

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EN LOS BARRIOS
SINDAMANOY II, NUEVA ESPERANZA Y BOSQUES DE MORELIA, CAUSADAS POR
UNA VERTIENTE DEL CAÑO MAIZARO EN VILLAVICENCIO, META



MARÍA JOSÉ AYA GALINDO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2023

ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EN LOS BARRIOS
SINDAMANOY II, NUEVA ESPERANZA Y BOSQUES DE MORELIA, CAUSADAS POR
UNA VERTIENTE DEL CAÑO MAIZARO EN VILLAVICENCIO, META

MARÍA JOSÉ AYA GALINDO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Ing. GERMAN ERNESTO CHICANGANA MONTÓN

Magister en Ciencias – Geología

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a Dios, quien me permitió concluir mi carrera, a mi madre por el apoyo incondicional en cada paso que di en el proceso, a mi hija por darme las fuerzas de seguir adelante y no dejar inconclusos mis estudios, a mi hermana por sus consejos y por nunca dejar de apoyarme anímicamente, a mi padre por nunca dejar de creer en mí y por levantarme cuando pensé que no lo iba a lograr y, a mi novio por su entrega a cualquier hora para resolver mis dudas, por su impulso y apoyo en cada etapa de la elaboración de este trabajo de grado.

Agradecimientos

Quiero empezar agradeciéndole a Dios, sin él nada de esto sería posible. Gracias a todo el personal de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, quienes me brindaron los espacios y medios para recibir una formación íntegra y para poder desarrollar mi proyecto de investigación contando con todas las herramientas disponibles.

Agradezco especialmente al ingeniero Germán Ernesto Chicangana Montón, magíster en Ciencias – Geología, por su paciencia, compromiso y entrega para conmigo durante el desarrollo del proyecto de grado, su orientación oportuna fue de gran importancia para la culminación de esta investigación. A la ingeniera Alfonsina Bocanegra, quien me apoyó con sus conocimientos en el inicio del proceso de investigación, a mi jurado designado el Mg. Bregy Choque y, claramente a la Facultad de Ingeniería Civil y a su planta docente, por ser parte de mi proceso de formación profesional y personal.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi padre por sus palabras y acciones de apoyo durante toda mi carrera, a mi hija por amarme e impulsarme, a mi hermana por llenarme de valor en los momentos más difíciles, a mis amigos y compañeros de carrera por las horas de estudio compartidas, por cada trabajo que me enriqueció como persona y como ingeniera, por enseñarme a trabajar en equipo y por la paciencia cuando no di lo mejor de mí.

Contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstract.....	12
Glosario.....	13
Introducción.....	13
1. Formulación del Problema	16
2. Objetivos	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. Justificación.....	20
4. Alcance	21
5. Estado del arte	22
6. Antecedentes	25
7. Marco teórico	25
8. Marco conceptual	27
9. Marco geográfico	30
10. Marco normativo	32
11. Metodología.....	34
11.1. Fase 1	34
11.2. Fase 2.....	34
11.3. Fase 3.....	34
12. Resultados.....	36

12.1.	Cobertura vegetal.....	36
12.2.	Uso del suelo	38
12.3.	Geología.....	41
12.4.	Pendientes	43
12.5.	Isoyetas	46
12.6.	Aspectos hidrometereológicos.....	46
12.6.1	<i>Precipitación anual</i>	47
12.7.	Amenaza por inundación	49
13.	Análisis de resultados	52
14.	Conclusiones	54
15.	Recomendación.....	56
16.	Referencias bibliográficas.....	57
	Anexos	

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Áreas de clasificación de uso del suelo	40
Tabla 2. Clasificación de pendientes	44
Tabla 3. Pendientes del área en estudio	45

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Detalle del cauce de la quebrada en el costado occidental del Anillo Vial, en temporada seca.....	17
Figura 2. Detalle del cauce de la quebrada en el costado oriental del Anillo Vial, en temporada seca. En esta imagen se observa el cauce canalizado	17
Figura 3. Inundación en el barrio Nueva Esperanza en 2012. Tomada de Castañeda (2012).	24
Figura 4. Características del comportamiento dinámico de llanuras de inundación.....	27
Figura 5. Localización geográfica de la zona de estudio.	31
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal según Metodología Corine Land Cover	37
Figura 7. Mapa del uso del suelo en la zona de estudio. Escala 1:5.000.	39
Figura 8. Relación porcentual del uso del suelo en la zona de estudio.....	40
Figura 9. Mapa de geología de la zona. Escala 1:5.000.....	42
Figura 10. Mapa de pendientes de la zona de estudio. Escala 1:5.000	44
Figura 11. Mapa de Isoyetas (precipitación anual) de la zona de estudio.	46
Figura 12. Valores anuales de precipitación año 2005 en Villavicencio (mm).	47
Figura 13. Valores anuales de precipitación año 2015 en Villavicencio (mm).	48
Figura 14. Mapa de zonificación de la amenaza por inundación en la comuna cinco de Villavicencio, en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia. El área de inundación mostrada aquí fue la que afectó a los barrios en el evento de 2012.	50
Figura 15. Análisis multitemporal de la zona de estudio mediante fotografías satelitales.	53

Lista de Anexos

Anexo 1	Mapa de cobertura vegetal
Anexo 2	Mapa del uso del suelo.....
Anexo 3	Mapa de geología.....
Anexo 4	Mapa de pendientes.....
Anexo 5	Mapa de zonificación de la amenaza por inundación

Resumen

En este trabajo a partir del análisis multitemporal se realizó la elaboración de los mapas de amenaza y vulnerabilidad aplicando SIG para un sector de la comuna cinco de la ciudad de Villavicencio, donde se encuentran ubicados los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, los cuales en el año 2012 fueron afectados por una inundación producto del desborde del Caño Brazo del Maizaro o también denominado Caño Oasis. Esta zona presenta ocupación del suelo por parte de comunidades de forma ilegal, y se encuentran en zonas susceptibles de ser afectadas por amenazas naturales tales como avenidas torrenciales y/o inundaciones, como ya se ha evidenciado en años anteriores. Como resultado de esta investigación recomendamos que no se debe ocupar el suelo hacía la parte baja de este cuerpo de agua, el cual desemboca en el caño Maizaro.

Palabras Clave: Villavicencio, Comuna 5, Inundación, Uso del suelo, Gestión de Riesgo.

Abstract

In this work, based on multitemporal analysis, hazard and vulnerability maps were prepared using GIS for a sector of commune five of the city of Villavicencio, where the Sindamanoy II, Nueva Esperanza and Bosques de Morelia neighborhoods are located, which in 2012 were affected by a flood resulting from the overflow of Caño Brazo del Maizaro or also called Caño Oasis. This area presents land occupation by communities illegally, and they are located in areas susceptible to being affected by natural threats such as torrential floods and/or floods, as has already been evidenced in previous years. As a result of this investigation, we recommend that land should not be occupied in the lower part of this body of water, which flows into the Maizaro stream.

Key Word- Villavicencio, Comuna 5, Flood, Land Use, Natural Hazard Management

Glosario

AMENAZA: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Ley 1523 de 2012).

RIESGO DE DESASTRES: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico, y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

VULNERABILIDAD: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos” (Ley 1523 de 2012).

DESASTRES NATURALES: Los desastres son consecuencia de la combinación de dos factores: a) los fenómenos naturales capaces de desencadenar procesos que provocan daños físicos y pérdidas de vidas humanas y de capital, y b) la vulnerabilidad de las personas y los asentamientos humanos. Estos eventos alteran las condiciones de vida de las comunidades y las personas, así como la actividad económica de los países. Mientras que algunos se originan en fenómenos violentos o inesperados, como los terremotos, otros, que son de generación o evolución lenta, como las sequías, tienen un efecto negativo en las sociedades y economías, y, dependiendo de su intensidad y duración, pueden llegar a afectar la provisión de alimentos o servicios esenciales a la población (CEPAL, 2004).

REMOCIÓN EN MASA: Un movimiento en masa es el proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad. Son conocidos popularmente como deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas (IDIGER, 2015).

MITIGABILIDAD: Es una condición en la que es factible técnica, económica, social y políticamente intervenir un territorio para reducir el riesgo, con el objetivo de que permanezcan la población, la infraestructura y las actividades económicas dentro de márgenes razonables y socialmente aceptables de seguridad. En el contexto del ordenamiento territorial es una declaración que la autoridad hace sobre un territorio para restringir o condicionar los usos y ocupaciones actuales y futuros, dada una condición de riesgo existente. Siempre que es finalmente una decisión política, no puede existir una fórmula o procedimiento único para su definición (Unión Europea y Comunidad Andina, 2009).

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT): Instrumento básico definido en la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio. El POT contiene un conjunto de objetivos, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización o usos del suelo (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2019).

INUNDACIÓN: Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua y/o la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

GESTIÓN DEL RIESGO: Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Introducción

En Colombia, la mayoría de las situaciones de este tipo de riesgo surgen por la ocupación de urbanizaciones sin ningún tipo de planeamiento, los cuales ocasionan degradación del suelo e inundaciones súbitas, por lo cual, se vuelve necesario que la Gestión del Riesgo sea incorporada adecuadamente tanto en las distintas dimensiones de la planificación física, como también en la planificación del desarrollo.

Actualmente las ciudades en desarrollo como Villavicencio reflejan un grado muy alto de desorden urbano, una de las razones por las cuales se presenta este fenómeno, es el crecimiento poblacional que se ve de forma acelerada contra el poco territorio que se tiene para poder alojar, tanto a la población flotante como a la permanente. Este problema se intensifica por el déficit de los servicios públicos e infraestructura (Segura y Vargas, 2022).

En el municipio de Villavicencio se encuentra la cuenca del Caño Maizaro con una longitud de 12,2 Km, resaltándose como uno de los cuerpos hídricos de mayor importancia, 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 sobre el túnel Buenavista, en su curso atraviesa el casco urbano. En las zonas medias, su recorrido pasa por el puente Maizaro, en el sector de Unicentro, y más abajo el parque de la vida Cofrem, hasta el CAI de la vía Catama en la intersección de esta con el anillo vial. Finalmente, su curso pasa bajo el camino ganadero hasta desembocar en el río Ocoa en jurisdicción de la vereda La Llanerita (Hernández y Páez, 2018). A partir de los resultados obtenidos de una encuesta realizada por Salcedo-Castiblanco (2018), se identificó la presencia de 3153 habitantes en la ronda hídrica de la microcuenca caño Maizaro.

En el Plan de Ordenamiento Territorial 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 para el ser humano, como lo son las inundaciones, las cuales pueden llegar a generar grandes afectaciones o pérdidas en el ámbito económico (Alcaldía de Villavicencio, 2016).

La presente investigación contribuirá a la prevención y mitigación de desastres por riesgo de inundación, en función del índice de vulnerabilidad por inundación, por lo que se convertirá en una herramienta de gestión de las entidades estatales de Villavicencio.

1. Formulación del problema

Torres et al. (2014), para la Comuna Cinco de Villavicencio, evidenciaron que existe una invasión de la ronda de los caños Maizaro, Aguas Claras y el río Ocoa, por la indebida ocupación del suelo, a tal punto que, en sitios específicos las edificaciones han abarcado parte de las orillas de los cauces (figura 2). La lluvia es el factor amenazante más importante en la generación de inundaciones. El agua de los ríos proviene en principio de la escorrentía proveniente de la parte alta de la cuenca, la cual depende del relieve, de la vegetación, del uso del suelo y en general de las condiciones en las que se encuentre la cuenca. Sin embargo, estos cuerpos de agua se nutren de igual manera de los flujos subsuperficiales que a su vez dependen de las condiciones hidrogeológicas y de los niveles freáticos de la zona (Torres et al., 2014).

El efecto de la precipitación, la escorrentía superficial, la erosión y la remoción en masa en las laderas del caño hace que, el mismo, sea alimentado de forma continua por materiales sólidos, generando un comportamiento especial en la corriente de agua, a esto se le suma la mala gestión de los residuos sólidos ordinarios de la comunidad, como se observa en el costado derecho de la figura 1, pues al no ser dispuestos para ser recogidos por el servicio de aseo, terminan siendo dispuestos en el caño Maizaro, generando represamientos del flujo normal del cauce y finalmente termina siendo el causante de pérdidas tanto económicas, como estructurales y hasta humanas. A esta problemática se le adhiere la falta de educación ambiental, conocimiento y percepción del riesgo que presenta las personas del sector, lo que genera un aumento en su vulnerabilidad ante esta amenaza (Segura y Vargas, 2022).

En la Comuna Cinco se han implementado distintas medidas de mitigación y prevención para abordar estos riesgos, unas de estas medidas son: la construcción de canales de desvío, la ampliación de la red de alcantarillado y la construcción de muros de contención en zonas de alto riesgo. Adicional a esto, ya se han realizado campañas de educación y concientización sobre el riesgo de las inundaciones y la importancia de tomar medidas de precaución y evacuación en caso de emergencia, pero esto no es suficiente, ya que la mayoría de estos cauces aún presentan un alto riesgo de desbordamiento, lo que afecta directamente a las personas que invaden dichas rondas. Cabe recalcar que los muros de contención ya construidos no son los más adecuados debido a su pequeño tamaño y por consiguiente no alcanzan a cubrir la longitud que demanda protección (Torres et al., 2014).

La situación de los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, que se encuentran ubicados en la comuna cinco de Villavicencio, inmediatamente al norte del terminal de transportes de la ciudad, son altamente vulnerables frente a la amenaza de inundación, ya que en 2012 fue afectado el barrio Nueva Esperanza por una crecida de la vertiente sur de caño Maizaro. En el POT de Villavicencio de 2015 (Alcaldía de Villavicencio, 2016), se indica este sector con una alta probabilidad de ser afectado por inundaciones.

Figura 1. Detalle del cauce de la quebrada en el costado occidental del Anillo vial, en temporada seca.



Figura 2. Detalle del cauce de la quebrada en el costado oriental del Anillo vial, en temporada seca. En esta imagen se observa que el cauce ha sido canalizado.



Exponiendo la situación en el presente estudio cabe preguntar, ¿cómo se ve afectada la vulnerabilidad ante la ausencia de estudios y el desconocimiento de las inundaciones por una vertiente del caño Maizaro que se presenta constantemente en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, ¿pertenecientes a la Comuna Cinco de Villavicencio?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad presente en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia de la Comuna Cinco de Villavicencio, Meta, por amenaza de inundación asociadas a una vertiente del caño Maizaro.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar las cuencas hídricas que rodean a la Comuna Cinco, específicamente en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia de Villavicencio, Meta.
- Realizar un análisis hidrometeorológico de la vertiente del caño Maizaro que indique las épocas del año más susceptibles a generar inundaciones en la zona de estudio.
- Analizar cualitativa y cuantitativamente las zonas de vulnerabilidad frente a las posibles inundaciones que se presenten en el sector causadas por la vertiente sur del caño Maizaro.

3. Justificación

Para poner en marcha esta investigación, se tiene en cuenta que la comuna cinco de la ciudad de Villavicencio muestra la presencia del alto riesgo por inundación a los que está expuesta una parte considerable de la población que la habita. Esta es la situación de los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia para las temporadas de lluvias.

A partir de lo anterior es de suma importancia realizar la evaluación de la vulnerabilidad causada por inundaciones en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, pertenecientes a la Comuna Cinco de Villavicencio; por lo cual, debemos conocer los sectores más vulnerables frente este tipo de amenaza natural ya mencionada, ya que servirá como apoyo para futuros planes de ordenamiento territorial (POT) que se realicen en la ciudad y específicamente en este sector. Cabe resaltar que también el uso del suelo es quien determina sustancialmente el cambio o alteración de la vulnerabilidad y esto dependerá del tipo edificación que se encuentre construida sobre éste (Sánchez y Tibabuzo, 2020).

Este trabajo de grado se hace con el fin de estudiar un tramo determinado del caño Maizaro, posibilitando la prevención de crecientes que pueden suceder y así ver la capacidad de respuesta de la comunidad frente a las inundaciones, además de eso, un objetivo muy importante es aportar conocimiento sobre esta amenaza en beneficio de la comunidad, ya que es una zona que ha sido afectada por inundaciones años atrás producto de desbordamientos de una vertiente del Caño Maizaro. Es de gran importancia que al formularse el nuevo POT para la Ciudad de Villavicencio, se consideren las zonas en la parte urbana del caño Maizaro y sus vertientes que se encuentran en riesgo de sufrir inundaciones, para que así se restrinja el uso de los suelos afectados para la construcción de nuevos proyectos de vivienda. Es por esto por lo que se hace necesaria la participación de las instituciones y la comunidad en todo el proceso, proponiendo alternativas y aportando de manera significativa, para que se pueda llegar a un posible control de las inundaciones en esta zona de la ciudad de Villavicencio.

4. Alcance

El proyecto de investigación se desarrolló con el fin de determinar la vulnerabilidad por inundación en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, de la ciudad de Villavicencio, para la cual se implementó herramientas del Sistema de Información Geográfica que permitieron recolectar, almacenar, analizar y procesar la información obtenida.

El proceso investigativo se llevó a cabo en tres fases: la primera fase es mediante un análisis topográfico y con mapas ya existentes, se ubica el cuerpo de agua en la zona, el cual se encuentra ubicado exactamente al lado de la Terminal de Transporte y es el causante de riesgo por amenaza de inundación en dichos barrios; la segunda fase, que se hace de forma cuantificable y especificada, pues se revisan los antecedentes por eventos de inundación en el sector. Con la implementación del software ArcGIS se pretende estimar y elaborar cartografía de amenazas por inundaciones en la zona. Se desea con ello definir el área máxima de inundación y demarcarla, determinar el factor detonante por precipitación, el potencial de inundaciones correspondiente a la relación caudal-nivel en los casos de crecidas y, además la evaluación de la amenaza.

Para la tercera fase se proyecta valorar la vulnerabilidad cualitativamente, en la cual se tienen que identificar a las personas y elementos potencialmente vulnerables, entre los cuales entran a ser los grupos sociales, las edificaciones, los ecosistemas, etc. Con herramientas participativas se busca identificar y entender el grado de exposición de la población cercana o local y la capacidad de esta para resistir fenómenos naturales. Cuantitativamente usando ArcGIS se prevé calcular los daños físicos de infraestructura, impactos sociales y pérdidas económicas por reparación o reposición. Finalizando el estudio se busca encontrar posibles rendiciones para la disminución de la vulnerabilidad en la zona de estudio.

5. Estado del arte

Ferrari (2012) analiza indicadores de vulnerabilidad ante casos de inundación para el barrio Intendente Alfredo Mario Etchepare de la ciudad Trelew, Argentina.

Esta autora parte de la comparación entre dos diagnósticos: el diagnóstico técnico-científico, realizado a partir de la consulta bibliográfica, la búsqueda de documentos y la aplicación de entrevistas a técnicos y actores clave del barrio; y el diagnóstico analítico de la percepción de los habitantes del barrio, realizado luego de examinar la información obtenida mediante un cuestionario semiestructurado.

Ribera (2004) contribuyó al estudio y desarrollo de la cartografía de riesgo de inundaciones de España, y demostró la necesidad que esta cartografía tiene de incorporar conceptos teóricos como el de vulnerabilidad para poder responder con eficiencia a los nuevos retos en relación con la protección de los seres humanos.

Padrón (2017) genera una propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad física. Específicamente para edificaciones de uso residencial, ubicadas en asentamientos urbanos populares y expuestos particularmente a la ocurrencia de movimientos en masa activados por lluvia. En este desarrolla una función que mide la susceptibilidad ante procesos de remoción en masa y el grado de susceptibilidad de los elementos expuestos.

Castro et al. (2021), describen para el corregimiento de Cantera del municipio de Mompos, Bolívar, los antecedentes de inundaciones que lo han afectado, debido a la amenaza latente del Brazo de Mompóx.

Esta investigación analiza los factores hidrodinámicos, para determinar las zonas de amenaza y vulnerabilidad, con la finalidad de poder brindar solución a la población en riesgo.

Veloza (2017) expone la geología de la zona urbana de Macanal, Boyacá, que está básicamente constituida por la Formación Lutitas de Macanal, siendo estas propensas a fracturarse y disolverse ante el contacto con el agua, por las lluvias que se presentan, y por los fuertes grados de pendientes que hay en las laderas montañosas de esta región.

Con este estudio, el autor considera que los habitantes de la zona urbana de este municipio son vulnerables a fenómenos de remoción en masa, pues la suma de los factores mencionados anteriormente son los propicios para que se genere esta clase de fenómenos. En tal virtud, se pretende evaluar el grado de vulnerabilidad física del municipio de Macanal, Boyacá.

Chirivi et al. (2012) implementaron el “programa de educación para la reducción del riesgo de inundaciones”. Es un proyecto que busca reducir la vulnerabilidad a través de la intervención en las personas en materia de educación y organización, lo que impacta directamente en la reducción de la vulnerabilidad y su consecuente riesgo, este programa permite de forma eficiente atender las diferentes situaciones de emergencias que se puedan presentar, educando en cómo actuar en las fases del antes, durante y después de una inundación.

Herrera y Navarro (2021) realizaron la modelación hidráulica de posibles escenarios de desborde de la corriente hídrica principal “caño La Cuerera” de la ciudad de Villavicencio, para estimar los impactos que perturban la integridad de las familias que allí residen y proponer alternativas de mitigación y contención de eventos de inundación.

Segura y Vargas (2022) analizaron los antecedentes en materia de planeación de las urbanizaciones cercanas al caño Maizaro por medio de cuatro fases especificadas a lo largo del documento.

En cada fase se consolidan medidas para la gestión del riesgo geológico según las características del área de influencia teniendo en cuenta la identificación de todas las amenazas existentes en El Barrio la Vainilla.

6. Antecedentes

Se han presentado diferentes eventos de inundación en la zona de estudio, los cuales han afectado de forma inminente a los barrios aledaños, especialmente los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques De Morelia, causando pérdidas económicas, incomodidad.

Para el año 2012 en el mes de septiembre en Villavicencio se presentaron lluvias torrenciales tan fuertes que provocaron una inundación en diferentes barrios de la ciudad, uno de los afectados fue el barrio Nueva Esperanza (figura 3). Por medio de videos e imágenes se evidenció el evento, además de esto, no era la primera vez que ocurría y actualmente en el 2023 todavía se encuentra vulnerable a inundaciones próximas.

Figura 3. Inundación en el barrio Nueva Esperanza en 2012.



NOTA. Tomado de Castañeda (2012) [Video]. Youtube.

7. Marco teórico

Para llevar a cabo este proyecto de investigación es necesario tener claras algunas definiciones como riesgo, vulnerabilidad física y amenaza y además poder establecer la diferencia entre ellas.

El riesgo es la mezcla de la probabilidad de que se presente u ocurra un evento y sus efectos negativos (CIIFEN, 2009). La amenaza puede ser un fenómeno, o condición peligrosa que puede causar la muerte o un impacto negativo, también daños a la propiedad, o daños ambientales (CIIFEN, 2009); y la vulnerabilidad física es entendida como la afectación que sufrirá un activo determinado ante una amenaza dada. (Hernández y Ramírez, 2016). Esta última está asociada con los asentamientos humanos ubicados en zonas de riesgo, así como las deficiencias de sus estructuras físicas para absorber el impacto de diversos eventos. En el caso de los sismos, la vulnerabilidad física está asociada con la localización de comunidades en cercanías a fallas geológicas activas, la falta de cumplimiento de reglamentos de construcción sismo resistente, el uso de materiales de baja calidad, entre otros. Frente a inundaciones y deslizamientos, la vulnerabilidad física se expresa en quienes deciden levantar sus casas en terrenos urbanos inundables o en laderas; generalmente lo hacen debido a que carecen de opciones: porque su capacidad adquisitiva está por debajo del precio de terrenos más seguros y estables y llegan allí por medio de "invasiones" (UNGRD, 2020).

Las poblaciones que no cuentan con unos buenos sistemas de alcantarillado o canales de desagües y otros con una superficie plana o algo cóncava, tienen un mayor riesgo de inundación producidas por ríos o caños. Las zonas en Colombia con más riesgo de inundaciones son los Llanos Orientales, por ser un territorio completamente plano. Las inundaciones en el país coinciden con las temporadas invernales las cuales se dan en los llanos orientales de marzo hasta los últimos días de Julio y posteriormente en octubre (UNGRD, 2014).

Con la utilización de simulaciones hidráulicas se puede representar la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua y sedimentos transportador, así como la manera en la que influyen obstrucciones u obras hidráulicas en el nivel de agua. Se considera por tanto como una herramienta muy útil para entender y dar soluciones a problemas planteados en el manejo del cauce natural. La simulación hidráulica puede simular los diferentes estados de carga que se producen en una red de distribución, para las inundaciones de sitios aledaños a un río o

caño, y también por medio de sus los modelos matemáticos es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que nos ofrezcan cierto grado de confianza y seguridad a la hora de tomar decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a nuestros ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Pérez, 2010).

Una consecuencia de las inundaciones es la remoción en masa, pues este es un fenómeno que corresponde al desprendimiento de tierra perteneciente de una ladera. Las clasificaciones se basan por lo general, en el tipo de material que constituye la ladera, dentro de los cuales pueden ser rocas, escombros, o sedimentos que están constituidos por lodos o arenas, material orgánico, que pueden estar saturados, secos o extremadamente saturados por agua. Estos deslizamientos generalmente pueden ser lentos, con velocidades de aproximadamente 30 centímetros cada cinco años, pero También pueden ser demasiado rápidos con velocidades que pueden los 3 metros por segundo (Rotaru, 2007).

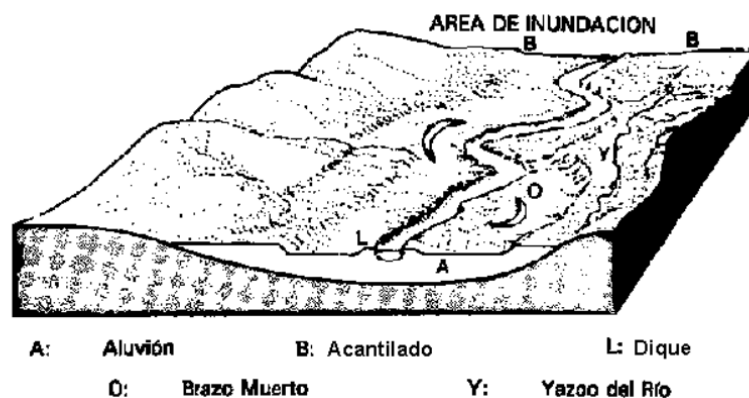
El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) es conocido como el Instrumento básico definido en la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio. El POT contiene un conjunto de objetivos, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización o usos del suelo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019).

Por último, pero no menos importante, se define como Gestión del Riesgo al proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (UNGRD, 2014).

8. Marco conceptual

Las inundaciones se conocen como fenómenos hidrológicos producidos cuando se presentan lluvias intensas o continuas y hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente, que al sobrepasar la capacidad de retención e infiltración del suelo ocasiona un desbordamiento y una dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas limitantes a los cursos de agua normalmente sumergibles (figura 4) (IDEAM, 2018). Estas se clasifican en dos tipos: Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, el segundo tipo son las crecientes súbitas que se presenta en áreas con menor afectación y con un poder destructivo mayor, las cuales generan un número de víctimas más más alto. Los incrementos de nivel son de orden métrico en muy poco tiempo y con permanencias menores en las áreas afectadas. Este tipo de inundaciones se suelen presentar en las zonas de cuentas de alta pendiente (IDEAM, 2018). Las poblaciones que no cuentan con unos buenos sistemas de alcantarillado o canales de desagües y otros con una superficie pana o algo cóncava, tienen un mayor riesgo de inundación producidas por ríos o caños. Las zonas en Colombia con más riesgo de inundaciones son los Llanos Orientales, por ser un territorio completamente plano. Las inundaciones en el país coinciden con las temporadas invernales las cuales se dan en los llanos orientales de marzo hasta los últimos días de Julio y posteriormente en octubre (UNGRD, 2014).

Figura 4. Características del comportamiento dinámico de llanuras de inundación



NOTA. Adaptado de Strahler, A.N. y Strahler, A.H. Environmental Geoscience: Interaction between Natural Systems and Man. (Santa Bárbara, California: Hamilton Publishing Co., 1973)

Las inundaciones pueden generar desastres naturales, los cuales son fenómenos de origen geológico, los cuales producen un impacto sobre la comunidad de un determinado lugar. Cuando se hace referencia a el impacto también se puede mencionar en términos de pérdidas económicas y de vidas (Clague, 2013).

Con la utilización de simulaciones hidráulicas se puede representar la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua y sedimentos transportador, así como la manera en la que influyen obstrucciones u obras hidráulicas en el nivel de agua. Se considera por tanto como una herramienta muy útil para entender y dar soluciones a problemas planteados en el manejo del cauce natural. La simulación hidráulica puede simular los diferentes estados de carga que se producen en una red de distribución, para las inundaciones de sitios aledaños a un río o caño, y también por medio de sus los modelos matemáticos es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que nos ofrezcan cierto grado de confianza y seguridad a la hora de tomar decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a nuestros ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Pérez, 2010).

Una consecuencia de las inundaciones es la remoción en masa, pues este es un fenómeno que corresponde al desprendimiento de tierra perteneciente de una ladera. Las clasificaciones se basan por lo general, en el tipo de material que constituye la ladera, dentro de los cuales pueden ser rocas, escombros, o sedimentos que están constituidos por lodos o arenas, material orgánico, que pueden estar saturados, secos o extremadamente saturados por agua. Estos deslizamientos generalmente pueden ser lentos, con velocidades de aproximadamente 30 centímetros cada cinco años, pero También pueden ser demasiado rápidos con velocidades que pueden los 3 metros por segundo (Rotaru, 2007).

Una condición en la que es factible técnica, económica, y social, es intervenir un territorio para reducir el riesgo, lo cual se llama mitigar, y existe con el objetivo de que permanezcan la población, su infraestructura y sus actividades económicas dentro de márgenes razonables y socialmente aceptables de seguridad. En el contexto del ordenamiento territorial es una declaración que la autoridad hace sobre un territorio para restringir o condicionar los usos y ocupaciones actuales y futuros, dada una condición de riesgo existente. Siempre que es finalmente una decisión política, no puede existir una fórmula o procedimiento único para su definición (Unión Europea y Comunidad Andina, 2009).

Los asentamientos humanos son un conjunto de población que comparte las dinámicas sociales, económicas, culturales y productivas, localizado en una unidad territorial geográficamente delimitada, que puede ser rural o urbana, y que considera las relaciones de las diferentes formas de hábitat humano con los elementos que la integran: vivienda, infraestructura y servicios comunitarios, entre otros (ISVIMED, 2011).

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) es conocido como el Instrumento básico definido en la Ley 388 de 1997, para que los municipios y distritos del país planifiquen el ordenamiento del territorio. El POT contiene un conjunto de objetivos, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización o usos del suelo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019). Para la ciudad de Villavicencio su POT vigente fue el aprobado en 2015 denominado POT Norte (Alcaldía de Villavicencio, 2016).

Por último, pero no menos importante, se define como Gestión del Riesgo al proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (UNGDR, 2019).

9. Marco geográfico

Villavicencio se encuentra ubicado en el piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, cuenta con fuentes hídricas de gran relevancia, que son al norte con el río Guatiquia, al sur con el río Guayuriba y en la parte central el río Ocoa y Negro, además de la presencia de caños y quebradas. Topográficamente Villavicencio se distingue de dos regios una montañosa formada por el costado de la Cordillera Oriental y la otra, una planicie inclinada hacia el oriente y nororiente. (Segura y Vargas, 2022).

La zona de estudio son los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia, los cuales se encuentran ubicados en la comuna No. 5 de la Ciudad de Villavicencio (figura 5). La corriente denominada río Caño Maizaro, es uno de los principales afluentes del río Ocoa, ubicado en el sector de Buena Vista cabecera municipal de Villavicencio Meta, nace en el pie del monte llanero a 1.132 m.s.n.m atravesando el área urbana del municipio de Villavicencio, con coordenadas de inicio ($4^{\circ}08'52.97''N$, $73^{\circ}39'41.31''E$, 639 m Z), por lo tanto, la cuenca del caño Maizaro representa una de las fuentes hídricas con mayores presiones por cantidad y calidad del recurso hídrico en el Meta, pues abastece a una porción importante de la población urbana y rural del municipio, y a su vez recibe un importante número de vertimientos que deterioran su calidad. Se caracteriza por ser un río con geometría mántica la cual se forma con mayor facilidad, en los ríos de llanuras aluviales con pendientes muy escasas. (Segura y Vargas, 2022).

Figura 5. Localización geográfica de la zona de estudio



10. Marco normativo

Los Planes de Ordenamiento Territorial tienen como una de sus principales funciones la de incorporar la gestión del riesgo para disminuir la vulnerabilidad fiscal de las entidades territoriales frente a la ocurrencia de desastres, el tratamiento de este tema requiere el mayor cuidado posible ya que de no tomarse las medidas necesarias, los municipios pueden ser desbordados ante la ocurrencia de emergencias que han podido ser perfectamente evitables.

LEY 1523 DE 2012: Adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Previa recomendación del Consejo Nacional, el presidente de la República declarará mediante decreto la existencia de una situación de desastre y, en el mismo acto, la clasificará según su magnitud y efectos como de carácter nacional, regional, departamental, distrital o municipal, y pondrá en vigor las normas pertinentes propias del régimen especial para situaciones de desastre (Función Pública, 2022).

LEY 9 DE 1989 ART 56: Los alcaldes procederán a levantar, en el término máximo de seis (6) meses contados a partir de la vigencia de la presente Ley, un inventario de los asentamientos humanos que presenten altos riesgos para sus habitantes, en razón a su ubicación en sitios anegadizos o sujetos a derrumbes y deslizamientos, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda, y reubicarán a estos habitantes en zonas apropiadas, con la participación del Instituto de Crédito Territorial (MinVivienda, 2014).

LEY 2 DE 1991 ART 5: Los alcaldes levantarán y mantendrán actualizado un inventario de las zonas que presenten riesgos para la localización de asentamientos humanos por ser inundables o sujetos a derrumbes o deslizamientos, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda (MinVivienda, 2014).

LEY 1450 DE 2011 ART 218: El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o quien haga sus veces en un plazo no mayor a 18 meses, desarrollará una metodología para que los municipios y distritos del país, recojan y suministren al Ministerio de Ambiente,

Vivienda y Desarrollo Territorial, o quien haga sus veces, la información necesaria para conformar el inventario nacional de asentamientos en riesgo de desastres (MinVivienda, 2014).

LEY 388 DE 1997 ART 12, 13, 14 Y 15: Los Planes de Ordenamiento Territorial deberán incluir (artículos 12, 13,14 y 15): El inventario de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas naturales o por condiciones de insalubridad. El señalamiento, delimitación y tratamiento de las zonas expuestas a amenazas, incluidos los mecanismos de reubicación de asentamientos (MinVivienda, 2014).

DECRETO 4147 DE 2011: Creación de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (Herrera Sánchez M, 2018).

DECRETO 19 DE 2012 – ART. 189: Incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los Planes de Ordenamiento Territorial (Herrera Sánchez M, 2018).

DECRETO 1077 DE 2015: Establece condiciones y escalas de detalle para incorporar la Gestión del Riesgo de Desastres en la revisión de mediano y largo plazo de un POT o en su formulación, definiendo: La incorporación de manera gradual de la Gestión del Riesgo en la revisión del POT o en la formulación de un nuevo POT. La delimitación y zonificación de áreas de amenaza asociadas a fenómenos de: movimientos en masa, inundación o avenida torrencial (Herrera Sánchez M, 2018).

11. Metodología

La metodología del proyecto se divide en tres fases, las cuales a partir de datos cuantitativos permiten evaluar de forma cualitativa la vulnerabilidad por inundación en la zona de estudio.

11.1 Fase 1: Determinar la cuenca hídrica que rodea a la Comuna Cinco, específicamente en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia de Villavicencio, Meta.

En la primera fase mediante un análisis topográfico y con mapas de fácil acceso, se ubica el cuerpo de agua existente en la zona, este se encuentra ubicado exactamente al lado de la Terminal de Transporte, el cual es el causante de riesgo por amenaza de inundación en dichos barrios.

11.2 Fase 2: Realizar un análisis hidrometeorológico de la vertiente del caño Maizaro que indique las épocas del año más susceptibles a generar inundaciones en la zona de estudio.

Para la segunda fase se revisan de forma cuantificable y especificada los antecedentes por eventos de inundación en el sector. Se solicita al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) los datos meteorológicos, los cuales son obtenidos de manera digital y se organizan por medio de procesos aritméticos y compilados para determinar el comportamiento pluviométrico que se presenta en la zona. Con la implementación del software ArcGIS se pretende estimar y elaborar cartografía de amenazas por inundaciones en la zona. Se desea con ello definir el área máxima de inundación y demarcarla, determinar el factor detonante por precipitación, el potencial de inundaciones correspondiente a la relación caudal-nivel en los casos de crecidas y, además la evaluación de la amenaza.

11.3 Fase 3: Analizar cuantitativamente por medio de la aplicación de Softwares las zonas de vulnerabilidad frente a las posibles inundaciones que se presenten en el sector causadas por la vertiente del caño Maizaro.

En la tercera y última fase cuantitativamente usando ArcGIS se prevé calcular los daños físicos de infraestructura, impactos sociales y pérdidas económicas por reparación o reposición. Mediante la combinación de los mapas temáticos realizados, en esta etapa se realizará el mapa a escala 1:1.100 en el cual se mostrarán los niveles de amenaza que se presentan en la zona de estudio con el fin de determinar las zonas que se verán más afectadas frente a un posible fenómeno de inundación.

Para la elaboración del mapa de amenazas se unirán los mapas de uso de suelo, vegetación y el mapa de zonificación de la amenaza. Finalizando el estudio se busca encontrar posibles rendiciones para la disminución de la vulnerabilidad en la zona de estudio.

12. Resultados

12.1 Cobertura vegetal

La cobertura de la tierra es la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra, no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua.

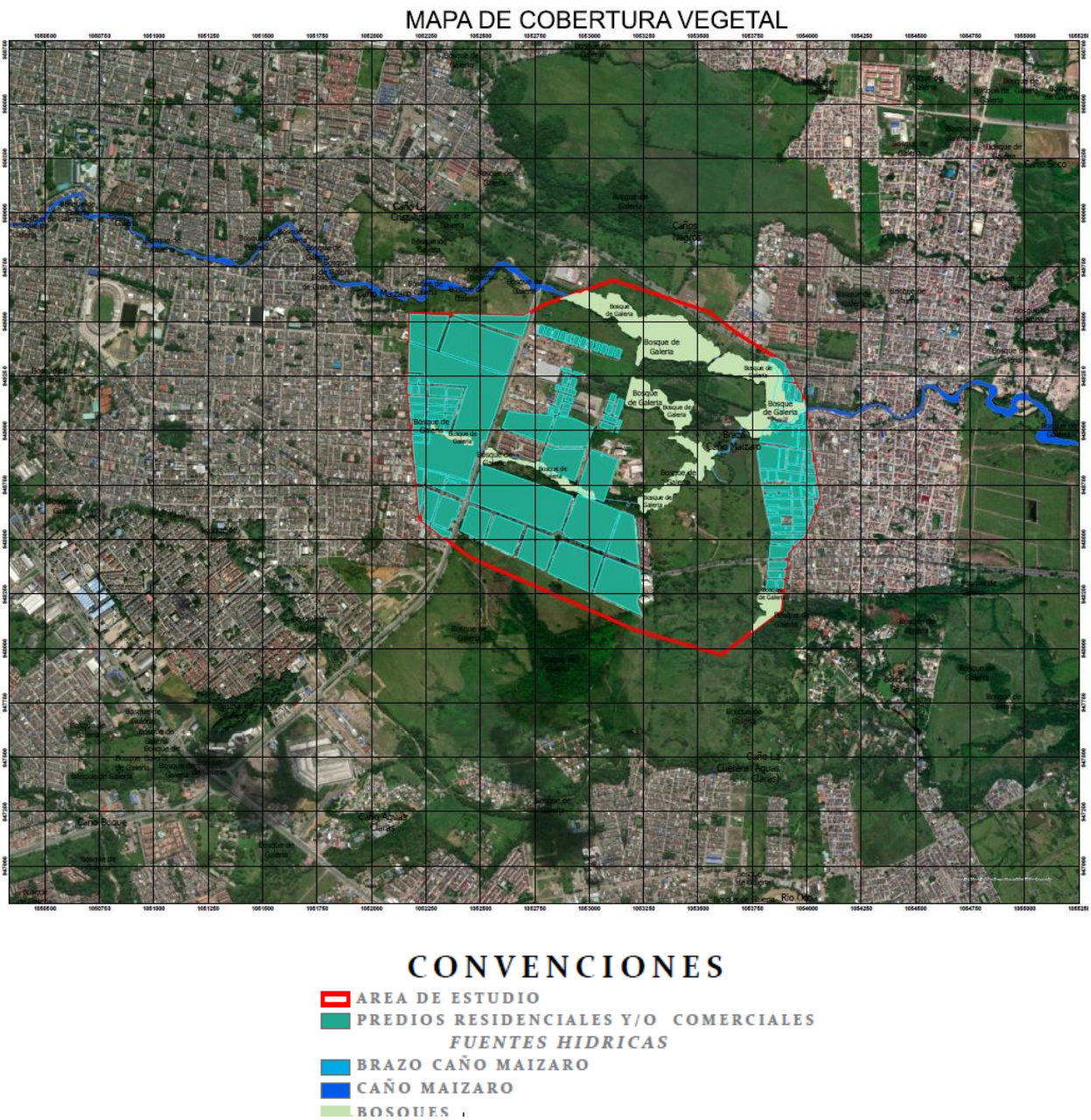
La cobertura vegetal influye en la estabilidad mediante efectos hidrológicos y mecánicos. Los efectos hidrológicos tienen en cuenta la capacidad de infiltración y de la humedad. Los efectos mecánicos relacionan la resistencia que proporcionan las raíces al suelo con la protección frente a la erosión o a la sobrecarga que el material vegetal pueda generar sobre las laderas. También se valoran efectos antrópicos que sean relevantes como cambios en el uso del suelo, cortes de ladera y explanaciones (Cruz A, 2019).

Para la realización del mapa de cobertura vegetal se tuvo como referente la metodología “Metodología Corine Land Cover”, adaptada para Colombia y se complementó con la “Leyenda Nacional de Coberturas de Tierra” ambas propuestas por el IDEAM (IGAC, 2010).

Esta metodología tiene como propósito la realización del inventario homogéneo de la cobertura de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite asistida por computador y la generación de una base de datos geográfica (IGAC, 2010).

Este recurso permitió definir las diferentes unidades de cobertura y uso actual con un nivel de detalle 1:5.000. Se determinaron clases temáticas, por medio de clasificación supervisada mediante el algoritmo de máxima verosimilitud tal como se muestra en el mapa de cobertura vegetal.

Figura 6. Mapa de cobertura vegetal según Metodología Corine Land Cover.



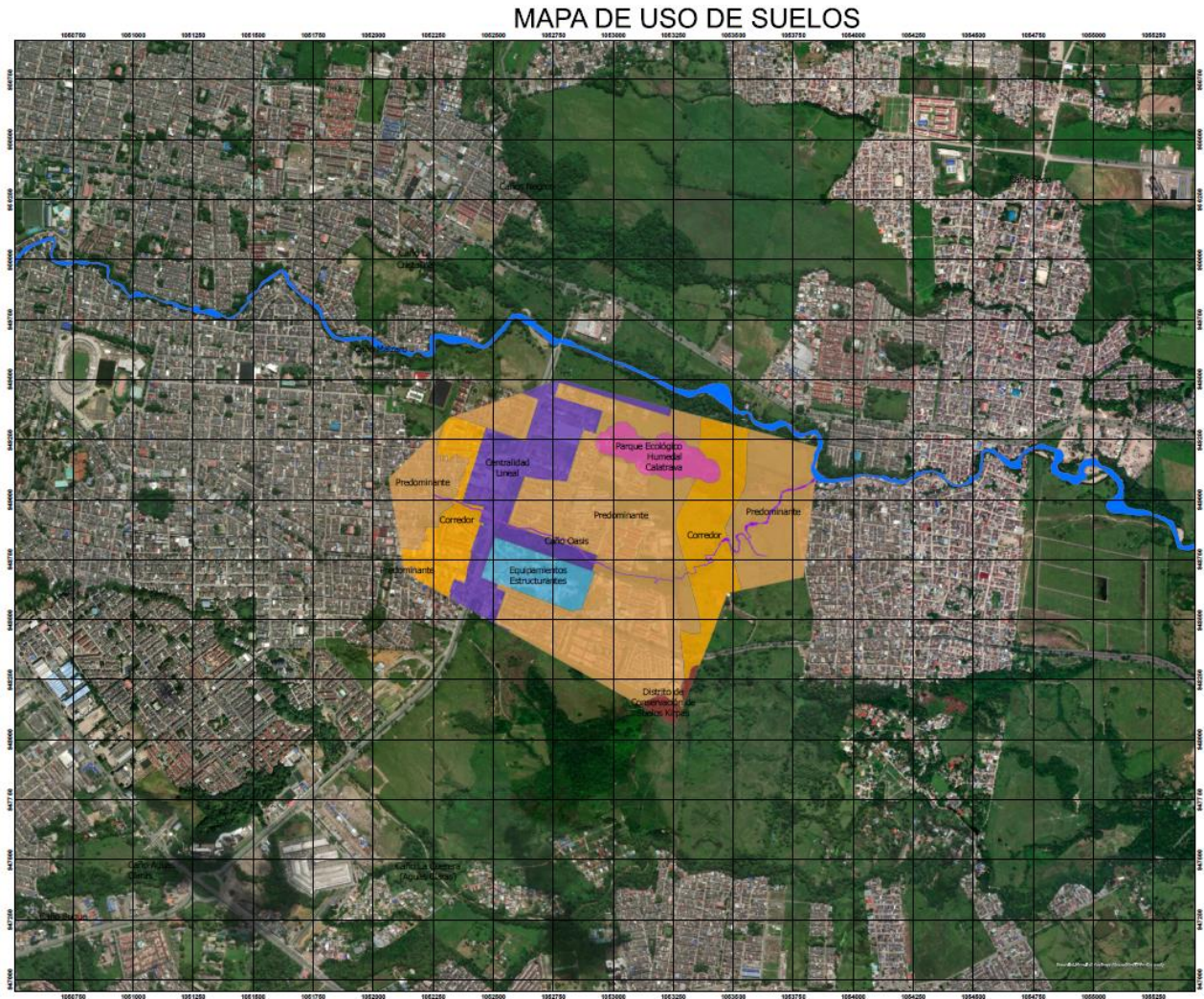
En la figura 6 se identifica un 40% de zona boscosa o bosque denso de tierra firme, estas zonas corresponden a las áreas con vegetación de tipo arbóreo. Estas formaciones vegetales no han sido totalmente intervenidas, una posible causa es la exposición a la que se encuentran a simple vista por procesos de inundación.

Un 60 % del área de estudio se ve ocupado por la zona urbanizada de uso residencial o comercial, dentro de esta zona se encuentra tejido urbano continuo donde hay presencia de vegetación que no es tan notoria en los barrios, y el tejido discontinuo corresponde al asentamiento subnormal en donde las edificaciones están construidas de manera dispersa en la zona colindante al área de bosque abierto.

12.2 Uso del suelo



Los estudios de cobertura y uso de la tierra suponen analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada (Vargas Gámez, 1992). Su importancia radica en que, a escala global, regional y local, cambios en el uso de la tierra están transformando la cobertura a un paso acelerado. Con la realización de análisis multitemporales apropiados se pueden establecer, sobre un área, labores de predicción, prevención, determinación de escenarios futuros, monitorización de ciertos elementos del medio natural, así como la estimación del cambio producido en las diferentes clases de uso y ocupación de la tierra, tal como se muestra en la figura 7. Para entender los cambios del uso de la tierra en el pasado y proyectar trayectorias futuras se requiere entender las interacciones de las fuerzas humanas que motivan la producción y el consumo (Turner et al., 1993).

Figura 7. Mapa del uso del suelo en la zona de estudio. Escala 1:5.000



CONVENCIONES

RIOS Y CAÑOS

-  CAÑO MAIZARO
-  BRAZO CAÑO MAIZARO

USO DE SUELO







-  CENTRALIDAD LINEAL
-  CORREDOR
-  DISTRITO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS KIRPAS
-  EQUIPAMIENTOS ESTRUCTURANTES
-  PARQUE ECOLÓGICO HUMEDAL CALATRAVA
-  PREDOMINANTE

Figura 8. Relación porcentual del uso del suelo en la zona de estudio.

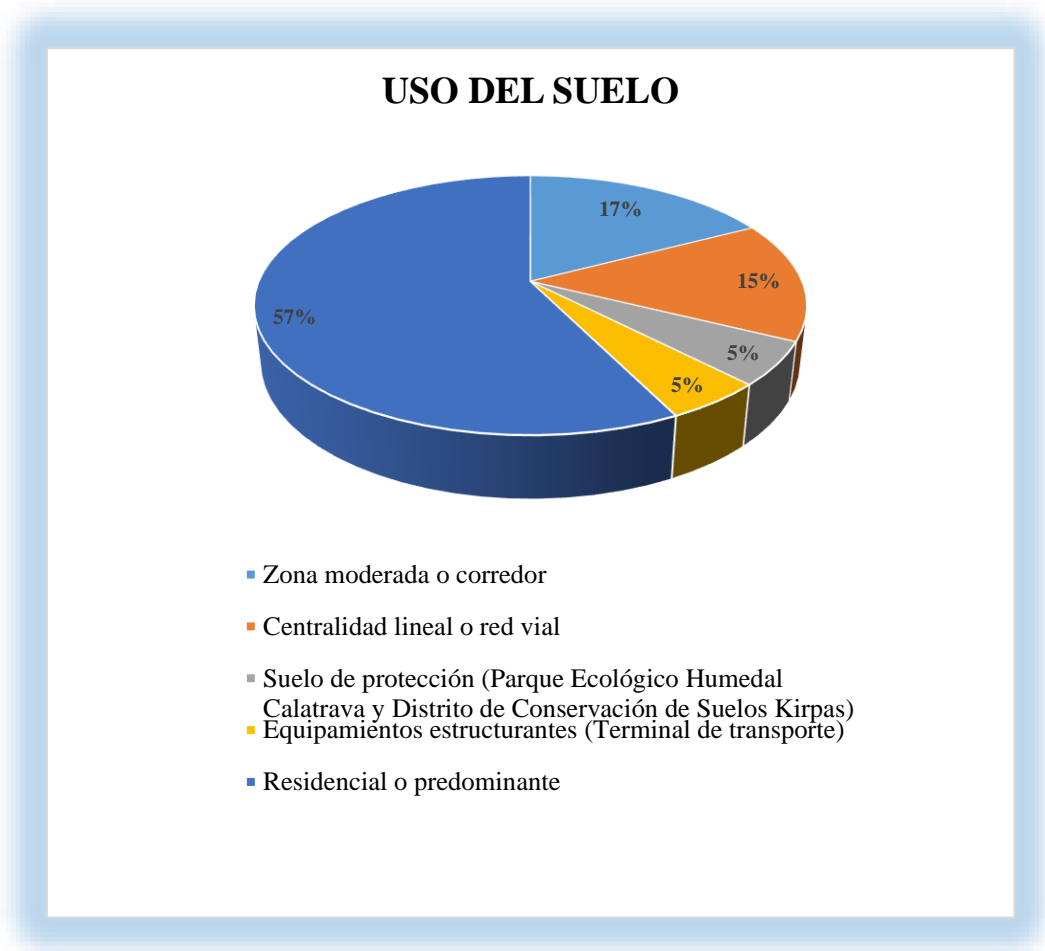


Tabla 1. Áreas clasificación de uso del suelo

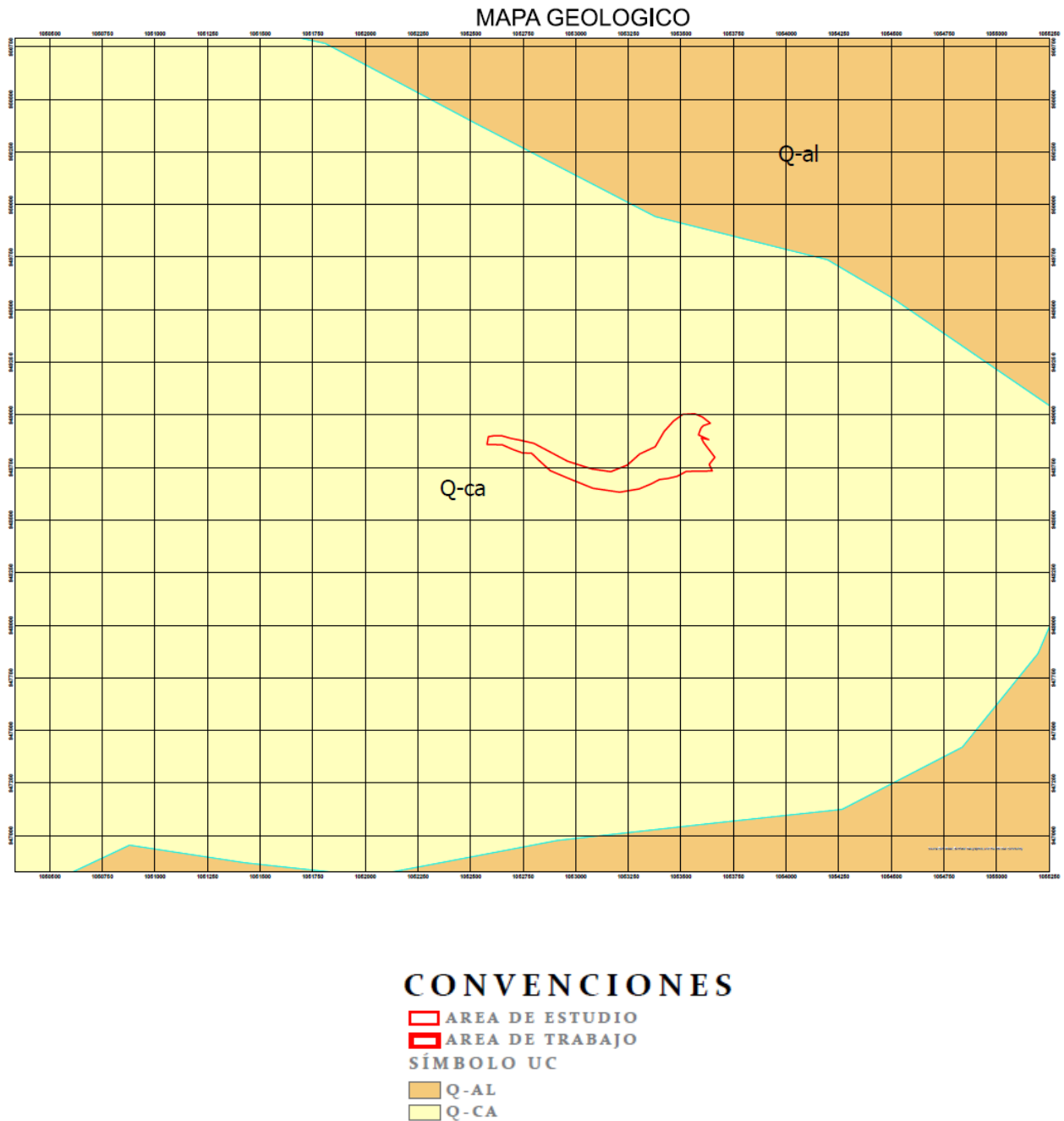
Uso del suelo	Área (m2)
Zona moderada o corredor	278141
Centralidad lineal o red vial	240332
Suelo de protección (Parque Ecológico Humedal Calatrava y Distrito de Conservación de Suelos Kirpas)	86625
Equipamientos estructurantes (Terminal de transporte)	79049
Residencial o predominante	920521

Con el desglose expresado en la figura 8 y la tabla 1, se evidencian respectivas áreas de clasificación del suelo en la zona, por lo que se visualiza un 17% de zona moderada o corredor, que corresponde a los conjuntos ubicados al frente de la zona de estudio, también se encuentra la red vial correspondiente al 15% de la totalidad del uso del suelo, el cual es un porcentaje relevante, pues ocupa un área relevante. El suelo de protección corresponde al 5% de la zona de estudio, pues se encuentran presentes el Parque Ecológico Humedal Calatrava y el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas. Existe un equipamiento estructurante como la Terminal de Transporte del municipio de Villavicencio que ocupa otro 5% de la zona de estudio. Por último, pero no menos importante, la zona residencial corresponde al 57% restante, la mayor cantidad de área ocupada en la zona de estudio y sus alrededores.

12.3 Geología

El mapa de geología se elabora a partir de las unidades cronoestratigráficas, las cuales permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permitan realizar los análisis de estabilidad. El primer aspecto es diferenciar los materiales aflorantes entre suelos y rocas, el segundo es definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso, y el tercer aspecto es caracterizar los materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas.

Figura 9. Mapa de geología de la zona. Escala 1:5.000.



Este mapa (figura 9) contiene información acerca de la distribución del suelo y las rocas, así como sus propiedades físicas y mecánicas, las características del relieve y los procesos geodinámicas que son considerados los componentes básicos del ambiente geológico.

A continuación, se describen las unidades litoestratigráficas aflorantes en el área:

- **Depósitos de abanico fluvio-torrencial (qca)**

Estos depósitos son de origen fluvio-torrencial clastosoportados, compuestos por cantos y bloques angulares a sub redondeados, de brechas, cuarcitas, filitas, lodolitas rojas y areniscas, siendo estas últimas más escasas. La matriz es limo-arcillosa. En su parte superior se desarrollan suelos delgados de hasta 1,5 metros, arcillosos, de color naranja, oxidado e impermeables, con cantos altamente meteorizados. La cual es la predominante en la zona (INGEOMINAS, 2002).

- **Depósito de llanura aluvial baja (Qal)**

Son sedimentos recientes que han sido transportados por crecientes normales o interanuales de los ríos y caños del área, formando terrazas bajas con alturas no mayores de 2 metros, en los que se incluyen depósitos de canal y puntos de barras.

Estos depósitos se componen en general de clastos subredondeados a redondeados de cuarcitas, areniscas, areniscas conglomeráticas y lodolitas rojas de diversos diámetros, pero no mayores a 1 metro, la matriz es areno-limosa (INGEOMINAS, 2002).

12.4 Pendientes

La pendiente es un factor principal que controla los procesos gravitacionales. Cuando en el caño en estudio se incrementa en poco tiempo la cantidad de agua que fluye en él, que en este caso es por el ingreso de agua lluvia, se dice que se ha producido una avenida. Ésta podría originar la inundación cuando el nivel de agua del caño Maizaro se excede en las elevaciones de los márgenes de su cauce. Dependiendo de la rapidez con que se presenta el cambio en la cantidad de agua, se puede hablar de avenidas súbitas, las cuales tienen un fuerte efecto destructivo debido a que concentran en un lapso corto una gran cantidad de agua con una fuerte velocidad, lo que las hace considerar muy destructivas.

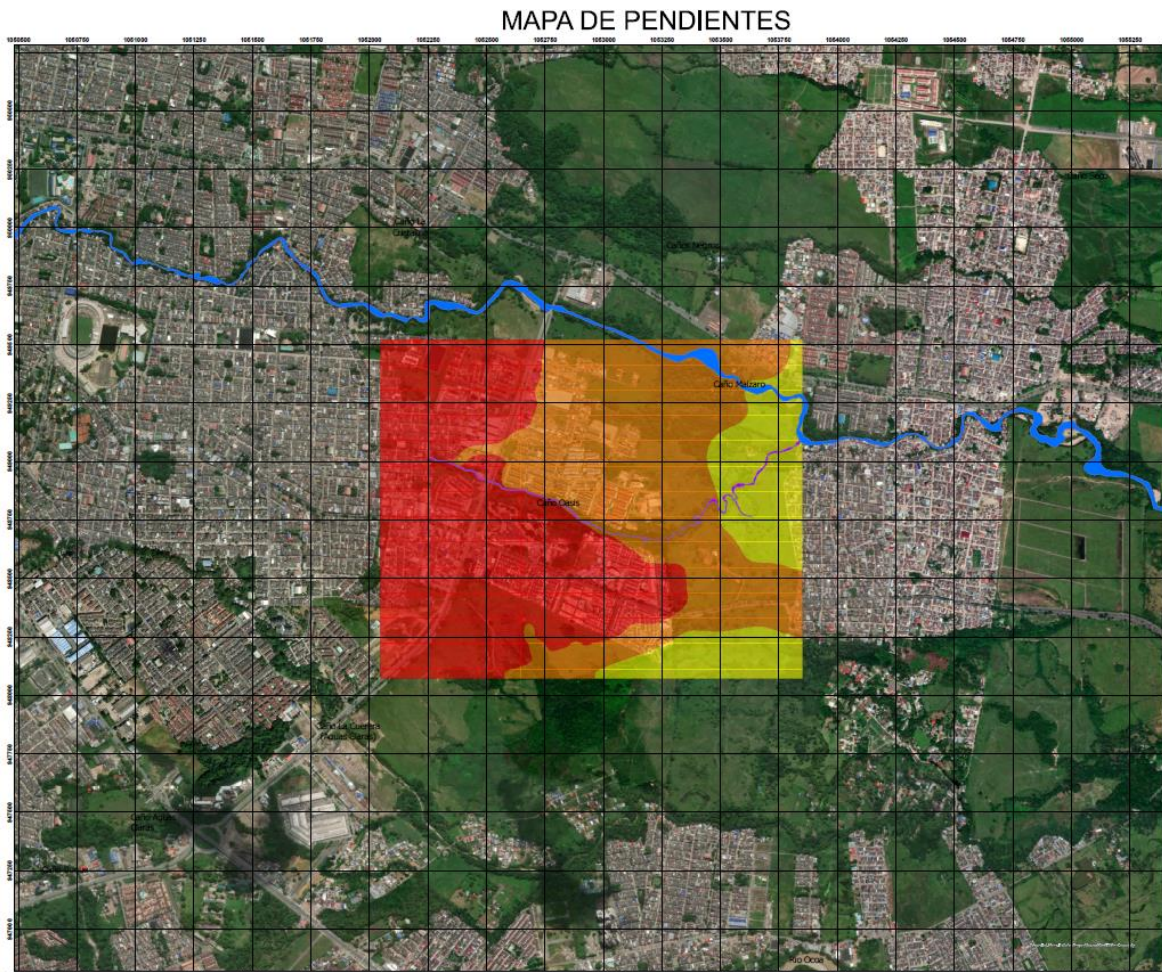
De acuerdo con la Legislación Colombiana de Avalúos Resolución No. 2965 de septiembre 12 de 1995, el terreno la clasificación por pendientes es la resultante de dividir la diferencia de nivel entre dos puntos (alto y bajo) por la distancia horizontal entre ellos, expresado en porcentaje.

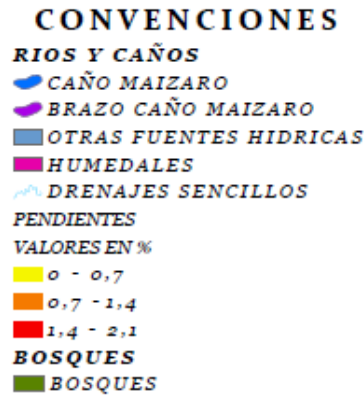
Tabla 2. Clasificación de pendientes

Clasificación	Pendiente (Ángulo de inclinación)
Muy baja	0% a 5% (0° a 8.5°)
Baja	15% a 30% (8.5° a 16.7°)
Mediana	30% a 50% (16.7° a 26.6°)
Alta	50% a 100% (26.6° a 45°)
Muy alta	Más de 100% ($>$ de 45°)

NOTA. J. Suárez (1998)






Figura 10. Mapa de pendientes de la zona de estudio. Escala 1:5.000





El análisis de este factor se efectuó a partir de la información obtenida que permitió generar el mapa de pendientes (figura 10), realizado con base en tecnologías radiométricas. El criterio para establecer los rangos de pendiente fue tomado de Suárez (1998) para la tabla 2 y tabla 3. Estos rangos se transformaron de formato ráster a formato vectorial, para efectos de su manejo.

Tabla 3. Pendientes del área en estudio

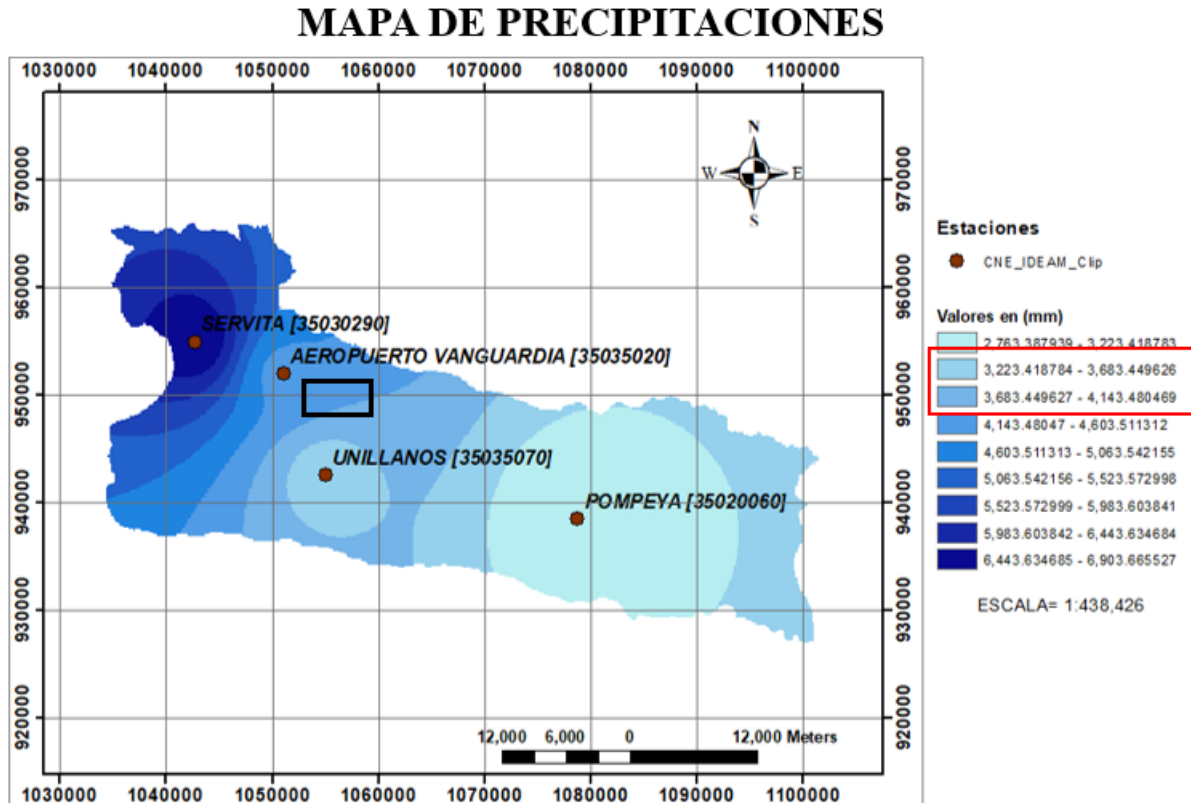
Color	Pendiente	Porcentaje de inclinación	Ángulo de inclinación
	Ligeramente ondulada	0% - 15%	0° - 8.5°
	Fuertemente ondulada o inclinada	15% - 30%	8.5° - 16.7°
	Moderadamente escarpada	30% - 50%	16.7° - 26.6°
	Moderadamente empinada	50% - 100%	26.6° - 45°
	Fuertemente escapada o empinada	> 100%	> 45°

NOTA. Adaptada de J. Suárez (1998)

Con el mapa (figura 10) se definieron las pendientes de la zona donde se denota un predominante terreno ligeramente ondulado. Un terreno inundable es un terreno llano o un terreno ligeramente ondulado, las llanuras de inundación son áreas de superficie adyacentes a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes.

12.5 Isoyetas

Figura 11. Mapa de Isoyetas (precipitación anual) de la zona de estudio. Escala 1:5.000



El mapa de la figura 11 presenta nueve áreas geográficas de precipitación en todo el municipio de Villavicencio. Dos de las áreas geográficas se encuentran entre la zona de estudio representando valores de 3.223 mm – 3.683 mm y 3.683 mm – 4.143 mm, respectivamente.

12.6 Aspectos hidrometeorológicos

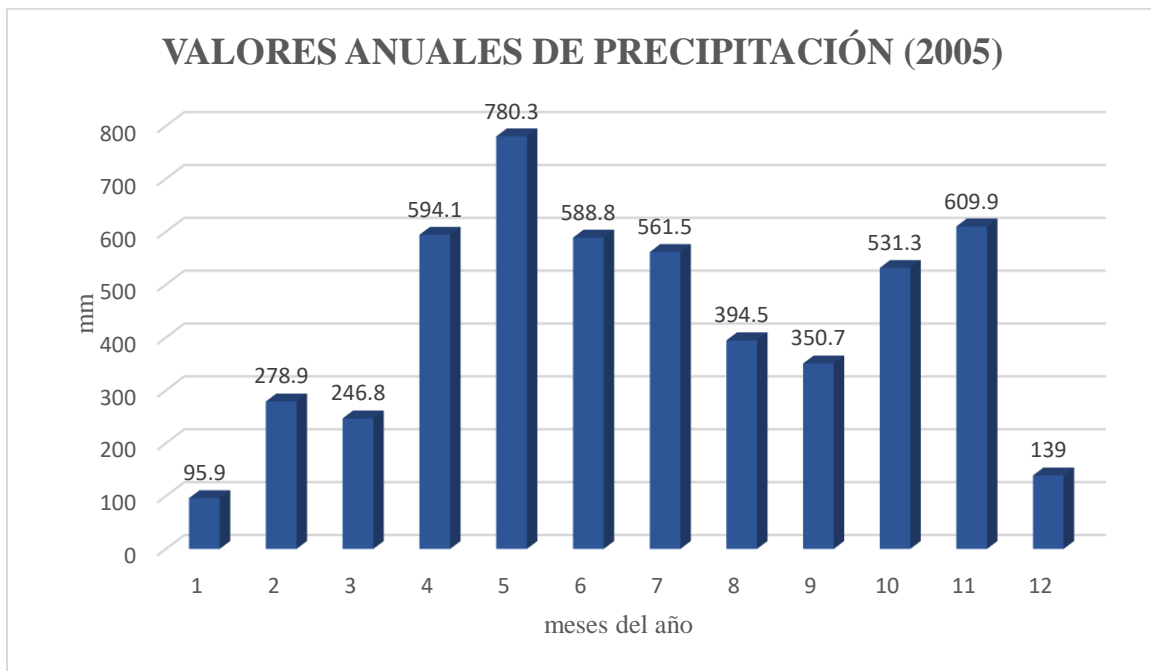
La climatología de la zona de estudio fue realizada por medio de la obtención de datos de la estación climatológica Vanguardia, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Villavicencio, y muy cerca al área en estudio. Esta información fue obtenida mediante el sitio web oficial de El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Ya obtenida la información de la estación, se procede a analizar los datos mes a mes, desde el año 2003 hasta el 2023, abarcando un histórico de 20 años.

Este proceso se llevó a cabo mediante la utilización del software Excel, donde se pudieron establecer los años con mayor y menor precipitación a nivel general abarcando los 20 años en estudio, valores que además se graficaron para deducir de mejor manera su comportamiento.

12.6.1 Precipitación Anual

De acuerdo con los valores anuales de precipitación registrados desde 2003 al 2023, se determina que en el año 2005 se presentó la precipitación máxima total durante este periodo de 20 años (figura 12), siendo mayo el mes con el pico más alto de precipitaciones con 780.3 mm, seguido por el mes de noviembre y el mes de abril del mismo año, que se encuentran en un rango de 590 mm y 610 mm.

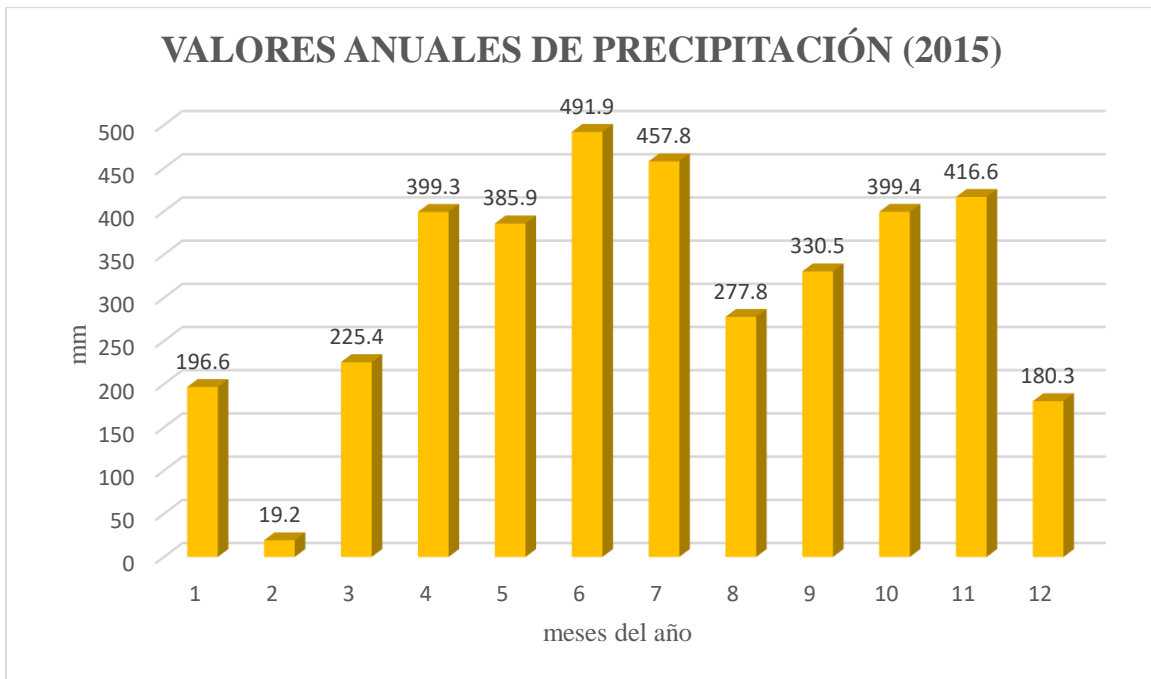
Figura 12. Valores anuales de precipitación año 2005 en Villavicencio (mm)



Además, gracias a la figura 13 se determinó que el año con menores precipitaciones durante el 2003 y el 2023 fue el año 2015, que registró valores mínimos a comparación de los otros años.

El mes de junio fue el mes con el pico más alto de precipitaciones con 491.9 mm, seguido por el mes de julio del mismo año con un valor de 457.8 mm, que aún siguen siendo valores muy bajos.

Figura 13. Valores anuales de precipitación año 2015 en Villavicencio (mm)



12.7 Amenaza por inundación

Las inundaciones son producidas por exceso de agua, invadiendo áreas que en condiciones normales están secas. Este fenómeno desempeña un papel importante en la regulación de los sistemas hídricos, por esta razón, cuando se modifican dichos sistemas o se ocupan las áreas susceptibles de ser inundadas pueden generarse afectaciones (IDIGER, 2023).

El asentamiento de viviendas en zonas de ronda y, de manejo y preservación ambiental de los cuerpos de agua, aumenta la vulnerabilidad a que se presenten eventos de inundación, ya que dichas viviendas se pueden ver afectadas por el aumento del nivel en los cuerpos de agua, de la misma manera pueden afectar las márgenes de los ríos y quebradas por la realización de excavaciones no controladas para la cimentación de las viviendas y por el constante tránsito de todo tipo de vehículos (IDIGER, 2023).

Adicionalmente, a partir del registro de eventos por encharcamientos reportados en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Cambio Climático – SIRE, se han identificado las zonas de la ciudad en las que durante los últimos años se ha presentado mayor densidad de encharcamientos, los cuales se deben en principal medida a fallas funcionales en el sistema de drenaje de la ciudad y a los fenómenos climáticos de fuertes precipitaciones (IDIGER, 2023).

El siguiente mapa muestra las zonas de amenaza por inundación presentes en la zona de estudio, este mapa se elaboró mediante la combinación de las capas de los mapas temáticos realizados como cartografías básicas con su respectiva clasificación o importancia, generando tres niveles de amenaza, las cuales son: amenaza baja, amenaza media y amenaza alta.

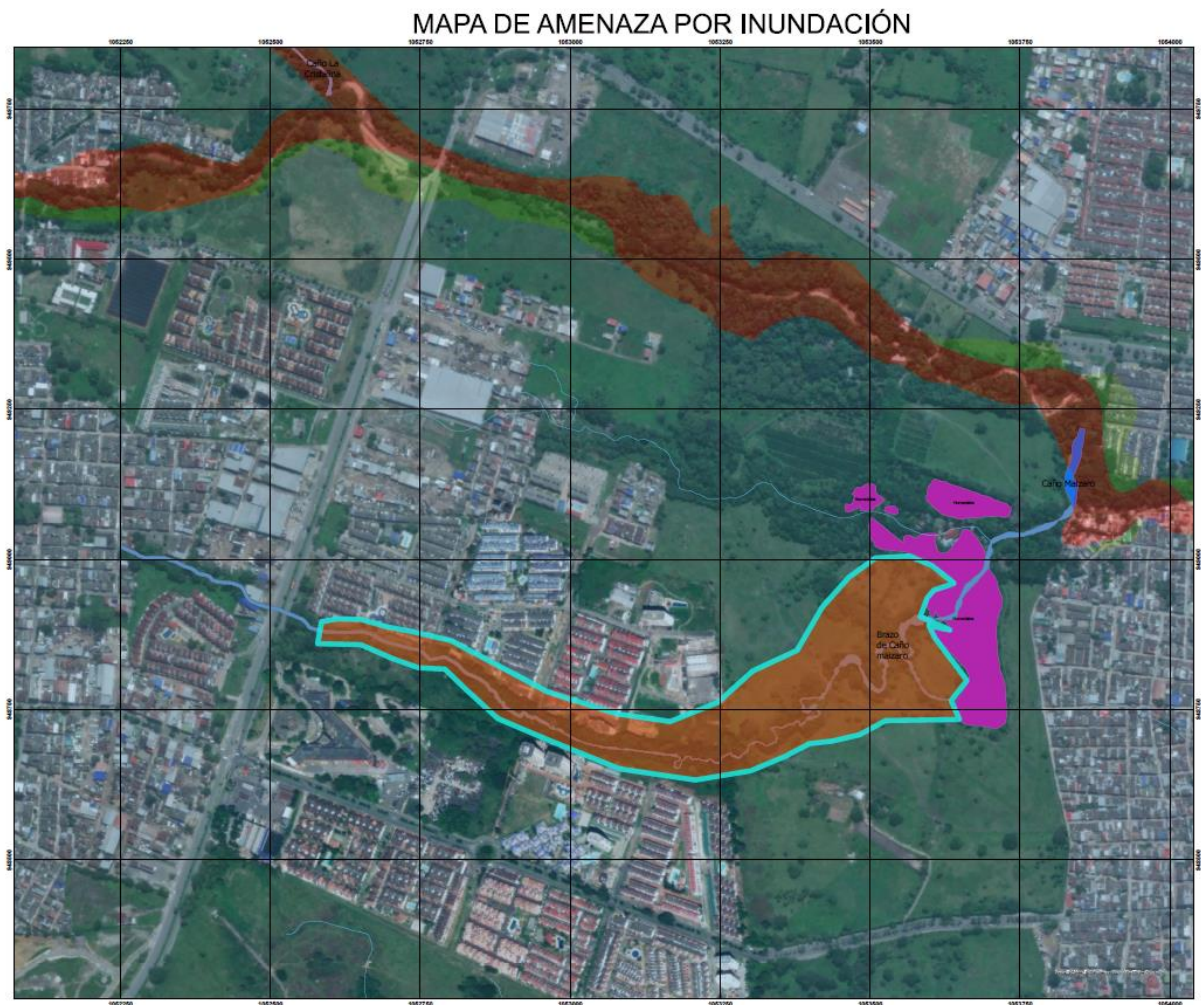
Para determinar la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones, en este estudio se tuvieron en cuenta las unidades geomorfológicas y con esto se valoraron las áreas afectadas (atendiendo a los registros de los reportes sobre inundaciones) y definieron las áreas de susceptibilidad en función del potencial grado de afectación.

Para lo anterior, se ha tenido en cuenta una escala cualitativa de calificación de la susceptibilidad, de la siguiente forma (figura):

- Baja: en esta categoría se localizan las áreas correspondientes a las vegas de divagación subreciente, corresponde al área natural de inundación del lecho mayor.

- Media: bajo esta categoría se ubican las áreas correspondientes a las vegas de divagación reciente, corresponde al área natural de inundación del canal de movilidad y el lecho mayor.
- Alta: corresponde a las zonas de influencia fluvial, como son los bancos de arena e islas fluviales, corresponde principalmente al canal de movilidad de los cauces activos y aquí representan procesos naturales.

Figura 14. Mapa de zonificación de la amenaza por inundación en la comuna cinco de Villavicencio, en los barrios Sindamanoy II, Nueva Esperanza y Bosques de Morelia. El área de inundación mostrada aquí fue la que afectó a los barrios en el evento de 2012



- CONVENCIONES**
-  *AREA DE ESTUDIO*
 - RIOS Y CAÑOS**
 -  *CAÑO MAIZARO*
 -  *BRAZO CAÑO MAIZARO*
 -  *OTRAS FUENTES HIDRICAS*
 -  *HUMEDALES*
 -  *DRENAJES SENCILLOS*
 - AMENAZA DE INUNDACION**
 -  *ALTA*
 -  *BAJA*
 -  *MEDIA*

Se observa en la figura 14 que la zona presenta una amenaza baja, pero aun así se ve la susceptibilidad de amenaza por inundación debido a la cercanía del brazo del caño Maizaro a los barrios aledaños y los cuales están en estudio.

13. Análisis de resultados

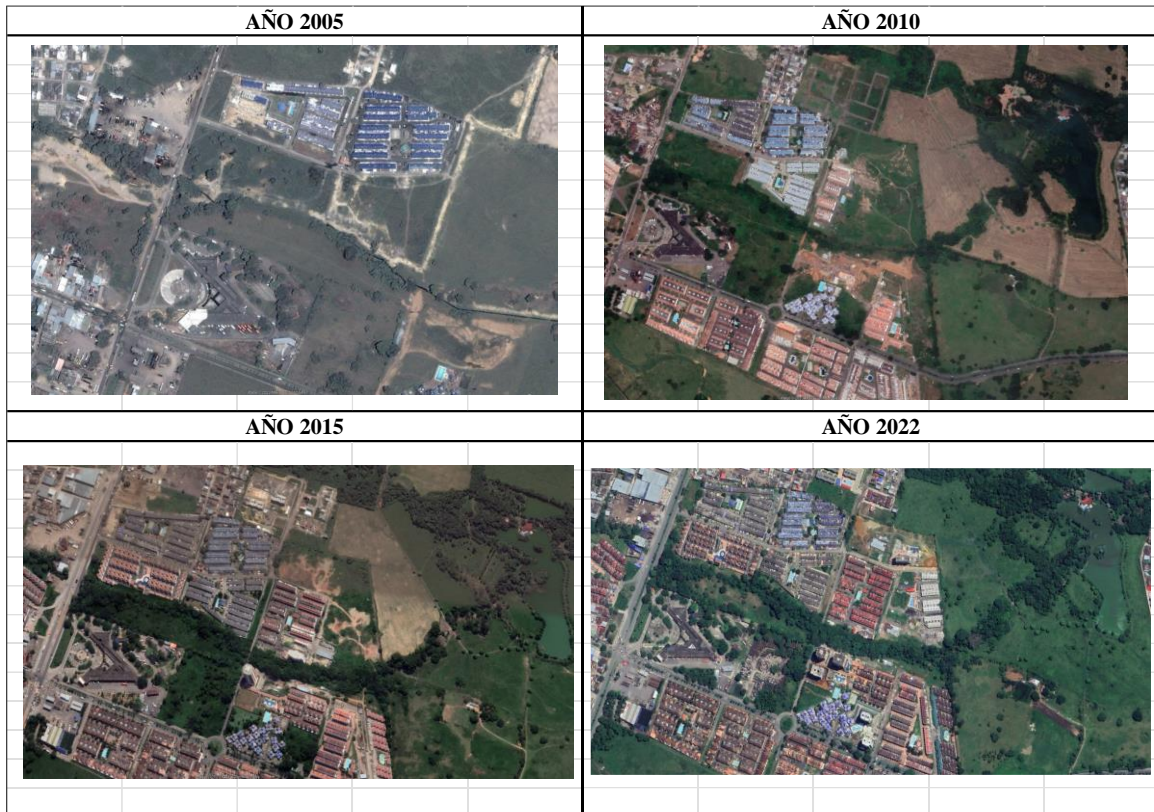
El cambio de la cobertura del suelo ocurre con rapidez y en grandes magnitudes, lo que genera la pérdida de la cobertura boscosa y disminución de la calidad del suelo, afectando de manera directa a las comunidades que se asientan en esta zona.

Se realiza un análisis multitemporal (figura 15) con el fin de detectar cambios entre fechas de referencia y así permitir deducir la evolución o deterioro del suelo, sea por intervención humana o por acción natural. Para entender la génesis de la problemática generada por las inundaciones, a continuación, se integran los escenarios evaluados en el tramo estudiado del brazo caño Maizaro y su interacción con el municipio de Villavicencio.

En la figura 15 se muestra cómo ha sido el cambio de la ocupación urbana del suelo en relación con el lecho mayor del brazo del Caño Maizaro. De esta imagen se resalta el desarrollo del municipio (en términos de ocupación del espacio), que ha incrementado su superficie en cerca del 100% durante el periodo de análisis. El análisis temporal se hizo con el uso de imágenes tomadas de Google Earth, que gracias a esto se pudieron definir las transiciones o zonas de cambio de la cobertura de la zona en estudio desde el año 2003. En cuanto a la ocupación del territorio, se consideró toda la exigencia obtenida del crecimiento del perímetro urbano de Villavicencio desde el año 2005, en donde se visualiza el inicio del cambio del tipo del suelo.

Es importante recalcar que la precipitación mayor en el lapso de los 20 años de estudio ocurrió en el 2015 (figura 13), pero en ese año no hubo evento de inundación, a lo que se presume, se piensa o se supone que el evento de la inundación no obedeció a la precipitación sino a otra causa, la cual posiblemente puede ser la obstrucción del cauce por causa de basura en el caño, por el mal manejo de residuos sólidos tal como se puede observar en la figura 1.

En el cauce contiguo al puente del anillo vial se observan gaviones y muros de contención (figura 2) que bordean el cauce que se suponen fueron colocados luego del evento de la inundación del 2012, pues por fotografías aéreas anteriores no se denota.

Figura 15. Análisis multitemporal de la zona de estudio mediante fotografías satelitales

Así mismo, se destaca que el brazo del caño Maizaro cuenta con una movilidad lateral recurrente dentro de unos límites naturales, lo que lo convierte en un cauce que en el futuro la sedimentación puede generar procesos de socavación lateral que afectarían directamente el perímetro urbano de Villavicencio.

14. Conclusiones

Según el análisis de la información consultada de todo el estudio, se evalúa la vulnerabilidad por medio de diferentes herramientas y datos históricos a través del tiempo. Se obtiene que a pesar de que la vulnerabilidad de inundación de estos barrios o de este sector parece ser baja, según la información mostrada en el mapa de zonificación de amenaza por inundación (figura 14), se encuentran datos relevantes como bajas pendientes, que oscilan entre los valores de 0% y 15%; lo que traslapando estas pendientes con unas de entre 10% y 30%, y teniendo en cuenta cotas mínimas se convierte en una zona muy propensa para estancamiento de fuentes hídricas y poco flujo de estas. Si bien es cierto, la construcción de obras de protección (figura 2) ayudó bastante a canalizar el flujo de esta vertiente conduciéndolo aguas abajo a una zona que no está dentro de este estudio.

En las imágenes históricas de los años anteriores a la construcción de los conjuntos (figura 15) se observan bajas composiciones de vegetación, lo que indica posibles flujos constantes de agua por toda la zona y desbordamientos del caño en estudio por lo mencionado anteriormente.

Según lo indican los análisis hidrometeorológicos a través del tiempo, el año que presentó los picos más altos de precipitación fue el año 2005, teniendo lecturas de precipitación de más de 700 mm, generando de esta manera crecientes súbitas y desbordamientos de esta vertiente en estudio, pero en general los meses de mayo, junio y julio son los que suman las mayores precipitaciones en lo corrido del año.

Lo más relevante del estudio es evaluar la vulnerabilidad, cuando se habla de esto hay que involucrar principalmente a personas, por lo que se evidencia el 57% del uso del suelo doméstico o residencial, donde se ve una afectación a más de la mitad de la zona, principalmente a viviendas ocupadas por familias enteras. Es importante recalcar que estas inundaciones pueden llegar a alcanzar más de los 1,5 m de profundidad generando grandes pérdidas materiales y hasta humanas si no se actúa con responsabilidad y precaución ante una eventualidad de estas.

De la interrelación del análisis temporal se deduce:

- Una dinámica poblacional muy alta, lo cual es una medida en función de la ocupación del terreno.

- La dinámica del brazo del caño en estudio, en este tramo es controlada por rasgos fisiográficos naturales, mientras que la dinámica de la ocupación del terreno no atiende a ningún límite en su expansión.
- Este último aspecto hace que la población invada progresivamente los límites naturales de migración del brazo del caño Maizaro, con lo que se expone a fenómenos naturales recurrentes que causan pérdidas.

El POT vigente (Alcaldía de Villavicencio, 2015), indicó que esta cuenca presenta susceptibilidad para generar inundaciones. Dado que este POT fue emitido luego de 2012, cuando ocurrió la inundación, simplemente confirmó esta amenaza.

15. Recomendación

En la parte baja de la cuenca aguas abajo de los barrios, se recomienda no ser ocupado en la zona de influencia o rondas del caño tal como lo estima el Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS, 2002) y el POT vigente (Alcaldía de Villavicencio, 2015). Esta zona es susceptible de inundación en un área muy amplia tal como ya se indicó en este trabajo en la **Figura 14**.

16. Referencias bibliográficas

Aldana, G. (2010). Simulación del patrón de flujo y del tiempo de retención hidráulico en lagunas de estabilización y reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) a través de un modelo físico. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, v.33 n.1. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702010000100007&script=sci_arttext

Castañeda, C, J. L. (2012). Inundación en el Conjunto Nueva Esperanza, [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=qbQQVX19TPc>

Cepal, N. U. (2014). Manual para la Evaluación de Desastres. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/35894>

Chacón, C. A. (2017). Metodología para evaluar la vulnerabilidad física de viviendas en barrios urbanos autoproducidos. *Terra. Nueva Etapa*, 33(53), 197-218. <https://www.redalyc.org/pdf/721/72152384009.pdf>

Chirivi, L. V., Moncada, J. L., Palacio, M. E., Rojas, C. P., Moreno, D. A., & Ortíz, L. M. (2012). Diseño de un programa de educación para la reducción del riesgo de inundaciones en la comunidad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Adventista de Colombia]. Repositorio <http://repository.unac.edu.co/handle/11254/376>

Cruz, A. N. (2019). Análisis de las amenazas por procesos de remoción en masa en el Barrio San José de la Ciudad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio]. Repositorio <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15584?show=full>

De Comercio De Bogotá, C. (2013). Plan de Ordenamiento Territorial Bogotá - Cámara de Comercio de Bogotá. Retrieved from <https://www.ccb.org.co/Transformar-Bogota/Gestion-Urbana/Ordenamiento-territorial/Plan-de-Ordenamiento-Territorial-Bogota>

Ferrari, M. P. (2012). Análisis de vulnerabilidad y percepción social de las inundaciones en la ciudad de Trelew, Argentina. Cuadernos de Geografía Revista Colombiana de Geografía, 21(2), 99–116. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-215X2012000200008

Función Pública, (2012). Ley 1523 de 2012 - Gestor Normativo. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2022). Gestión del Riesgo de Desastres. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/gestion-del-riesgo-de-desastres/>

Hidalgo, M., & Camilo, J. (2020). 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. [Trabajo de grado, Universidad Antonio Nariño]. Repositorio <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2262>

Hernández, A. y Ramírez, A. (2016). Evaluación del Riesgo Asociado a la Vulnerabilidad Física por Taludes y Laderas inestables en la Microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. Ciencia e Ing. Neogranadina, 26(2):111-128. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v26n2/v26n2a07.pdf>

Herrera, M y Navarro, O. (2021). Evaluación de riesgo de desastre por inundación usando herramientas SIG y HEC HMS y RAS para el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas, Pinilla La Cuerera de la ciudad de Villavicencio – Meta. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/fe30c674-859c-44c7-af97-34d059885d16>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático- IDIGER, (2015). Panorama general de riesgo. Soporte del Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (PDGR-CC). Retrieved from <https://www.idiger.gov.co/rmovmasa>

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER, (2023). Riesgo por Inundación. Retrieved from <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D. C., 72p. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10707>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2022). Inundaciones. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/agua/inundaciones>

Jaraba, D. C. M., Padilla, R. A. C., Peñaranda, C. E. J., Martínez, E. E. R., & Navarro, F. D. L. (2021). Amenaza y vulnerabilidad por inundación del brazo de Mompóx (Río Magdalena), corregimiento de Cantera, Bolívar, Colombia. Fundación Dialnet. Vol. 19, Nº. 2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7997620>

Ministerio de Vivienda, (2014). Guía metodológica para el inventario de asentamientos en zonas de alto riesgo. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-aplicacion-asentamientos.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2021). Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/amenaza-vulnerabilidad-y-riesgo/>

Organización Meteorológica Mundial WMO N-385 (2012). Glosario Hidrológico Internacional. UNESCO Ginebra 2 Suiza. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>

Organización de los Estados Americanos, (2009). Definición de llanura de inundación y evaluación del peligro de inundaciones. Retrieved from <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea65s/ch13.htm>

Ribera, L. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Anales de Geografía*, n° 43, 153-171. <https://ddd.uab.cat/pub/dag/02121573n43/02121573n43p153.pdf>

Segura Gutiérrez, G. A., & Vargas García, J. A. (2022). Determinación de las zonas de inundación del caño Maizaro, en el tramo del barrio La Vainilla, Villavicencio-Meta, por medio de los softwares HEC-RAS y HEC-HMS. [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1991

Tibabuzo, M. J., & Sánchez, J. D. (2021). Estudio indicativo de la vulnerabilidad frente a las amenazas naturales de la parte alta de la comuna dos del municipio de Villavicencio Meta. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/32184>

Torres, C. F. N., Díaz, S. A., y Chicangana, G. (2014). Vulnerabilidad de la Comuna cinco de Villavicencio frente a las amenazas naturales. *Revista electrónica Cap&Cua*, 11. Vol. 11, Nº. 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4763410>

Turner, B. L. II, R. H. Moss, and D. Skole. (1993). Relating Land Use and Global Land- Cover Change: A Proposal for an IGBP- HDP Core Project. International Geo- Sphere-Biosphere Programme, Stockholm, Sweden. Retrieved from <http://ciesin.org/docs/008-105/008-105.html>

Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, UNDGR, (2020). Mitigar la vulnerabilidad es responsabilidad de todos. Retrieved from <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Mitigar-la-vulnerabilidad-es-responsabilidad-de-todos.aspx>

Vargas Gamez E, (1992). Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=907>

Veloza Muñoz, W. A. (2017). Estudio de vulnerabilidad física como pauta para la gestión del riesgo en Macanal, Boyacá. [Trabajo de grado, Unidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/788>