

Cálculo de vulnerabilidad por exposición asociada a las zonas de riesgo y amenaza de inundación del caño(río) Maizaro en el municipio de Villavicencio-Colombia.

Juan Camilo Martínez Hidalgo

Universidad Antonio Nariño

Facultad de ingeniería civil y ambiental

Ingeniería civil

Bogotá DC

2020

*Agradecimientos especiales a mi mamá, mi papá y mi familia  
por el apoyo y la confianza recibida durante estos años de estudio,  
también es justo expresar mi gratitud principalmente al grupo  
de investigación del semillero de análisis y modelación hidráulica e hidrológica  
de la universidad Antonio Nariño dirigido por el ingeniero Juan Pablo Rodríguez Rincón  
y al grupo de investigación de ríos urbanos de la misma universidad  
con su líder el ingeniero David Aperador.*

## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
5.1	OBJETIVO GENERAL .....	19
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>6</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>20</b>
6.1	Fase 1: Obtención De Información Geográfica. ....	20
6.2	Fase 2: Creación Del Polígono De Inundación. ....	21
6.3	Fase 3: Asignación De Índices De Vulnerabilidad Sobre Las Capas Y Rasterización. ....	22
6.3.1	Fase 3.1: Asignación de índice al componente de exposición de ecosistemas (VEE).....	23
6.3.2	Fase 3.2: Asignación de índice al componente de exposición de infraestructura (VEI).....	24
6.3.3	Fase 3.3: Asignación de índice al componente de exposición de población (VEP): .....	27
6.3.4	Fase 3.4: Asignación de índice al componente de exposición de sistemas de producción (VESP). ...	29
	<b>Fase 4: Cálculo De Raster Y Obtención Del Valor Total De Vulnerabilidad Por Exposición Para El Área De Estudio.....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>CONTRIBUCIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>43</b>

## Tablas

Tabla 1: Componentes, variables de medición e índices asignados para determinación de la vulnerabilidad por exposición. ....	20
Tabla 2: Descripción de vivienda tipo I e índice asignado .....	27
Tabla 3: Descripción de vivienda tipo II e índice asignado .....	28
Tabla 4: Descripción de vivienda tipo III e índice asignado .....	28
Tabla 5: Niveles de vulnerabilidad. ....	31

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación general de subzona hidrográfica del Río Metica. ....	5
Ilustración 2: Ubicación general de la zona de estudio.....	17
Ilustración 3: Polígono de inundación. ....	22
Ilustración 4: Raster de bosque natural. ....	23
Ilustración 5: Raster reservas naturales.....	24
Ilustración 6: Raster vías de comunicación. ....	25
Ilustración 7: Raster líneas vitales (servicios públicos).....	26
Ilustración 8: Raster clasificación de viviendas.....	29
Ilustración 9: Raster de sistemas de producción. ....	30
Ilustración 10: División de polígono de inundación del caño Maizaro por tramos.....	32
Ilustración 11: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 1.....	33
Ilustración 12: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 2.....	33
Ilustración 13: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 3.....	34
Ilustración 14: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 4.....	34
Ilustración 15: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 5.....	35
Ilustración 16: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 6.....	35
Ilustración 17: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 7.....	36
Ilustración 18: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 8.....	36
Ilustración 19: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 9.....	37

## 1 INTRODUCCIÓN

En Colombia recientemente se han registrado fenómenos de altas magnitudes relacionados con la precipitación y las inundaciones, esta afirmación se ve apoyada por la publicación de (Gallego, 2018) en la que expone que entre 2010 y 2011 Colombia sufrió la peor temporada de lluvias de su historia, los desastres afectaron a más de tres millones de personas (aproximadamente el 8% de la población) y se asignaron alrededor de 3500 millones de dólares para mitigar sus consecuencias. Es por esto que, en la actualidad, existe una creciente conciencia direccionada al mejoramiento en el análisis de riesgo de inundaciones urbanas en Colombia y el mundo, debido a las catástrofes por inundaciones derivadas de diferentes variables hidro-climáticas y urbanísticas.

Cabe resaltar que cuando no se toman en cuenta los estudios realizados y las advertencias a cerca de las zonas de riesgo que arrojan los mapas, las consecuencias suelen ser catastróficas. De acuerdo con la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), una vez analizados los datos de 32 años de la base Desinventar (1971 a 2002), estos eventos superan los 1650 millones de dólares, en comparación con costos de eventos como el terremoto de Popayán cuya reconstrucción se estima fue de 178 millones de dólares, el terremoto del eje cafetero en 2009 donde se estima se invirtió 857 millones de dólares (González, 2014). Debido a esto, en el presente trabajo investigativo y con ayuda de herramientas de información geográfica, por medio de la construcción de rasters se calculará el valor de vulnerabilidad por exposición en zonas de riesgo por efecto a inundaciones del caño Maizaro en el casco urbano de Villavicencio.

Sin embargo, cabe resaltar que el motivo por el cual se encuentren ubicadas en estas zonas se deriva de diferentes factores, por ejemplo, cuando fueron fundadas se apreciaron más las ventajas del sitio que sus posibles riesgos. Para muchas ciudades asentadas en valles fluviales deltaicos inundables, fue y sigue siendo primordial la disponibilidad de agua y tierra fértil.

También conforme fueron creciendo (con población predominantemente de bajos ingresos) las ciudades traspasaron los que en un principio eran sitios “seguros”, sin incluir conocimiento ambiental ni mucho menos gestión de riesgo. Lo anterior, especialmente para las poblaciones de bajos ingresos puesto que los espacios con amenaza bajas o se agotaron, o son inalcanzables por su costo, como es el caso de Bogotá, Manizales, Medellín, Pereira, Valledupar, Villavicencio, Bucaramanga (Leonardo & Idarraga, n.d.).

## 2 MARCO CONCEPTUAL

Según el contexto geográfico, el departamento del Meta se encuentra ubicado en la región Orinoquía de Colombia con una superficie de  $1328 \text{ Km}^2$ , teniendo como capital el municipio de Villavicencio con 452.472 habitantes según lo reportado por DANE en su proyección 2016, con una extensión de aproximadamente  $332.80 \text{ Km}^2$ , una temperatura promedio de  $27^\circ\text{C}$ , y a 467 msnm (Ministerio de Comercio, 2012).

*Ilustración 1: Ubicación general de subzona hidrográfica del Río Metica.*



Fuente: Cormacarena. Limnoestudios EU, 2013.

Como se evidencia en la ilustración 1, al suroccidente de la zona hidrográfica del río Meta, lo que corresponde al noroccidente del departamento, se encuentra la subcuenca del río Metica con una superficie de  $9828,8 \text{ Km}^2$  que cubre los municipios de San Juanito, El Calvario, Cumaral, Restrepo, Villavicencio, Cabuyaro, Puerto López, Acacías, Guamal, Castilla La Nueva, San Carlos de Guaroa y San Martín.

Por su parte, el municipio de Villavicencio limita al norte con los municipios de Restrepo y El Calvario, al Oriente con Puerto López, al Sur con Acacías y San Carlos de Guaroa, y al Occidente con Acacías y con Guayabetal, Quetame y toda la Jurisdicción del Departamento de Cundinamarca. Además, este territorio se caracteriza por poseer una zona montañosa ubicada al occidente y Noroccidente formado por el costado de la Cordillera Oriental, y por otro lado una planicie inclinada entre el Nororiente, la cual corresponde a las cordilleras del piedemonte llanero, Bordeada por el Río Guayuriba, además de los ríos Ocoa y Negro que cruzan la parte central del territorio de Villavicencio(Plan de Ordenamiento Territorial Villavicencio, 2015).

Desde el contexto hidrográfico, la red hidrica del Meta es muy compleja, ya que factores como la presencia de la cordillera y la serranía de la Macarena, así como la cantidad y comportamiento estacional de las precipitaciones, influyen el caudal de los ríos presentes en su territorio, para hacer énfasis, entre los principales afluentes que riegan la jurisdicción de Villavicencio están los ríos: Guatiquía, Guayuriba, Negro y Ocoa, así mismo los caños Parrado, Gramalote, Maizaro, Quebrada Honda, Buque, Rosablanca y La Cuerera, entre otros (Ministerio de Comercio, 2012).

Conociendo la existencia de la hidrografía previamente mencionada en el sitio que reposa la zona de estudio, y teniendo en cuenta que algunos de estos caños se encuentran dentro del casco urbano del municipio, se hace pertinente definir el termino de inundación urbana, (Wan Mohtar et al., 2020) explica que las inundaciones urbanas ocurren cuando la capacidad de los sistemas tanto naturales como de drenaje no pueden satisfacer el volumen de precipitación y descarga de escorrentía dentro del área urbanizada, la alta descarga de escorrentía superficial de las fuertes lluvias debido a las superficies impermeables y las altas densidades de construcción aumentan la probabilidad de inundación. De la misma manera, apunta que las inundaciones repentinas urbanas



se derivan de riesgos significativos en el área de afectación, en particular para edificios e infraestructura debido a su rápida ocurrencia y alta magnitud en pérdidas financieras.

Al ocurrir una inundación se presentan dos términos directamente relacionados: el receptor y las consecuencias. El primero es definido por (SCHANZE, 2007) como las entidades que pueden resultar perjudicadas, por ejemplo una persona, propiedad, hábitat, entre otras. Mientras que las consecuencias, son impactos tales como daños o desmejoras económicas sociales o ambientales que pueden resultar de una inundación. Pueden expresarse cuantitativamente; por ejemplo, en valor monetario, por categorías (alto, medio, bajo) o descriptivamente.

Con respecto a lo anterior, cabe resaltar que en la mayoría de los casos las poblaciones sufren este tipo de calamidades naturales por subestimar el poder de la naturaleza ya sea por ignorancia o por atrevimiento, lo anterior ha conducido a muchos errores históricos, entre ellos, asentarse en lugares de alto riesgo de inundación, avalancha, etcétera. En relación con lo anterior, existe una herramienta llamada Desinventar, la cual consiste en una herramienta conceptual y metodológica con el fin de desarrollar bases de datos de pérdidas, daños o efectos ocasionados por diferentes tipos de emergencias o desastres (DesInventar Project - Official Website, n.d.).

Con el fin de definir las principales variables de esta investigación debemos comenzar por las más determinantes, como lo son la exposición y la vulnerabilidad, las cuales son componentes claves para la evaluación de las consecuencias de las inundaciones.

La exposición, es definida por (SCHANZE, 2007) como la cuantificación de los receptores que pueden verse afectados por una inundación; por ejemplo, número de personas y sus datos demográficos, número y tipo de propiedades, entre otras. La posibilidad de que un receptor este expuesto a una inundación en un lugar determinado refleja tanto la posibilidad de que se produzca la inundación como el comportamiento del receptor.

Por otra parte, el termino de vulnerabilidad se refiere a las características inherentes de estos elementos que determinan su potencial de daño, se puede entender como una combinación de susceptibilidad y valor social, puede ser directa o indirectamente y con efectos tangibles e intangibles. La vulnerabilidad por inundaciones se puede diferenciar de acuerdo al principio de sostenibilidad: vulnerabilidad social o cultural, vulnerabilidad económica y vulnerabilidad ecológica (SCHANZE, 2007).

A partir de lo anterior, aparece el termino exposición como factor de vulnerabilidad, el cual, como lo explica por (Vera Rodríguez & Albarracin Calderón, 2017) se refiere al nivel donde ecosistemas, población, infraestructuras y sistemas de producción se encuentran en zonas de incidencia potencial de las amenazas consideradas en el análisis.

Derivado de lo anterior, se nos presenta un concepto fundamental para la toma de decisiones con respecto a zonas vulnerables a inundaciones u otro tipo de amenazas, el mapeo de inundaciones. El mapeo de inundaciones es definido por (Alfonso et al., 2016) como una medida común de mitigación de riesgos de inundación previa al impacto, para la cual se utilizan métodos y herramientas avanzadas (como los modelos de inundación) para estimar los mapas potenciales de extensión de inundación que se utilizan en la planificación espacial. Sin embargo, estas herramientas se ven afectadas, en gran medida en un grado desconocido, por la incertidumbre epistémica y aleatoria.

Es por esto que se hace pertinente definir la gestión del riesgo de inundaciones, la cual como apunta (Disse et al., 2020), se ha convertido en un enfoque dominante en gran parte del mundo para abordar las posibles consecuencias debido a las inundaciones. Es, de hecho, una gran mejora de las medidas tradicionales que habían prevalecido anteriormente. Los métodos tradicionales

pueden caracterizarse por estructuras intentando controlar los ríos y las avenidas, ignorando en gran medida la vulnerabilidad de la infraestructura o en este caso viviendas en cuestión.

Por otra parte, (Alfonso et al., 2016) también publica en otro de sus artículos señalando que tradicionalmente, el diseño de redes de monitoreo hidrométrico se ha concentrado en la medición del flujo o precipitación en sitios clave (calibrados) particulares para que dicha precipitación se pueda estimar con precisión en sitios no calibrados.

Aunque muchos métodos tienen en cuenta un conjunto de usuarios finales de la información, parece no haber ningún método que los considere explícitamente en la formulación matemática del proceso de toma de decisiones (Alfonso & Price, 2012). También plantea que, el concepto tiene en cuenta tres factores principales el primero viene dado por la creencia que tiene el tomador de decisiones sobre el estado del sistema de agua antes de tener cualquier información; seguido vienen las consecuencias asociadas con la decisión de tener que elegir entre varias posibles acciones de gestión dado el estado del sistema de agua; y por último la evaluación y actualización de nueva información cuando esté disponible.

Es por esto que una herramienta aplicable para el estudio de las características de campo, son los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales se pueden definir como sistemas de software para organizar actividades mediante la cual las personas miden y representan fenómenos geográficos y luego transforman estas representaciones en otras formas (mapas, esquemas, entre otras), mientras interactúan con las estructuras sociales (Chrisman, 1999).

Estos sistemas nos permiten la construcción de mapas o modelos raster, los cuales agrupan información de manera espacial y de esta manera ubicamos los índices de evaluación para que nos brinden un punto de referencia. Adicional a eso, tienen una gran capacidad tanto para procesar el modelo de elevación del terreno (MDT) como la información de las unidades hidrogeológicas,

permitiendo la visualización y manejo de datos óptimo para clarificar los modelos digitales. Un ejemplo destacado de este tipo software de sistemas de información geográfica es QGIS el cual fue la principal herramienta para la construcción de los mapas raster presentados en el trabajo de investigación aquí realizado.

Los mapas de riesgo de inundación producidos pueden incluir la profundidad del agua, la extensión de la inundación, la velocidad del flujo y la duración de la inundación. Este es un indicador básico e importante para la planificación y reglamentación del desarrollo del uso del suelo en la llanura de inundación. Todos estos análisis comparten dos pasos comunes para el mapeo de llanuras de inundación; Determinación de los perfiles de la superficie del agua y transferencia de la elevación del agua de los perfiles a los mapas (Ochoa et al., 2016).

La utilización de mapas, dan una impresión mas directa y clara de la distribución espacial del riesgo de inundación en comparación de otras formas de presentación, como lo son descripciones verbales o diagramas, es por esto que los mapas son valiosos para presentar y evaluar la situación de inundación, además de proporcionar información para muchas aplicaciones relacionadas a la prevención de inundaciones y la gestión de desastres (Merz et al., 2007).

Para la apropiada realización de dichos mapas se requieren recursos como lo son los índices de evaluación, los cuales como lo explica (Pereira et al., 2020), permiten agregar información asociada a indicadores de diferentes constituciones, traduciéndolos en un valor único y simple representativo de una situación real compleja, el proceso de creación de estos indicadores o índices incluye la obtención de datos elementales, que se filtran y transforman en variables que se combinan para formar indicadores, y su objetivo final es proporcionar información relevante para ser utilizada en el proceso de toma de decisiones, especialmente en la planificación temprana o la comparación de opciones alternativas.

Además de lo anterior, otros recursos fundamentales para realizar los modelos de información geográfica (raster) son los mapas de riesgo y la zonificación y caracterización del municipio, que se pueden encontrar en el plan de ordenamiento territorial (POT), el cual, es definido por el ministerio de ambiente vivienda y desarrollo como el instrumento básico definido en la ley 338 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento de su territorio. El POT es el instrumento básico para el ordenamiento del territorio municipal, se define como el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo, 2005).

### 3 ESTADO DEL ARTE

Para el presente proyecto investigativo, el estado de conocimiento se basa en los avances que ha publicado la ciencia en los últimos veinte años, que hayan realizado investigaciones, estudios o análisis de variables como exposición, riesgo, amenaza y vulnerabilidad, que realicen aportes significativos, haciendo uso de fuentes de investigación académica con acceso permitido patrocinado por la Universidad Antonio Nariño, como lo son Scopus, ScienceDirect, ResearchGate y Springer Link, además también se realizaron consultas en Google académico. Para llegar a la información expuesta a continuación se realizó la consulta utilizando términos claves las cuales están directamente relacionada con el área e estudio a tratar, algunos de ellos fueron: floods risk mapping, vulnerability analysis, losses floods, infiltration process. De la misma forma fue pertinente consultar con instituciones nacionales para obtener datos correspondientes a la zona de estudio, para esto se requieren fuentes de información locales para la adquisición de datos y la modelación como lo son los datos ofrecidos por la alcaldía municipal de Villavicencio, el catalogo de mapas del sistema de información ambiental de Colombia (SIAC), el geo-portal del Instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y por el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM).

Para estas áreas vulnerables se han realizado diversos tipos de investigaciones como la realizada por (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017) en la cual plantean una propuesta metodológica para el análisis y la espacialización de la vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales, soportada en un marco teórico holístico y en el uso de sistemas de información geográfica. Dicha metodología fue aplicada en una microcuenca del río Cobeima, ubicado en el departamento del Tolima, Colombia. Los resultados obtenidos permitieron verificar su viabilidad práctica, siendo además susceptible de generalización.

De igual forma, en el programa de estudios de inundaciones realizado por el instituto de ingeniería de la universidad nacional autónoma de México, en el cual presentan para el caso de la ciudad me Monclova, México, el procedimiento seguido para la elaboración de los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo de daño a las viviendas por inundaciones fluviales y pluviales considerando periodos de retorno de 2, 5, 10, 50 y 100 años (CENAPRED, 2014)

El presente proyecto tomara como punto de partida estos adelantos que se han hecho previamente, sin embargo, planteara un enfoque hacia el calculo aproximado vulnerabilidad por exposición por una posible avenida en la cuenca del rio Maizaro en el casco urbano del municipio de Villavicencio. Por lo anterior, cabe mencionar la inversión que se ha realizado previamente en relación con los estudios de sistemas de información del área geográfica en cuestion.

Según lo reveló la Directora General del IGAC, Evamaria Uribe Tobón, hoy la puerta del llano cuenta con cartografía temática actualizada y vigente (a escalas 1:25.000 y 1:2.000), con los estudios detallados que delimitan las zonas de riesgo mitigable y no mitigable de la jurisdicción del territorio, lo que convierte a Villavicencio, en uno de los pocos municipios de Colombia que cuenta con estudios detallados de riesgo a escala 1:2.000.

De acuerdo con Alexander Ariza jefe del centro de investigación y desarrollo de información (CIAF) del IGAC, este tipo de cartografía elaborada por el IGAC con apoyo del Servicio Geológico Colombiano propone medidas de intervención para el desarrollo de las zonas de riesgo mitigable, que le permite al municipio continuar sus procesos de normalización urbanística de asentamientos informales, titulación de predios y desarrollo de nuevos proyectos.

Según manifestaciones de Francisco Jacobo Matos Días, alcalde de Villavicencio, se pretende que Villavicencio sea una ciudad realmente ordenada y este objetivo se puede materializar en el nuevo plan de ordenamiento territorial, contando con estos insumos entregados por el IGAC.

También añadió Alexander Ariza que la aplicación de los Estudios técnicos de riesgo y amenaza aumentará la seguridad física de las personas y sus bienes inmuebles, significa un aporte importante a la solución de uno de los grandes vacíos que tiene la metodología para el ordenamiento territorial en el país.

En virtud del Convenio No 4933 de 2017 IGAC y No 1401 de 2017 Alcaldía de Villavicencio, el IGAC hizo entrega al municipio de Villavicencio los siguientes productos:

- Estudio detallado de riesgo por inundación en la zona urbana a escala 1:2.000.
- Actualización de los estudios básicos de amenaza por movimiento en masa en el área rural a escala 1:25.000.
- Actualización de la zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales en la cuenca del río Guatiquía a escala 1:25.000.
- Elaboración de estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 en la microcuenca del Caño Grande priorizado en el Documento Técnico Soporte del POT 2015
- Actualización de la delimitación y zonificación de las áreas en amenaza y riesgo por fenómenos de inundación, remoción en masa y avenidas torrenciales (área rural) a escala 1:25.000
- Documento de revisión y síntesis diagnóstica del POT vigente (Acuerdo 287 de 2015)
- Sistema de Información Geográfica (SIG): Herramienta de Gestión para el ordenamiento territorial del municipio de Villavicencio.

(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016)

Por otra parte, hay otros factores que deben tenerse en cuenta para pensar en calcular un valor muy aproximado de las pérdidas económicas causadas por una inundación, como lo son las características socioeconómicas de la población afectada y la intensidad de avenida la cual está dada por la altura de lámina que alcanza la inundación. Lo anterior es mencionado por (De Silva



& Kawasaki, 2020) quienes exponen que la práctica general es llevar a cabo un análisis cualitativo del impacto de los factores socioeconómicos en la pérdida económica de los desastres, mientras que los impactos climáticos y estructurales se investigan cuantitativamente. Como tal, un enfoque integrado es oportuno para comprender las influencias socioeconómicas en la pérdida económica debido a las inundaciones. Con el objetivo de comprender la influencia de diferentes factores en la pérdida económica, en diferentes tipos de inundaciones, entre diferentes grupos económicos, utilizando un enfoque cuantitativo. Los investigadores realizaron encuestas a hogares seleccionados al azar en Rathnapura, Sri Lanka, en septiembre de 2017. El análisis de ruta se utilizó para analizar la influencia del estado socioeconómico en la pérdida económica debido a las inundaciones, utilizando una muestra de 231 hogares después se dividió la muestra en subcategorías pobres y no pobres, según la condición socioeconómica. Según lo anterior, los resultados sugieren que las características de las inundaciones y el nivel de ingresos de los hogares tienen un impacto directo en la pérdida económica en inundaciones severas para ambos grupos económicos, con impactos más significativos entre los hogares pobres. Incluso para inundaciones menores, la profundidad de la inundación es el factor más importante que afecta la pérdida relativa, independientemente del grupo económico (De Silva & Kawasaki, 2020). A través de este análisis, concluyeron que las inundaciones aumentan considerablemente la brecha económica entre las comunidades pobres y no pobres, mientras que los factores que afectan la pérdida económica debido a las inundaciones difieren entre los diferentes grupos económicos.

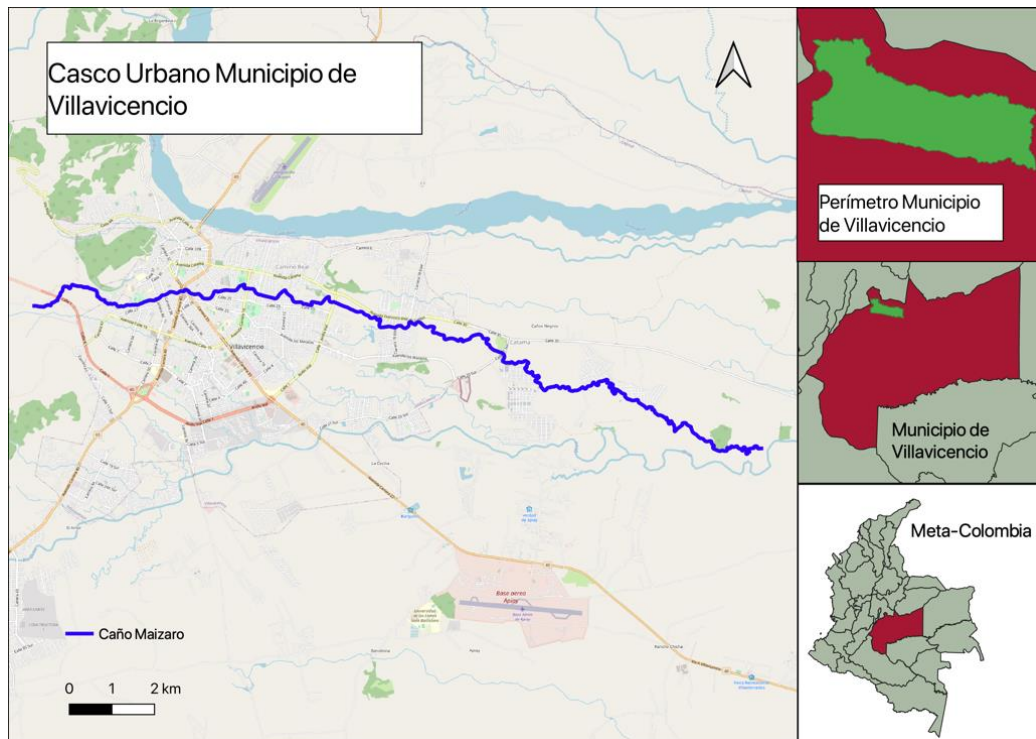
Para la realización del modelado se toma como ejemplo el avance generado por (Wan Mohtar et al., 2020), en el cual expone que los datos de entrada para el modelo utilizado en su investigación se prepararon usando ArcGIS 10.4 y se convirtieron en un archivo de texto, la topografía del área de la cuenca se dividió en un tamaño de cuadrícula de 230x230 m. En su estudio se utilizó el

modelo digital de elevación proporcionado por el departamento de encuestas y cartografía de Malasia (JUPEM). También fue requerido la información mas reciente sobre el tipo y el uso de la tierra para el área de la cuenca Sungai Klang los cuales fueron obtenidos del departamento de agricultura de Malasia (DOA).

#### 4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Municipio de Villavicencio, Meta, se encuentra la cuenca del Caño Maizaro con una longitud de 12,2 Km, resaltándose como uno de los cuerpos hídricos de mayor importancia en el Municipio Villavicencio, ya que atraviesa prácticamente toda la ciudad además de servir como fuente de abastecimiento de agua. El nacimiento del caño Maizaro se ubica en la vereda de El Carmen sobre la vía Bogotá por el primer túnel, en su curso entra al casco urbano rodeado en su mayoría de asentamientos urbanos formales e informales, moteles, centros comerciales entre otras. En las zonas medias su recorrido pasa por el puente Maizaro, por Unicentro, luego pasa por el parque de la vida Cofrem, seguido por el CAI de Catama y por ultimo el camino ganadero hasta desembocar en el Ocoa atravesando los barrios San Diego y 13 de Mayo (Hernandez & Páez, 2018).

*Ilustración 2: Ubicación general de la zona de estudio.*



*Fuente: Elaboración propia*

A partir de los resultados obtenidos de la encuesta aplicada por (Salcedo-Castiblanco P et al., 2018), se identificó la presencia de 3153 habitantes en la ronda hídrica de la microcuenca caño Maizaro; de igual forma se pudo determinar que estas personas conforman 850 grupos familiares a los cuales se les realizó este estudio, dando como media 3 integrantes por grupo familiar. De igual forma se identificó que la distribución de habitantes por género es bastante similar, hallándose un 51 % de mujeres y un 49 % de hombres.

En el plan de desarrollo del municipio de Villavicencio se cita que los constantes cambios y amenazas climáticas traen consigo una serie de consecuencias negativas para el medio ambiente y el ser humano, como lo son las inundaciones, las cuales pueden llegar a generar grandes afectaciones o pérdidas en el ámbito económicos (Alcaldía de Villavicencio, 2016).

Sin embargo, no existe un conocimiento detallado de dichos impactos asociados a la infraestructura, ecosistemas, población y sistemas de producción, causados por una posible creciente del río Maizaro ubicado en el casco urbano de Villavicencio-Meta. A partir de lo anterior se puede formular la pregunta, ¿Cuál es la vulnerabilidad por exposición de las zonas que se encuentran en riesgo o amenaza por una posible avenida del caño Maizaro en el casco urbano del municipio de Villavicencio?

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la vulnerabilidad por exposición correspondiente a las zonas de riesgo y amenaza de inundación asociadas al caño Maizaro en el municipio de Villavicencio.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener información geográfica correspondiente a la zona de estudio con base en los componentes de vulnerabilidad por exposición.
- Reconocer el área de estudio para representarla en un polígono de inundación.
- Asignar los índices de vulnerabilidad correspondientes a cada variable de medición propuesta.
- Emplear el uso del software QGIS para construir archivos raster correspondientes a cada variable de medición que contengan los índices asignados.
- Calcular la vulnerabilidad total por exposición asociada al polígono de inundación.
- Representar cualitativamente la vulnerabilidad por exposición mediante un mapa de vulnerabilidad.

## 6 METODOLOGÍA

Con el fin de dar desarrollo a los objetivos propuestos, se han generado las siguientes fases de trabajo:

### 6.1 Fase 1: Obtención De Información Geográfica.

Como punto de partida, se realiza la búsqueda de información geográfica de las variables de medición a tener en cuenta en la presente metodología, los cuales se muestran en la tabla 1, en geo-portales y publicaciones de datos geográficos abiertos proveniente de diferentes entidades nacionales, como lo son, el IDEAM, IGAC o el catálogo de mapas del sistema de información ambiental de Colombia (SIAC), con el fin de reunir archivos o capas en formato “shape” para poder ser cargados al software QGIS, el cual será la herramienta fundamental para el desarrollo de las capas y rasters necesarios para cumplir a cabalidad los objetivos propuestos.

*Tabla 1: Componentes, variables de medición e índices asignados para determinación de la vulnerabilidad por exposición.*

Componentes	Variables de medición	Índice discriminado	Índice total	
Vulnerabilidad por exposición de ecosistemas (VEE)	Bosque natural	2	10	
	Parques naturales	2		
	Humedales	2		
	Páramos	2		
	Reservas naturales	2		
Vulnerabilidad por exposición de infraestructura (VEI)	Vías de comunicación	3,3333	10	
	Lineas vitales	Acueducto		1,1111
		Alcantarillado		1,1111
		Energía eléctrica		1,1111
	Hospitales, Centro de salud, escuelas, ancianos, etc.	3,3333		

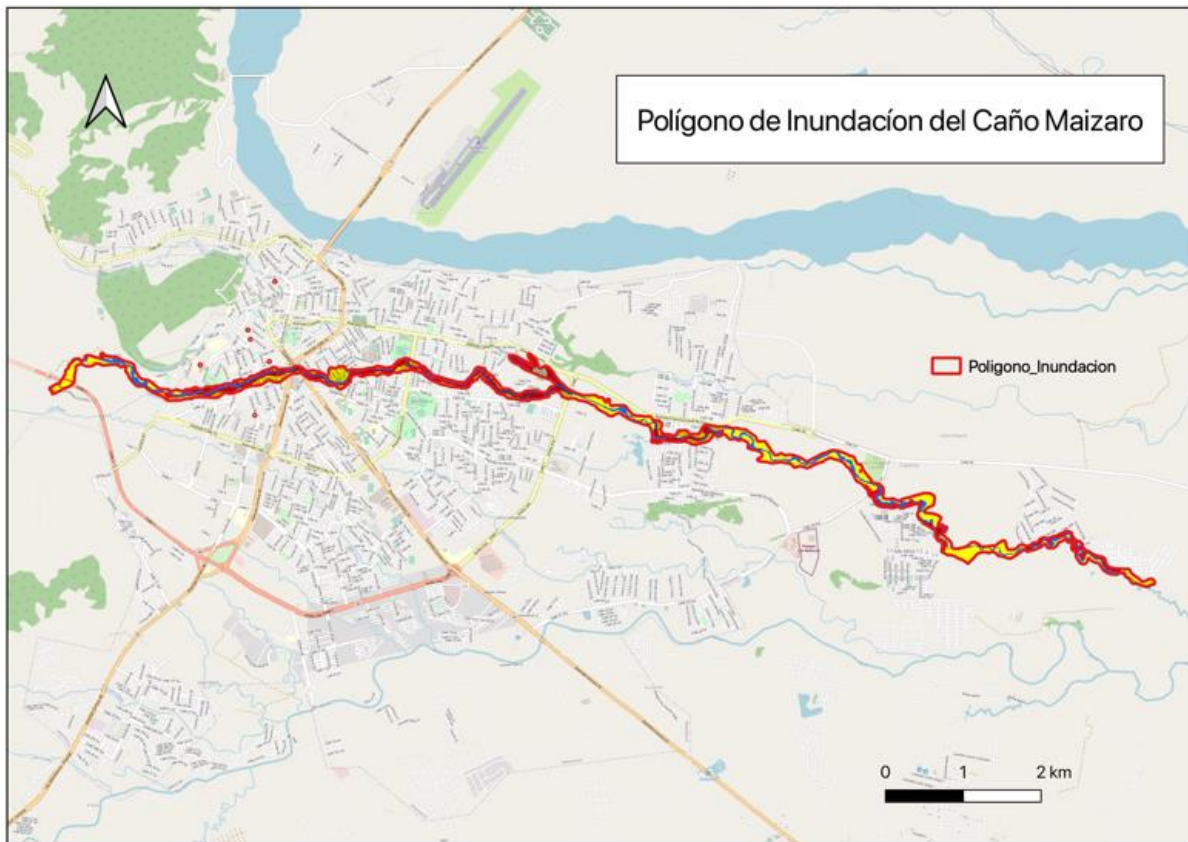
Vulnerabilidad por exposición de población (VEP)	Viviendas	Tipo 1	6	10
		Tipo 2	3	
		Tipo 3	1	
Vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción (VESP)	Cultivos, producción pecuaria, plantaciones forestales, áreas de producción industrial, minera, comercial o recreativa.		10	10

*Fuente: Modificado de metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas.*

## 6.2 Fase 2: Creación Del Polígono De Inundación.

Teniendo como base el mapa de zonificación de áreas con condición de amenaza y riesgo por inundación en suelo urbano extraído del plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Villavicencio para el año 2015, debido a que se encuentra en formato de imagen o pdf y por lo tanto no se encuentra adecuadamente asociado a ningún sistema de referencia espacial, se realiza el proceso de georreferenciación con el fin de otorgar al mapa obtenido del POT información y correspondencia geográfica con la zona de estudio. Posteriormente, se crea un polígono de inundación, el cual corresponde al perímetro de la zona de amenaza o riesgo por inundación asociada al caño Maizaro, el área contenida en dicho polígono será el área de estudio para el desarrollo de la presente metodología.

Ilustración 3: Polígono de inundación.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Fase 3: Asignación De Índices De Vulnerabilidad Sobre Las Capas Y Rasterización.

Una vez creado el polígono de inundación y teniendo las capas previamente cargadas en la interfaz de proyecto QGIS, se procede a editar la tabla de atributos de las capas correspondientes a cada variable de medición creando un campo de datos nuevo, el cual contendrá los índices de vulnerabilidad propuestos en la tabla 1, asociados a cada variable de medición correspondiente a la zona del polígono de inundación en la que se encuentre ubicado. Posteriormente, con ayuda de la herramienta dispuesta por el software QGIS llamada "Rasterize" se procede a convertir las capas de vector a raster con respecto a los campos creados previamente, los cuales contienen los índices de vulnerabilidad asignados, con el fin de operarlos entre si y conseguir el índice total de



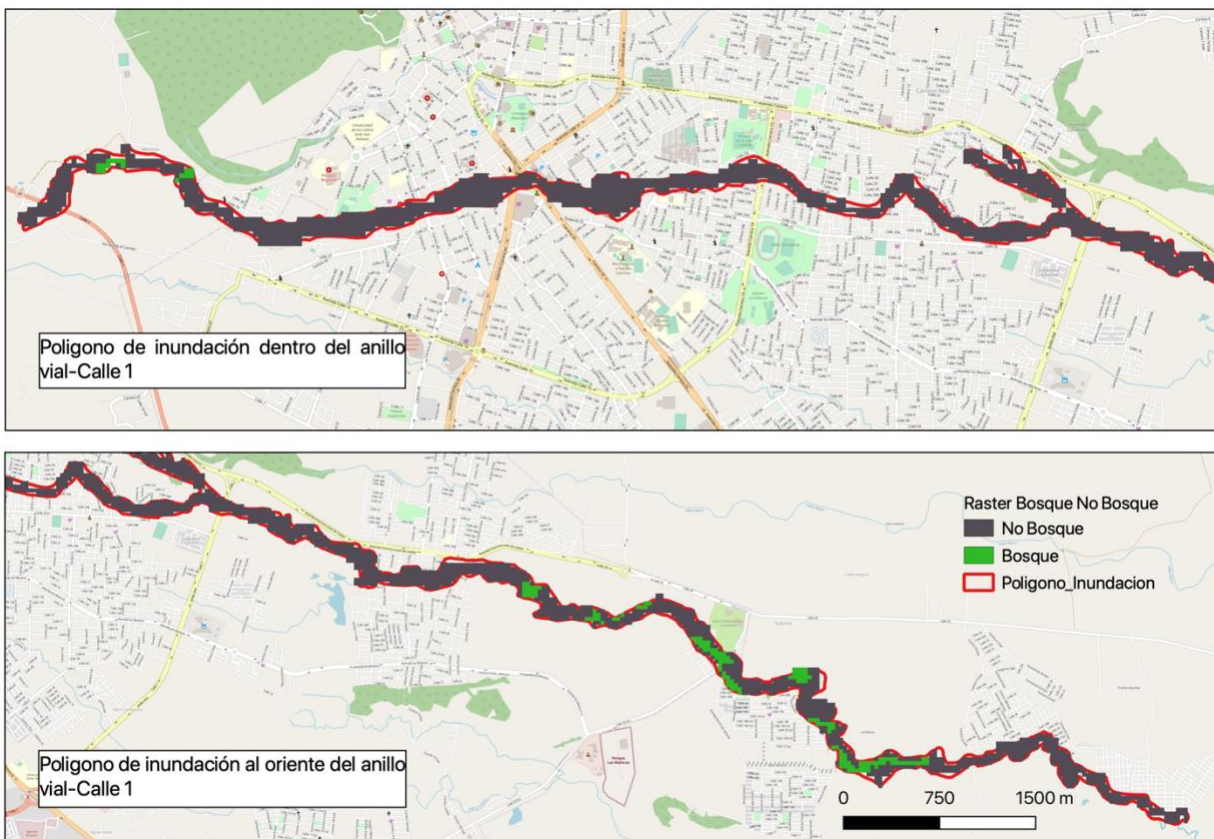
vulnerabilidad por exposición de cada área que se encuentra en riesgo o amenaza por inundación asociada al caño Maizaro.

### 6.3.1 Fase 3.1: Asignación de índice al componente de exposición de ecosistemas (VEE).

- Bosque natural.

Teniendo previamente cargada la capa de bosque no bosque, se procedió a generar un nuevo campo en la tabla de atributos con el fin de asignar un valor de 2 y 0 a las áreas que contienen y no contienen bosque respectivamente.

Ilustración 4: Raster de bosque natural.



Fuente: Elaboración propia.

- Parques naturales, humedales y paramos.

En el caso de estas tres variables se pudo evidenciar que no tienen influencia sobre el área del polígono de inundación, por lo tanto, el índice asignado fue de 0 para cada una.

- Reservas naturales.

Teniendo previamente cargada la capa de áreas protegidas en nuestra geografía, de igual forma se genero un nuevo campo en la tabla de atributos con el fin de asignar un valor de 2 y 0 a las áreas que contienen y no contienen reservas naturales contenidas en el polígono de inundación respectivamente.

*Ilustración 5: Raster reservas naturales.*



*Fuente: Elaboración propia.*

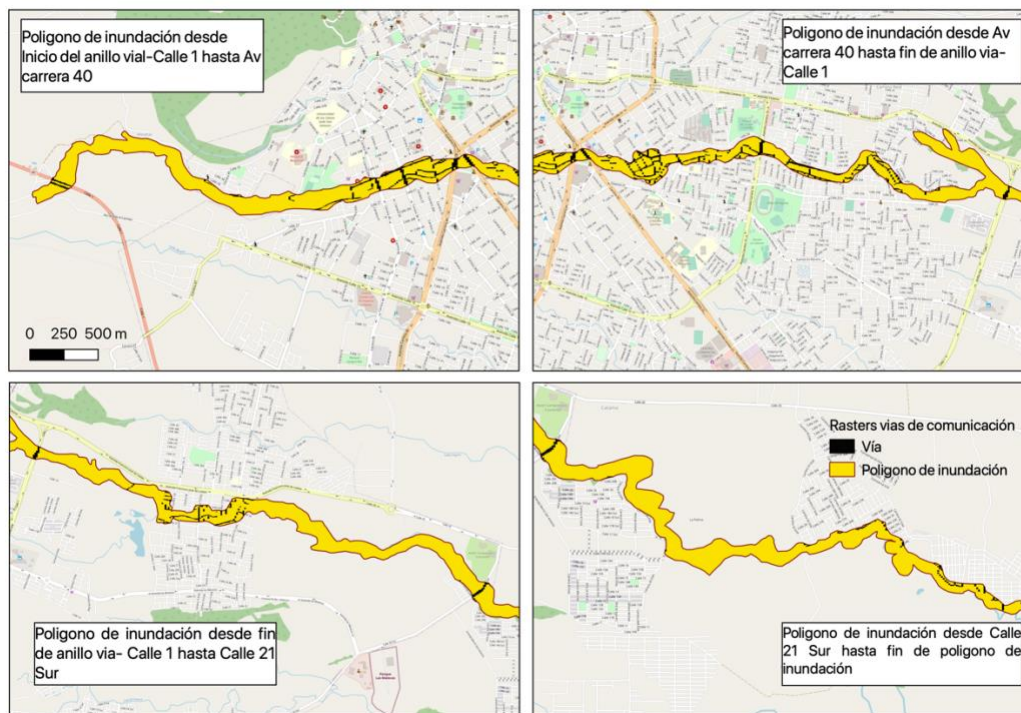
### **6.3.2 Fase 3.2: Asignación de índice al componente de exposición de infraestructura (VEI).**

- Vías de comunicación.

Teniendo en cuenta que las vías de comunicación son de vital importancia para el desarrollo económico de una región o ciudad debido a que mediante estas es posible trasladar mercancías, pertenencias, materias primas o productos elaborados y principalmente la

circulación de sus habitantes, es pertinente tenerlas en cuenta en el presente análisis, por lo anterior, se realizaron polígonos de las vías encontradas dentro de polígono de inundación y se le asigno un índice de 3,3333.

Ilustración 6: Raster vías de comunicación.



Fuente: Elaboración propia.

- Líneas vitales.

Las líneas vitales, interpretadas en el presente estudio como cobertura de servicios de acueducto, alcantarillado y energía eléctrica, son indispensables para que una población goce de una calidad de vida digna.

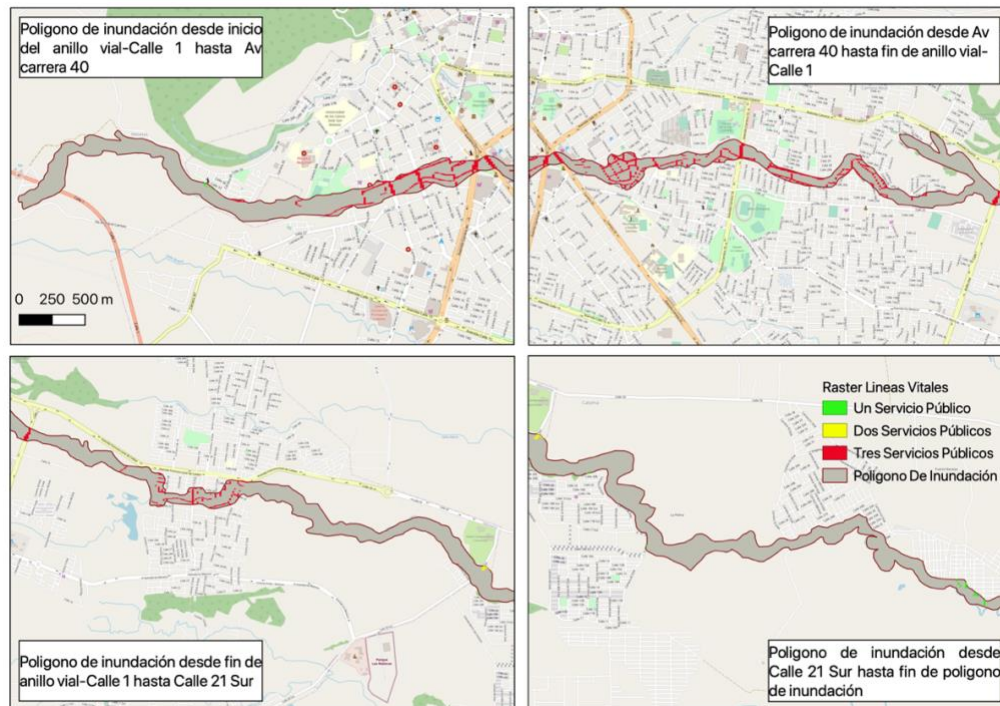
Para el estudio, se dividió el índice de 3,3333 en tres partes iguales para cada servicio, se cargo en el software el perímetro de cobertura (previamente georreferenciado) de los servicios de acueducto y alcantarillado, el cual fue obtenido de la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio.

Con respecto al servicio de energía eléctrica, según (Salcedo-Castiblanco P et al., 2018) en su estudio de caracterización demográfica de la cuenca del caño Maizaro, indica que cerca del 80% de la población cuenta con el servicio de acueducto y electricidad, por lo tanto la áreas que se encuentran dentro del perímetro de cobertura del acueducto también sirve de referencia para la cobertura de la red eléctrica.

Por tanto y teniendo en cuenta que las líneas van sobre y subterráneas a las vías de comunicación se utilizo la capa de “polígono de vías” y se creo un nuevo campo en su tabla de atributos en el cual el índice se asigno de la siguiente manera:

- Áreas que cuentan con los tres servicios públicos (3,3333).
- Áreas que cuentan con dos servicios públicos (2,2222).
- Áreas que cuentan con un servicio público (1,1111).
- Áreas que no cuentan con ninguno de los tres servicios públicos (0).

Ilustración 7: Raster líneas vitales (servicios públicos).



Fuente: Elaboración propia.

- Hospitales, centros de salud, escuelas, iglesias, hoteles, etcétera.

Teniendo previamente cargada la capa de División Catastral en nuestra geografía, de igual forma se genera un nuevo campo en su tabla de atributos con el fin de asignar un valor de 3,3333 y 0 a las áreas que contienen y no contienen infraestructura de este tipo contenidas en el polígono de inundación respectivamente. Las áreas pertenecientes a este tipo de infraestructura y que son posibles receptoras a daños por inundación son: Iglesia cristiana de Villavicencio (125,6 m<sup>2</sup>), Hotel Martín Martínez (76,4 m<sup>2</sup>) y aproximadamente el 30% del área perteneciente al colegio Juan de la Fontaine (476,3 m<sup>2</sup>).

### 6.3.3 Fase 3.3: Asignación de índice al componente de exposición de población (VEP):

Para realizar el análisis de vulnerabilidad de la población se realizó el enfoque sobre las características constructivas de las viviendas ubicadas dentro del polígono de inundación, es decir, viviendas que se encuentran en zona de riesgo y amenaza de inundación asociada al caño Maizaro. Las viviendas fueron categorizadas de la siguiente manera:

- Viviendas tipo I

*Tabla 2: Descripción de vivienda tipo I e índice asignado*

<b>Descripción</b>	<b>Índice</b>
Viviendas más humildes, una vivienda consta de un sólo cuarto multifuncional, construido con material de desecho, piso de tierra y sin servicios (agua potable, drenaje y energía eléctrica). Asimismo, el menaje es el mínimo indispensable.	6

*Fuente: modificado CENAPRED 2014*

- Viviendas tipo II

Tabla 3: Descripción de vivienda tipo II e índice asignado

Descripción	Índice
Hogares de clase baja, Viviendas de autoconstrucción o construidas con materiales de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Que cuenta con 2 o 3 cuartos, piso de cemento, servicios, televisión y refrigerador. Con respecto al menaje, la hipótesis es que las diferentes habitaciones cuentan con sus muebles propios y están más o menos definidas.	3
Hogares de clase baja, similar al tipo II, pero con materiales resistentes y con elementos estructurales. El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones, como en el anterior nivel; sin embargo, se consideran de mayor calidad y por lo tanto un mayor costo.	

Fuente: modificado CENAPRED 2014

- Viviendas tipo III

Tabla 4: Descripción de vivienda tipo III e índice asignado

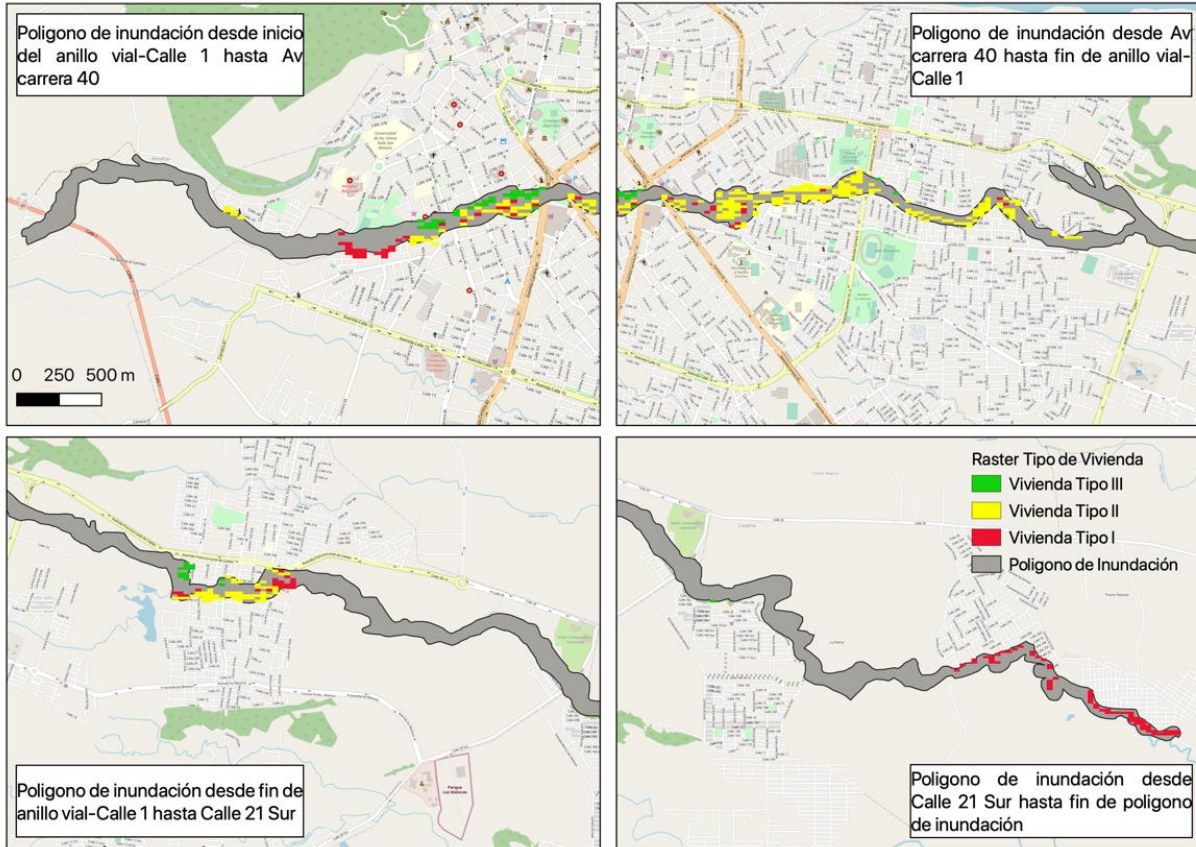
Descripción	Índice
Hogares de clase media, es decir, viviendas construidas con elementos estructurales. Que cuentan con 4 cuartos, piso de cemento, servicios, televisión, refrigerador y lavadora. El menaje que se ha seleccionado corresponde con el de una casa típica de una familia de profesionistas que ejercen su carrera y viven sin complicaciones económicas.	1
Hogares residenciales, viviendas construidas con acabados y elementos decorativos que incrementan sustancialmente su valor. Que cuentan con más de 5 cuartos, pisos decorativos, servicios, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil e internet. El menaje está formado por artículos de buena calidad y con muchos elementos de confort.	

Fuente: modificado CENAPRED 2014

Con ayuda del sistema de información geográfica google earth, se realizó una observación de la tipología de las viviendas que se encuentran en el polígono de inundación, acto seguido, se cargo

la capa “División Catastral” en QGIS, posteriormente, se creó un nuevo campo en su tabla de atributos en el cual se registró el índice correspondiente a cada tipo de vivienda. Finalmente, y como se muestra en la ilustración 7, se convirtió esa capa a raster con respecto al campo que contenía los índices correspondientes.

Ilustración 8: Raster clasificación de viviendas.



Fuente: Elaboración propia.

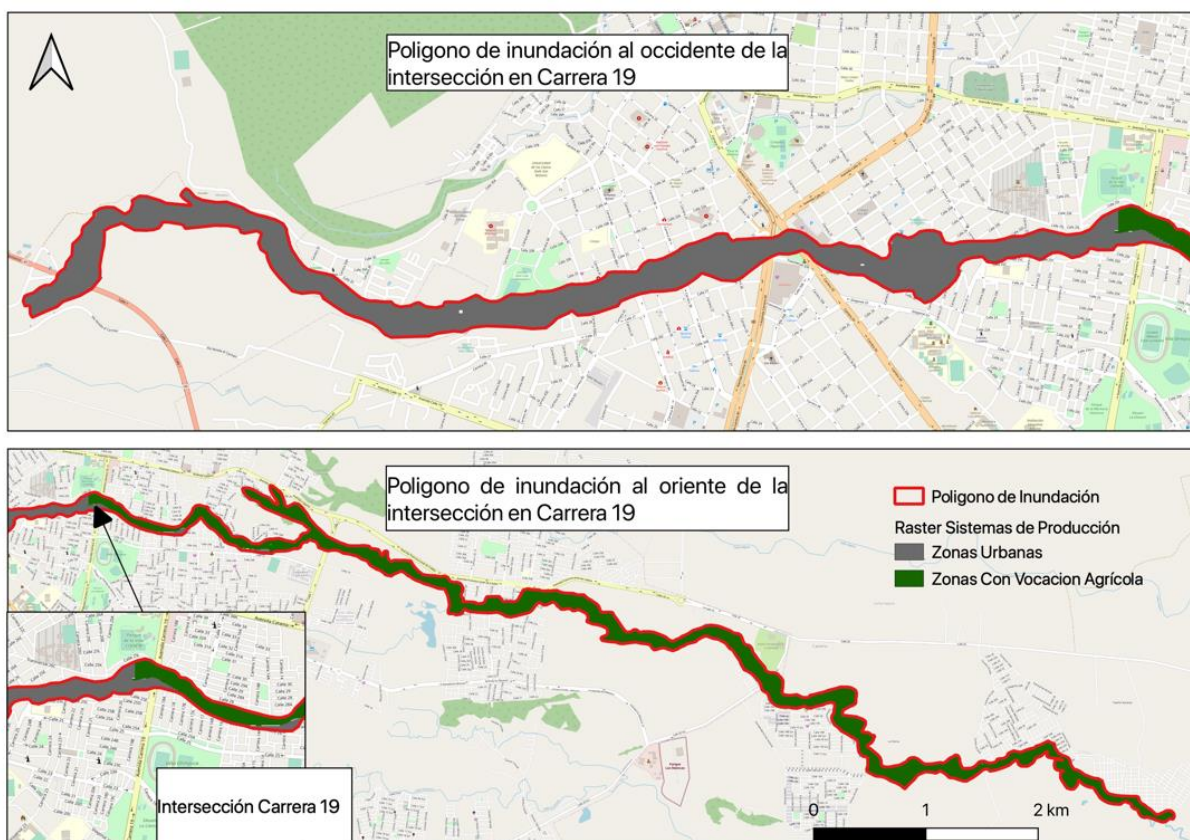
#### 6.3.4 Fase 3.4: Asignación de índice al componente de exposición de sistemas de producción (VESP).

Ciertamente los suelos que presentan una oferta de producción hay que tenerlos en cuenta debido a que ante una posible inundación podría verse afectada la economía de algunos sectores, incluso afectando la economía municipal. Por lo tanto, se identificaron las zonas del polígono de

inundación con presencia de Cultivos, producción pecuaria, plantaciones forestales, áreas de producción industrial o minera.

Para lograr lo anterior, se cargo la capa “Oferta ambiental” en la interfaz de QGIS, posteriormente se verificó en sus atributos las áreas para producción, bien sea, agrícola o de cultivos, para finalmente crear un campo nuevo en sus atributos en el cual se asigno un valor de índice de 10 cuando hay presencia de áreas productivas y de 0 cuando se encuentra área urbana.

Ilustración 9: Raster de sistemas de producción.



Fuente: Elaboración propia.

#### **Fase 4: Cálculo De Raster Y Obtención Del Valor Total De Vulnerabilidad Por Exposición Para El Área De Estudio.**

Finalizado el proceso de rasterización de las capas vectoriales y teniendo cargados los rasters correspondientes a cada variable de medición, procedemos a operar los rasters con ayuda de la



herramienta de QGIS “*calculadora de raster*” según el promedio aritmético propuesto por (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017) :

$$VE = \frac{VEE + VEI + VEP + VESP}{4}$$

En donde:

*VE*: Vulnerabilidad por exposición.

*VEE*: Vulnerabilidad por exposición de ecosistemas.

*VEI*: Vulnerabilidad por exposición de infraestructura.

*VEP*: Vulnerabilidad por exposición de población.

*VESP*: Vulnerabilidad por exposición de sistemas de producción.

Obteniendo así un raster final, el cual contiene los resultados de vulnerabilidad total por exposición en toda el área de la zonificación de amenaza y riesgo asociada al caño Maizaro en el casco urbano del municipio de Villavicencio, se realiza una agrupación de los resultados por rangos, y cada rango estará asociado a un nivel de vulnerabilidad como se muestra a continuación:

*Tabla 5: Niveles de vulnerabilidad.*

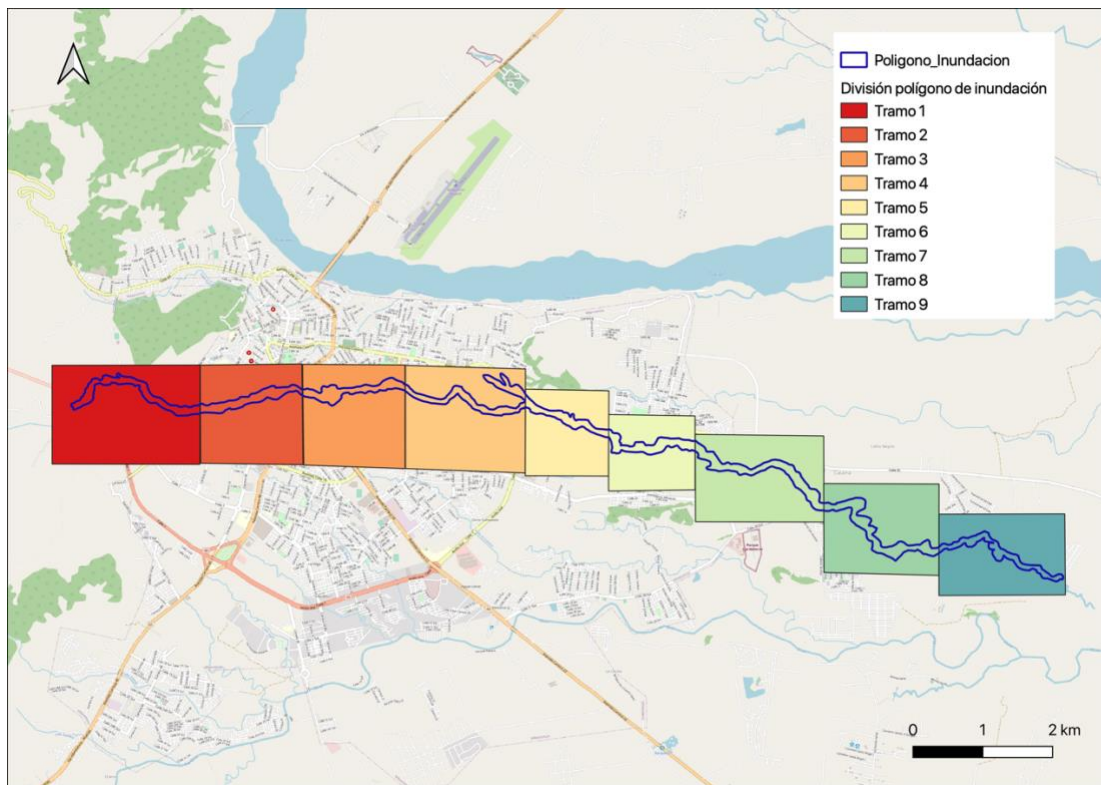
Nivel de vulnerabilidad	Rangos
Muy bajo	0 - 1,12
Bajo	1,13 - 2,24
Medio	2,25 - 3,36
Alto	3,37 - 4,48
Muy alto	4,49 - 5,67

*Fuente: Elaboración propia.*

## 7 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el objetivo de presentar los resultados obtenidos con mayor detalle, se ha realizado una división del polígono de inundación por tramos como se muestra a continuación:

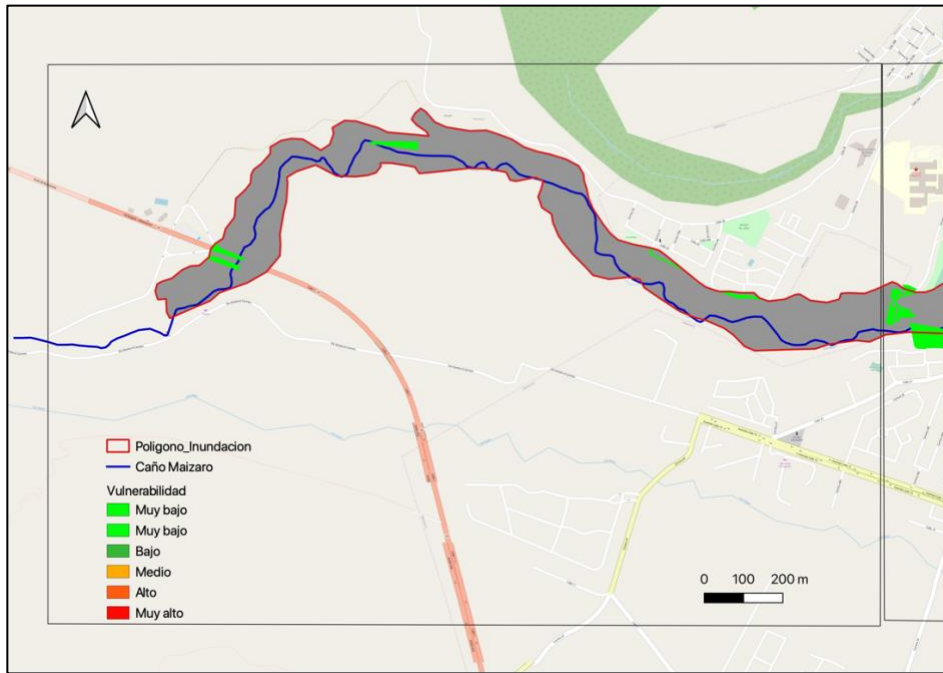
*Ilustración 10: División de polígono de inundación del caño Maizaro por tramos.*



*Fuente: Elaboración propia.*

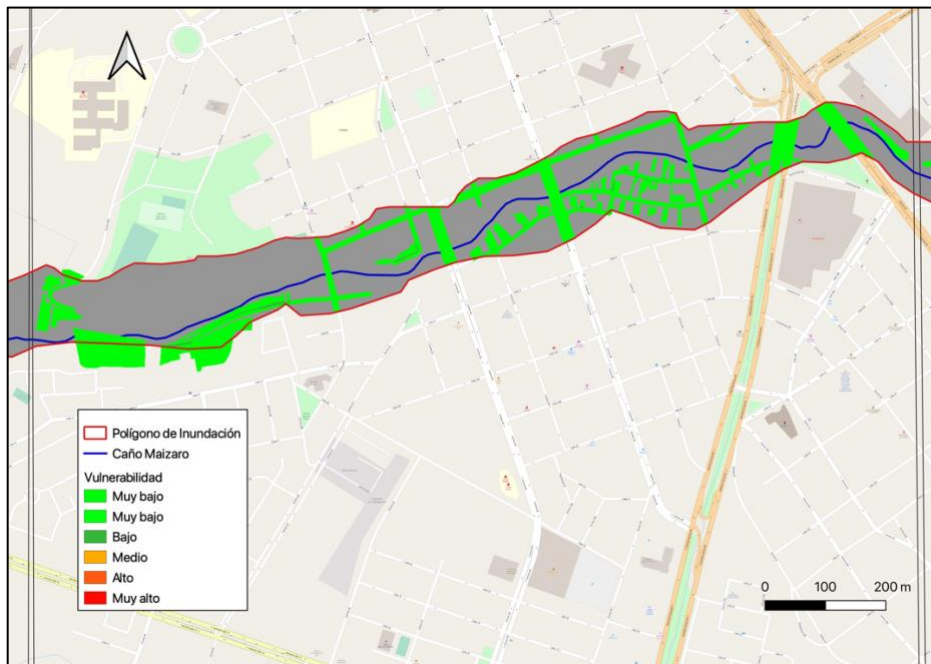
De acuerdo a lo anterior, se presentaran los resultados del raster obtenido correspondiente a la vulnerabilidad por exposición a un fenómeno de inundación asociada al caño Maizaro en el municipio de Villavicencio:

Ilustración 11: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 1.



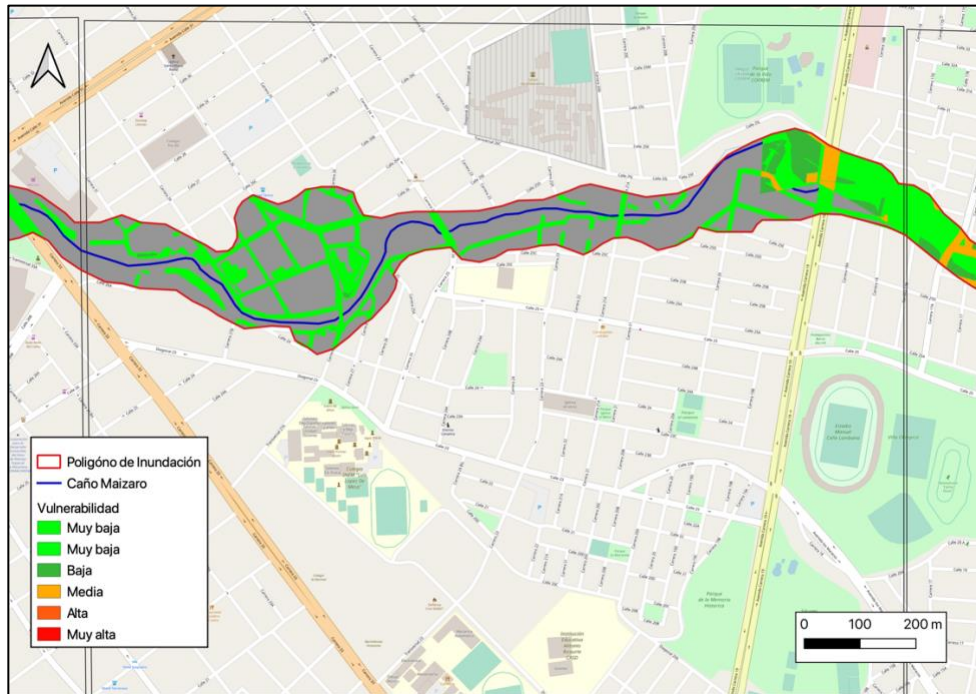
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 2.



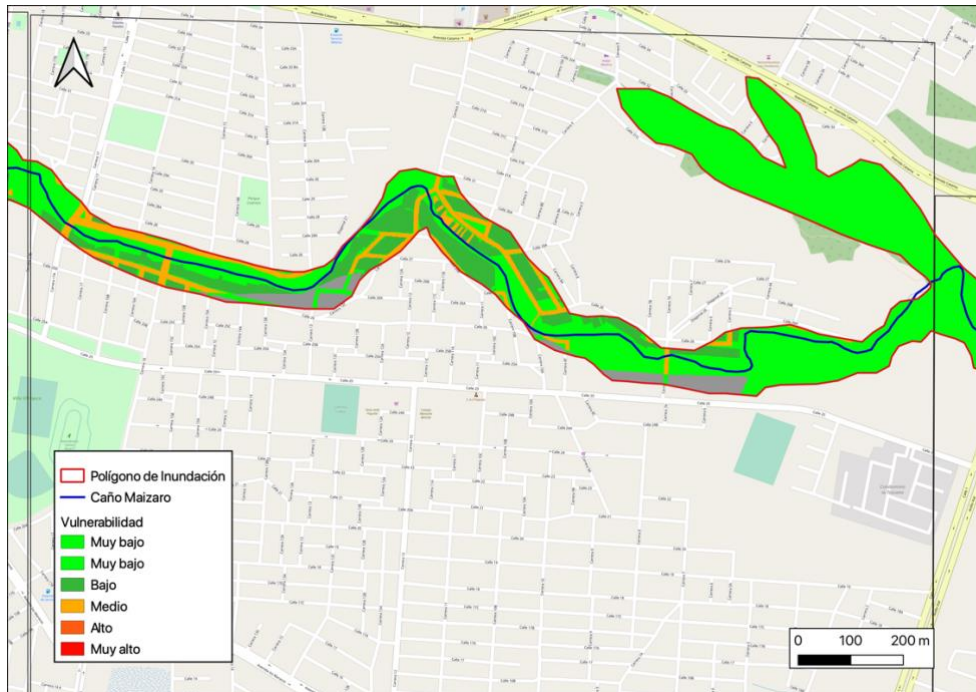
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 13: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 3.



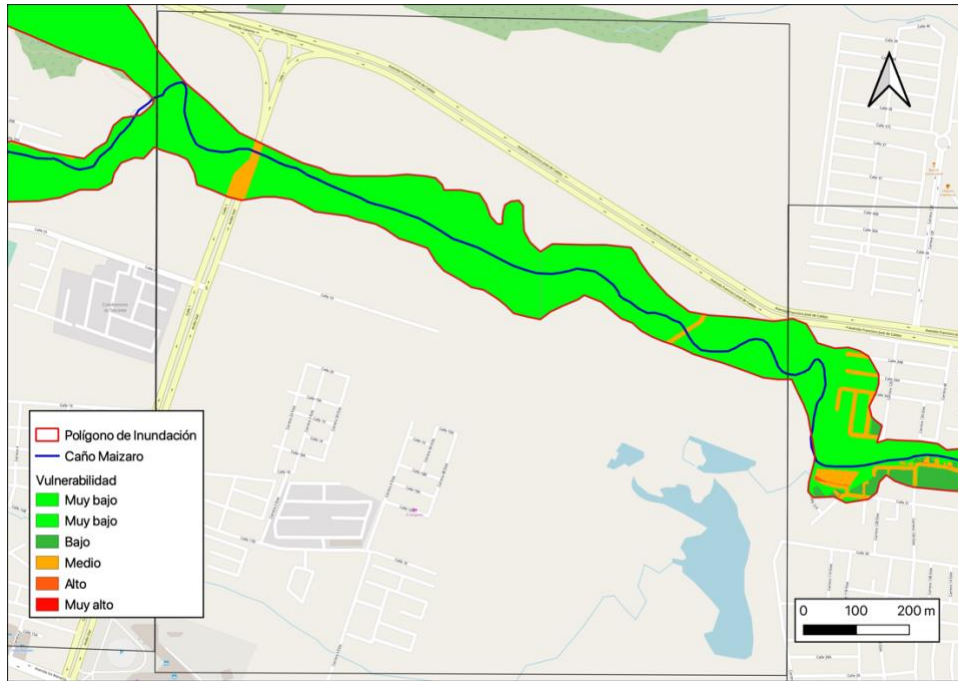
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 4.



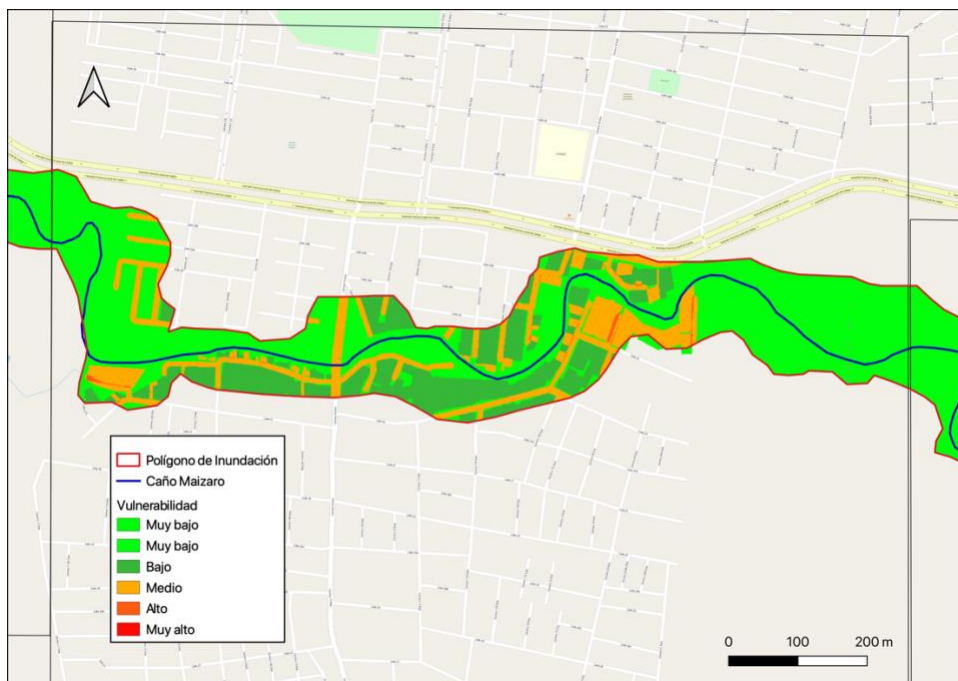
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 5.



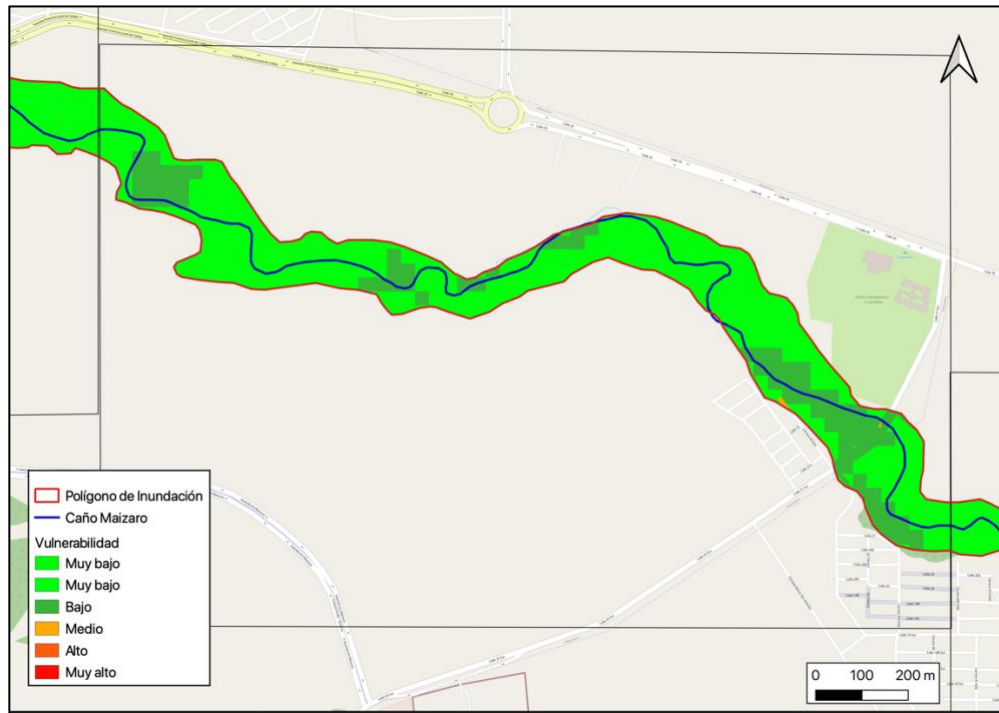
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 6.



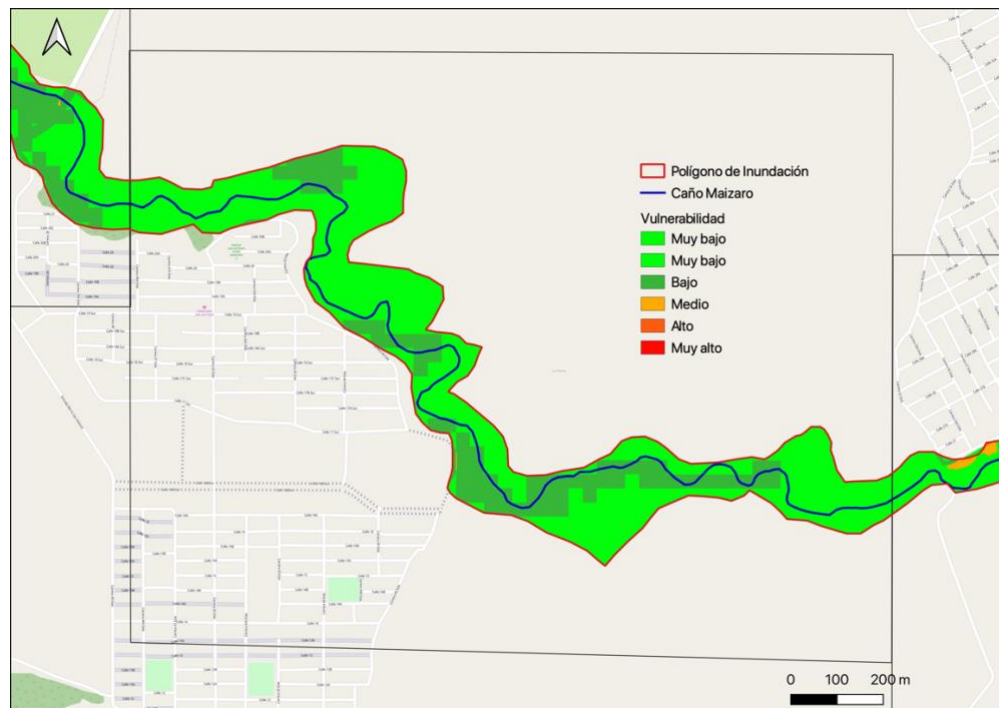
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 17: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 7.



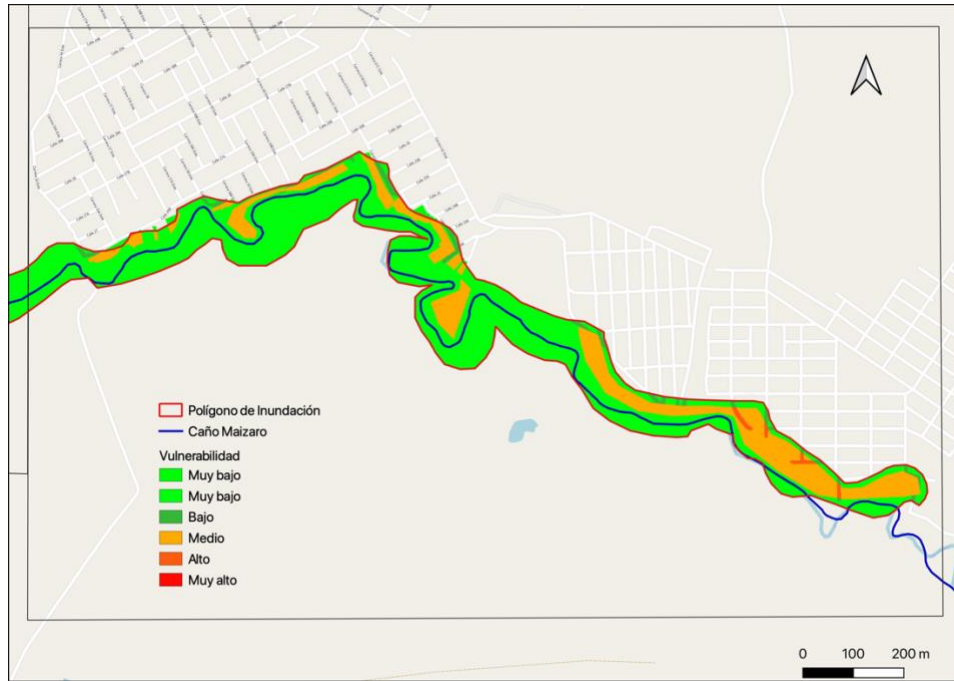
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 8.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 19: Raster de vulnerabilidad por exposición correspondiente al tramo 9.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados obtenidos es posible realizar el siguiente análisis:

- Al occidente de la Avenida carrera 19 del casco urbano del municipio existen zonas predominantemente de vulnerabilidad baja y muy baja.
- Siguiendo el recorrido del polígono de inundación y la interpretación de los resultados obtenidos se puede evidenciar que la zona comprendida desde Avenida carrera 19 hasta la carrera 7<sup>a</sup>, cuenta con vulnerabilidad media y alta lo cual requiere las medidas de mitigación pertinentes.
- De igual forma, al sur de la Calle 35(vía Catama), en el sector del barrio el rodeo, se evidencian zonas de vulnerabilidades altas y muy altas, por lo tanto, también requieren medidas de mitigación del riesgo latente al que están expuestos sus habitantes debido a que es una zona altamente poblada.

- En el sector de la unión o la reliquia, al oriente del casco urbano del municipio, también se presentan zonas con vulnerabilidades muy altas, esto debido a los asentamientos ilegales y viviendas de muy poca resistencia ante una posible inundación.



## 8 CONCLUSIONES

A partir del presente trabajo de investigación se puede concluir:

- Las resoluciones en las diferentes fuentes de información pueden diferir, por ejemplo, algunos archivos vienen con un tamaño de pixel mucho más grande debido a la cobertura que hacen del territorio y en otros casos vienen con un tamaño de pixel menor debido a que la información contenida es mucho mas puntual y específica, esto puede generar en algunas zonas una incertidumbre debido a que los pixeles de mayor tamaño pueden reemplazar pixeles vecinos y aportar información errónea para el análisis, por lo tanto, estas deben adecuarse y unificarse para los mapas de inundación en la zona de estudio.
- La información geográfica utilizada para el análisis de vulnerabilidad fue la sugerida por el manual de lineamientos para el uso de información geográfica en el desarrollo del componente rural de los planes de ordenamiento territorial- POT, el cual recomienda para estudios de inundación urbana una escala entre 1:1000 y 1:5000, permitiendo el análisis de las áreas con viviendas, vías y líneas vitales (servicios públicos) con mayor exactitud y precisión.
- Para la construcción de los mapas de riesgo y amenaza es necesario verificar el periodo de retorno correspondiente para la posible inundación de la zona, debido a que esa información no esta especificada en el plan de ordenamiento territorial del municipio y simplemente representa una información de posible inundación en la zona. Este periodo de retorno debe validarse periódicamente debido a los cambios en el ciclo hidrológico y de las condiciones geomorfológicas del caño, además, por temas de cambio climático es posible una variación de la información de intensidad de lluvia en la zona, por lo anterior, se hace pertinente esta validación para un futuro análisis de inundación en la zona.

- Con el fin de realizar el análisis del tipo de viviendas se obtuvo la información a través de la herramienta Google Street View y esto generó un inconveniente debido a que las zonas muy cercanas al caño no tenían cobertura, es decir, no se conoce con certeza a qué tipo de vivienda correspondían, por lo anterior y para superar esta incertidumbre se estimó el valor máximo de vulnerabilidad debido a que por visitas previas a la pandemia se identificó que esas viviendas en su mayoría son invasiones o asentamientos ilegales.
- A pesar de que la zona de estudio en su mayoría se encuentra dentro del perímetro de cobertura de alcantarillado del municipio y en el presente estudio se interpretó que se encontraba subterráneo y paralelo a las vías, se debe tener en cuenta que ante una posible inundación la vulnerabilidad de los receptores puede ser mayor, por el hecho de que algunas zonas cercanas al caño correspondan a invasiones o asentamientos ilegales no se reconoce con certeza un sistema de alcantarillado ni tampoco su estado, funcionalidad y red de distribución.

## 9 CONTRIBUCIONES

El presente proyecto de investigación presenta contribuciones significativas como las siguientes:

- Servir como fuente de información para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales relacionadas con la gestión del riesgo y amenaza en el área de estudio con el fin de promover el crecimiento del municipio en zonas que no representen amenaza para sus habitantes.
- Otra gran contribución es la aplicación de sistemas de información geográfica, con el fin de realizar un análisis de vulnerabilidad mucho mas detallado del área que se encuentra en riesgo y amenaza de inundación asociada al caño urbano Maizaro.

## 10 RECOMENDACIONES

Derivado de esta investigación, es pertinente proponer las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda, de la misma manera que se realizó el análisis de vulnerabilidad por exposición en el presente estudio, realizar un proceso análogo para la vulnerabilidad por fragilidad y la vulnerabilidad por capacidad de adaptación y respuesta, como lo propone (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017) en su metodología para análisis de vulnerabilidad.
- De igual forma, es recomendable replicar este estudio para todos los caños del municipio de Villavicencio debido a que es posible evidenciar que estos contienen zonas vulnerables de acuerdo al mapa de zonificación de áreas en condición de amenaza y riesgo por inundación en el suelo urbano publicado por el municipio en su más reciente plan de ordenamiento territorial.
- Es prioritario para las autoridades locales, hacer un reconocimiento de las zonas más vulnerables arrojadas por la presente investigación con el fin de tomar medidas de prevención y mitigación del riesgo por inundación, y de ser necesario reubicar la población que se encuentra en estas zonas para proteger tanto el bienestar de sus habitantes como mejoras en su calidad de vida.
- También es recomendable, con ayuda de instituciones nacionales y locales, actualizar la información para replicar este proceso y tenerlo en cuenta para futuros planes de ordenamiento territorial y así realizar un balance, con el fin de verificar si la vulnerabilidad de estas zonas ha aumentado o disminuido con respecto al presente estudio.

## 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Limnoestudios EU. (2014). *FORMULACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RÍO CHICHIMENE Contrato No . PS - GCT 2 . 7 . 13 - 286 Un proyecto de Ejecuta Interventor INGRID SUÁREZ CANARIA Profesional coordinadora grupo aguas.*
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo. (2005). *Serie Ambiente y Ordenamiento Territorial. Ruta para la toma de decisiones.* 24.
- Villavicencio. (2015). *Acuerdo No 287, Por medio del cual se adopta el nuevo plan de ordenamiento territorial del municipio de Villavicencio y se dictan otras disposiciones* (p. 364).
- Chrisman, N. R. (1999). What Does ‘GIS’ Mean? *Transactions in GIS*, 3(2), 175–186. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00014>
- De Silva, M. M. G. T., & Kawasaki, A. (2020). A local-scale analysis to understand differences in socioeconomic factors affecting economic loss due to floods among different communities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101526>
- DesInventar Project - Official Website.* (n.d.). Retrieved March 29, 2020, from <https://www.desinventar.org/es/>
- Disse, M., Johnson, T. G., Leandro, J., & Hartmann, T. (2020). Exploring the relation between flood risk management and flood resilience. In *Water Security* (Vol. 9, p. 100059). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100059>
- Gallego, J. (2018). Natural disasters and clientelism: The case of floods and landslides in Colombia. *Electoral Studies*, 55, 73–88. <https://doi.org/10.1016/j.electstud.2018.08.001>
- González, C. (2014). *LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN LAS INUNDACIONES DE COLOMBIA: UNA MIRADA CRÍTICA JULIO CÉSAR GONZÁLEZ VELANDIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS.*
- Hernandez, F. A., & Páez, C. P. (2018). *Evaluación de la calidad del agua en el caño Maizaro a partir de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y aplicación de índices de contaminación en un periodo de 4 meses.*
- Julier, A., & Gutiérrez, F. (n.d.). *Revisión y análisis espacial del plan de ordenamiento territorial de villavicencio norte.*
- Leonardo, F., & Idarraga, F. (n.d.). *Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas Responses and Proposals to the Risk of Flooding of the Colombian Cities.*

- Merz, B., Thielen, A. H., & Gocht, M. (2007). Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. In *Advances in Natural and Technological Hazards Research* (Vol. 25, pp. 231–251). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3_13)
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo. (2005). *Serie Ambiente y Ordenamiento Territorial. Ruta para la toma de decisiones*. 24.
- Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., Garcia, M., Labaque, M., & Díaz, J. M. (2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctlamochita, Provincia de Córdoba. In *FÍSICAS Y NATURALES* (Vol. 3, Issue 2).
- Pereira, C., Miguez, M., Di Gregório, L., Haddad, A., & Vérol, A. (2020). Inundation risk index as an urban planning supportive tool. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 8(2), 235–251. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0288>
- Salcedo-Castiblanco P, García-Sánchez J, Briceño-Gamba N, & García-Rosero H. (2018). *Caracterización demográfica de la microcuenca hidrográfica de caño Maizaro del municipio de Villavicencio (Meta)*.
- SCHANZE, J. (2007). FLOOD RISK MANAGEMENT – A BASIC FRAMEWORK. In *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures* (pp. 1–20). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_1)
- Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 109–136. <https://doi.org/10.18359/rcin.2309>
- CENAPRED, 2014. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas: Fenómenos Hidrometeorológicos. Secretaría de Gobernación, Subdirección de Riesgos por Inundación, México D.F. Versión electrónica.
- Datos Abiertos Catastro | GEOPORTAL*. (n.d.). Retrieved September 15, 2020, from <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro>
- Datos Abiertos Agrología | GEOPORTAL*. (n.d.). Retrieved September 15, 2020, from <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>
- Catálogo de mapas - IDEAM*. (n.d.). Retrieved September 5, 2020, from <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>
- Wan Mohtar, W. H. M., Abdullah, J., Abdul Maulud, K. N., & Muhammad, N. S. (2020). Urban flash flood index based on historical rainfall events. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102088. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102088>

CONSEJO MUNICIPAL DE VILLAVICENCIO. (n.d.). *PlandeDesarrollo2016-2019*.

Meta, D., & Generalidades, M. (2012). *Meta generalidades*. 1–10.

IGAC. (n.d.). *Las zonas urbana y rural de Villavicencio ya cuentan con estudios actualizados para mitigación del riesgo por inundación y movimientos en masa | Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Retrieved September 29, 2020, from <https://igac.gov.co/es/noticias/las-zonas-urbana-y-rural-de-villavicencio-ya-cuentan-con-estudios-actualizados-para>