, y elementos de ayuda humanitaria almacenados en bodega para los afectados de ola invernal.
23/feb/12	Vendaval, acompañado de lluvias, vereda, san Joaquín, informo crepad de Putumayo. afectados acueductos urbanos y el caserío el 'Pepino.
01/mar/12	Avalancha de la quebrada, el Pepinito, vereda. Mirador, sector. la virgen, dejando 12 personas aisladas, se generó un deslizamiento, en la vía Pasto, la cual se encuentra cerrada, deslizamientos bloquean la vía Mocoa/Pasto, inhabilitado el paso vehicular, perdida de la banca en 2 puntos de la vía.
13/ago/12	Se presenta una creciente súbita en los ríos Mocoa, río Mulato, río Rumiyo, río Vecinos.
26/mar/13	Lluvias torrenciales inundaciones desde las 6 am en el m/pio de Mocoa, barrios Álamos, Pablo Sexto, Libertador, Américas, Kennedy, San Agustín, desbordamiento quebradas la misión, 1 familia fue rescatada la cual se encontraba aislada por el río Rumiyo.
17/jul/13	La mayor afectación se presenta en la comunidad de Puerto Limón por creciente del río Caquetá y río Mocoa, asentados en la zona del río, daños en enseres, requieren reubicación. amenaza latente de inundación para todo el núcleo poblado de Puerto Limón. todos los ríos y quebradas presentan niveles altos en su caudal con amenaza de desbordamiento.
25/jul/13	Desbordamiento del río Mocoa, sector: San Agustín y Puerto Limón. desbordamiento del río Mocoa, sector: San Agustín y Puerto Limón.
30/dic/16	En el municipio de Mocoa barrio el Peñón se presenta inundación por fuertes lluvias.
22/feb/17	En el municipio de Mocoa se registra inundación, debido a las fuertes lluvias y el colapso de alcantarillado en los barrios el Peñón, Kennedy, Centro y la Independencia, se realiza evacuación de agua con motobombas y aun no

FECHA	Evento
	se ha afectado infraestructura.
14/may/17	Esta madrugada hubo creciente de los ríos Mocoa, Mulato, Sangoyaco y Pepino. afectaciones: el río Pepino afectó una vivienda y la vía Mocoa Pasto. el río Rumiayaco afectó la planta móvil de tratamiento. acciones: se hizo evacuación sobre sector Progreso. se trabaja en la recuperación de vías.
11/ago/18	<p>Creciente súbita, de los ríos: Mulato, Sangoyaco, y Mocoa, quebradas: la Taruca, Taruquita, barrios y veredas afectados: 5 barrios y 3 veredas, colapso de un puente peatonal a la altura del barrio 17 de julio y dos más tienen afectaciones en sus muros. así mismo, se registra afectación en 50 viviendas 2 acueductos.</p> <p>por creciente súbita, de los ríos: Mulato, Sangoyaco, y Mocoa, quebradas: la Taruca, Taruquita, dejando: 4 personas lesionadas, 169 viviendas, 597 personas afectadas, 1 vivienda destruida, 2 puentes vehiculares, 2 puentes peatonales, afectados, 2 acueductos, 3 vías, 1 alcantarillado, 1 red de gas, 17 barrios afectados, 3 sensores del SAR destruidos, pérdida de jarillones a lo largo de los ríos Sangoyaco y Mulato.</p> <p>se recibe, informe, no. 3, Mocoa – Putumayo, actualización de emergencia por creciente súbita, de los ríos: Mulato, Sangoyaco, y Mocoa, quebradas: la Taruca, Taruquita, dejando: 10 barrios, 6 veredas, afectadas, 4 personas lesionadas, 203 viviendas, 604 personas afectadas, 1 vivienda destruida, 2 puentes vehiculares, 2 puentes peatonales, afectados, 2 acueductos, 3 vías, 1 alcantarillado, 1 red de gas, afectados, 3 sensores del Destruídos, pérdida de jarillones a lo largo de los ríos Sangoyaco y Mulato.</p>
21/jun/19	Mocoa, sector Puerto Limón. evento: inundación. (21/06/19). afectación: 3 familias damnificadas, 12 personas afectadas, 1 vereda. acciones: se realizó visita a las viviendas afectadas.
4/07/2020	Mocoa – sector Puerto Limón. evento: inundación – 04 de julio. afectaciones: 1 vivienda afectada por perdida de encerres, 1 familia, 4 personas. acciones: se presenta creciente súbita del río Mocoa y quebrada el Pepino.
26/07/2020	Municipio Mocoa – vereda San José de Pepino. evento movimiento en masa – 26 de julio. afectación se presenta cierre total de vía para toda clase de vehículos por perdida de bancada por intensidad de lluvias, las cuales aumentaron el caudal del río Mocoa y este a su vez generó socavón sobre este tramo vial.

Fuente: UNGRD, tomado de Municipio de Mocoa, 2023.

Los eventos de inundaciones por el río Mocoa han afectado históricamente a la zona urbana de Mocoa las cuales se reportan como se observa en la tabla 1, pero no se cuenta con registros espaciales de los sectores históricamente afectados por inundaciones que nos permitan tener una zonificación de cota máxima de inundación y la identificación de todos los afectados recurrentes y nuevos por la influencia del río Mocoa.

A lo anterior, se le suma la dinámica del río que actualmente hace que su lecho principal se aleje aparentemente de la zona urbana y la comunidad al no tener la claridad espacial de la zona inundable del río, ocupa sectores que el río en otros años inundo y ahora abandono.

La cartografía incide en la toma de decisiones para el uso y ocupación del suelo, tanto en la orientación de la toma de decisiones de quien otorga un permiso para ocupación como en la decisión del habitante que requiere ver el sector donde se invertirá su patrimonio.

En décadas anteriores la evaluación de inundaciones requerida insumos como: topografía detallada de campo, seguimiento físico con mojones para determinar las cotas de máxima inundación, personal contratado a tiempo completo (24/7) para monitorear los puntos de máxima inundación y todo lo anterior con registros planos sin reportes espaciales.

De acuerdo con Naciones Unidas: *“Hay varias razones para que las agencias en los países de América Latina y el Caribe se beneficien con un SIG:*

- *Puede ser sorprendentemente barato: se pueden evitar equipos muy costosos y técnicos altamente especializados seleccionando adecuadamente el sistema y su aplicación. La principal restricción puede no ser falta de fondos sino falta de personal y equipo apropiado;*

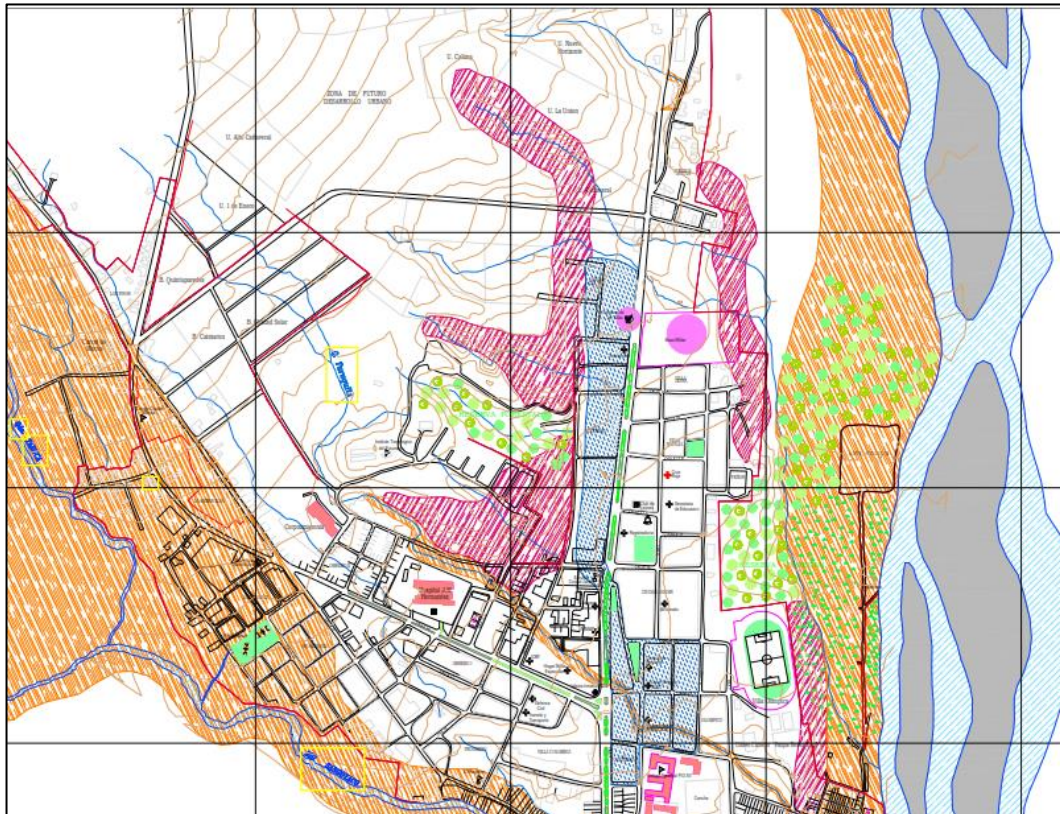
- *Se puede multiplicar la productividad de un técnico;*

- *Puede dar resultados de mejor calidad que los que se obtienen manualmente, sea cual fuere el costo respectivo. Puede facilitar la toma de decisiones y mejorar la coordinación entre agencias cuando la eficiencia es lo que más interesa.” (USAID, 1993)*

En el Plan Básico de Ordenamiento Territorial – PBOT vigente de Mocoa, los sectores con amenaza por inundaciones solo muestran una parte de los sectores históricamente afectados y desconocen los procesos de ocupación actual sobre sectores potencialmente

inundables e históricamente inundados. La zonificación del PBOT se realizó en el año 1999 y se adoptó en el año 2000.

Figura 1. Zonificación de Amenazas para la ciudad de Mocoa según PBOT 2008



(Mocoa, Plan Básico de Ordenamiento Territorial - PBOT, 2000)

Los sistemas de información geográfica aunque tienen un principio militar de localización de objetivos de guerra, se han utilizado en los últimos décadas los SIG se utilizan para análisis de impactos ambientales, evaluación de las condiciones ecosistémicas, identificación de sectores con brotes y expansión de enfermedades y para el análisis de peligros, el Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra - International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC es la entidad pionera en la enseñanza y aplicación de los sistemas información geográfica para el análisis de peligros por

eventos de origen natural, con el principal exponente de estas evaluaciones CJ van Westen a través de la aplicación ILWIS. (van Westen, 1993).

Por su parte el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (Environmental Systems Research Institute – ESRI) también ha generado una serie de paquetes o extensiones que le permita a los analistas de riesgos, evaluar las dinámicas de los ríos, tal es el caso del aplicativo Hidrology y su articulación con el US Army a través del programa Hec GEO Ras.

En Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi a través de su serie de revistas análisis geográficos, dio una primera guía en el país sobre el “Inventario inicial de riesgos naturales en Colombia” (IGAC, 1989).

Es necesario para Mocoa actualizar su mapa de amenazas y los elementos expuestos de manera tal que muestre las potenciales afectaciones actuales si se presentare una inundación, además la cartografía del Municipio de Mocoa se encuentra en formado CAD y reporta únicamente el dibujo de los sectores que se afectan por inundaciones en una condición geomorfológica del río diferente a la actual.

1.2 Formulación del problema

La ciudad de San Miguel de Agreda de Mocoa tiene un mapa de amenazas en AutoCAD, sin bases de datos relacionales y que no muestra la situación actual de ocupación y de dinámica del río que cambia su ambiente geomorfológico.

¿ Los sistemas de información geográfica les permiten a los tomadores de decisiones en el territorio identificar los sectores que pueden verse afectados por inundaciones del río Mocoa en la ciudad de Mocoa?

Existen aplicaciones para el análisis geográfico de las amenazas por inundaciones provenientes de empresas mundiales de software de sistemas de información geográfico, con la información actualizada de Mocoa, se actualizará el mapa de amenazas por inundaciones y de elementos expuestos a este tipo de eventos, utilizando metodologías ya probadas y aplicadas en software GIS.

1.3 Justificación

La identificación espacial de las áreas que pueden afectarse por eventos de origen natural es importante para el desarrollo de un municipio, toda vez que le permite orientar las inversiones públicas y privadas en sitios seguros o adecuar sus construcciones de manera tal que puedan adaptarse a la ocurrencia de un fenómeno natural; evitar la construcción en zonas de peligro por inundación o fomentar construcciones adaptadas a estos eventos, se le conoce como la reducción del riesgo de desastres.

La aplicación de los sistemas de información geográfica para el análisis de peligros en Mocoa es una opción que le permite al municipio convertir sus archivos CAD a archivos gráficos vinculados a datos, utilizando metodologías de zonificación ya orientadas por universidades como el ITC; a su vez, le permitirá al municipio contar con una herramienta actualizada para la toma de decisiones.

Se aplicarán metodologías propuestas por el IDEAM y el Ministerio de Ambiente para el análisis de inundaciones, aplicando los SIG en la zonificación que integra diferentes temas: topografía, geomorfología, geología, hidrología e hidráulica; esta metodología no se ha aplicado en Mocoa en el detalle o escala urbana.

En la aplicación de los SIG en el caso Mocoa, se integrará la evaluación de la condición torrencial del río Mocoa que viene de la montaña Andina y se despliega a la llanura amazónica.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Aplicar las tecnologías de información geográfica para identificar sectores en riesgo por inundaciones del río Mocoa en la ciudad de Mocoa.

2.2 Objetivos específicos

1. Identificar espacialmente los sectores que históricamente se han afectado por inundaciones del río Mocoa en la ciudad de Mocoa.
2. Analizar las zonas con condición de amenaza por inundación torrencial aplicando metodologías de análisis espacial de inundaciones del IDEAM, Minambiente y de modelación hidráulica de Ordoñez .
3. Evaluar espacialmente las construcciones, predios, coberturas y vías que se encuentran en las zonas de amenaza de inundación de río Mocoa en la zona urbana de Mocoa.
4. Generar los mapas de amenazas ante inundaciones torrenciales del río Mocoa en la ciudad de Mocoa.

3. Antecedentes

Las tecnologías de información geográfica son utilizadas desde los años sesenta para el análisis geográficos y visualizaciones espaciales en el National Center for Geographic Information and Analysis, dirigido por Michael Goodchild (<https://www.esri.com/es>, 2020). El primer trabajo formal de SIG del citado Instituto fue el análisis forestal.

Para el análisis de peligros por fenómenos naturales en Colombia los primeros mapas de amenazas fueron desarrollados por el Servicio Geológico Colombiano para advertir de los peligros por la erupción del Volcán Nevado del Ruiz y de Volcán Galeras en los años 80,s (Servicios Geologico Colombiano, 1984) .

En Colombia antes de establecer zonificaciones de amenaza por inundación y tras los eventos de altas lluvias de los años 1970 a 1973, se promulgo en Código de Recursos Naturales, que estableció, entre otras disposiciones, que todos los propietarios de predios rurales deben dejar un retiro de hasta 30 metros después de la cota de máxima inundación; este precepto teórico se aplicó en pocos sectores del país y no incluía una cartografía que definiera la cota de máxima inundación y su faja forestal protectora.

Las evaluaciones de inundaciones se iniciaron para los eventos de tsunami en Japón, donde la agencia de cooperación JICA desarrollo evaluaciones y modelaciones de inundaciones por tsunami.

En el caso de las inundaciones, el entonces HIMAT, Instituto de Hidrología, Metererologia y Adecuación de Tierras desde los años 50´s (ahora IDEAM) monitoreaba las cotas de inundación para generar alertas a las poblaciones aledañas a los cuerpos de agua monitoreados. (IDEAM, 2011); en ese momento no se generaban mapas de inundación, así que no se contaba con la identificación de los sectores potencialmente afectados, diferentes a los contiguos al rio.

En 1984 la UNESCO conformó una comisión especial para la evaluación de amenazas por deslizamientos, encomendándole a Varnes D.J la coordinación para definir una metodología que permita evaluar los peligros por fenómenos de deslizamientos.

Por su parte el Instituto Geográfico Agustín Codazzi con financiación del Ministerio de Hacienda y Crédito Público, presentó en 1989 el inventario inicial de riesgos Naturales en Colombia, donde se recopilan al año 1989 los eventos de emergencias ocurridos en Colombia.

En 1990 se presentan los primeros trabajos que involucran la zonificación de amenazas aplicados, en un Ensayo de evaluación de las amenazas, de los riesgos y de los desastres en Colombia (Velasquez, 1990), mostrando principalmente registros históricos asociados a condiciones geológicas como únicos elementos de evaluación.

Después de ocurrido el desastre por el terremoto de Armenia el 25 de enero de 1999, el Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero se iniciaron los trabajos de zonificación identificando las áreas aptas para desarrollo urbanístico, las cuales se enfocaron principalmente a estudios de microzonificación sísmica y análisis geotécnico de los suelos para soportar terremotos.

Con la promulgación de la Constitución Política Nacional en 1991 y la posterior expedición de la Ley 388 de 1997 y la orden a los municipios de hacer sus planes de ordenamiento territorial identificando los sectores con riesgos para establecer procesos de reubicación y de amenazas para evitar la ocupación de zonas no aptas, se incluye en los currículos de Universidades Públicas en las facultades y programas de ingeniería, geología y geografía del país, el análisis de riesgos, desde sus diferentes énfasis, para el caso de las escuelas de geografía, se enfatizó en el análisis de la percepción del riesgo en comunidades y en las zonificaciones de amenazas y elementos expuestos en un término conocido como la geografía de los desastres en Colombia.

En 1992 se conformó La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - LA RED que busca evaluar los desastres y generar herramientas para evitar nuevos desastres, una de ellas la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina (Red., 1998), partiendo de las características geotécnicas para definir la aptitud de los suelos para construcción, en esta propuesta se inicia a integrar el análisis de los sismos y los elementos expuestos ante posibles eventos de sismo y movimientos en masa; hasta aquí se consideraban únicamente tres variables: geología – geotecnia, sismos y las condiciones sociales de pobreza de la comunidad; sin integrar el grado de exposición de esta comunidad.

En los estudios de la Red se inicia a aplicar la fórmula mundial del análisis de riesgos:

$$R = Sf (ViAi)$$

Ecuación 1. Análisis de amenazas y riesgos

Donde:

R = riesgo

A = Amenaza

V = vulnerabilidad social (densidad de población, tipología del hábitat, modos de composición urbana.

En 1993 se crea el primer paquete oficial que integra a los sistemas de información geográfico con la metodología de zonificación de amenazas por deslizamientos, desde el ITC aplicando el software ILWIS, posteriormente y con este mismo instituto, entre los años 1994 a 1998 se desarrollaron aplicaciones con tecnologías de información geográfica para el análisis de inundaciones, identificación de rellenos sanitarios y otras aplicaciones en torno al análisis de impactos ambientales y de amenazas y riesgos. Esta es la primera aproximación a la zonificación con un software GIS donde involucra otras variables diferentes a la geología, la geotecnia y los eventos sísmicos.

Convencionalmente para la evaluación de inundaciones se está aplicando desde 1995 hasta la fecha, las metodologías consignadas en el libro de “Hidrología Aplicada” de Ven Te

Chow. 1994. McGrawHill, donde además se cuenta con las bases del análisis de periodos de retorno contando con datos de estaciones hidrológicas y meteorológicas.

En 1995 el cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos dejó abierto el programa HecRAS para la modelación y análisis de ríos con fines de construcción de obras como puentes militares y otros sobre fuentes hídricas. Este software se popularizó tanto que herramientas como ArcGIS y GvSIG integraron elementos de HEC-Ras para el análisis de zonas inundables e inundaciones. (HEC, 1996).

Por las inundaciones ocurridas en Colombia entre los años 2010 y 2011, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Asuntos Ambientales – IDEAM generó una memoria descriptiva para el análisis a través de mapas de inundación en escalas 1:2.000, 1:25.000, 1:5.000 y 1:100.000 (IDEAM I. , 2012), donde identificó además las áreas inundables, áreas susceptibles a inundarse y las áreas inundadas en 2011. El gobierno de Colombia expidió el Decreto 1640 de 2012 para actualizar los planes de ordenación de cuencas hidrográficas y el Ministerio de Ambiente y el IDEAM generaron la guía para la modelación de amenazas en escala 1:25.000.

En 2010 se publicó con la Universidad Nacional de Colombia el libro denominado “El régimen del flujo y la morfología de los cauces aluviales” de Ordoñez (2010), donde se plantea el análisis de ríos de montaña con una pendiente típica de generación de torrencialidad.

En el año 2014 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide la guía Anexo B. Gestión del Riesgo, donde incluye una metodología para la evaluación de inundaciones. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), en la guía aplica como principal elemento metodológico, el análisis de inundaciones por criterio geomorfológico.

CORPOAMAZONIA en alianza con la Universidad Nacional de Colombia – Sede Leticia, desarrolló una metodología para análisis de rondas hídricas en dos tipos de ríos: de piedemonte torrenciales en el río Mulato de Mocoa (Putumayo) y río Hacha en Florencia (Caquetá) y de llanura inundable para el sistema hídrico Yahuaraca en Leticia (Amazonas). (Universidad Nacional de Colombia & CORPOAMAZONIA, 2018).

Después de ocurrida la avenida torrencial en Mocoa en el año 2017, el DNP (2020) integro al municipio al programa POT's modernos quienes adelantaron el análisis de amenazas para Mocoa por inundaciones aplicando el criterio geomorfológico de la guía de POMCAS, en el presente estudio se complementará con el análisis hidráulico.

4. Referente normativo y legal

En Colombia el Código de Recursos Naturales Decreto Ley 2811 de 1974, estableció que todos los propietarios de predios en suelo rural están obligados a dejar una faja de protección del río hasta de treinta (30) metros, contados a partir de la cota de máxima inundación en crecientes ordinarias. Esta norma sigue vigente, con diferentes adaptaciones en el transcurso del tiempo. En el Decreto 1449 de 1977 se definió que el cauce es la zona que inunda en inundaciones normales.

Tras el desastre de Armero en 1985, en el año 1986 se promovieron los mapas de amenaza como elementos para la toma de decisiones en un territorio en Colombia y posteriormente se creó el Sistema Nacional para la Prevención de Desastres con el Decreto Ley 919 de 1989.

Con la promulgación de la Ley 9 de 1989 o Ley de Reforma Urbana, los municipios debían definir zonas con amenazas por inundaciones, deslizamientos y riesgos por condiciones de insalubridad. Esta ley se reformó con la expedición de la Ley 388 de 1997 mediante la cual se definen los contenidos de los planes de ordenamiento territorial POT, entre ellos la identificación de zonas con amenaza y con riesgo no mitigable, sin embargo, hasta este momento, no se especificaban los parámetros para la delimitación o zonificación de las zonas con condición de riesgo.

La Ley 2 de 1991, modifica a la Ley 9 de 1989 establece que los...alcaldes levantarán y mantendrán actualizado un inventario de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos por ser inundables o sujetas a derrumbes o deslizamientos, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda.

Esta función se adelantará con la asistencia y aprobación de las oficinas locales de planeación o en su defecto con la correspondiente oficina de planeación departamental, con la colaboración de las entidades a que se refiere el Decreto 919 de 1989 (ahora Ley 1523 de 2012), adelantarán programas de reubicación de los habitantes o procederán a desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas.

Mientras subsistan asentamientos humanos en las zonas de alto riesgo los inmuebles a los cuales se declare extinción de dominio en aplicación del literal a) del artículo 80 o declarados de utilidad pública, o interés social en desarrollo de los literales b) y d) del artículo 10, sólo podrán destinarse a la reubicación de los habitantes que a la vigencia de la presente Ley se encuentren localizados en zonas de alto riesgo. Los funcionarios públicos responsables que no den cumplimiento a lo dispuesto en este inciso incurrirán en causal de mala conducta. Cualquier ciudadano podrá presentar al alcalde o intendente la iniciativa de incluir en el inventario una zona o asentamiento determinado.

La Ley 388 de 1997 Es la ley marco que define los contenidos mínimos y procedimientos para los procesos de ordenamiento territorial a nivel municipal, entre otras disposiciones establece que:

- ✓ El ordenamiento territorial debe “mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales” como una función pública del urbanismo.
- ✓ Dentro de sus acciones urbanísticas debe “determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda” (Numeral 5, Art. 8)
- ✓ “Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las

estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales” son determinantes ambientales que los municipios deben adoptar, en la elaboración y adopción de sus POT.

- ✓ En el contenido del componente estructural se debe especificar la ubicación en planos de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas o riesgos naturales o por condiciones de insalubridad.
- ✓ En el contenido del componente urbano se debe delimitar las áreas expuestas a amenazas y riesgos, así como los mecanismos para la reubicación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo para la salud e integridad de sus habitantes, incluyendo la estrategia para su transformación para evitar su nueva ocupación; mientras que para el componente rural deben los POT delimitar las áreas de amenazas y riesgos.
- ✓ Las normas que delimitan las áreas de amenazas y riesgos son estructurales, es decir, su modificación solo puede emprenderse con ocasión de una revisión excepcional por declaratoria de calamidad pública o por nuevos estudios detallados sobre amenazas y riesgos que justifiquen la recalificación del riesgo o por revisión general del esquema de ordenamiento territorial. A su vez la delimitación de las áreas de amenaza y riesgo se aplican en las normas generales del componente urbano y del componente rural y en el programa de ejecución.
- ✓ De otra parte, el artículo 121 de la Ley 388 de 1997 establece que “las áreas catalogadas como de riesgo no recuperable que hayan sido desalojadas a través de planes o proyectos de reubicación de asentamientos humanos serán entregadas a las Corporaciones Autónomas Regionales o a la autoridad ambiental para su manejo y cuidado de forma tal que se evite una nueva ocupación. En todo caso el alcalde municipal o distrital respectivo será responsable de evitar que tales áreas se vuelvan a ocupar con viviendas y responderá por este hecho”.

En ocasión a los desastres y emergencias por la temporada de altas precipitaciones que afectaron al 80% del territorio de Colombia entre los años 2010 – 2011, en la denominada “ola invernal”, el IDEAM desarrollo una guía para evaluación de inundaciones en escalas: 1:5.000, 1:25.000 y 1:100.000 a partir de la evaluación en Colombia de las áreas inundadas, áreas inundables y áreas con susceptibilidad por inundación, basados en tres insumos cartográficos

principales: mapas geomorfológicos, de coberturas de la tierra y análisis multitemporal de imágenes de satélite.

Consecuencia de la emergencia nacional de 2011, se promulgo el Decreto 1640 de 2012, mediante el cual se definían las fases y contenidos de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, corrientes hídricas y aguas subterráneas; para el desarrollo de estos planes el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaboró guías entre las cuales se encuentra la Guía para el Análisis de Riesgos en los POMCA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

La Ley 019 de 2012 establece que “sólo procederá la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del plan de ordenamiento territorial o la expedición del nuevo plan de ordenamiento territorial cuando se garantice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y la delimitación y zonificación de las áreas con condiciones de riesgo además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación, la cual deberá incluirse en la cartografía correspondiente.”

Las inundaciones de los años 2010 y 2011 promovieron la expedición de la Ley 1523 de 2012 que conforma el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y le da a los municipios y otras entidades, funciones para desarrollar actividades en conocimiento, prevención, reducción y atención de desastres.

En el año 2014 mediante el Decreto 1807, se *“establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan”*.

Atendiendo lo dispuesto en el Decreto citado, el Servicios Geológico generó una guía para el análisis de movimientos en masa en 2017 y para avenidas torrenciales en 2019.

En Mocoa, una vez ocurrido el desastre en 2017 y siguiendo la Ley 1523 de 2012, el gobierno nacional la Situación de Desastre mediante Decreto 599 del 6 de abril de 2017, en consecuencia, se elaboró el Plan de Acción Especifico que se consolidó en el CONPES 3904 de 2017, en este CONPES se encuentra, entre otras actividades, la revisión y ajuste del plan básico de ordenamiento territorial -PBOT.

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi por su parte emite la Resolución Número 1149 del 19 de agosto de 2021, donde se dispone entre otras que:

“CANCELACIÓN DE INSCRIPCIONES CATASTRALES POR CAUSAS NATURALES O DE FUERZA MAYOR. En caso de que un predio desaparezca en su totalidad debido a causas naturales o fuerza mayor, el gestor catastral procederá a la cancelación de la inscripción catastral, ya sea de oficio o a petición de parte, basándose en los documentos que demuestren la situación. Si el predio estaba interrelacionado con el registro o ya contaba con Número Único Predial (NUPRE) asignado, se deberá informar a la SNR.

En caso de una desaparición parcial, el gestor catastral realizará la mutación correspondiente según lo establecido en esta resolución. La inscripción catastral del cambio se realizará mediante acto administrativo que se comunicará al interesado”.

Por lo anterior, el presente trabajo de grado será de apoyo para identificar además de los predios en condición de riesgos, aquellos predios que deben cancelar su inscripción catastral.

5. Referente teórico

Los sistemas de información geográfica – SIG se han convertido en la base fundamental en la solución de problemas ambientales y territoriales, que facilitan en gran medida el análisis espacial, integral y holístico del territorio, a partir de la información que puede ser representada cartográficamente.

Para algunos autores los SIG son *“un conjunto de procedimientos sobre una base de datos ... de objetos del mundo real que tienen una representación gráfica y que son susceptibles de algún tipo de medición respecto a su tamaño y dimensión relativa a la superficie de la tierra”* (van Westen & Vargas, 2005). Para Flamenco (2000) un SIG es un conjunto de elementos de distinta naturaleza cuyo objetivo es llevar a cabo tareas de acopio, almacenamiento, manipulación, análisis, medición, transformación y representación de información que tiene una referencia espacial o geográfica.

Los SIG además de las anteriores definiciones, permiten añadir la dimensión temporal, ya sea por la naturaleza de los datos, su capacidad de actualización y algunos procesos de análisis.

En términos generales, los sistemas de información geográfica son el conjunto conformado por elementos informáticos convencionales (equipos, programas) y elementos de información geográfica; con los cuales pueden desarrollarse análisis, consultas, evaluaciones y estudios territoriales, ambientales, socioeconómicos, entre otros.

Los sistemas de información geográfica se usaron inicialmente con fines militares y de navegación, actualmente tienen un uso casi masivo donde a nivel global se usan mapas y sistemas GPS que se encuentran en dispositivos móviles personales.

Posteriormente en los años 60's se iniciaron a utilizar para evaluaciones medioambientales, de ingeniería, para el análisis y manejo de los recursos naturales renovables y no renovables, para análisis de crecimiento poblacional (Naciones Unidas, 2000) que en Colombia se manejan por el departamento administrativo nacional de estadística DANE a través de geoestadística, para el trazado de rutas, entre otros usos.

Los sistemas de información geográfica requieren muchas veces de la utilización de varios programas y equipos SIG como es el caso del estudio para la zonificación de riesgos por inundaciones y flujos torrenciales del río Parí en Malasia (Sinnakaudan & Abu Bakar, 2004), donde se utilizaron los programas ArcView 3.2 y versiones anteriores al conocido HEC-6 o HEC RAS (namely SFlood.avx to integrate the SFlood hydraulic and sediment transport model). De igual manera, para la ejecución del presente trabajo, al igual que el análisis de inundaciones del río Parí, se utilizarán diferentes software, algunos para análisis espacial multivariado como el ILWIS; para el cálculo de volúmenes como surfer; otros para integración, elaboración de modelos cartográficos y salida de mapas como el ARC-GIS y el ArcView.

Los métodos determinísticos se utilizan a escalas más detalladas y se basan en la física del fenómeno. Estos arrojan resultados cuantitativos en términos del factor de seguridad. Generalmente estos métodos combinan análisis geotécnicos e hidrológicos para determinar estado crítico de la ladera, es decir que utilizan aproximaciones físicas del problema (Aristizábal et al., 2010). Los métodos determinísticos utilizan variables constantes en sus modelos y son sensibles a la precisión de los datos, esto genera cierto grado de incertidumbre en los resultados, mientras que

enfoques probabilísticos permiten tener variabilidad en los parámetros de diseño, arrojando resultados en términos de probabilidad de falla.

El método probabilístico emplea variables que se alimentan de datos al azar, las cuales se relacionan mediante funciones matemáticas. Estos métodos pueden ser distribuciones de probabilidad o procesos estocásticos que constituyen modelos matemáticos de experimentos aleatorios. Son una “idealización” con la cual se quiere representar o modelar la realidad (UNGRD, 2015). En la Figura 3 se observa el mapa de amenaza por movimientos en masa del área urbana del municipio de Popayán a escala 1:5000, en el cual usaron métodos probabilísticos.

el SGC (2015) presentó la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa, en la que se emplean métodos determinísticos para estudios básicos en zonas urbanas o de expansión urbana (Escala 1:5.000) y métodos probabilísticos para estudios detallados (Escala 1:2.000). La zonificación de la amenaza se realiza en tres fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza. (UNGRD, 2018)

Teniendo en cuenta que se busca definir zonas ambiental, territorial y socioeconómicamente compatibles con la explotación minera, se requiere evaluar y analizar diferentes temas algunos opuestos otros similares entre sí; por ello se requiere de la aplicación del **análisis multicriterio**, metodología utilizada convencionalmente para la evaluación de más de un aspecto espacial tipo vector (formaciones geológicas superficiales, cobertura del suelo, clases agrologicas, pendientes, entre otros) con sobreposición y la ponderación de atributos, a partir de una matriz de comparación o valoración pareada; el análisis multicriterio se ha utilizado principalmente para estudios de impacto ambiental, de ordenamiento territorial, para la zonificación de peligros volcánicos (Aceves-Quesada, López-Blanco, & Martin del Pozzo, 2006).

La evaluación con SIG de diversos fenómenos existentes en La Tierra y que requieren de un análisis integral, inicio con el ordenamiento de cuencas hidrográficas, donde se requiere del análisis de aspectos ambientales como: tipos de suelos, geología, morfometría de microcuencas, entre otras, interrelacionándolos con aspectos socioeconómicos como los usos y ocupación del suelo, que incluyen el manejo de sensores remotos; todo lo anterior se conoce como Manejo Integrado de Cuencas - MIC (Bocco, 2003).

Generalmente, los SIG se han utilizado para análisis específicos y un tanto aislados, es el caso de las evaluaciones para la conservación biológica o forestal o para estudios geológicos, geofísicos, entre otros, sin realizar un análisis interrelacionado. No obstante, los SIG van más allá del uso de las tecnologías de información geográfica y de las frías bases de datos, los SIG son “una estructura de personas y equipos que trabajan con datos geográficos, es decir, espacialmente referenciados. Por lo tanto poseen un alto potencial para apoyar los estudios de conservación de la diversidad biológica, puesto que para la mantención de especies, comunidades y ecosistemas, es imprescindible el conocimiento de su distribución en

el espacio” (Moreira, 1996), en este sentido, las personas encargadas de hacer los análisis espaciales, según las necesidades y problemas que requieren resolver, estableciendo modelos previos y modificándolos según el requerimiento; son la base fundamental de los SIG.

Los sistemas de información geográfica SIG se han convertido en una gran herramienta para el análisis espacial de peligros por condiciones de amenaza natural y las potenciales afectaciones a las poblaciones, en consecuencia, son una gran herramienta para detectar sectores aptos y no aptos para el desarrollo.

Los primeros mapas de peligros se realizaron en escalas 1:100.000 y 1:25.000 y en Gran Canaria (España) se aplicó el método heurístico que utiliza varios mapas que sumados según sus características y teniendo en cuenta los datos de sectores con recurrencia de eventos. (Barredo, Benavides, Hervas, & van Westen, 2000).

6. Metodología

6.1 Compilación Información

6.1.1 Información espacial

Se recolectará información cartográfica sobre topografía, áreas de interés ambiental, cotas históricos de máxima inundación, usos del suelo urbano y rural, geomorfología, hidrografía, mapa predial, DTM, levantamiento de imágenes de alta resolución con RPAS de la casa DJI serie Mavic 3 PRO, imagen de alta resolución.

6.1.2 Información no espacial

Se recolectará información no espacial como la normatividad vigente y reportes de emergencia y daños.

6.2 Análisis espacial de los datos.

- La información recopilada será procesada aplicando los siguientes métodos:
- Heurístico para el análisis de mapas temáticos y las zonas con susceptibilidad a inundación.
- Estadístico de Kriging para la interpolación de los puntos de máxima inundación y los puntos que según las encuestas son límites de máxima inundación.

- Análisis multitemporal de imágenes para la identificación de cambio de curso en el río Mocoa
- En las zonas con susceptibilidad alta a inundaciones se dibujan perfiles según la topografía, cada 25 metros.
- Con los perfiles se aplicará la metodología hidráulica de Ordoñez que consta en realizar tres periodos de retorno a 10, 100 y 500 años clasificándolo en alta, media y baja amenaza por inundación respectivamente.
- Algebra de mapas de las zonas con condición de amenaza y los predios y construcciones existentes sobre cada categoría de amenaza. Con esto se encontrará las viviendas que se encuentran en cada una de las amenazas, alta, media y baja, obteniendo no solo un conteo de viviendas sino el grado de exposición por predio.

6.3 Diseño y estructuración de los modelos de datos.

Se trata del modelo de análisis espacial y automatización de flujos de trabajo para la definición de zonas compatibles con la minería y su relación costo beneficio, para este caso se utilizó el Model Builder de ArcGIS.

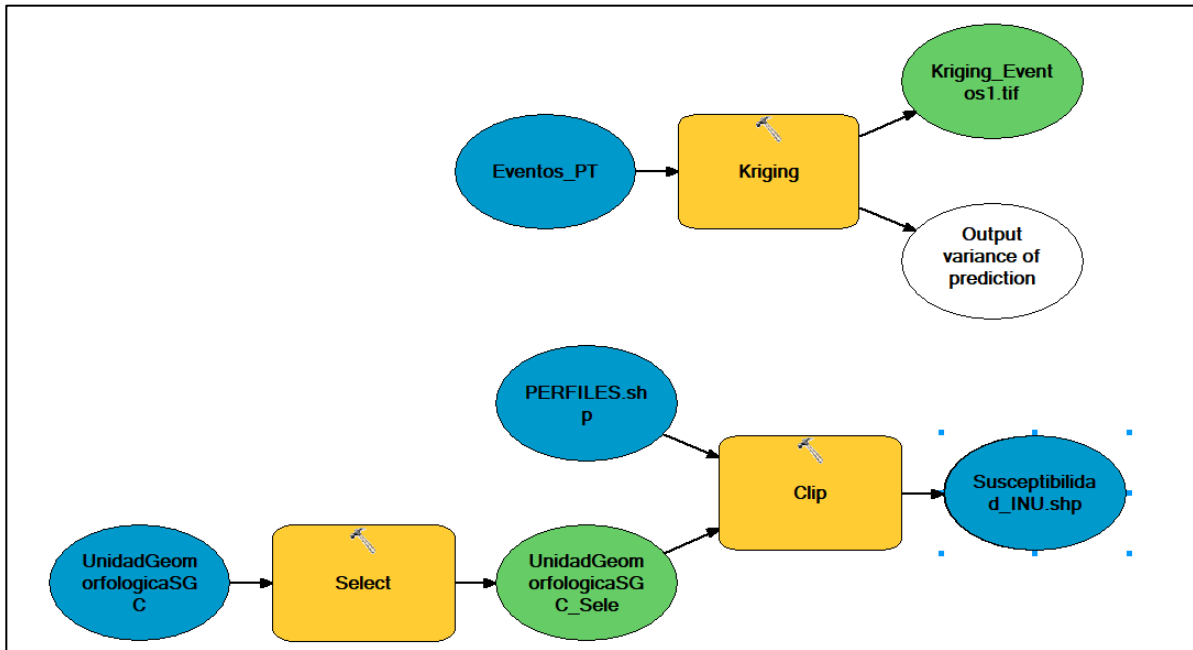


Figura 2. Modelo para la interpolación de datos inundaciones máximas río Mocoa, método Kriging

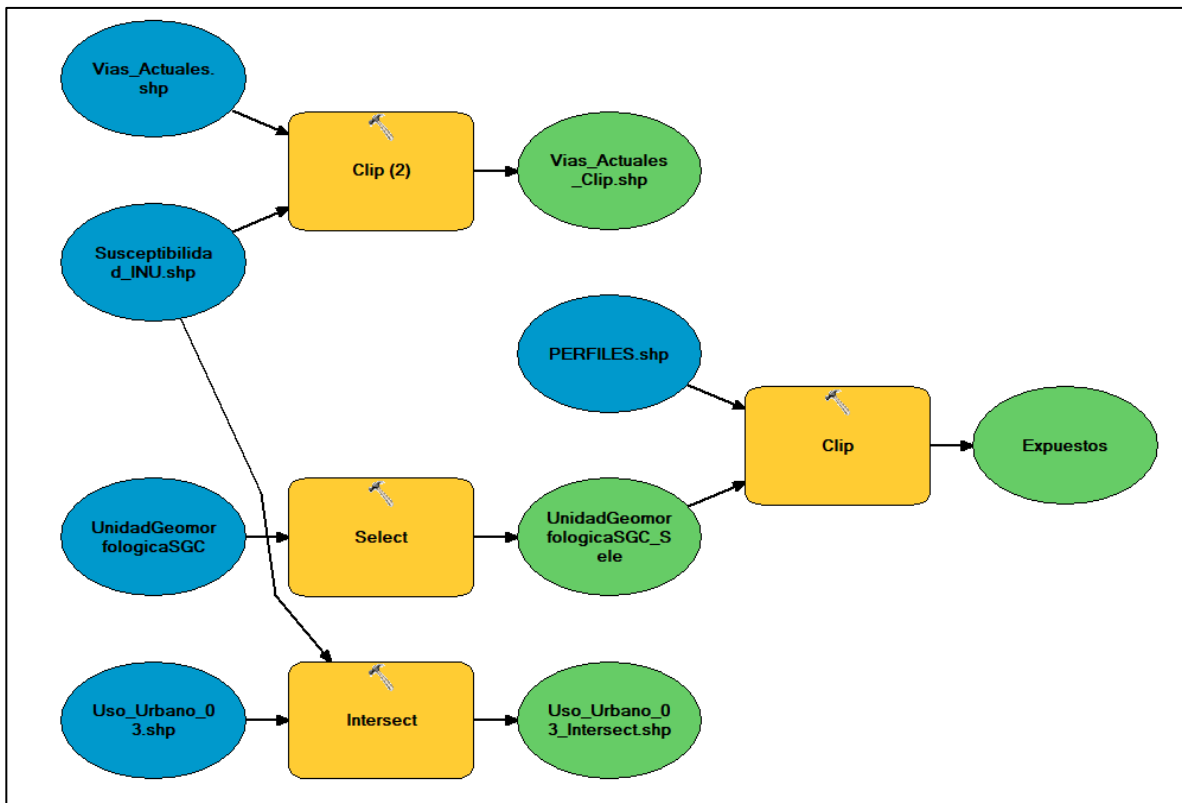


Figura 3. Modelo para la identificar elementos expuestos a inundaciones máximas río Mocoa, sobreposición básica.

6.4 Elaboración de los respectivos mapas

Son los mapas temáticos y de resultado respectivos, para la localización de las áreas con amenaza alta a inundaciones del río Mocoa y los elementos expuestos a las mismas.

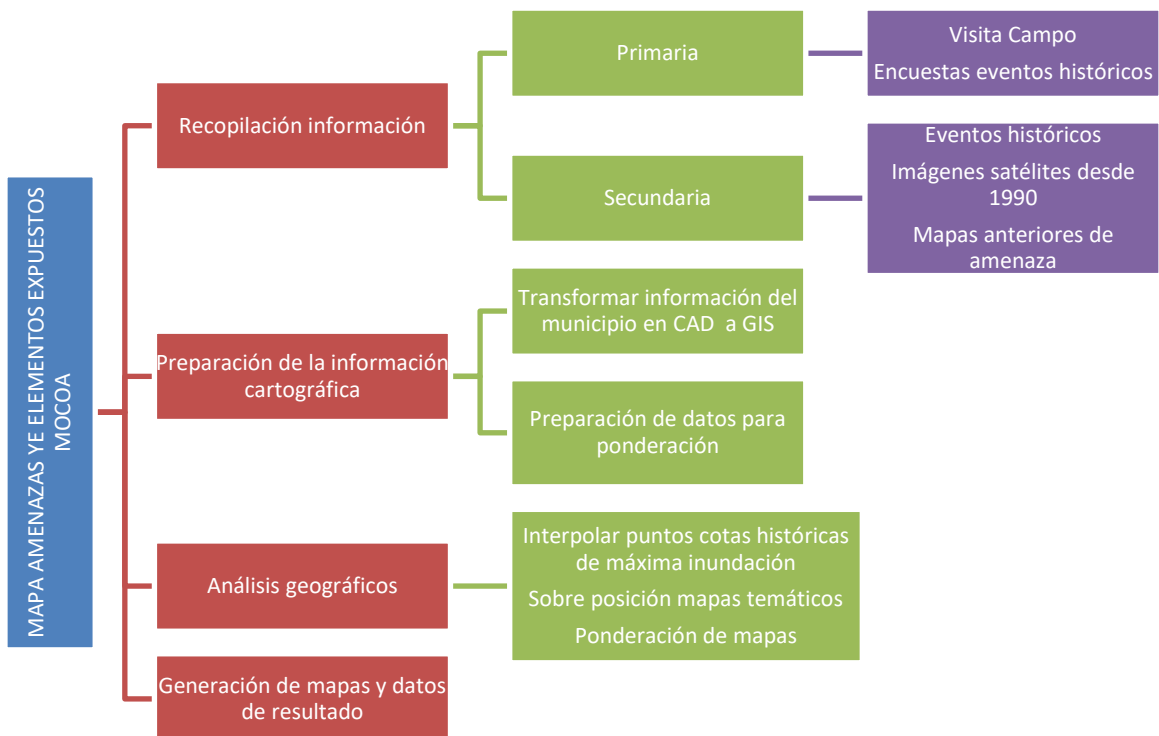


Figura 4. Metodología para el análisis de amenazas por inundaciones en Mocoa por el río Mocoa.

6.5 Enfoque metodológico

El enfoque del presente trabajo es semi cuantitativo, utilizando métodos estadísticos de interpolación para amenaza, calificación de vulnerabilidad y de ponderación aritmética para riesgo y encuestas con las comunidad para determinar los puntos de máxima inundación, de la siguiente manera:

Para amenaza se partirá de datos en campo del inventario de inundaciones según los reportes de cota máxima de inundación, el análisis multitemporal con imágenes satelitales de diferentes años que permite mostrar la dinámica del cauce del río Mocoa, el trazado de perfiles transversales al cauce sobre los cuales se aplican las cotas estimadas de máxima inundación.

Para vulnerabilidad se trabajará con información secundaria predial, de construcciones, vías y otras líneas vitales expuestas a la amenaza por inundación son una sobre posición directa.

6.6 Tipo de estudio

En el presente trabajo de grado se realizara un estudio tipo correlacional, puesto que el resultado es un mapa predictivo de las zonas con condición de amenazas por inundaciones del río Mocoa y los elementos expuestos a estas amenazas; para obtener estos mapas se relacionan variables físicas del terreno como socioeconómicas de tenencia de la tierra e infraestructura, para finalmente entregar como resultado una estadística de todas las potenciales pérdidas o afectaciones en la ciudad de Mocoa por inundaciones del río con el mismo nombre.

7. RESULTADOS

7.1 REPORTES DE EMERGENCIA

Como principal insumo se encuentran los reportes de emergencia que los municipios remiten a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD, con base en esta información se identifica los principales eventos naturales por inundaciones del río Mocoa del año 2001 al año 2021.

Tabla 2 Reportes de Emergencias desde 2001 hasta julio de 2021 en Mocoa

FECHA	EVENTO	MUERTOS	PERSONAS	FLIAS	VIVIENDAS	Descripción
7-abr-01	30 INUNDACIÓN	31	32 100	33	34	40 Desbordamiento del río Mocoa. fueron reubicadas 6 familias.
136 12/jun/09	137 INUNDACIÓN	138	139 2.340	140	141	147 desbordamiento ríos Mulato, Mocoa y Pepino.
13-ago-12	INUNDACIÓN	321		322	323	329 Se presenta una creciente súbita en los ríos Mocoa, río Mulato, río Rumiyaco, río Vecinos.
17-jul-13	INUNDACIÓN	410	40	411	412	418 La mayor afectación se presenta en la comunidad de Puerto Limón por creciente del río Caquetá y río Mocoa, asentados en la zona del río, daños en enseres, requieren reubicación. amenaza latente de inundación para todo el núcleo poblado de Puerto Limón. todos los ríos y quebradas presentan niveles altos en su caudal con

FECHA	EVENTO	MUERTOS	PERSONAS	FLIAS	VIVIENDAS	Descripción
						amenaza de desbordamiento.
25-jul-13	INUNDACIÓN	419 3	25	420	421 5	427 Desbordamiento del río Mocoa, sector: San Agustín y Puerto Limón. desbordamiento del río Mocoa, sector: San Agustín y Puerto Limón.
14-may-17	INUNDACIÓN	789	5	790	791	797 Esta madrugada hubo creciente de los ríos Mocoa, Mulato, Sangoyaco y Pepino. afectaciones: el río Pepino afectó una vivienda y la vía Mocoa Pasto. el río Rumiyo afectó la planta móvil de tratamiento. acciones: se hizo evacuación sobre sector Progreso. se trabaja en la recuperación de vías.

Fuente: UNGRD¹ (2022)

En total, por las inundaciones históricas del río Mocoa se reportan 2108 personas muertas y 2.122 viviendas afectadas por inundaciones del río Mocoa.

7.2 INVENTARIO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN

El inventario de eventos es un compilado de varias fuentes de información secundaria, en donde se cuenta con la ubicación aproximada de puntos de referencia (inventario Inypsa, 2018), información que se complementó con visitas de campo y las siguientes encuestas a la comunidad:

¹ <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>

EVALUACIÓN INUNDACIONES		LOCALIZACIÓN X: _____ Y: _____	
FECHA: _____		RESPONSABLES EVALUACION: _____	
CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE			
Ancho de sección transversal de cauce incluyendo playa (m)		Ancho de sección transversal de cauce en lecho menor o mojado (m)	
Condición de Estabilidad			
Cauce con estabilidad estática		Cauce con estabilidad dinámica	
Geoforma predominante del sector			
Tipo de materiales predominantes		Tipo de Cauce	
Lecho Rocoso		Transporte de sedimentos	
Cantos		Trenzado	
Arenoso		Carga suspendida	
Limoso		Carga intermedia	
Arcilloso		Carga de fondo	
Otro		Recto	
Tamaño predominante de los materiales		Cortes del meandro	
CARACTERÍSTICAS DE LA INUNDACION			
Altura base río/quebrada		Cota Maxi. Inund (CM)	
Altura Cauce (AC)		Localiz Cota Max X: _____ Y: _____	
Tipo de inundación		Velocidad estimada del flujo, caudal	
Lenta <input type="checkbox"/>		Delta (AC-CM)	
Subita <input type="checkbox"/>			
ORIGEN DE LA INUNDACION			
Natural	Nombre Fuente hidrica que inundo: _____		Antropica
	Tipo de cauce		
	Sistema acueducto (daños en tuberías) Sistema alcantarillado (Reflujo, daños en tuberías)		
	Inadecuado manejo de represa Incidencia de las obras existentes: Otro		
Permanente <input type="checkbox"/> Intermiteinte <input type="checkbox"/>			
Orden de la corriente:			
Corriente intervenida con obras:			
Tiempo transcurrido entre la inundación y el drenaje de las aguas (horas/días)		Proximidad de la zona evaluada con respecto al cauce original	
Distancia erosionada aprox en metros (si se presentó erosión lateral)			
Antecedentes de inundación del sector	Breve descripción de inundaciones anteriores:		
	Fecha		
USOS Y OCUPACION DEL SUELO PREDOMINANTE EN EL AREA INUNDADA		RECOMENDACIONES INMEDIATAS	
1) Suelo Desnudo		5) Mezcla rastrojo/pasto/árboles	
2) Pastos		6) Cultivos Limpios	
3) Rastrojo		7) Cultivo Limpio/rastrojo/pasto	
4) Árboles		8) Área urbanizada o construida	
Uso predominante en el área construida	Residencial <input type="checkbox"/>		1) Evacuación
	Comercial <input type="checkbox"/>		2) Demolición
	Industrial <input type="checkbox"/>		3) Construcción de jarillones
	Institucional <input type="checkbox"/>		4) Cierre de boquetes
		5) Bombeo de aguas	
		6) Reparación de alcantarillado	
		7) Desvío temporal de aguas lluvias	
		8) Inundación temporal de otras zonas para evacuación de aguas	
AFECTACIONES POR LA INUNDACION		9) Limpieza de alcantarillado	
Familias afectadas: _____		10) Monitoreo visual	
personas afectadas: _____		11) Limpieza de cauces	
líneas vitales: _____		12) Señalización	
Tipo de cultivos: _____		13) Erradicar árboles (previo permiso)	
Edificaciones Destruídas: _____		14) Aprovechamiento forestal (permiso)	
Edificaciones Afectadas Parcialmente: _____		15) Construir barreras de protección	
OBRAS PARA EL MANEJO DE AGUAS LLUVIAS Y RECOMENDACIONES DEFINITIVAS		REGISTRO FOTOGRAFICO	
1) Zanjas Colectoras		8) Bosques	
2) Drenaje Subterráneo		9) Terraceo de valles	
3) Obras Bioingenieril		10) Remoción de sedimentos	
4) Obras de Alcantarillado		11) Recuperación EP	
5) Acueducto		12) Revegetalización	
6) Implementación de Sistemas Agro Forestales		13) Dique/Jarillon	
7) Obras canaliz/control cauces/transvers		14) Reforestación	
8) Instrumentación hidrológica SAT		15) Reubicación definitiva de construcción	
9) Estudio hidrológico e hidráulico de toda la microcuenca que contiene la zona de inundación			

Figura 5. Formato de encuestas de evaluación para inundaciones.

Fuente: Municipio de Mocoa, tomado de metodología para análisis de riesgos para cuencas hidrográficas.

Se tuvo en cuenta los aspectos más relevantes para la estructuración de las encuestas, las cuales contribuyen a la identificación y caracterización de la ocurrencia de eventos de inundación:

- Localización: identificación de la manera más exacta posible del sitio afectado durante el evento.
- Nombre de la quebrada o cuerpo de agua: Nombre de la quebrada, río, arroyo, laguna, canal o fuente

causante del evento de inundación.

- Fecha del evento: identificación de la fecha de ocurrencia del evento.
- Características del cauce: identificación de las característica dimensionales, litológicas y tipológicas de los cauces.
- Características de la inundación: estimación de altura lámina del agua, tipología, cota máxima de inundación.
- Velocidad aproximada del cuerpo de agua: Descripción por parte del encuestado si el día que se presentó el evento el agua (fluido) que transitaba por el cauce o que se desbordó corría más despacio, igual o más rápido respecto a lo que usualmente identifica que ocurre con la corriente en mención.
- Origen de la inundación: sea natural o de origen antrópico.
- Antecedentes de inundación en el sector: descripciones de eventos anteriores.
- Uso y ocupación del suelo: descripción del uso y ocupación predominante del suelo en el sector.
- Afectaciones por la inundación: pérdidas humanas, materiales o líneas vitales

7.3 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El río Mocoa presenta una morfología de tipo trenzado con varios brazos que se entrelazan dentro del cauce principal, donde la divagación del río en crecientes súbitas puede reactivar brazos antiguos redireccionando el flujo de agua sobre estos, la acumulación de material grueso en las barras modifica la dinámica de la corriente generando socavación lateral e inundaciones. Al bajar el caudal pueden formarse islas de sedimentos que con el tiempo llegan a ser islas de vegetación relativamente permanentes.

Como insumo para el estudio de amenaza por inundación se realizó una evaluación multitemporal del comportamiento del río Mocoa en cuanto a su morfología, dimensión y posición entre los años 1969 y 2021 de los sectores de mayor afectación por el mismo, se digitalizó el área cubierta por el río a través de los años, tomando como referencia las imágenes satelitales de Google Earth, 2022.

A la par se realiza encuestas a los habitantes de los barrios San Agustín y La independencia con el objeto de recolectar información respecto a ubicación, fecha y dimensión de las máximas inundaciones que hayan observado en el tiempo que han residido en el lugar.

Posteriormente se realiza un análisis de la información recolectada con respecto a los polígonos por cada año, teniendo como base el registro fotográfico aéreo² del río Mocoa en su posición actual. Obteniendo como resultado la cota máxima de inundación del río.

➤ **Barrios San Agustín y La Independencia**

De las encuestas realizadas a los residentes del sector, se concluye que el río tuvo un retroceso en su cauce. Durante los años 80's el nivel de inundación del río alcanzaba sectores donde en la actualidad encontramos la última calle del barrio San Agustín (puntos cafés de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); de igual manera se registra que sobre el barrio La independencia el nivel del agua ha alcanzado picos máximos inundando la cobertura vegetal presente sobre la margen derecha del río (puntos fucsia y azul).

² Fotografías aéreas tomadas con dron sobre el río Mocoa el 21 de octubre de 2022 y 12 de noviembre de 2022

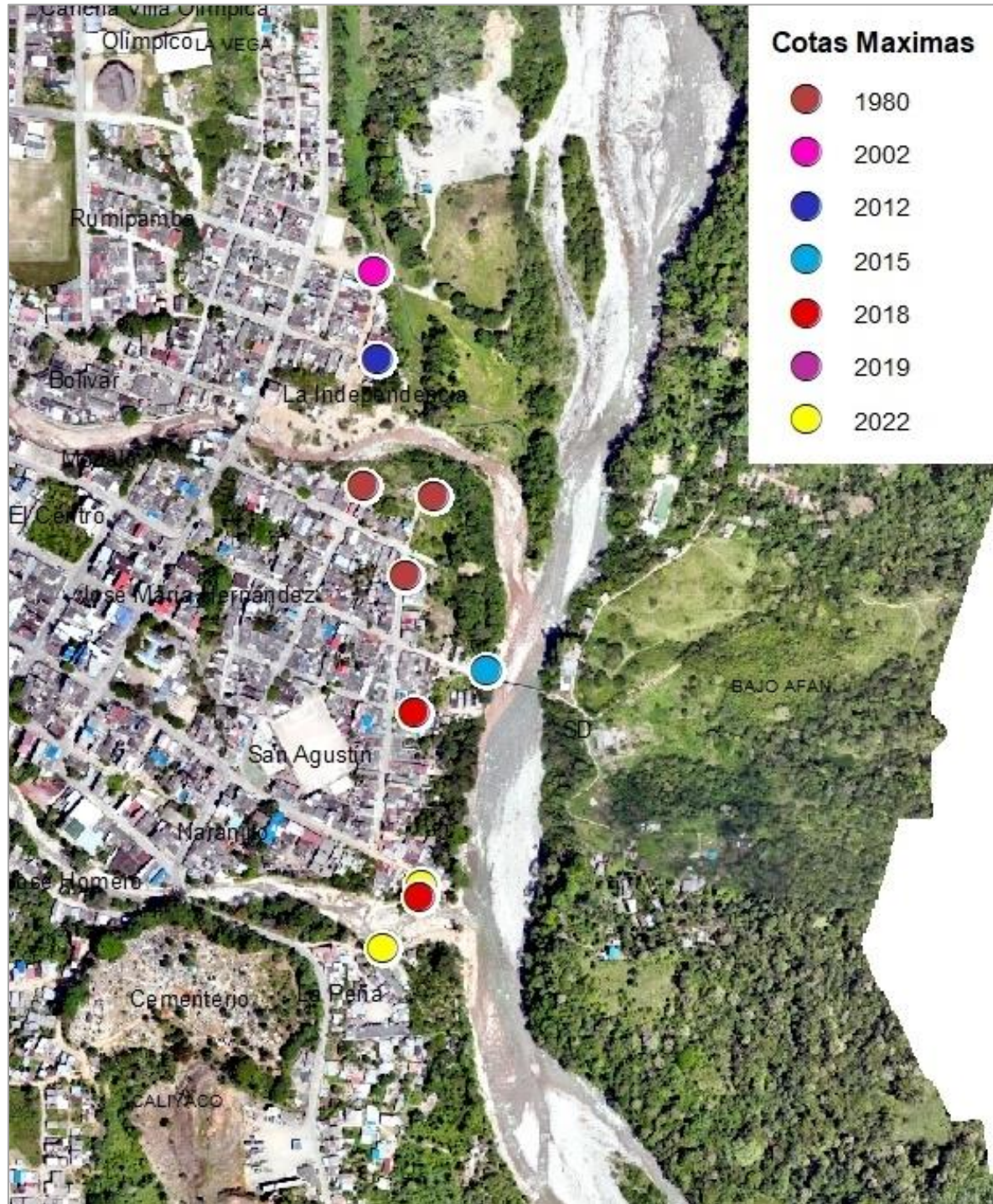


Figura 5. Sitios de inundación según encuestas.

Fuente: Dávila, H. (2023). [Fotografía aérea]. Sector Río Mocoa. 12/11/2022

Mediante el análisis de imágenes satelitales de Google Earth (2022) de diferentes años sobre el río Mocoa, dentro del perímetro urbano del municipio, se obtuvo lo siguiente:

- ✓ **1969:** El río Mocoa contaba con un cauce de mayor magnitud en comparación al cauce actual, cubriendo gran parte del sector oriental del barrio San Agustín y La Independencia, sobre el cual en la actualidad se observa la construcción de varias viviendas.

- ✓ **2004:** Continúa la tendencia a disminuir el cauce sobre el barrio San Agustín y mantener cubriendo gran parte del territorio que hoy hace parte del Barrio La Independencia, territorio que en la actualidad se encuentran cubiertos de pastos y arbustos.

- ✓ **2016:** El río Mocoa presenta un cauce de dimensión mayor a la actual hasta el área de desembocadura del río Sangoyaco donde su cauce disminuye inclusive de menor magnitud a la actual.

- ✓ **2017:** Posterior a la avenida torrencial del 31 de marzo de 2017 los ríos Sangoyaco y Mocoa tuvieron una modificación significativa en su morfología ampliando en algunos sectores el área de influencia de estos y llevándose consigo varias viviendas, dejando terrenos baldíos en sus orillas.

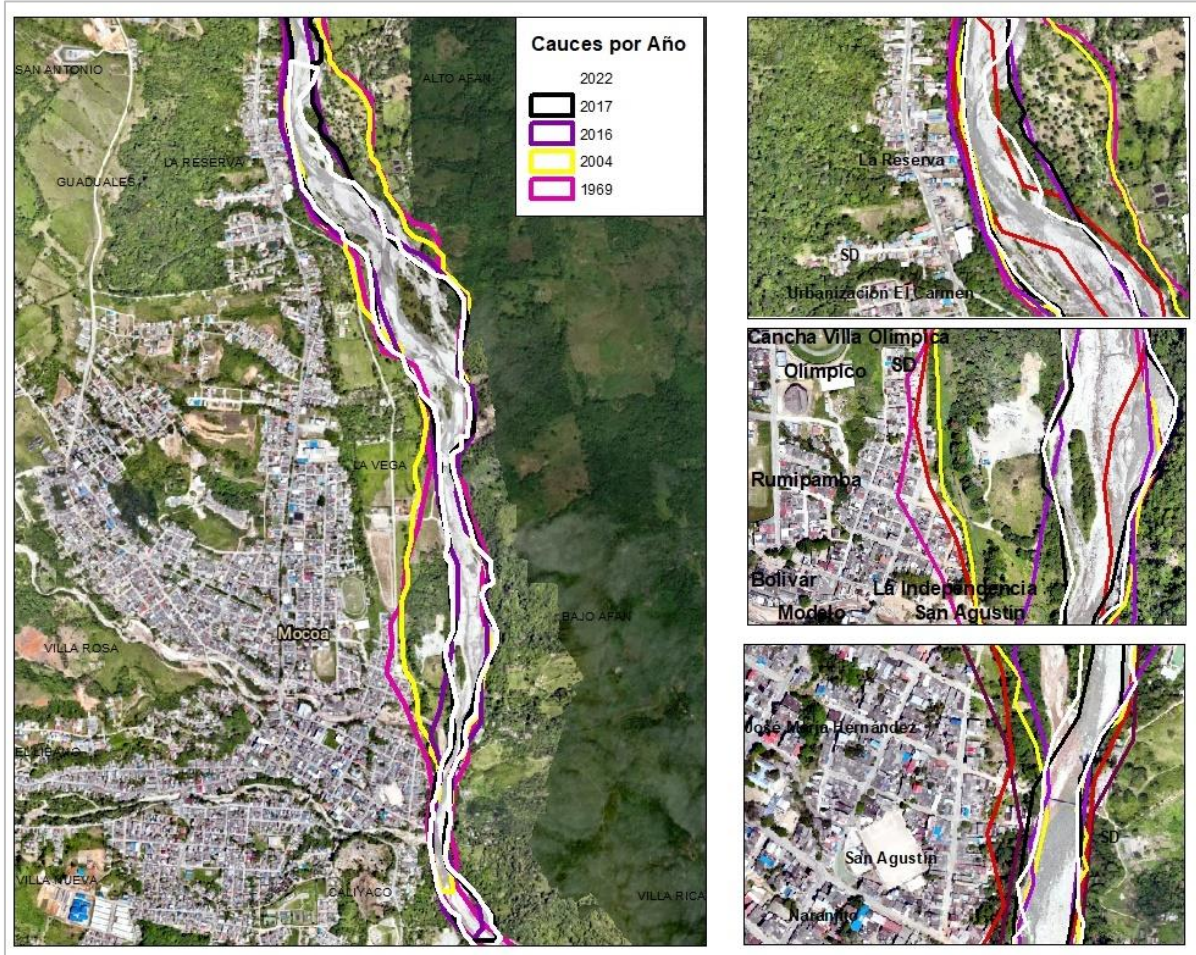


Figura 6. Análisis de la dinámica del río Mocoa entre los años 1969 a 2022.

Fuente: Dávila, H. (2023). [Fotografía aérea]. Sector Río Mocoa. 12/11/2022

7.4 GEOMORFAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES

Corresponde a las unidades geomorfológicas que por sus características están relacionadas a la dinámica fluvial de los cauces con morfologías suaves de pendiente baja y son susceptibles a ser inundadas.

La calificación de susceptibilidad se realiza para la geomorfología definida a escala 5000, las unidades que mayor susceptibilidad presentan son los cauces aluviales, puesto que se encuentran en la parte más

baja topográficamente recibiendo la escorrentía de la cuenca; y los planos o llanura de inundación que son geoformas de relieve plano ubicadas en las márgenes de los cauces siendo sectores que pueden ser inundados durante un evento de aumento de caudal.

Tabla 3. Susceptibilidad por inundación - elementos geomorfológicos del municipio de Mocoa.

Susceptibilidad	Código	Descripción
Baja	Ae	Explanación
Baja	Ajar	Barra o muro de contención
Baja	Ares	Reservorio
Baja	Deeme	Escarpe de erosión menor
Baja	Dg	Glacis
Baja	Dlco	Ladera coluvial
Baja	Dlee	Escarpe ladera erosiva
Baja	Dlei	Inclinada Ladera erosiva
Baja	Dlfd	Lomo festoneado moderado
Baja	Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales
Baja	Fatae	Abanico fluviotorrencial antiguo Plano
Baja	Fatap	Abanico fluviotorrencial antiguo Escarpe
Baja	Fatme	Abanico fluviotorrencial muy antiguo Escarpe
Baja	Fatmp	Abanico fluviotorrencial muy antiguo plano
Media	Fatse	Escarpe de abanico fluviotorrencial subreciente
Media	Fatsp	Abanico fluviotorrencial sub-reciente plano
Alta	Fbp	Plano o llanura de inundación playón
Alta	Fbpv	Plano o llanura de inundación playón con vegetación
Alta	Fca	cauce aluvial
Alta	Fcab	cauce aluvial
Alta	Fcap	plano o llanura de inundación Cauce activo principal
Baja	Fcas	Escarpe de erosión menor
Alta	Fcaso	Plano o llanura de inundación cauce sobrecargado
Alta	Fil	Plano o llanura de inundación isla
Alta	Filv	Plano o llanura de inundación
Baja	Fpa	Plano anegadizo
Alta	Fpi	Plano o llanura de inundación
Media	Ftaae	Terraza aluvial antigua escarpe
Baja	Ftaap	Terraza aluvial antigua plano
Baja	Ftame	Abanico fluviotorrencial muy antiguo escarpe

Susceptibilidad	Código	Descripción
Baja	Ftamp	Abanico fluvio-torrencial muy antiguo plano
Media	Ftarei	Terraza aluvial reciente inundable escarpe
Media	Ftarpi	Terraza aluvial reciente inundable plano
Media	Ftase	Terraza aluvial reciente inundable escarpe
Media	Ftasp	Terraza aluvial subreciente plano
Baja	Sme	Mesa estructural escarpe
Baja	Smp	Mesa estructural plano
Baja	Ssalc	Sierra anticlinal Ladera de contrapendiente
Baja	Sshlc	Sierra homoclinal Ladera de contrapendiente
Baja	Sshle	Sierra homoclinal Ladera estructural

Fuente: este estudio con base en Inypsa (2018)

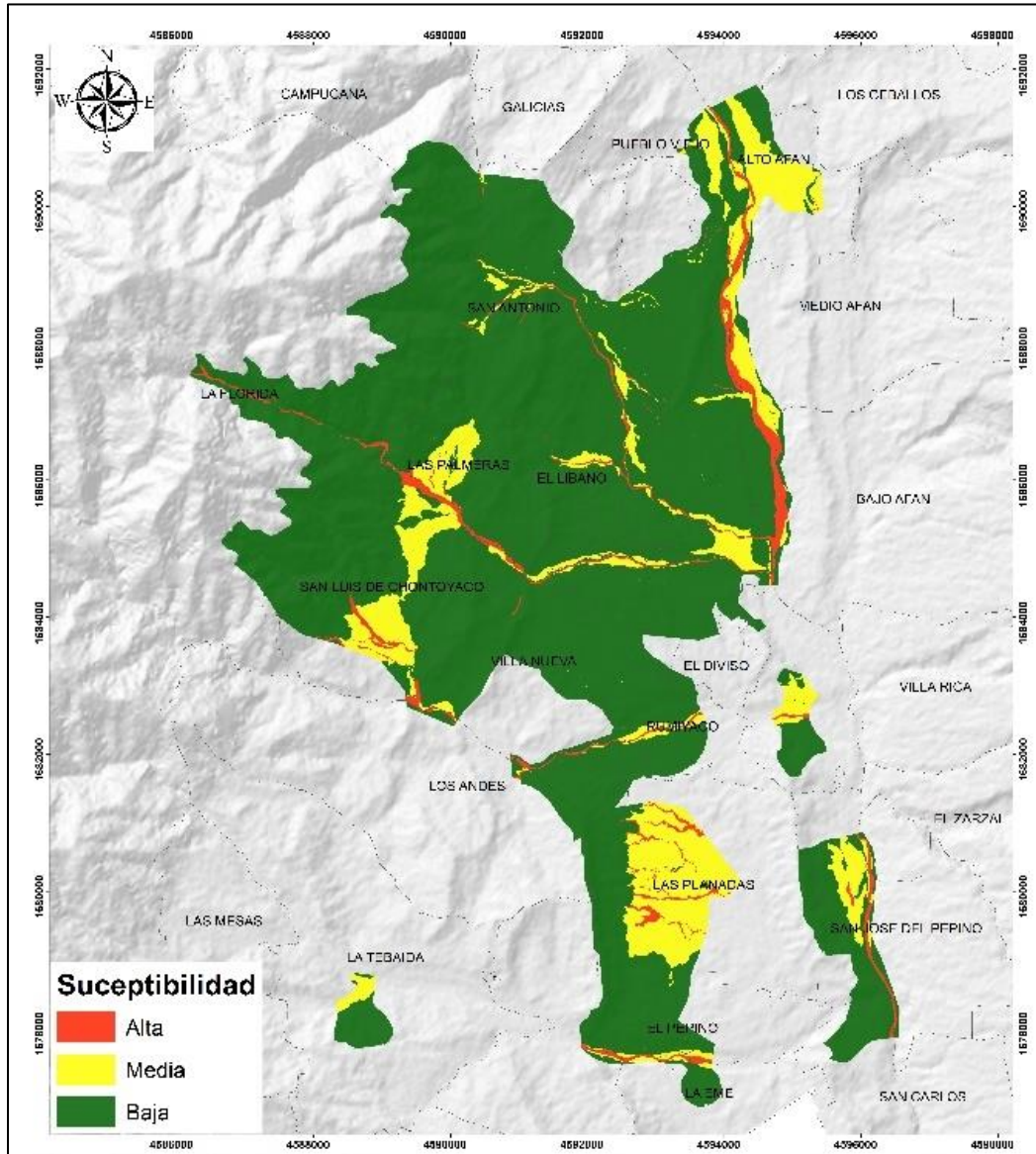


Figura 7. Susceptibilidad por inundación - elementos geomorfológicos escala 1:2000 en la ciudad de Mocoa y periurbana.

Fuente: este estudio con base en Inypsa (2018)

7.5 DEFINICIÓN DE PERFILES

Sobre los sectores con susceptibilidad alta a inundaciones se dibujaron perfiles transversales al río Mocoa a una distancia entre sí de 50 metros en la parte del valle aluvial, en la parte de pie de monte la

distancia de perfiles es de 25 metros. Se crearon algunos perfiles que indiquen las variaciones de alturas de lámina de inundación principalmente en las zonas urbanas de valle aluvial.

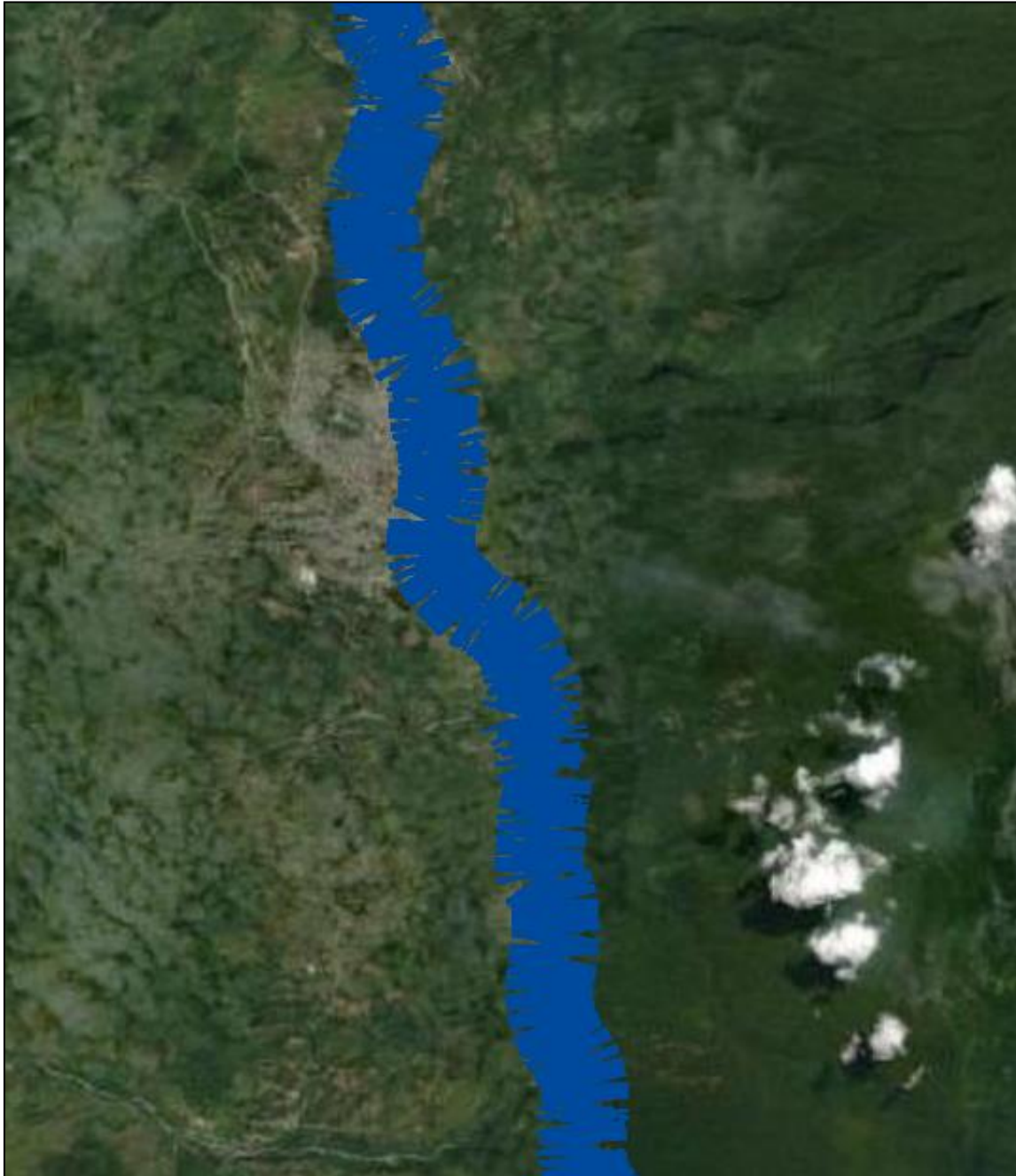


Figura 8. Perfiles cada 25 m paralelos al cauce del río

Fuente: POMCA río Mocoa (2022)

7.6 IDENTIFICACIÓN DE ALTURAS MÁXIMAS DE INUNDACIÓN

Con base en la evaluación de áreas geomorfológicas altamente susceptibles a inundaciones, la topografía, el análisis multitemporal y las encuestas, se aplicó el protocolo sugerido para el cálculo de amenaza por avenidas torrenciales de Ordoñez (2019), aplicables a fuentes torrenciales y/o de piedemonte como son las corrientes hídricas de la cuenca del río Mocoa y del municipio.

Una vez definidos los perfiles se procedió a identificar los puntos paralelos de altura sobre el nivel del mar, de inundación probable según cada período de retorno, proyectando el punto a partir del punto central del río hacia el punto con el nivel de altura correspondiente a la respectiva amenaza alta, media o baja, apoyados en la topografía con curvas de nivel cada metro.

A continuación, se presentan los niveles aplicados para el análisis de inundación torrencial para el río Mocoa (orden de corriente 5).

Tabla 4. Máximas alturas para períodos de retorno de 10, 100 y 500

Orden	10			100			500			Fuente hídrica
	hvmax	Ymax	delta	hvmax	Ymax	delta	hvmax	Ymax	delta	
5	1,23	2,92	1,69	1,83	4,33	2,50	2,2	5,22	3,02	Mocoa

Fuente: POMCA del Río Mocoa (2022)

Una vez definidos los perfiles se procede a identificar los puntos paralelos de altura sobre el nivel del mar, de inundación probable según cada periodo de retorno, proyectando el punto a partir del punto central del río hacia el punto con el nivel de altura correspondiente a la respectiva amenaza alta, media o baja, apoyados en la topografía con curvas de nivel cada metro.

7.7 DELIMITACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Con las líneas de cota de inundación y la geomorfología a nivel de elementos se generaron las zonas con condición de amenazas.

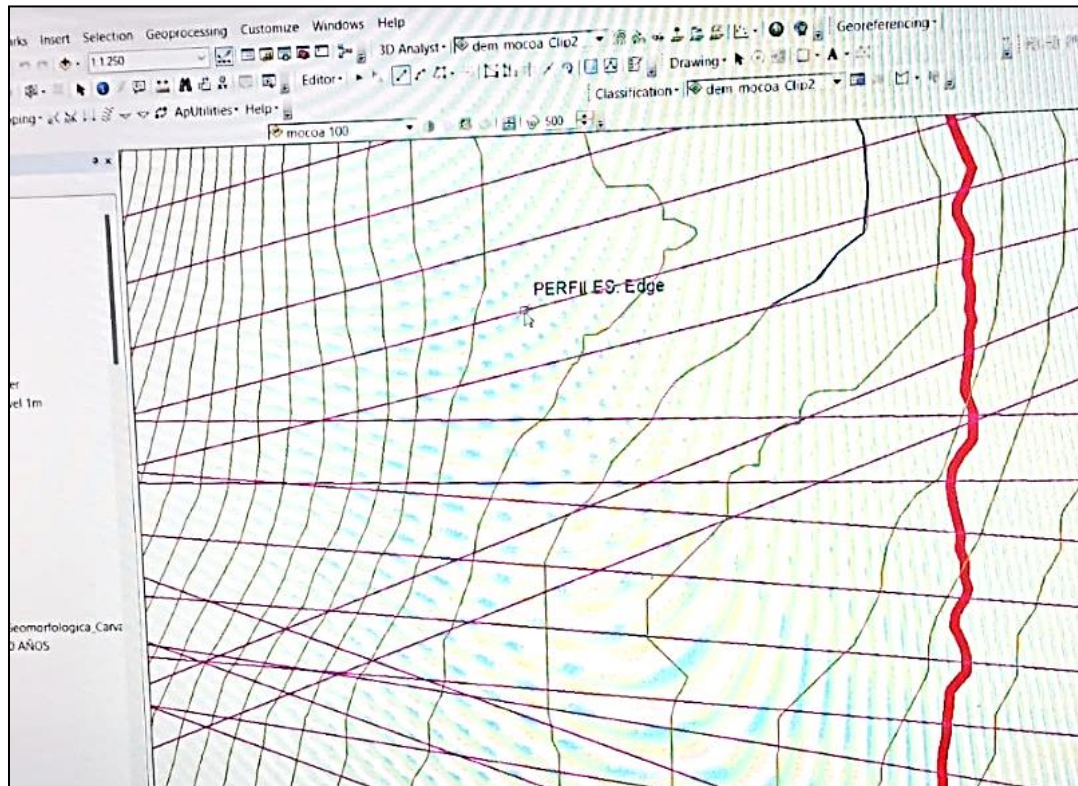


Figura 9. Interpolación de perfiles

7.8 MAPA DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN

Se obtuvo como resultado 3 zonificaciones de acuerdo con los periodos de retornos de 10, 100 y 500 años.

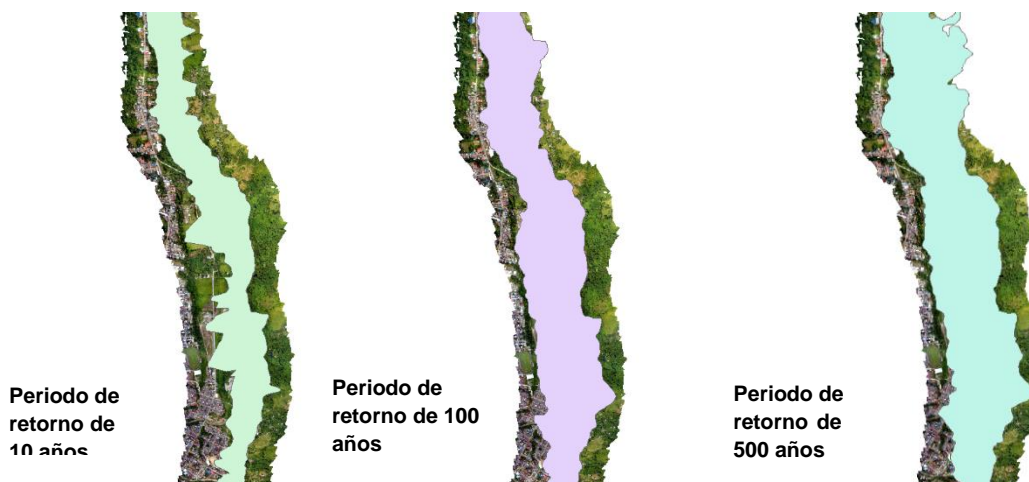


Figura 10. Delimitación de los puntos interpolados de retorno de 10, 100 y 500 años.

Se realiza la unión de las zonificaciones obtenidas y por último se reclasifican los periodos de retornos en amenaza alta, media y baja teniendo como resultado el mapa de amenaza por inundación del río.



Figura 11. Unión de la 3 zonificación utilizando herramienta SIG.

- Periodo de retorno de 10 años: Amenaza alta por inundación
- Periodo de retorno de 100 años: Amenaza media por inundación
- Periodo de retorno de 500 años: Amenaza baja por inundación

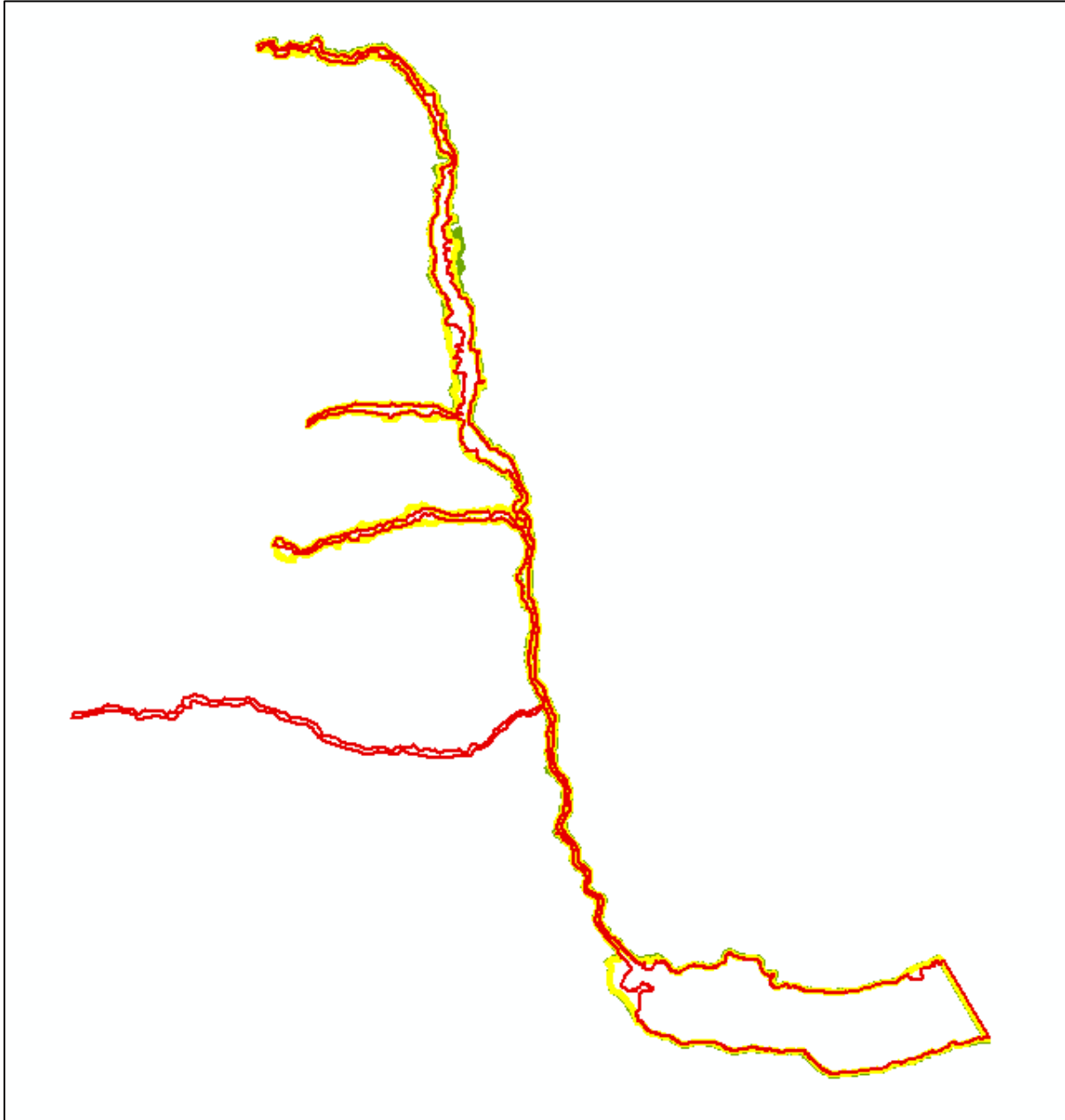


Figura 12. salida grafica del resultado de la unión de los tres periodos de retorno para el rio Mocoa.

Finalmente se realiza un ajuste al resultado obtenido sobre algunos sectores del municipio, utilizando como base el análisis multitemporal de la morfología y dimensiones del cauce del rio Mocoa mediante imágenes satelitales tomadas en diferentes años, y cotas máximas de inundación observadas por los

habitantes de los sectores más expuestos ante estos eventos como los son, los barrios San Agustín, Independencia.

El mapa de amenaza por Inundación para la cabecera municipal fue elaborado a escala 1:2.000 teniendo en cuenta los factores naturales antes mencionadas, las encuestas a la comunidad y el análisis multitemporal sobre el río Mocoa y es el resultado de sobreponer con la herramienta de unión, los resultados de los polígonos de para amenaza alta, media y baja en los periodos de retorno de 10, 100 y 500 respectivamente.

a. Áreas en amenaza alta

Al ser ríos montañosos presentan alta susceptibilidad de inundaciones temporales a las terrazas, con transporte de sedimentos y alta posibilidad de cambio de cursos y socavación lateral generando represamientos debido a la inestabilidad de las márgenes y laderas. Geomorfológicamente corresponde a ríos trenzados característicos de las zonas montañosas, en unidades como terrazas aluviales subcrecientes o antiguas y llanuras de inundación, en pendientes ligeramente inclinadas (3% - 7%), desde la línea de cauce la lámina de agua puede ascender alturas máximas entre 6 y 10 m en la zona de amenaza alta.

✓ **Río Mocoa:** La Reserva, La Independencia, San Agustín y La Peña.

b. Áreas en amenaza media

Presente en pendientes entre ligeramente inclinada (3%-7%) a moderadamente Inclinadas (7-12%), en geoformas de ambiente fluvial como terrazas aluviales muy antiguas, Abanicos fluviotorrenciales muy antiguos y Abanicos fluviotorrenciales antiguos, principalmente cerca de los ríos Mocoa.

Dentro de esta categoría de amenaza se encuentran principalmente los barrios:

- ✓ **Río Mocoa:** La Reserva, Los Álamos, La Independencia, San Agustín y La Peña.

c. Áreas en amenaza baja

Corresponde al resto de la zonificación de amenaza por inundación, sobre geoformas como abanicos fluvio-torrenciales muy antiguos y terrazas aluviales muy antigua, en pendientes moderadamente Inclínada (7-12%), en los barrios Villa Colombia, José Homero, Pablo VI, y La Floresta.



Figura 13. Amenaza por Inundación en el suelo urbano.

Fuente: Este estudio (2023) con base en POMCA del río Mocoa (2022)

7.9 ELEMENTOS EXPUESTOS EN EL SUELO URBANO

Realizando una sobreposición con la herramienta de intersección para elementos de polígonos y clip o corte para líneas y puntos respecto a los polígonos de amenaza alta por inundaciones del río Mocoa, se identificaron 238 predios expuestos de los cuales 230 son de uso residencial y el resto de uso comercial e institucional en barrios como San Agustín, La Independencia, Bolívar y Progreso. Dentro de los predios de uso institucional expuestos se tienen edificaciones como el Sena y La Plaza de Mercado.

Se encuentra expuesta a amenaza alta por inundaciones y potencial socavación lateral la vía nacional que comunica a Mocoa con Pitalito y el norte del país.

8. Conclusiones

- A través de los sistemas de información geográfica y las metodologías desarrolladas y probadas científicamente, es posible apoyar a las entidades territoriales en la identificación de amenazas naturales y los elementos expuestos a las mismas.
- Una parte muy importante en el análisis de inundaciones con los sistemas de información geográfica es el análisis multitemporal de imágenes de diferentes años, en un proceso sencillo de delimitación en líneas, del cauce del río Mocoa en un tiempo de imágenes de 25 años atrás. Se tomaron imágenes abiertas al público en Google Earth y para la información reciente se tomó por parte del suscrito tesista, la imagen de alta resolución con dron.
- Para el caso de las inundaciones del río Mocoa en la ciudad de San Miguel de Agreda de Mocoa, se 238 predios expuestos a inundaciones en categoría alta, 230 viviendas y 8 que corresponden instituciones como el Sena y La Plaza de Mercado, también se encuentra expuesta a amenaza alta por inundaciones y potencial socavación lateral la vía nacional que comunica a Mocoa con Pitalito y el norte del país.
- Los SIG son herramientas que le permiten al municipio modernizar y actualizar su información.
- Con los SIG puede contar Mocoa con la identificación de zonas que a futuro pueden tener inundaciones.
- Con el SIG en Mocoa se puede contar con los predios, instituciones y líneas vitales afectadas por inundaciones.

9. Recomendaciones

- Es muy importante para el uso de sistemas de información geográfica, verificar la información que se toma en campo, a través de visitas con estaciones de trabajo o como en este caso, con el apoyo en el uso de imágenes de alta resolución.
- Es importante que toda la información se encuentre en el mismo sistema de coordenadas y que se verifique sectores inamovibles como vías y otros, la localización de los diferentes mapas temáticos, por ejemplo el predial, de tal manera que se reduzca la incertidumbre en la sobreposición de información.
- Para el municipio de Mocoa mantener actualizado este mapa y sus datos con un periodo de cada dos años, según recomienda el IDEAM (2011) y actualizar estos mapas cada 5 años según recomendación de Minambiente, 2014.

10. Bibliografía

- Barredo, J., Benavides, A., Hervas, J., & van Westen, C. (2000). Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Islas Canarias, España. *Science Direct*, 14. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243400850229>
- Colombia, U. N., & CORPOAMAZONIA. (2018). *Acotamiento de la Ronda Hidrica del rio Hacha, en el municipio de Florencia, Caquetá*. Mocoa.
- HEC, U. A. (1996). Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/>:
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- <https://www.esri.com/es>. (2020). *Historia de los SIG*. Obtenido de <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/history-of-gis#:~:text=El%20campo%20de%20los%20sistemas,importantes%20de%20la%20comunidad%20acad%C3%A9mica>.
- IDEAM. (2011). *Cotas de Inundación*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/cotas-inundacion>
- IDEAM, I. (2012). *Memoria Descriptiva Mapas de Inundación*. Bogotá D.C.
- IDEAM, IGAC, & DANE. (2011). *Resporte Final de Áreas Afectadas por Inundaciones 2010 - 2011 con información de imagenes ded satelite a junio de 2011*. Bogotá D.C.
- IGAC, I. G. (1989). *Inventario Inicial de Riesgos Naturales en Colombia*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Anexo B: Guía Gestión del Riesgo en POMCA*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/12/2_Anexos_Dic2022.pdf
- Mocoa, M. d. (2000). *Plan Basico de Ordenamiento Territorial - PBOT*. San Miguel de Agreda de Mocoa.
- Mocoa, M. d. (2023). *Evaluación de Amenazas y Riesgos. Nivel de Estudios Básicos*. Mocoa, Putumayo.
- Ordoñez, j. (2010). *El régimen del flujo y la morfología de los cauces aluviales*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Planeación, D. N. (2020). *Estudios Basicos de Riesgos Municipio de Mocoa*. Bogotá D.C.

Red., L. (1998). *Navegando entre Brumas. Aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina*. Quito, Ecuador.: Andrew Maskrey.

Servicios Geológico Colombiano. (1984). *Volcanes*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/sgc/volcanes/VolcanNevadoRuiz/paginas/mapa-amenaza.aspx>

UNGRD. (2018). *Metodologías para evaluación de amenazas*. Obtenido de http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/36839/Metodologias_Zonificacion_MovMasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UNGRD, U. N. (2022). *Reporte Nacional de Emergencias*. Bogotá D.C.

USAID, A. d. (1993). *Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado*. Obtenido de <https://www.oas.org/DSD/publications:https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/begin.htm#Contents>

van Westen, C. (1993). *Training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation*. Enschede, The Netherlands.

Velasquez, A. (1990). *Ensayo de evaluación de las amenazas, de los riesgos y de los desastres en Colombia*. Medellín, Antioquia.