



**Zonificación de amenaza por inundación teniendo en cuenta los parámetros morfométricos
de la microcuenca hidrográfica Caño Los Pendejos localizada en el municipio de
Villavicencio - Meta.**

Paola Andrea Mejía Álvarez

Juan Camilo Narváez Tovar

María Paula Ruiz Suta

Universidad Santo Tomás

Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas

Trabajo de Grado

Ciudad, Bogotá D.C.

INDICE DE CONTENIDO

1. Resumen	5
2. Introducción	7
3. Problema de Investigación	9
4. Justificación	10
5. Objetivos	11
5.1 Objetivo General	11
5.2 Objetivos específicos	11
6. Área de estudio	12
7. Estado del arte	14
8. Marco Referencial	16
8.1. Marco teórico	16
8.2 Marco Conceptual	21
8.2.1 Parámetros físicos y de forma	22
8.3 Marco Legal	27
9. Viabilidad	30
10. Método de investigación	31
10.1 Variables morfométricas	33
10.2 Áreas propensas a inundación	34
10.3 Diagnóstico y análisis de factores	36
10.4 Diagnóstico integral de factores condicionantes y detonantes de la amenaza por inundación	36
11. Resultados y Análisis	38
11.1 Parámetros morfométricos	38
11.1.1 Parámetros físicos y de forma	38
11.1.2 Parámetros de forma de relieve	41
11.2 Mapa Red Hídrica	42
11.3 Mapa de Pendiente	43
11.4 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones según el análisis morfométrico	45
12. Discusión	50
13. Conclusiones	55
14. Referencias Bibliográficas	59

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación del factor de forma.....	23
Tabla 2. Índice de compacidad para la evaluación de forma.....	23
Tabla 3. Clasificación de la red de drenaje.....	24
Tabla 4. Índice de alargamiento.....	25
Tabla 5. Marco legal.....	27
Tabla 6. Resultados análisis morfométrico.....	39
Tabla 7. Clasificación análisis de pendiente.....	44

Lista de Figuras

Figura 1. Delimitación de microcuenca caño Los Pendejos en el municipio de Villavicencio Meta.	13
Figura 2. Clasificación de red hídrica principal de acuerdo con curva hipsométrica.	26
Figura 3. Flujograma metodológico a partir de objetivos propuestos. Elaboración propia.....	31
Figura 4. Curva hipsométrica.....	42
Figura 5. Red hídrica microcuenca caño Los Pendejos.	43
Figura 6. Mapa de pendientes caño Los Pendejos.	45
Figura 7. Mapa áreas propensas a inundación.....	46
Figura 8. Mapa zonificación por inundación.....	47

1. Resumen

La Microcuenca Caño Los Pendejos localizada en Villavicencio Meta, es analizada mediante parámetros morfométricos a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de resolución 12,5 m procesado mediante sistemas de información geográfica, principalmente ArcGIS 10.8 según los lineamientos de caracterización hidromorfológica (MADS, 2015; Gaspari et al., 2013) con el objetivo principal de zonificar la amenaza por inundación para el área en estudio. La metodología incluyó el análisis de parámetros de área, perímetro, factor de forma, densidad de drenaje, pendientes, características geomorfológicas, entre otras. Los resultados principales muestran una microcuenca con un área de 2,92 km², una densidad de drenaje alta, cuenca alargada con un factor de forma de 0.79 como resultado de comportamientos de avenidas torrenciales de larga duración y con áreas de amenaza muy alta del 0,34% de la superficie localizadas en pendientes de 0-7% y amenaza alta del 8,22% en la transición piedemonte; características que definen a esta microcuenca con una susceptibilidad significativa a eventos por inundación.

Palabras Claves: Cuenca, morfología, morfometría, DEM, microcuenca, red hídrica, geoprocésamiento, ArcGis.

ABSTRACT

The Caño Los Pendejos micro-watershed, located in Villavicencio, Meta, was analyzed using morphometric parameters derived from a 12.5-m resolution Digital Elevation Model (DEM) processed through geographic information systems, primarily ArcGIS 10.8, following hydromorphological characterization guidelines (MADS, 2015; Gaspari et al., 2013). The main objective was to delineate the flood hazard zoning for the study area. Parameters such as area, perimeter, form factor, drainage density, slope gradients, and geomorphological features were evaluated. The results indicate a micro-watershed with an area of 2.92 km², high drainage density, and an elongated shape with a form factor of 0.79, suggesting long-duration flood peaks typical of morphometrically constrained basins. Very high hazard zones represent 0.34% of the total area, corresponding to slopes between 0–7%, while 8.22% of the basin—located in the piedmont transition—was classified as high hazard. These characteristics collectively define the micro-watershed as highly susceptible to flooding events.

Key words: Basin, morphology, morphometry, DEM, Microbasin, Water Network, Geoprocessing, ArcGis.

2. Introducción

La gestión y planificación de los recursos son aspectos fundamentales para el desarrollo sostenible de una región ya que garantizan el uso eficiente y responsable de los recursos naturales. El conocimiento detallado de las características morfométricas de las fuentes hídricas es crucial para comprender el comportamiento hidrológico, diseño y planificación de infraestructura (infraestructura hidráulica, protección contra las inundaciones), gestión de riesgos naturales, conservación y restauración ambiental, ordenamiento territorial y uso del suelo, monitoreo y evaluación de la calidad del agua, desarrollo de políticas públicas, entre otras. Sin embargo, en muchas áreas, esta información es escasa o inexistente, lo que dificulta la implementación de estrategias de acciones para la protección y uso responsable de estos recursos naturales.

La implementación de Modelos Digitales de Elevación (DEM) en Colombia ha demostrado ser una herramienta invaluable para la gestión y conservación de recursos hídricos, así como para la planificación territorial. Los avances tecnológicos y la integración de estos modelos en diversos proyectos han mejorado significativamente la capacidad de toma de decisiones informadas y sostenibles. Implementar los avances de los DEM es esencial para enfrentar los desafíos ambientales y de desarrollo sostenible en Colombia.

Así que la fuente hídrica Caño Los Pendajos, localizada en el municipio de Villavicencio, Meta, no es la excepción. La carencia de información actualizada desde el año 2005 (por el plan de ordenación de la cuenca del río Ocoa - informe final fase de aprestamiento y diagnostico) en la caracterización morfométrica detallada de esta microcuenca que fisiográficamente pertenece a la cuenca del río Guatiquía, subcuenca del río Ocoa al cual tributa sus aguas en la zona del piedemonte llanero. Este caño desempeña un papel vital en el suministro de agua para diversas

actividades económicas, tales como la agricultura, actividad pecuaria, ecoturismo, animales para el consumo doméstico y la preservación de la biodiversidad. A pesar de su importancia, no obtener datos actualizados sobre las características morfométricas de Caño Los Pendejos dificulta la elaboración de planes de gestión y conservación que sean adecuados y sostenibles. Sin esta información, resulta complejo identificar áreas críticas, planificar infraestructuras hidráulicas, prevenir riesgos naturales como inundaciones, deslizamientos, erosión del suelo, sequías, alteraciones en el ecosistema; permitiendo una planificación informada y la implementación de medidas preventivas efectivas que contribuyan a la sostenibilidad y resiliencia de las comunidades y ecosistemas locales.

El presente proyecto, pretende contribuir al entendimiento del comportamiento de la microcuenca hídrica caño Los Pendejos mediante el análisis de variables morfométricas y así mismo, determinar áreas propensas a posibles inundaciones con un análisis generalizado sobre la influencia de factores tanto geológicos como ambientales.

El estudio de las cuencas hidrográficas debe ser priorizada para el análisis ambiental ya que permitirá conocer y evaluar los componentes y demás procesos que interactúan en ella (Moreira, et al 2020). Convirtiéndose en área clave para el análisis de estudios geomorfológicos, geológicos, morfodinámicos y ambientales.

Por lo cual, se proponen la siguiente pregunta de investigación: (i) ¿Qué tan propensa se encuentra la microcuenca Caño Los Pendejos a presentar amenaza por inundación y cuáles son los factores que influyen en su susceptibilidad?, interrogante que se articula directamente con el objetivo general del estudio, orientado a realizar una zonificación de amenaza por inundación basada en parámetros morfométricos y condiciones físicas del territorio.

3. Problema de Investigación

La microcuenca caño Los Pendajos, localizada en el municipio de Villavicencio Meta, se encuentra expuesta de manera recurrente a eventos naturales amenazantes como inundaciones, especialmente en temporada de más lluvias presentes en el Departamento del Meta. Estas dinámicas de cambio en relación al clima, cambio del uso del suelo, urbanización no planificada, presión sobre franjas hídricas, erosión, sedimentación y socavación han generado la recurrencia de eventos como estos para el área en estudio. Adicionalmente la falta de estudio y caracterización de la zona genera una limitada información y conocimiento sobre la presencia de la amenaza para esta microcuenca, generando un vacío de información y una dificultad en la formulación de estrategias efectivas que permitan a las autoridades sectoriales formular una planificación territorial adecuada.

Adicionalmente, los estudios a detalle que incorporan información en diferentes ramas desde el aspecto técnico en estudios hidráulicos, hidrológicos, geotécnicos, geológicos, entre otros aportan una importante información, sin embargo, zonas como la de la microcuenca en donde no hay suficiente información y escasa instrumentación o registros continuos hacen que se presenten vacíos de información.

Con base en lo anterior y a partir de estos análisis de parámetros morfométricos con la inclusión de análisis a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) se presentan como una herramienta de gran significado para identificar estos parámetros geomorfológicos y así mismo conocer el estado actual de la microcuenca que contribuya al fortalecimiento tanto de la gestión de riesgo, planificación territorial y toma de decisiones para el municipio de Villavicencio Meta.

4. Justificación

Uno de los primeros pasos en el análisis hidrológico de cuencas hidrográficas lo constituyen los estudios morfométricos. La morfometría es una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico porque permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región (Wałęga, 2017). Así mismo, sirve como análisis espacial en el manejo y planificación de una cuenca hidrográfica ya que se conocen sus componentes como tamaño de la cuenca, red de drenaje, pendiente mediante otros aspectos (INE, 2004) El análisis morfométrico de las cuencas hidrográficas proporciona datos que permiten comprender el régimen hidrológico, así como las vulnerabilidades en términos de inundaciones, erosión y mantenimiento de la red de drenaje (Costa, 2020).

Dentro del análisis morfométrico varios de los parámetros se pueden obtener por métodos “a mano” es decir pueden ser calculados manualmente, sin necesidad de utilizar software especializado o herramientas digitales. Sin embargo, la forma más precisa y utilizada en la actualidad es a través del uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y una de las herramientas como ArcGIS, en su versión 10.8 y software específico como HEC-RAS 6.1, son utilizados frecuentemente en la caracterización y análisis detallado de terrenos y sistemas hidráulicos. Este es un sistema de información geográfica (SIG) ampliamente utilizado en todo el mundo. Permite la visualización, análisis y gestión de datos geoespaciales, incluyendo datos topográficos y de elevación. De este modo implementar esta herramienta es posible realizar una variedad de tareas, como la generación de perfiles longitudinales, la delimitación de cuencas hidrográficas y la extracción de parámetros morfométricos a partir de modelos digitales de elevación.

A nivel global y en el departamento del Meta investigaciones morfométricas son escasas, destacando el trabajo reciente del PORH (Plan de ordenamiento del recurso hídrico) en la fuente hídrica de aguas claras ubicado en el Dorado, caño Grande - Humachica ubicado en el municipio de Guamal y Castilla la Nueva, (PORH) de los caños Humachica y Grande y (POMCA)., 2022) por ello es necesario generar información base detallada que sirva para futuros diagnósticos.

A pesar de la importancia que tiene el análisis morfométrico en los estudios básicos de cuencas hidrográficas, muy pocos investigadores han incorporado este aspecto, sobre todo en cuencas con información limitada. Unido a ello este análisis es un insumo para conocer y las condiciones actuales desarrollando planos con base en la información de los resultados obtenidos de las variables morfométricas de la subcuenca, siendo parte de los primeros pasos para realizar la planificación en cuencas hidrográficas.

Pregunta de Investigación: ¿Qué parámetros morfométricos son determinantes para la zonificación de amenaza por inundación en la microcuenca del caño Los Pendejos, y cómo puede su análisis contribuir a la gestión del riesgo en Villavicencio?

5. Objetivos

5.1 Objetivo General

Realizar una zonificación de amenaza por inundación para la microcuenca caño Los Pendejos en el municipio de Villavicencio Meta identificando la posible causa de inundación para la microcuenca.

5.2 Objetivos específicos

- Analizar las características físicas de la microcuenca caño Los Pendejos mediante el

geoprocesamiento de datos por variables morfométricas.

- Determinar áreas propensas a inundación mediante análisis de aspectos geomorfológicos e hidrológicos de la microcuenca en estudio.
- Realizar un diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la susceptibilidad de amenaza por inundación para la microcuenca caño Los Pendejos.
- Generar mapas cartográficos para la zonificación por amenaza de inundación en el área del Caño Los Pendejos, como producto principal del estudio, que sirvan de apoyo a la planificación territorial y gestión del riesgo.

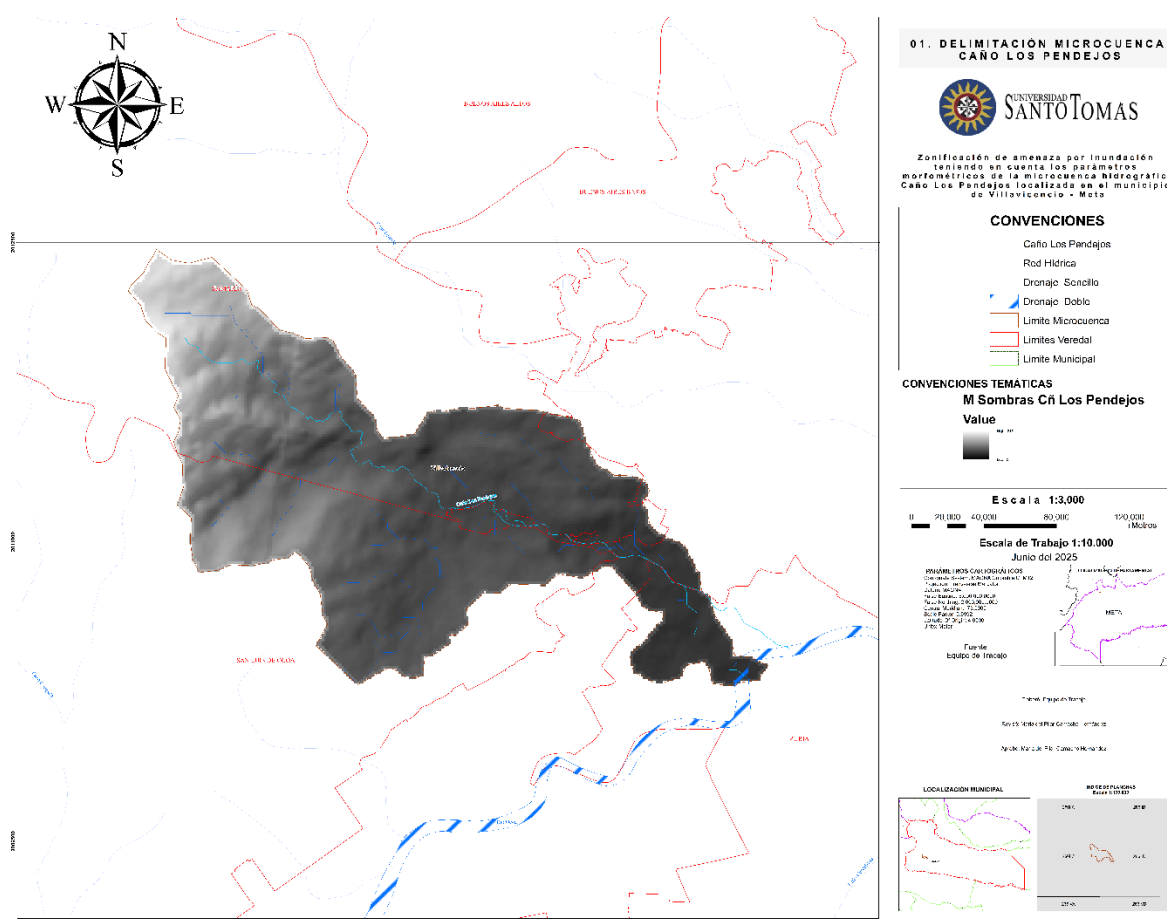
6. Área de estudio

La microcuenca hidrográfica caño Los Pendejos, se encuentra ubicada en el Departamento del Meta en el municipio de Villavicencio. Esta microcuenca se localiza geográficamente en las coordenadas 4°06'27.87" de latitud norte y 73°40'47.28" de longitud oeste; entre la zona de transición del piedemonte llanero y llanura aluvial del municipio, lo cual, la caracteriza por presentar una morfometría particular de pendientes variables, presencia de materiales de origen aluvial, coluvial y una red de drenaje que puede estar influenciada por condiciones tanto hidrológicas, geológicas, geomorfológicas del área de estudio.

Esta microcuenca hace parte del sistema hídrico del piedemonte llanero que se integra a la subcuenca del río Ocoa, uno de los afluentes más importantes del río Guatiquía que desemboca en el río Meta alimentado así al río Orinoco. Esta importante red hidrográfica esta caracterizada por una marcada estacionalidad climática, que, junto a sus características morfológicas como pendientes, tipo de suelos, adicional al crecimiento poblacional y perdida de cobertura vegetal

incrementan significativamente esa susceptibilidad a presentar amenazas por inundación al favorecer el aumento de caudales, escorrentías superficiales, entre otros aspectos. Esta microcuenca se encuentra alrededor de otras dinámicas fluviales como quebrada Aguas Claras, caño Maizaro, caño Buque, quebrada Blanca.

Figura 1. Delimitación de microcuenca caño Los Pendejos en el municipio de Villavicencio Meta.



7. Estado del arte

Es fundamental conocer cada parámetro morfométrico en cuencas empleando sistemas de información geográfica, de manera que se pueda lograr un análisis donde sea posible optimizar la información espacial y el comportamiento físico que tiene la cuenca; dichos análisis se integran para dar un conjunto de estimaciones que llevan a un control y/o aprovechamiento del recurso hídrico. Los estudios que involucran a estos parámetros están compuestos por un conjunto de variables lineales, de superficie, relieve y drenaje; las cuales permiten realizar comparaciones e interpretaciones de la función hidrológica, logrando así definir estrategias para el manejo de cuenca; en el siguiente cuadro comparativo se realiza una síntesis comparativa de tres estudios donde se menciona la metodología que utilizaron, resultados principales y como estos pueden incidir en la interpretación de la cuenca objeto de estudio (Gualdrón , Villate, Torres , Molina, & Reyes, 2022).

CUADRO COMPARATIVO

	Autores	Métodos	Resultados
<i>ESTUDIO 1</i>	Francisco Xavier Bravo Buri	A partir del Modelo Digital de Terreno y mediante los procesos estadísticos se generó la red hídrica de la cuenca, posterior a esta delimitación se procedió a generar los datos de parámetros morfométricos (Bravo, 2019).	Las variables morfométricas que se han estudiado tienen una conexión directa con los parámetros que explican la forma de la cuenca, como el factor forma, la relación de elongación y el coeficiente de compacidad. El coeficiente de rugosidad en la zona alta guarda una relación inversa con la elongación y el factor forma, pero no así con la compacidad, lo cual demuestra una dinámica morfométrica específica. Por último, se enfatiza la importancia de validar los hallazgos a través de información de campo que complementa el análisis hecho con

<i>ESTUDIO 2</i>	Félix Domínguez & Teobaldis Mercado	Se determinan indicadores dimensionales y de superficie, de la red hídrica y patrón de drenaje, estos parámetros morfométricos se realizaron mediante análisis sistemático con el software ArcGIS, se crearon varias capas temáticas con la información necesaria. El proceso se realizó de la siguiente manera: a) se delimitó la cuenca de estudio b) los datos DEM de la cuenca delimitada se importaron y se definieron parámetros: pendiente, orientación y mapas de relieve; c) con la capa de drenaje se realizó el ordenamiento de los flujos según la técnica de Strahler; d) análisis de características de la cuenca (Domínguez & Mercado, 2020).	ArcGIS (Bravo, 2019). El análisis morfométrico arroja resultados para poder predecir incidencias de inundación como; los indicadores de factor de forma indica que la cuenca presenta una forma alargada pronunciada, con respuestas lentas y prolongadas a la escorrentía máxima. Estas condiciones indican que existe una capacidad potencial de regulación hídrica y una baja vulnerabilidad a las inundaciones, se determina que la red hídrica de sexto orden, bien drenada y con buena respuesta a la escorrentía, predominando los cauces de primer orden. Su patrón de drenaje es detrítico o ramificado, asociado a pendientes moderadas a bajas, precipitación media y suelos relativamente homogéneos. La red hídrica muestra pendientes bajas, lo que favorece un mayor tiempo de concentración y la infiltración del agua (Domínguez & Mercado, 2020).
<i>ESTUDIO 3</i>	Aumassanne, Carolina, Gaspari, Fernanda, Bege, Maria, Sartor, Paolo, Oricchio, Patricio, & Di, Carlos	La información acerca de la elevación del terreno fue obtenida de datos digitales procedentes del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2000) a través de National Aeronautics and Space Administration (NASA). Las imágenes SRTM fueron obtenidas de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos. El SRTM permitió la construcción de un modelo digital de elevación (MDE). Finalmente, por medio de software ArcGis se calcularon parámetros morfométricos de forma,	Teniendo en cuenta el modelo digital se trazó un perfil longitudinal, siguiendo un eje en cada subcuenca desde la cabecera hasta la desembocadura, y perfiles transversales representativos del relieve, los cuales proporcionaron información para definir la dirección general del escurrimiento superficial. Por medio de la metodología anteriormente se logra interpretar que la cuenca río Barrancas a partir de los valores de Kc obtenidos, superiores a 1,5 (clase III) es oval-oblonga y a la subcuenca del río Grande como forma rectangular oblonga, siendo ésta última menos susceptible a las crecidas, debido al retardo en la contribución de la escorrentía hacia el cauce principal. Las principales

relieve y índice de drenaje (Aumassanne, y otros, 2018).

diferencias entre las subcuencas bajo estudio son el área de drenaje, la altura media y el desnivel del cauce, que tendrían consecuencia directa en sus áreas de aporte y tiempo de concentración. Si se consideran ambas subcuencas, la mayor superficie se desarrolla entre los 1.500 y 2.500 m.s.n.m., con pendientes predominantes entre 0 – 15° (Aumassanne, y otros, 2018).

La metodología empleada en los tres estudios consistió en determinar y examinar los parámetros morfométricos a través de sistemas de información geográfica y planillas de cálculo, utilizando un modelo digital de elevación y las isoyetas. Estos análisis permiten comprender la forma, la topografía, el sistema de drenaje y el comportamiento del agua en las cuencas, elementos fundamentales para gestionar de manera integral el recurso hídrico y planificar el territorio. Es posible identificar zonas con un riesgo más elevado de sucesos extremos, por ejemplo, deslizamientos, crecientes súbitas o zonas propensas a inundación por acumulación de agua, todo ello a partir del estudio morfológico. Esto es fundamental para prevenir y disminuir el riesgo de desastres, sobre todo en un país que es muy susceptible al cambio climático.

8. Marco Referencial

8.1. Marco teórico

Según (FAO, 2007), en la Segunda guerra mundial, el manejo de cuencas hidrográficas fue relevante en el desarrollo de las políticas públicas. Para los años 1950 y 1970 se gestaron obras de irrigación y presas hidroeléctricas en Asia, África y América Latina con fines de desarrollo agrícola, suministro de agua y generación de electricidad, no obstante, se subestimaron los costos

ambientales y sociales de estas grandes obras hidráulicas construidas en las cuencas. Se señala, que para 1970 se empezaron a divisar los peligros ambientales generados por los impactos de diversas actividades sobre las cuencas hidrográficas lo que motivó las en el año 1972 a una Conferencia sobre el Medio Humano por parte de las Naciones Unidas enfocados en la gestión y conservación de los recursos naturales y su relación con las actividades de desarrollo.

De acuerdo con (FAO, 2007) en la planificación de las cuencas comenzó a dar mayor consideración procesos como los torrentes estacionales, la erosión, la acelerada saturación de las cuencas y las inundaciones en las tierras bajas, así mismo se evidencio mayor atención a las consecuencias económicas y sociales del manejo de las cuencas hidrográficas, que se convirtió en “gestión integrada de cuencas hidrográficas”.

El estudio morfométrico de cuencas hidrográficas tiene su origen en la geomorfología cuantitativa que se desarrolla a mediados del siglo XX, cuando investigadores como Horton (1945) y Strahler (1957) propusieron algunas metodologías para el desarrollo y cuantificación de esta misma. Según Mesa, 2006 a través del tiempo se fue consolidando una especie de vínculo entre la morfología del terreno y procesos de escorrentía que permitieron realizar análisis en estudios hidrológicos ampliando la información sobre esta misma.

Así mismo a través, de los sistemas de información geográfica (SIG) y su acceso empezó a facilitar el estudio y su análisis, permitiendo así la evaluación de amenazas y riesgo por inundación (Sreedevi et al., 2005; Pourtaghi et al., 2015).

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física – espacial que permite un análisis análogo con otras fuentes según las caracterizaciones ambientales, descripciones geométricas y superficiales de cada una, de tal manera que la morfometría de cada cuenca hidrográfica tiene una relación estrecha con la ocurrencia de eventos

climáticos y la respuesta a ello reflejado en la escorrentía superficial, transporte de sedimentos entre otros, para lo cual las metodológicas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) así como la exégesis de imágenes satelitales admiten estudiar las características morfométricas particulares. (Fernanda J. Gaspari, 2013)

El análisis de inundaciones ha sido abordado desde diferentes enfoques tanto hidrológicos como hidráulicos, estos estudios de susceptibilidad se han ido potencializando con análisis de los modelos de elevación digital – DEM permitiendo entonces realizar la topografía a mayor detalle, análisis morfométrico, geomorfológico, entre otras (Tehrany et al., 2014).

De acuerdo con (Fernanda J. Gaspari, 2013) para el uso de datos geospaciales se requiere de un Sistema de Coordenadas Geográficas que fija un punto de la superficie, las cuales se logran al utilizar un sistema de coordenadas ordenado de acuerdo al eje de latitud y longitud de la tierra.

De conformidad con el artículo 1° de la (Ley 1523, 2012) *“La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas, la protección y el cuidado de los animales y al desarrollo sostenible”* Por su parte, en su artículo 41 ibidem, establece la incorporación efectiva del riesgo de desastre como un determinante ambiental que debe ser considerado en los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial.

De igual manera el (Decreto 1640, 2012) que compilo el (Decreto 1076, 2015), contempla en su artículo 19° las directrices para la ordenación de cuencas, incorporando de manera concreta en el numeral 4 la prevención y control de la degradación de los recursos hídricos y demás

recursos naturales de la cuenca; así como en el numeral 6 los riesgos a las condiciones fisicobióticas y socioeconómicas en la cuenca, incluyendo condiciones de variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos.

Lo anterior guarda especial relevancia, pues de acuerdo con la (Ley 388 , 1997) en su artículo 10, los las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la Corporación Autónoma Regional o la autoridad ambiental corresponden a determinantes ambientales, las cuales son normas de superior jerarquía respecto de la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial, los municipios y distritos. Por su parte el (Decreto 1640, 2012) en el artículo 23, reitera la categoría de los POMCAS como norma de superior jerarquía, estableciendo que una vez aprobado el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica se deberán tener en cuenta dentro del componente de gestión del riesgo al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial.

Por su parte, en el Anexo B de la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA (SOSTENIBLE, 2013) adoptada mediante la Resolución 1907 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, contempla una conceptualización general y definición de los requerimientos mínimos a tener en cuenta para incluir la Gestión del Riesgo en la formulación o ajuste de los POMCAS.

De acuerdo con en la formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica – POMCA, desde la fase de aprestamiento se van definiendo las estrategias institucionales, la captura y manejo de la información para la inclusión de la gestión de riesgos en estos instrumentos; luego, en la fase de diagnóstico se indica la evaluación de la susceptibilidad y las amenazas, así como el análisis de los elementos expuestos, su condición de vulnerabilidad y el análisis de los riesgos identificados; y finalmente en la Fase de Formulación

se definen las estrategias y proyectos por parte de las entidades territoriales y autoridades ambientales, inclusive con intervención comunitaria, para promover acciones de prevención y reducción de los riesgos. (SOSTENIBLE, 2013)

Se debe recordar que los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas- POMCAS- son instrumentos de planeación de uso del suelo, de aguas, la flora y la fauna y el manejo de la cuenca, con fin de dar un manejo adecuado a dichos recursos. (Sostenible, s.f.)

En consonancia con ello, se encuentra dentro de los objetivos de la gestión del riesgo la reducción de peligros, la seguridad de la cuenca, así como la inclusión en la ordenación y manejo ambiental factores relevantes como el análisis de amenazas, vulnerabilidad e identificación de factores de riesgo que permitan configurar las políticas adecuadas de uso y ocupación del territorio y sus fuentes hídricas. (SOSTENIBLE, 2013)

Es necesario tener en cuenta todos estos factores en la ordenación de las cuencas, pues son determinantes para la dirección y justificación de la toma de decisiones de manera que sean adecuadas y pertinentes a la gestión, reducción, planificación, de los riesgos identificados.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y la importancia de la aplicación de dichos análisis; la susceptibilidad hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno (UNGRD, 2022). Siendo entonces una aproximación útil para la gestión de riesgo de desastres que combina factores como topográficos, edafológico, de cobertura y uso de suelo; lo que conlleva a presentar un enfoque integrado y multidisciplinarios (UNGRD & IDEAM, 2021).

En Colombia el uso de parámetros morfométricos ha sido de gran importancia en estudios regionales tanto en planes de gestión de riesgo, como en ordenamiento territorial (UNGRD, 2020).

Estos tipos de análisis estudia la forma y las características cuantitativas de las cuencas

hidrográficas que permitirá así conocer factores como pendiente, área de drenaje, densidad de drenaje, cauce, entre otros que son descritos en el capítulo siguiente.

Estos factores influyen entonces en la concentración y velocidad de la escorrentía superficial que sería uno de los factores fundamentales para determinar algunas zonas con alta susceptibilidad a inundación (Jain et al., 2021). Otros parámetros como la pendiente media, la relación de la elongación, índice de compacidad e índice de forma permitirán identificar cuencas propensas a presentar inundaciones rápidas según Mesa, 2006.

Este tipo de propuestas se han realizado en estudios desde el Servicios Geológico Colombiano en el año 2021, en la caracterización del relieve mediante análisis de parámetros como elongación, perfil de drenaje, entre otros; zonificación de susceptibilidad en Boyacá según López-Sissa 2022; Cundinamarca con la morfometría de cuenca en la evaluación de avenidas torrenciales por medio de morfometría; Puerto López Meta con mapas de vulnerabilidad a través de topografía (Aguirre, 2024); Granada Meta en la identificación de áreas inundables por medio del uso del suelo y tasas de precipitación (Neuta Perdomo & Cuellar, 2024).

Para el departamento del Meta que es caracterizado por su relieve, su red hídrica y las extensas sabanas, asociados inicialmente a presentar condiciones ideales para la ocurrencia de inundaciones este tipo de análisis morfométrico elaborado a partir de un DEM cobra gran relevancia e importancia en el estudio de cuencas hidrográficas para el sector, ya que permite realizar una identificación de pendientes, zonas de concentración, capacidad de drenaje, entre otros factores como lo asocia (Nuvan & Parra, 2024; Aguirre, 2024).

8.2 Marco Conceptual

Los parámetros morfométricos de la microcuenca se tiene en cuenta insumos como modelo digital del terreno, para determinar el cálculo de parámetros como: área, perímetro,

longitud, coeficiente de compacidad, densidad de drenaje, índice de alargamiento y curva hipsométrica; estas variables son propias de la cuenca donde se describe las geoformas que esta tiene y no son modificables, este análisis morfométrico permite interpretar y predecir los comportamientos de la cuenca; cabe mencionar que se evalúan parámetros físicos, de forma y relieve utilizando la herramienta ArcGis para el preprocesamiento del terreno.

8.2.1 Parámetros físicos y de forma

- **Área**

Se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor (Londoño Arango, 2001).

- **Perímetro**

El perímetro de la microcuenca es importante para la conexión con el área para predecir la forma de la cuenca el cual es una respuesta a determinadas condiciones que se pueden presentar en la zona de estudio (Presutti, 2012).

- **Longitud**

Esta se define como el cauce principal de la cuenca hidrográfica y es aquella que pasa por el punto de salida de esta y el cual recibe el aporte de otros cauces que son de menor envergadura y a estos se los denomina tributarios (Presutti, 2012).

- **Factor de forma**

Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L). Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas, según que su factor de forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños (MASD, 2015).

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Tabla 1. Clasificación del factor de forma.

K_f	Característica
< 1	Tiende a ser alargada, baja susceptibilidad a las avenidas
1	Cuadrada
> 1	Tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

• **Coefficiente compacidad o Gravelius**

Este parámetro es adimensional y relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca. Indica la tendencia a concentrar volumen de agua de escurrimiento, por lo tanto, entre más bajo sea K_c mayor será la concentración de agua, es decir la esorrentía generada por la precipitación alcanza el cauce principal en un periodo corto, produciendo picos de caudal elevados y aumentando la susceptibilidad a inundaciones, un coeficiente de compacidad alto indica cuencas más alargadas e irregulares, donde los aportes hídricos se distribuyen en el tiempo, incrementando el tiempo de concentración y reduciendo la intensidad de las crecidas (Gravelius, 1914; Horton, 1932; Jardí, 1985).

$$K_c = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P= Perímetro

A= Área

K_c = Coeficiente de compacidad

Tabla 2. Índice de compacidad para la evaluación de forma.

Clase	Rango	Descripción
K_{c1}	1 a 1.25	Forma casi redonda a oval – redonda
K_{c2}	1.25 a 1.5	Forma oval – oblonga

Kc3	> 1.5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga
-----	-------	--

- **Densidad de drenaje**

Indica la clase de drenaje que tiene la cuenca; esta capacidad permite evacuar las aguas que discurren por su superficie, también puede definirse como la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta, una alta densidad de drenaje indica una red hídrica bien desarrollada, generalmente asociada a suelos con pendientes o baja cobertura vegetal, lo que favorece una rápida concentración del escurrimiento superficial y picos elevados de caudal en cortos periodos, incrementando la probabilidad de inundaciones, una baja densidad de drenaje suele relacionarse con suelos más permeables, pendientes suaves y mayor infiltración, lo que retrasa la respuesta hidrológica de la cuenca y reduce la magnitud de las crecidas. (MADS, 2015).

$$Ds = \frac{L_c}{A}$$

Ds= Densidad de Drenaje

Lc= Longitud total del cauce

A= Área

Tabla 3. *Clasificación de la red de drenaje*

Rangos km/km ² (Fuentes Junco, 2004)	Clase	Rangos km /km ² (Delgadillo y Páez, 2008)	Clase
0,1 a 1,8	Baja	<1	Baja
1,9 a 3,6	Moderada	1 a 2	Moderada
3,7 a 5,6	Alta	2 a 3	Alta
		>3	Muy alta

- **Índice de alargamiento**

Se relaciona la longitud del cauce principal y el ancho, si la unidad es mayor a 1 condición que se asemeja a una espiga con la capacidad de absorber mejor la precipitación alta, mientras su

valor sea menor a 1 la red de drenaje presenta forma de abanico donde se puede tener un río principal corto; su relación con la amenaza por inundación es directa, ya que influye en la concentración y el tiempo de respuesta de la esorrentía. Si el índice es bajo (formas más circulares), el agua precipitada tiende a concentrarse más rápidamente en el cauce principal, reduciendo el tiempo de concentración y generando picos de caudal elevados en cortos periodos, lo que incrementa la amenaza de inundaciones; el índice alto (formas más alargadas) presentan una distribución más gradual de los aportes hídricos hacia el cauce, aumentando el tiempo de concentración y disminuyendo la magnitud de los picos de caudal, lo que reduce la probabilidad de inundaciones repentinas. (MADS, 2015).

$$I_A = \frac{L_p}{A_n}$$

L_p = longitud del cauce principal

A_n = Ancho medio

Tabla 4. *Índice de alargamiento.*

	Característica
$IA > 1$	Cuenca alargada
$IA < 1$	Cuenca achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

- **Tiempo de concentración**

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida; el tiempo de concentración corto obtenido con la ecuación de Valencia y Zuluaga es un indicador de alta susceptibilidad a inundaciones rápidas, por lo que su análisis es clave en estudios de amenaza hídrica, gestión del riesgo y ordenamiento territorial (MADS, 2015).

$$T_c = 1.7694 * A * 0.32 * L - 0.096 * So - 0.29$$

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = longitud del cauce principal (km)

A = Ancho medio (km²)

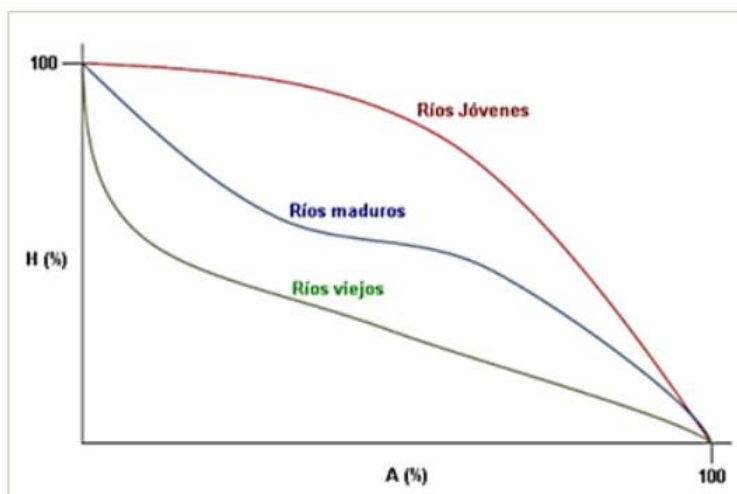
So = pendiente del cauce principal (%)

8.2.2 Parámetros de forma de relieve

- **Curva hipsométrica**

Refleja con precisión el comportamiento global de la altitud de la cuenca y la dinámica del ciclo de erosión, se obtiene una representación gráfica de su relieve donde se clasifica sobre el tiempo de ocurrencia del escurrimiento superficial, su cauce principal puede ser joven, maduro o viejo; las cuencas en su etapa juvenil suelen presentar relieves y pendientes fuertes, lo que favorece una rápida escorrentía, menor infiltración y mayores picos de caudal, esto incrementa la probabilidad de inundaciones aguas abajo; si la etapa es madura sus pendientes son más suaves y hay una mayor capacidad de almacenamiento e infiltración, lo que atenúa la respuesta hidrológica y reduce la magnitud de las crecidas, aunque pueden favorecer inundaciones extensas en zonas bajas. (MADS, 2015).

Figura 2. *Clasificación de red hídrica principal de acuerdo con curva hipsométrica.*



Fuente. MADS, 2015 capítulo 7 morfometría.

8.3 Marco Legal

La legislación gubernamental en términos de medio ambiente busca formar un conjunto de estrategias enfocadas en prevención y manejo donde se empiece a promover un desarrollo sostenible teniendo en cuenta el aspecto socioambiental. En la *tabla 4* se describe la principal normativa teniendo como base la Constitución Política de Colombia 1991 ya que se incluye la participación de la comunidad, cuidado del medio ambiente y responsabilidad del estado en administrar correctamente los recursos naturales; en la segunda línea se establece la Ley 99 de 1993 donde se regula el sector del medio ambiente, también se contempla normativa enfocada en el ordenamiento de cuencas hidrográficas y reducción de riesgo para el manejo de desastres.

Tabla 5. *Marco legal*

NORMA	OBJETO
<i>Constitución Política de Colombia 1991</i>	En el capítulo 3 de los derechos colectivos y del ambiente señala la importancia de garantizar el derecho a gozar de un ambiente sano y la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del

Ley 99 de 1993. Ley general de medio ambiente

estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Donde se establecen lineamientos en marco para la gestión ambiental, “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.”

Ley 388 de 1997. Ley de Ordenamiento Territorial

En la ley de OT en su artículo 10, contempla las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos de desastres, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales, y las relacionadas con la gestión del cambio climático.

Ley 1523 de 2012. Unidad de gestión de riesgo de desastres

En su capítulo 1 donde se contempla la gestión del riesgo, responsabilidad y principios orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Decreto 1729 de 2002 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

En el capítulo 2 se tiene en cuenta principios y directrices de ordenación considerando condiciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar el ordenamiento de la cuenca.

Decreto 3930 de 2010

Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Decreto Ley 019 de 2012

Los procedimientos y las regulaciones administrativas tienen por finalidad proteger y garantizar la efectividad de los derechos de las personas naturales y jurídicas ante las autoridades y facilitar las relaciones de los

Decreto 1807 de 2014

particulares con estas como usuarias o destinatarias de sus servicios de conformidad con los principios y reglas previstos en la constitución política y en la ley.

Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.

Donde se establecen criterios para la gestión ambiental, que busca simplificar y organizar la normativa vigente, así como establecer las bases para la protección y el uso sostenible de los recursos naturales.

Decreto 1807 de 2014

Se establecen las condiciones y escalas de detalle para incorporar de manera gradual la gestión del riesgo en la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial municipal y distrital o en la expedición de un nuevo plan.

Aplicado a la escala de microcuenca, establece la obligatoriedad de incorporar la gestión del riesgo de desastres en los procesos de ordenamiento territorial, mediante la delimitación y zonificación de áreas sujetas a amenazas y riesgos. En este nivel de análisis, el decreto orienta la evaluación detallada de amenazas naturales como inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales, con el fin de definir medidas de prevención y mitigación, fortaleciendo la planificación local y la protección de las comunidades y los ecosistemas asociados a las microcuencas.

Guía para Analizar los Riesgos (UNGRD) de 2017

Establece los lineamientos técnicos y metodológicos para identificar, caracterizar y evaluar las amenazas naturales y antrópicas en el territorio colombiano. Su objetivo es unificar criterios para el análisis de amenazas como inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, sismos, entre otras, apoyando la gestión del riesgo de desastres y la toma de decisiones en la planificación territorial y los instrumentos de ordenamiento.

9. Viabilidad

La tecnología para realizar una caracterización morfométrica precisa, como los Modelos Digitales de Elevación (DEM) y la construcción de capas de isoyetas, está ampliamente disponible. Existen datos topográficos, de elevación y precipitación que pueden ser utilizados, las herramientas de teledetección y SIG (sistemas de información geográfica) facilitan el análisis detallado y preciso. (Resources, s.f.)

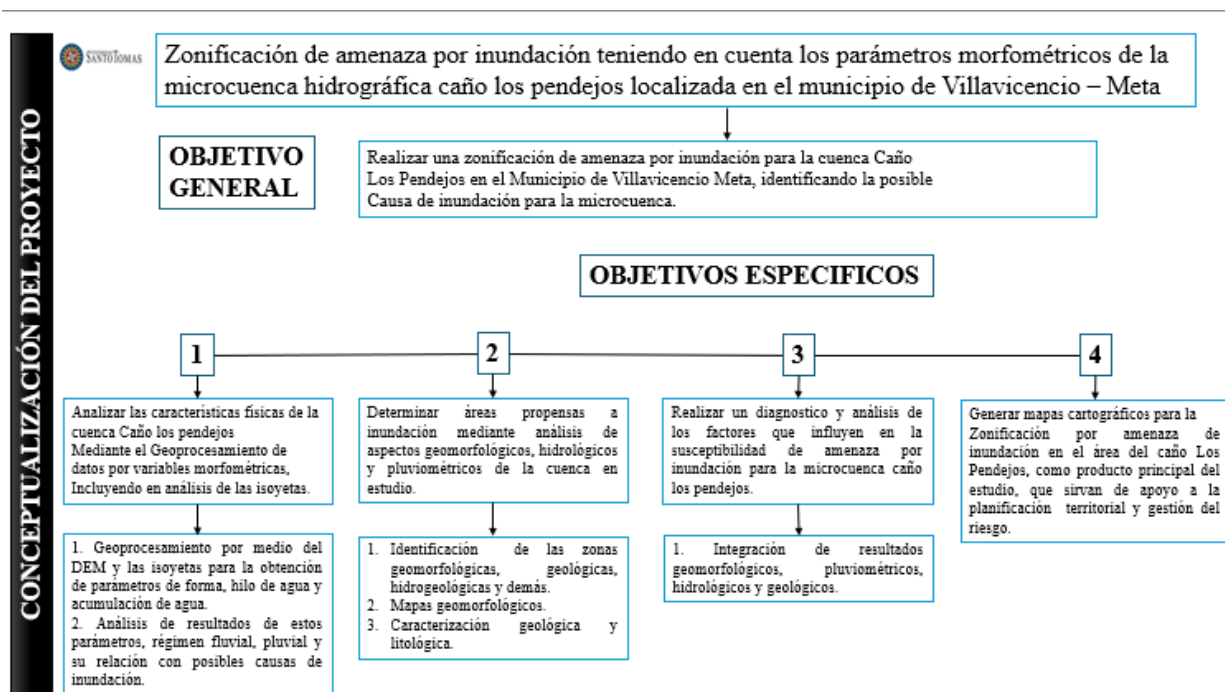
El software ArcGIS como plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG) tiene un costo monetario anual o mensual, que permite acceder desde cualquier móvil o equipos de cómputo a todas sus aplicaciones sin restricción alguna. (Resources, s.f.). El software HEC-RAS 6.1 no tiene costo alguno para acceder a todos sus componentes de análisis y cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para una red completa de canales naturales. (USACE, 2024)

El proyecto de caracterización morfométrica de la microcuenca de Caño Los Pendejos es justificado por su relevancia para la gestión eficiente de los recursos hídricos, la prevención de riesgos naturales, la conservación ambiental y la planificación territorial sostenible. La viabilidad del proyecto está respaldada por la disponibilidad de tecnología y datos, la capacidad técnica, el potencial de financiamiento de los estudiantes de la maestría manejo integral de cuencas hidrográficas.

10.Método de investigación

El flujograma metodológico para el desarrollo del presente proyecto se sintetiza en la *figura 3*. En este se hace una aproximación a partir de cada uno de los objetivos propuestos como se describe a continuación:

Figura 3. *Flujograma metodológico a partir de objetivos propuestos. Elaboración propia*



Dentro de este desarrollo metodológico, se realizará por medio del análisis de información cuantitativo, con el cual se podrá obtener la información de las variables por medio de datos y estadísticas. Esta información será recolectada por medio de sistemas de información geográfica (SIG), que permitirá acceder a información de las variables, así como el acceso a Geoportales, recopilación de imágenes satelitales, planes de ordenamiento de recuro hídrico (PORH) y planes de

ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), entre otros instrumentos de planificación hídrica.

Adicionalmente, en la investigación estará orientada a un análisis descriptivo, por lo que se requiere determinar el comportamiento de las variables y se hará un análisis de datos que contribuirá caracterización morfométrica de la microcuenca de Caño Los Pendejos logrando obtener como resultado final una zonificación de amenaza por inundación para la zona.

Una vez se obtuvo la delimitación de la microcuenca y su red hídrica se realiza la identificación de la morfometría de esta misma, como son los parámetros físicos, parámetros de forma, características de relieve, características del sistema de drenaje y del sistema pluviométrico teniendo en cuenta información de precipitación otorgada por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, la cual se analiza generando Isoyetas Interpolando datos de precipitación para las estaciones ACACIAS [35010020], UNILLANOS [35035070] y SENA [35030030] . El régimen fluvial de una microcuenca puede determinarse de acuerdo con las características físicas de la red de drenaje, que se representan según la geología, topografía, suelo y cobertura vegetal las cuales condicionan el flujo y dinámica del agua y que para este caso en específico ayudarían a consolidar el objetivo No.2

Esta metodología se encuentra desarrollado en un análisis cuantitativo – descriptivo en método heurístico orientado principalmente a caracterizar la dinámica hidromorfológica de la cuenca en estudio. Esta información geoprocesada fue obtenida a partir de geoportales oficiales y documentos de planificación hídrica como los PORH y POMCA que permiten adicionalmente plasmar esa estructura física del sistema fluvial (IDEAM, 2018; MinAmbiente, 2014). Una vez delimitada esta microcuenca, fue definida la red de drenaje y posteriormente la identificación de estos parámetros morfométricos y pluviométricos descritos y que están relacionados con el relieve, forma, drenaje y precipitación, que

darían información clave a las condiciones geológicas, topográficas, geomorfológicas que controlan el flujo superficial, la susceptibilidad y la respuesta hídrica del sistema. Todos estos parámetros mencionados anteriormente permitieron evaluar la susceptibilidad de amenaza por inundación identificando zonas con mayor probabilidad y que son clasificados en siete (07) rangos ya que permiten definir los contrastes morfodinámicos como lo relacionada Dingman, 2015; Knighton, 2014 ya que el terreno vario de manera no líneal con las variaciones del terreno y que pueden ser vistas y analizadas significativamente en las pendientes. Este análisis de pendientes permite reconocerlo como una de las variables de mayor resolución para identificar y clasificar unidades hidrológicas funcionales para el estudio de amenazas (Montgomery, 1997).

10.1 Variables morfométricas

Las características tenidas en cuenta dentro del análisis como área, perímetro, longitud del cauce, longitud total, pendiente, tiempo de concentración, entre otras, se obtuvieron mediante el procesamiento de un Modelo de Elevación Digital – DEM en formato TIFF, con una resolución espacial de 12,5 metros tanto en el eje X como en el eje Y, lo que implica que cada celda representa un área de 156,25 m² en el terreno. El dataset presenta dimensiones de 258 columnas por 176 filas, con una única banda de datos en formato entero con signo de 16 bits, sin compresión y sin colormap asociado. El valor de No. data está establecido en 32767, permitiendo diferenciar áreas sin información de las zonas con datos válidos.

El sistema de referencia espacial utilizado es MAGNA-SIRGAS Origen Nacional, con unidades lineales en metros y parámetros de proyección definidos por el meridiano central en -73°, falso Este de 5.000.000 m, falso Norte de 2.000.000 m y factor de escala de 0,9992, según la proyección Transversa de Mercator establecida para Colombia.

La extensión geográfica abarca coordenadas entre X: 4.924.098,01666 m y 4.927.323,01666 m, y Y: 2.010.276,88777 m a 2.012.476,88777 m. Las estadísticas del dataset para la banda única muestran una elevación mínima de 436 m s.n.m., una máxima de 1.010 m s.n.m., con un valor promedio de 594,03 m s.n.m. y una desviación estándar de 130,99 m, reflejando una variabilidad moderada del relieve, que fueron utilizados para estimar los parámetros morfométricos lineales como de relieve (pendiente) y la red de drenaje de la zona en estudio. Así mismo, como la forma de la microcuenca bajo estudio con las ecuaciones propuestas en diferentes estudios. Toda la información fue manejada mediante el software ArcGIS versión 10.8, a partir del cual se realizaron los mapas y los análisis espaciales.

Este análisis a través de la morfometría permite evaluar la amenaza natural asociada específicamente a la susceptibilidad por inundación en el área de estudio permitiendo así, realizar una caracterización cuantitativa de la estructura y dinámica de la microcuenca caño Los Pendejos (Martínez & Pérez, 2019).

La morfometría y el análisis de dichos parámetros en términos generales genera una transformación de la morfología del terreno y que arrojan indicadores medibles y comparables que ayudan a complementar modelos geomorfológicos para establecer niveles de amenaza con soporte técnico que ayudan a la toma de decisiones en estudios técnicos de gestión del riesgo y en estudios territoriales.

10.2 Isoyetas

El análisis de las isoyetas, se realizó mediante información de precipitación disponible en las estaciones meteorológicas mas cercanas a la microcuenca, las cuales son ACACIAS [35010020], UNILLANOS [35035070] y SENA [35030030], fue necesario realizar una interpolación con la herramienta Krigin del software ArcGIS, la cual toma como referente datos de precipitación según la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas y alturas proporcionadas por el DEM, con la finalidad de emitir isoyetas cada 50 metros las cuales nos permitieron analizar la cantidad de precipitación usual en la microcuenca dependiendo sus características morfológicas y climáticas.

Posteriormente al realizar el análisis con variables de pendiente, usando cuatro (4) categorías , Muy baja, Baja, Media y Alta, con una escala de colores de verde oscuro a rojo, en la cual a cada variable le asignamos un peso porcentual dependiendo de la relevancia que tuviera para el análisis, dando así como resultado la siguiente ecuación $[Pendiente] * 0.6 + [Isoyetas] * 0.4$, Generando como resultado un análisis espacial de la acumulación de agua dependiendo de la precipitación y variables climáticas.

10.3 Áreas propensas a inundación

La recolección de la información base se realiza mediante el geoprocesamiento del DEM, cartografía topográfica e hidrológica, uso y cobertura de suelo, geomorfología, información histórica de inundaciones, eventos extremos registrados. A partir de un modelado del terreno que permitirán simular el comportamiento del agua en diferentes escenarios.

Adicionalmente la clasificación de la susceptibilidad existente del nivel de amenaza considerando factores como pendientes, cuerpos de agua, capacidad de drenaje, obteniendo como resultado mapas de susceptibilidad por amenaza.

10.4 Diagnóstico y análisis de factores

La etapa final del este proyecto consistió en la integración de los datos obtenidos mediante el geoprocesamiento, análisis de información tanto primaria como secundaria, así mismo que la integración de componentes ambientales y geológicos.

10.4 Diagnóstico integral de factores condicionantes y detonantes de la amenaza por inundación

Los procesos hidrogeomorfológicos que influyen en la microcuenca se encuentra controlada principalmente por factores de origen natural, características físicas de la cuenca y factores de origen antrópico que influyen en la respuesta a eventos por inundación y son descritos a continuación:

- Factores Geológicos: Son estos factores que definen la naturaleza y característica de los materiales que conforman la microcuenca, su capacidad de resistencia a la erosión, la capacidad de transporte y arrastre y a su vez presentan una relación estrecha con los factores geomorfológicos ya que determinan el relieve, pendiente, formas y demás.

Para la microcuenca en estudio, los factores geológicos que influyen son:

Estructura regional: Localizada en la zona de transición de estructuras plegadas y cabalgadas de la cordillera oriental y la cuenca antepaís del Orinoco según INGEOMINAS, 2001. Es una franja que se encuentra caracterizada por presentar relieves en transición por abanicos aluviales, terrazas fluviales y planicies de inundación activas. Esta área se encuentra caracterizada por presentar fallas inversas y de cabalgamiento de rumbo NE-SW asociados a la falla Guaicaramo (INGEOMINAS 2001). La interacción entre control estructural, materiales no consolidados y procesos hidrodinámicos hace que la microcuenca sea altamente sensible a eventos hidrometeorológicos extremos y a cambios en el uso del suelo.

Adicionalmente, el material que se encuentra en el área de estudio son depósitos aluviales y coluviales cuaternarios principalmente materiales de baja cohesión que favorecen la socavación.

- Factores geomorfológicos: Caracterizado por presentar planicies aluviales activas con pendientes de 0-3% que representan las áreas de mayor susceptibilidad a inundación principalmente una inundación de baja energía, alta duración y extensa.

En esta microcuenca se tiene la siguiente relación: de 0-3% susceptible a inundación prolongada, 0-7% transición piedemonte, inundaciones un poco más rápidas por desbordamiento, 7-12% zonas moderadamente onduladas con una susceptibilidad a inundación media, según clasificación de Bridge, J. S. (2003).

- Factores climáticos: controlan cuando y con que intensidad se inunda la microcuenca en estudio. Principalmente a ser de régimen bimodal con una variabilidad climática presente por el ENSO, en la zona de estudio las precipitaciones se intensifican según la temporada que se presente (IDEAM, 2018). Así mismo, si se tienen eventos de alta intensidad se presentarán picos de caudal con extremos en la precipitación.

- Factores antrópicos: influyen principalmente con la transformación de coberturas dada por esa remoción de vegetación en las riberas de caño, cambio en el suelo por la ganadería (erosión pata de vaca) que influyen de manera directa la estabilidad del talud, facilitando también la erosión lateral y concentrada Morgan (2005)

Otro aspecto importante a evaluar es la ocupación de la planicie aluvial con la construcción

de viviendas que incrementan la exposición a eventos por inundación; los sistemas de drenaje que provocan acumulaciones de agua (Ashley 2005) y extracción inadecuada de materiales de arrastre.

11.Resultados y Análisis

11.1 Parámetros morfométricos

11.1.1 Parámetros físicos y de forma

Se evaluaron características morfométricas de la microcuenca caño los Pendejos municipio de Villavicencio; en el análisis de dimensiones propias de la microcuenca corresponde a un área pequeña de 2.9 km², el perímetro o longitud de la línea divisoria es fundamental para para el cálculo de parámetros de forma con un valor de 10.85 km, ancho 1.73 km, largo 3.72 km y rango altitudinal entre los 440 y 1.010 m.s.n.m, estos valores mínimos tienen a menor tiempo en la concentración de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con picos pronunciados y corta duración (Pacheco, Cartaya, Marcano, & León, 2015).

El factor forma de la microcuenca con un valor de 0.79 con característica alargada, este valor < 1 afirma que el flujo superficial de un evento de lluvia presentará avenidas con picos atenuados y de larga duración, en contraste con cuencas circulares cuyas avenidas presentan picos de corta duración; otra característica a este valor es que la microcuenca es propicia para una mayor recarga de agua subterránea, dando una alta probabilidad de inundación (Méndez, Corral, Nájera, Cruz & Pompa, García, 2021).

La densidad de drenaje se obtiene un valor de 5.49 km/km² teniendo en cuenta la relación de la longitud de la red hídrica con su superficie este valor está clasificado como una densidad alta, actualmente se ha demostrado que este parámetro está ligado con la precipitación y las litologías del suelo principalmente la capacidad de infiltración y cubierta vegetal existente, es

decir, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento, por lo tanto los valores indican una alta tendencia a la escorrentía y a la erosión (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Denegri, Delgado & Besteiro, 2012).

Índice de Gravelious con un valor de 1.78 clasificándola con forma oval – oblonga a rectangular – oblonga, esto significa que hay menos susceptibilidad a avenidas, si los flujos laterales que alimentan el cauce principal son pequeños debido a reducidas áreas de captación. Índice de alargamiento 2.15 km microcuenca alargada siendo su valor mayor a 1 posee un sistema de drenaje que se asemeja a una espiga.

Tiempo de concentración con un valor de 8 horas nos indica el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la microcuenca hasta el punto de salida. Este valor indica que la microcuenca responde rápidamente a la precipitación, a escorrentía se concentra en poco tiempo, lo que favorece picos de caudal altos y aumenta la susceptibilidad a inundaciones y avenidas torrenciales por lo que su análisis es clave en estudios de amenaza hídrica, gestión del riesgo y ordenamiento territorial.

Tabla 6. Resultados análisis morfométrico.

PROPIEDADES MORFOMÉTRICAS MICROCUENCA		
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
DE SUPERFICIE		
Área	km ²	2,92
Perímetro	km	10,85
Ancho	km	1,73
Largo	km	3,72
COTAS		
Cota Máxima	m.s.n.m	1010
Cota Mínima	m.s.n.m	440
CENTROIDE		

X Centroide	m	4925566,6
Y Centroide	m	2011314,9
Z Centroide	m.s.n.m	676,8
ALTITUD		
Altitud Media	m.s.n.m	723
Altitud Mas Frecuente	m.s.n.m	26,69
Altitud de Frecuencia Media	m.s.n.m	626,97
PENDIENTE		
Pendiente Promedio de la microcuenca	%	28,28
DE LA RED HIDRICA		
Longitud del Curso Principal	km	5,10
Orden de la Red hídrica	und	4
Longitud de la Red hídrica	km	16,04
Pendiente Promedio	%	18,08
PARAMETROS GENERADOS		
Factor de Forma	s/n	0,79
Densidad de Drenaje	km/km ²	5,49
Índice de Gravelious (Compacidad)	s/n	1,78
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	km	4,82
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	km	0,61
Índice de Alargamiento	km	2,15
Integral Hipsométrica	m	0.5
Tiempo de concentración	horas	8.25

Parámetro	Valor	Análisis técnico (interpretación corta)
Área	2,92 km ²	Microcuenca de pequeña extensión, con respuesta hidrológica rápida y bajo tiempo de concentración ante eventos de lluvia intensa (Horton, 1945; Strahler, 1957).
Perímetro	10,85 km	Influye directamente en los índices de forma, condicionando la eficiencia del drenaje y la concentración del escurrimiento superficial (Gravelius, 1914).
Ancho	1,73 km	Ancho reducido que favorece la convergencia del flujo hacia el cauce principal (Schumm, 1956).
Largo	3,72 km	Geometría alargada que distribuye el caudal en el tiempo, reduciendo picos instantáneos extremos (Miller, 1953).
Pendiente promedio	28,28 %	Pendientes fuertes que incrementan la velocidad del escurrimiento y la susceptibilidad a erosión hídrica (Schumm, 1956).

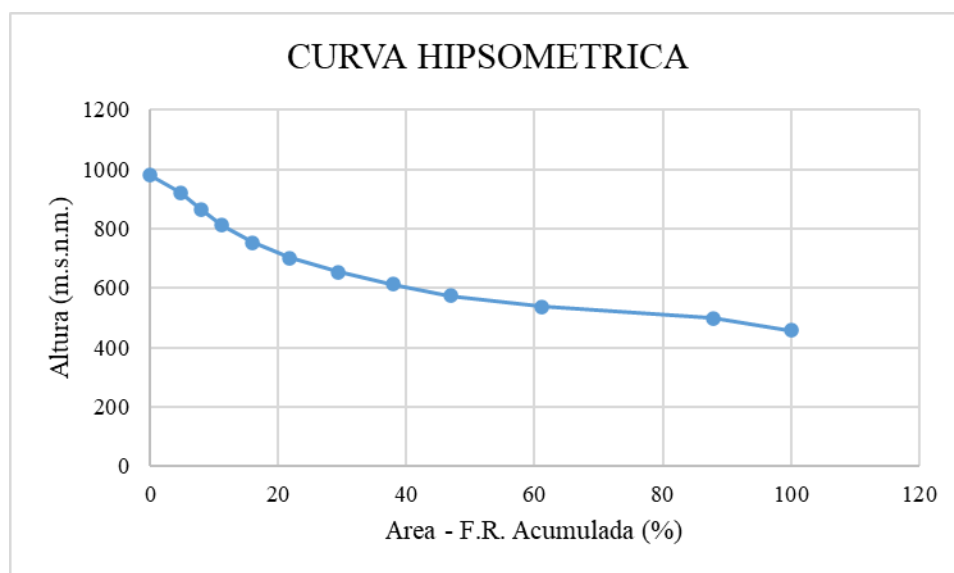
Longitud del curso principal	5,10 km	Permite la acumulación progresiva de caudales a lo largo del sistema de drenaje (Strahler, 1964).
Orden de la red hídrica	4	Red de drenaje bien desarrollada, con alta conectividad hidrológica (Strahler, 1957).
Longitud de la red hídrica	16,04 km	Indica una alta disección del terreno y eficiencia en la evacuación del escurrimiento (Horton, 1945).
Densidad de drenaje	5,49 km/km ²	Densidad alta, asociada a baja infiltración relativa y alta tendencia a escorrentía y erosión (Horton, 1945; Gaspari et al., 2012).
Factor de forma	0,79	Forma alargada que genera avenidas con picos atenuados y mayor duración (Miller, 1953).
Índice de Gravelius	1,78	Forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, menos propensa a avenidas súbitas que cuencas circulares (Gravelius, 1914).
Índice de alargamiento	2,15	Confirma el carácter alargado de la microcuenca y una respuesta hidrológica gradual (Miller, 1953).
Integral hipsométrica	0,5	Relieve en estado intermedio-senil, con predominio de procesos de modelado y erosión moderada (Strahler, 1957; Chorley et al., 1984).
Tiempo de concentración	8,25 horas	Indica que la microcuenca responde rápidamente a la precipitación, a escorrentía se concentra en poco tiempo, lo que favorece picos de caudal altos y aumenta la susceptibilidad a inundaciones y avenidas torrenciales VÉLEZ UPEGUI, JORGE JULIÁN, & BOTERO GUTIÉRREZ, ADRIANA. (2011).

11.1.2 Parámetros de forma de relieve

El análisis se realizó a partir de la necesidad de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la microcuenca en un plano y su elevación esto a partir de la curva hipsométrica, como se observa en la *figura 4* se obtiene una representación gráfica de su relieve donde se clasifica sobre el tiempo de ocurrencia del escurrimiento superficial gracias al porcentaje de área acumulado que es igual a una determinada cota. La cota más alta de la microcuenca de estudio es

1.010 msnm y la más baja corresponde a 440 msnm; con una curva cóncava que representa una microcuenca que tiene un relieve de baja amplitud en su elevación y posee más bien bajas altitudes; cabe mencionar que puede corresponder a un relieve senil en la etapa de formación de peniplanicies

Figura 4. *Curva hipsométrica.*



11.2 Mapa Red Hídrica

La microcuenca en estudio presenta una red de drenaje densa que sugiere un sistema fluvial activo y que representa una alta capacidad hídrica de concentración característica que se le confiere a los terrenos de pendientes medias a altas, baja infiltración, con poca rugosidad superficial.

Con relación al análisis morfológico anterior con la red fluvial, se identifica que una de las zonas más crítica para la susceptibilidad de amenaza por inundación se encuentra en los tramos más bajos de la microcuenca, específicamente donde la red de drenaje se vuelve más densa. Dentro de esta red hídrica y los rasgos característicos de pendientes se reconoce una posible

pendientes de la zona en estudio clasificando así, el terreno según el ángulo de inclinación de la superficie en porcentajes, específicamente en siete (07) rangos que oscilan entre 0% y mayor a 75% con un predominio significativo de pendientes intermedias a altas; en donde los rangos con mayor representación se encuentran en lomajes (25-50%) y terreno fuertemente ondulado (12-25%), cubriendo así aproximadamente el 62.46% de la microcuenca, caracterizando así por presentar entonces una morfología del terreno de colinas y relieves estructurales activos.

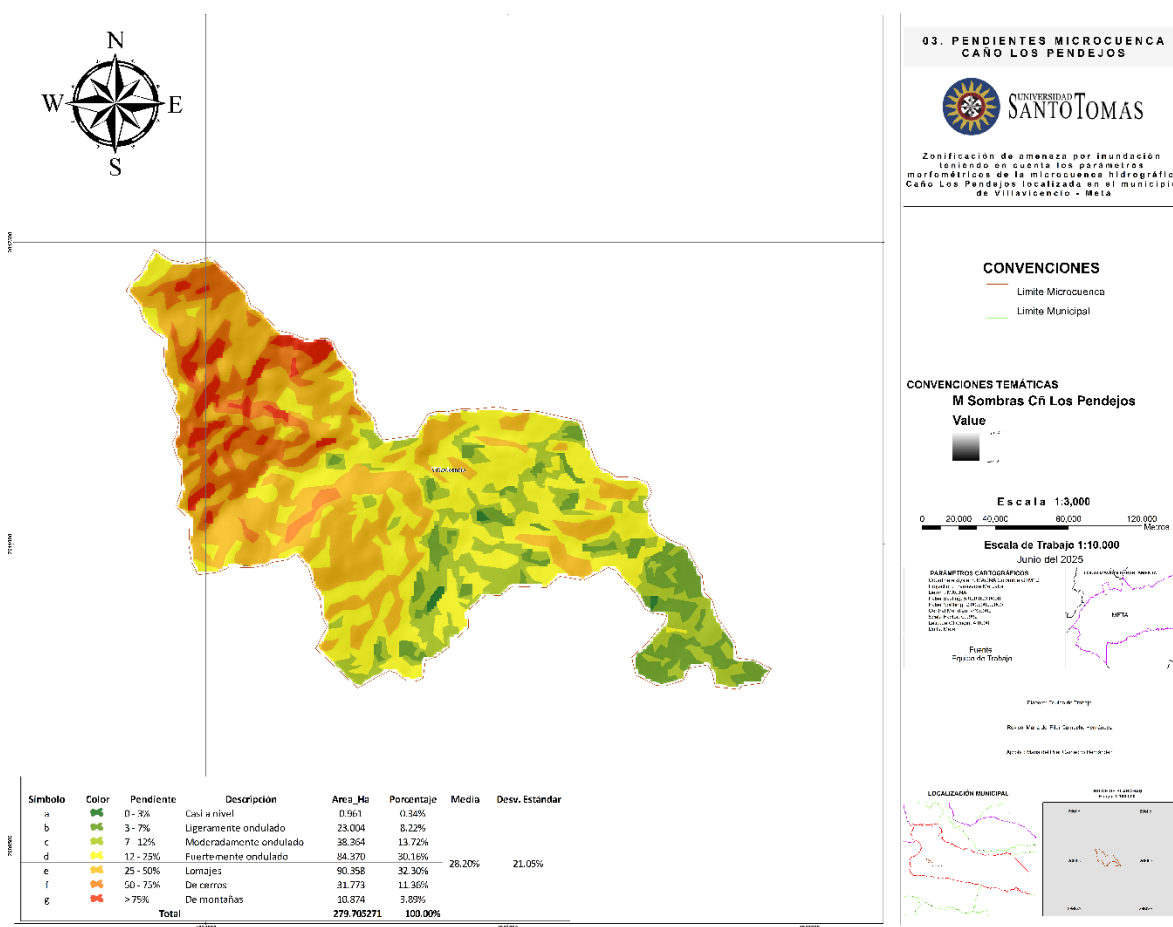
Específicamente para la evaluación y análisis como parámetro de susceptibilidad a inundación, las zonas más propensas son aquellas que representan pendientes entre 0-3% (casi a nivel) y 3-7% (ligeramente ondulado) que comprenden el 8.56% del área del terreno. Lo que la caracteriza por ser zonas susceptibles a inundación. Estas áreas coinciden con las llanuras de inundación y áreas cercanas al cauce principal del caño Los Pendejos, donde la energía del flujo principal disminuye favoreciendo procesos de sedimentación e inundación. La sedimentación en estas zonas puede favorecer la respuesta hidrológica del afluente ante una temporada de más lluvias ya que disminuye la permeabilidad del suelo.

En términos generales se puede realizar una correlación de la microcuenca con una dinámica de respuesta rápida ante un aumento gradual o exponencial de precipitaciones, es decir, que en las zonas de mayor pendiente una generación y concentración rápida, mientras que las zonas de menor pendiente actuaran como puntos de acumulación propensos a inundación, coincidiendo así con un modelo de microcuencas de montaña caracterizada por presentar procesos de concentración rápida y una capacidad de respuesta de regulación hídrica limitada.

Tabla 7. *Clasificación análisis de pendiente.*

Clasificación de Pendientes									
Gridcode	Color	Símbolo	Pendiente	Descripción	Unidades	Area_Ha	Porcentaje	Media	Desv. Estándar
1	Verde oscuro	a	0 - 3%	Casi a nivel	a - Casi a nivel - 0 - 3%	1,0	0,3%	28,20%	21,05%
2	Verde	b	3 - 7%	Ligeramente ondulado	b - Ligeramente ondulado - 3 - 7%	23,0	8,2%		
3	Amarillo verdoso	c	7 - 12%	Moderadamente ondulado	c - Moderadamente ondulado - 7 - 12%	38,4	13,7%		
4	Amarillo	d	12 - 25%	Fuertemente ondulado	d - Fuertemente ondulado - 12 - 25%	84,4	30,2%		
5	Naranja	e	25 - 50%	Lomajes	e - Lomajes - 25 - 50%	90,4	32,3%		
6	Rojo anaranjado	f	50 - 75%	De cerros	f - De cerros - 50 - 75%	31,8	11,4%		
7	Rojo	g	> 75%	De montañas	g - De montañas - > 75%	10,9	3,9%		
Total						279,7	100%		

Figura 6. Mapa de pendientes caño Los Pendejos.



Fuente: Elaboración grupo de investigación.

11.4 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones según el análisis morfométrico

La microcuenca presenta una configuración geomorfológica que condiciona fuertemente su dinámica hidrológica y la distribución espacial de la amenaza por inundación. El análisis conjunto de pendientes y clasificación de amenaza evidencia una marcada predominancia de

laderas medias y empinadas, con reducida extensión de planicie aluvial, pero de alta vulnerabilidad.

La Distribución morfométrica y geomorfológica según el mapa de pendientes, más del 77 % de la microcuenca presenta inclinaciones superiores al 12 %, correspondiendo a unidades de relieve fuertemente ondulado, lomajes y cerros. Las pendientes ≤ 3 %, asociadas a llanuras casi planas y potencial planicie de inundación, representan únicamente el 0,34 % del área (0,961 ha), localizadas de forma adyacente al cauce principal. Este patrón topográfico indica un sistema con alta capacidad de generación de escorrentía superficial y transporte de sedimentos desde zonas medias y altas hacia el fondo de valle (Bridge, 2003; Knighton, 2014).

El mapa de amenaza muestra que las áreas de amenaza clasificadas como muy alta coincide con el sector de menor pendiente (0–3 %), compuesto por depósitos cuaternarios no consolidados (arenas, limos y gravas finas) de alta permeabilidad inicial, pero baja capacidad de drenaje una vez saturados.

La amenaza alta (8,22 % del área) se desarrolla en la transición piedemonte–llanura, con pendientes de 3–7 %, donde se combinan desbordamientos rápidos, socavación lateral y terrazas bajas.

Las zonas de amenaza media (7–12 % de pendiente) y baja (>12 %) aportan caudales y carga sólida al sistema principal, aunque su probabilidad de inundación directa es reducida.

Siendo entonces, esas zonas de 0-3% la planicie de inundación activa, que presentan eventos de creciente, recibiendo un flujo directo por desbordamiento lateral y baja capacidad de drenaje.

Adicionalmente se interpreta que los factores que estarían condicionando y generando esos eventos por inundación son el conjunto de características físicas de la microcuenca como

Figura 8. Mapa de acumulación de agua.

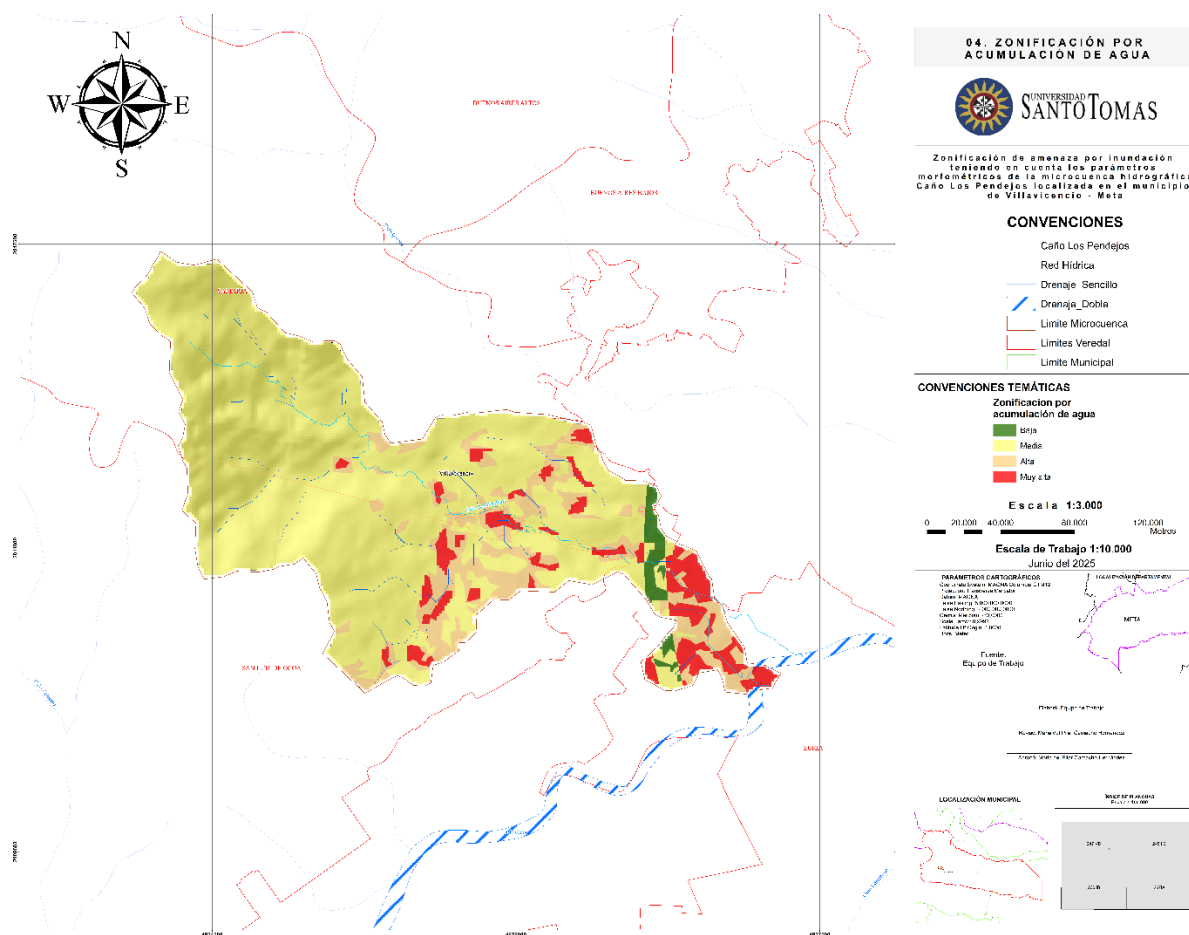
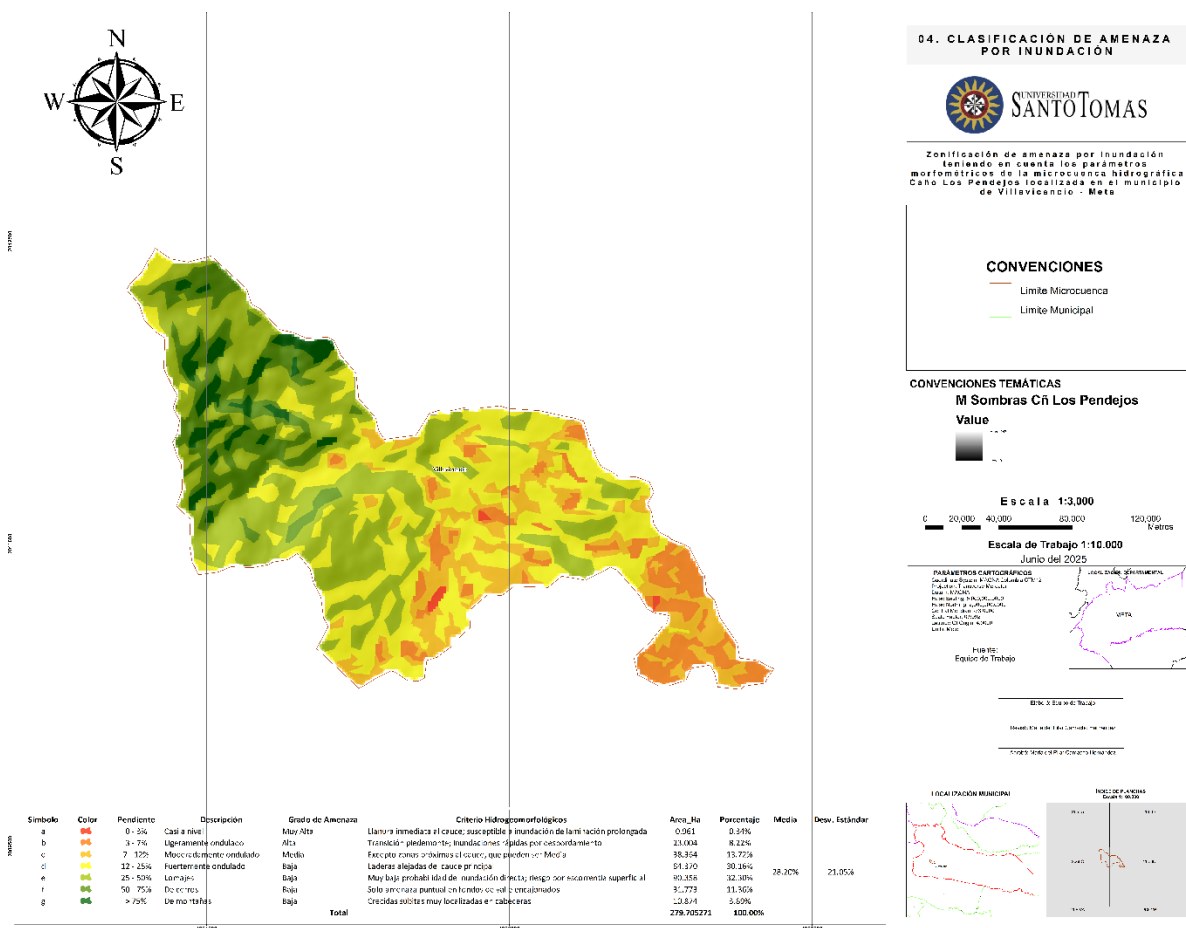


Figura 9. Mapa áreas propensas a inundación.



Fuente: Elaboración grupo de investigación

Adicionalmente, la zonificación clasifica el territorio en cuatro categorías de amenaza: baja, media, alta y muy alta, en función de la susceptibilidad del terreno a procesos de inundación, considerando variables como pendiente, acumulación de flujo, posición topográfica, configuración del drenaje y morfología del relieve.

En términos geomorfológicos, el patrón espacial de la amenaza refleja una dinámica fluvial activa, controlada por la morfología del relieve y la organización del sistema de drenaje, evidenciando una relación directa entre la estructura topográfica de la microcuenca y la distribución de los escenarios de amenaza por inundación

Figura 9. Mapa zonificación de amenaza por inundación.

microcuenca presente un tiempo de concentración relativamente corto, una capacidad limitada en transporte de materiales y una saturación progresiva. Adicionalmente esta microcuenca muestra un sistema de tendencia de divagación y una alta capacidad erosiva en la microcuenca alta, influyendo así en la dinámica de sedimentación, desbordamiento para las zonas de llanura aluvial.

A partir de la integración de los datos anteriormente mencionados, desde el análisis de variables geomorfológicas y de la información hidrológica obtenida, se interpreta que las zonas a presentar una mayor susceptibilidad a inundación se estarían dando en las zonas de llanura aluvial con pendientes inferiores a 5% según el mapa de pendientes y que estaría correlacionado de cierta forma con algunos hallazgos y estudios realizados para las cuencas de los llanos orientales en las cuales la morfología transicional entre montaña y llanura genera condiciones propicias y muy favorables para la generación de eventos por inundación e incluso avenidas torrenciales.

Adicionalmente y desde el punto de vista geológico la susceptibilidad por inundación de la microcuenca en estudio al estar ubicada en una zona de transición entre la cordillera y piedemonte se encuentra dominada principalmente por depósitos aluviales recientes, coluviales, sedimentos limo arcillosos con una alta susceptibilidad a erosión e infiltración limitada, que influiría en la capacidad de respuesta rápida del terreno ante la temporada de más lluvias que se evidencia año tras año en el departamento del Meta y que afecta directamente al área de estudio. Es importante resaltar de igual forma que los materiales que se presentan tienen una variabilidad textural lo que produce usualmente que la escorrentía superficial presente en la zona produzca una inestabilidad en las laderas, típico de una morfodinámica activa en donde los materiales que son transportados y que viajan a través del cauce son depositados en las zonas más bajas provocando una acumulación.

Esta susceptibilidad presente tiene en consideración otros factores que son de suma

importancia para la integración y análisis, como lo son factores físico naturales haciendo referencia a la alta pluviosidad de la región y de la zona, el relieve ondulado y de pendientes inferiores al 15%; factores geomorfológicos como la existencia de terrazas longitudinales interconectadas, depósitos recientes, llanuras aluviales y factores antrópicos entre los cuales se destacan el cambio en el uso del suelo, ausencia de obras de mitigación, modificación del cauce, asentamientos ilegales y demás relacionados a la zona de estudio.

La morfología del piedemonte llanero genera un patrón de amenaza espacialmente concentrado, pero con alto potencial de afectación. La escasa extensión de planicie aluvial (0,34 % del área total) coincide con lo reportado por Knighton (2014) para cuencas con alta energía específica, donde la capacidad de transporte sedimentario de las laderas condiciona la dinámica del tramo bajo más que la amplitud de la planicie. Este hallazgo refuerza la importancia de las zonas de acumulación como receptoras de cargas hidráulicas y sedimentarias desproporcionadas frente a su tamaño.

La comparación con estudios previos en piedemontes (Bridge, 2003; IDEAM, 2018) sugiere que la alta proporción de pendientes superiores al 12 % (77,72 % del área) incrementa la respuesta hidrológica rápida y, en consecuencia, eleva el riesgo de crecidas súbitas con alta carga sólida. Adicionalmente si se analiza la litología presente en el área de estudio estos depósitos actúan como un factor de amplificación del riesgo, al favorecer la erosión lateral durante eventos de inundación, lo que coincide con lo documentado por Morgan (2005) sobre la vulnerabilidad de materiales no cohesivos en llanuras activas. Además, el control estructural del piedemonte (Colmenares & Zoback, 2003) parece influir en la localización de puntos críticos de socavación.

Finalmente, la interacción que generan los factores anteriormente mencionados muestra

que la susceptibilidad de amenaza por inundación no se encuentra ligado única y exclusivamente a factores hidrológicos, sino que es el resultado de una conexión hidrológica, socioambiental y antrópica.

Bajo esta perspectiva estos resultados no solo permiten reconocer las áreas de mayor amenaza, sino que ayudan a identificar los posibles factores que generarían estas afectaciones y que ayudarían a orientar acciones de prevención, mitigación, planificación del territorio.

Este tipo de estudios permite ampliar la perspectiva del ordenamiento territorial, los resultados constituyen un insumo técnico relevante para la formulación y ajuste del **POMCA**, al permitir priorizar áreas para la conservación de rondas hídricas, la restauración de zonas de amortiguación y el control de procesos erosivos en la parte alta de la microcuenca.

En el marco del POT, la delimitación de zonas con alta susceptibilidad a inundación aporta criterios técnicos para la regulación del uso del suelo, la restricción de ocupación en llanuras aluviales activas y la definición de condicionantes para el desarrollo de infraestructura, fortaleciendo la incorporación de la gestión del riesgo como determinante ambiental, conforme a la Ley 1523 de 2012

Si bien el modelo de susceptibilidad permitió identificar áreas con mayor propensión a inundación, este presenta limitaciones asociadas tanto al enfoque metodológico como a la disponibilidad y resolución de la información empleada. La metodología adoptada es de carácter descriptivo–interpretativo, basada en la integración de variables geomorfológicas, morfométricas, geológicas e hidrológicas, lo que implica que los resultados representan tendencias espaciales de susceptibilidad y no una predicción determinística del fenómeno. Este enfoque conlleva un margen de error inherente, asociado a la subjetividad en la ponderación e interpretación de las variables, tal como ha sido señalado en estudios de análisis espacial de amenazas naturales

(Carrara et al., 1995; Guzzetti et al., 2005).

Adicionalmente, el modelo no incorpora simulaciones hidrodinámicas, por lo que no es posible estimar caudales máximos, velocidades de flujo ni niveles de lámina de agua para periodos de retorno específicos, limitando su capacidad predictiva frente a eventos extremos (Chow et al., 1988). En este sentido, la susceptibilidad identificada debe ser entendida como una aproximación relativa al comportamiento del sistema fluvial y no como un escenario de inundación cuantificado.

La resolución espacial del Modelo Digital de Elevación utilizado constituye otra fuente de incertidumbre, especialmente en ambientes de relieve suavemente ondulado

13. Conclusiones

El presente proyecto se enfoca principalmente en definir qué aspectos o variables influyen en la inundación de la microcuenca caño los Pendejos municipio de Villavicencio – Meta, esto a partir de un análisis cartográfico utilizando software como ArcGIS y otras herramientas de sistema de información geográfica.

El análisis de esta fuente objeto de estudio, se inicia a partir de una caracterización morfométrica donde se concluye que la microcuenca tiene parámetros físicos y de forma con valores mínimos que tienen a menor tiempo en la concentración de la escorrentía superficial y mayor susceptibilidad a experimentar crecidas con picos pronunciados y corta duración, las características principales son alargadas de acuerdo al factor de forma y índice de gravelious clasificandola con forma oval – oblonga a rectangular – oblonga; donde posee un sistema de drenaje que se asemeja a una espiga, esto puede generar un flujo superficial de un evento de lluvia avenidas con picos atenuados y de larga duración.

Se determinó que la morfología del piedemonte llanero propicia un patrón de amenaza espacialmente concentrado, pero con alto potencial de afectación en gran parte de sus fuentes hídricas, dentro de las cuales se encuentra el Caño Los Pendejos que pertenece a la cuenca del río Guatiquía, subcuenca del río Ocoa.

De acuerdo con la recolección y análisis de información obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM), en la microcuenca Caño Los Pendejos se identificaron factores de amenaza de origen geológico, geomorfológico, climático y antrópico, asociados a su configuración regional de piedemonte. La cuenca, con un área de 2,92 km² y un rango altitudinal de 570 m (entre 440 y 1.010 m s.n.m.), presenta un relieve de alta energía que favorece procesos de escorrentía rápida y transporte de sedimentos.

Desde el punto de vista geomorfológico, la microcuenca se caracteriza por la presencia de abanicos aluviales, terrazas fluviales y planicies de inundación activas, las cuales concentran los sectores de mayor susceptibilidad. En particular, las planicies aluviales con pendientes entre 0 y 3 % corresponden a las áreas más críticas frente a la amenaza por inundación, al coincidir con zonas de baja capacidad de drenaje natural y de acumulación de caudales y carga sólida provenientes de sectores con pendientes promedio del 28,28 %.

Adicionalmente, la alta densidad de drenaje de 5,49 km/km² y el orden 4 de la red hídrica reflejan un sistema altamente disectado y eficiente en la transferencia de esorrentía hacia los tramos bajos, reforzando la condición de susceptibilidad en las zonas de planicie aluvial activa. Esta configuración es consistente con lo documentado para cuencas de piedemonte y transición montaña–llanura, donde la interacción entre pendientes dominantes y áreas de acumulación controla la dinámica de inundación (Bridge, 2003; Knighton, 2014).

Respecto a los factores climáticos, el área de estudio reflejó un régimen bimodal con una variabilidad climática presente por el ENSO, con precipitaciones que se intensifican y se presentando picos de caudal.

Adicionalmente, se encontraron huellas afectación en coberturas por la remoción de vegetación en áreas ribereñas del caño Los Pendejos, así como rastros de los impactos generados por actividades ganaderas que han afectado el talud, estimulando el proceso erosivo en la zona.

Asi mismo para la identificación de las áreas de amenaza se consolido el mapa de amenazas, que refleja las áreas clasificadas como muy alta las cuales coinciden con el sector de menor pendiente, pero baja capacidad de drenaje, presentándose igualmente áreas de amenaza alta que se desarrolla en la transición piedemonte–llanura, con pendientes de 3–7 %, donde se combinan desbordamientos rápidos, socavación lateral y terrazas bajas.

Así mismo se hallaron zonas de amenaza media y baja que aportan caudales y carga sólida al sistema principal, aunque su probabilidad de inundación directa tiende a reducirse.

A partir de la integración de los datos anteriormente mencionados, desde el análisis de variables geomorfológicas y de la información hidrológica obtenida, se interpreta que las zonas a presentar una mayor susceptibilidad a inundación se estarían dando en las zonas de llanura aluvial con pendientes inferiores a 5% según el mapa de pendientes y que estaría correlacionado de cierta forma con algunos hallazgos y estudios realizados para las cuencas de los llanos orientales en las cuales la morfología transicional entre montaña y llanura genera condiciones propicias y muy favorables para la generación de eventos por inundación e incluso avenidas torrenciales.

De acuerdo con el análisis morfológico realizado, se logró identificar que en los tramos más bajos de la microcuenca se presenta una de las zonas más crítica para la susceptibilidad de amenaza por inundación, pues es donde se encuentra la red de drenaje más densa. Sin embargo, se determinó que la microcuenca hídrica caño Los Pendejos presenta una limitada capacidad de retención natural en zonas bajas, así como varios puntos críticos susceptibles a inundación por sus rasgos característicos de pendientes y una limitada capacidad de retención natural en zonas bajas.

Finalmente, de acuerdo con literatura encontrada, los valores encontrados representan aspectos físicos y de relieve donde se pueden analizar problemáticas ambiental necesarias para el desarrollo de políticas públicas de ordenamiento hídrico que arrojen lineamientos de solución pertinentes a la alta probabilidad de riegos por inundaciones encontradas en el área, no obstante, tales afirmaciones deben ser ponderadas con la extensión, duración como intensidad de las precipitaciones.

Este documento constituye un insumo técnico relevante para la planificación y gestión del territorio, aportando criterios para la incorporación de la gestión del riesgo en el POT del municipio de Villavicencio, particularmente en lo relacionado con la restricción del uso del suelo en planicies aluviales activas, la protección de rondas hídricas y la priorización de medidas de prevención y mitigación estructural y no estructural, conforme a lo establecido en la Ley 1523 de 2012.

14. Referencias Bibliográficas

- Aguirre, M. (2024). *Identificación de zonas de riesgo por inundación en Puerto López (Meta)* [Trabajo de grado, UNAD]. Repositorio UNAD. <https://repository.unad.edu.co>
- Aumassanne, C., Gaspari, F., Bege, M., Sartor, P., Oricchio, P., & Di, C. (2018). *Morfometría de la cuenca alta del río Colorado, Argentina* . Boletín geográfico. Año XL.Nº40 Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Ashley, R. M., Balmforth, D. J., Saul, A. J., & Blanskby, J. D. (2005). Flooding in the future – Predicting climate change, risks and responses in urban areas. *Water Science and Technology*, 52(5), 265–273. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0142>
- Bravo, F. X. (2019). Bravo Buri, F. X. (2019). Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones. Universidad Católica de Cuenca .
- Costa, A. A. (2020). En R. GEOSUL. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (<http://www.ufsc.br/>).
- Aumassanne, C., Gaspari, F., Bege, M., Sartor, P., Oricchio, P., & Di, C. (2018). *Morfometría de la cuenca alta del río Colorado, Argentina* . Boletín geográfico. Año XL.Nº40 Universidad Nacional del Comahue. Neuquén.
- Bravo, F. X. (2019). Bravo Buri, F. X. (2019). Determinación de un tiempo de concentración teórico a partir de la morfometría de la cuenca hidrográfica del río Jubones. Universidad Católica de Cuenca .

CORTOLIMA. (2022). Ajuste Parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica del Río Amoyá, Departamento del Tolima. MORFOMETRIA . Ibagué .

Decreto 1076. (2015). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Decreto 1640. (2012). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987>

Domínguez, F., & Mercado, T. (2020). Potential infiltration and morphometry in the Arroyo Grande basin, Sucre Colombia. Sucre: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, no. 96.

FAO. (2007). La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas. Obtenido de https://www.fao.org/4/a0644s/a0644s00.pdf?utm_source=chatgpt.com

Fernanda J. Gaspari, A. M. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/153563964.pdf?utm_source=chatgpt.com

Gualdrón , D., Villate, J., Torres , D., Molina, J., & Reyes, C. (2022). DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS EN CUENCAS EMPLEANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Tunja, Boyacá : Editorial UPTC.

Ley 1523. (2012). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

Ley 388 . (1997). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Sostenible, M. d. (s.f.). Obtenido de <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/cuenca-hidrografica/planes-de-ordenacion>

SOSTENIBLE, M. D. (2013). GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Obtenido de DICIEMBRE:

<https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Normatividad/Nacional/Guias/Anexo%20B%20-%20Gestion%20del%20Riesgo%20Gua%20Pomcas.pdf>

Domínguez, F., & Mercado, T. (2020). *Potential infiltration and morphometry in the Arroyo Grande basin, Sucre Colombia*. Sucre: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, no. 96.

Gaspari, F. J., Rodríguez-Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*

Gualdrón, D., Villate, J., Torres, D., Molina, J., & Reyes, C. (2022). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS EN CUENCAS EMPLEANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Tunja, Boyaca : Editorial UPTC.

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

INE, I. N. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas*. Obtenido de Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas

- Jain, V., Sinha, R., & Tandon, S. K. (2021). Morphometric analysis in floodplain management. *Geomorphology*, 379, 107632. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107632>
- (2022). *plan de ordenamiento del recurso hídrico de los caños Humachica y Grande*. Cormacarena - Consorcio Humachica- Grande, Meta, Guamal y Castilla la nueva - Dpto. Meta.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). Guía técnica para la zonificación de amenaza por inundación en Colombia. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Londoño Arango, C. (2001): Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales – Caracterización - Planificación - Administración - Universidad del Tolima, Colombia
- MADS. (2015). CAPITULO 7. MORFOMETRÍA. Todos por un Nuevo País, 32.
- Martínez, G., & Pérez, L. (2019). Aplicación de parámetros morfométricos para el análisis del riesgo de inundaciones en cuencas urbanas. *Revista de Geomorfología Aplicada*, 11(2), 55–70.
- Méndez-Gutiérrez, América Guadalupe, Corral-Rivas, Sacramento, Nájera-Luna, Juan Abel, Cruz-Cobos, Francisco, & Pompa-García, Marín. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Terra Latinoamericana*, 39, e641. Epub 13 de septiembre de 2021
- Mesa, O. J. (2006). Introducción a la hidrología. Universidad Nacional de Colombia.
- Neuta Perdomo, N., & Cuéllar González, J. (2024). *Análisis de vulnerabilidad por inundación en Granada, Meta* [Trabajo de grado, UNAD]. <https://repository.unad.edu.co>
- Nuvan Guarnizo, A., & Parra Pérez, E. (2024). *Análisis del riesgo de inundación en Mesetas (Meta) mediante herramientas SIG* [Trabajo de grado, UNAD]. <https://repository.unad.edu.co>

- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Oxford: Blackwell Publishing.
- Pacheco, H., Cartaya, S., Marcano, A. & León, C. (2015). Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidrogeomorfológica. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 133–156.
- Presutti, D. F. (2012). EL PERÍMETRO DE UNA CUENCA HÍDRICA: SU TRATAMIENTO OBJETIVO EN LA DEFINICIÓN DE ÍNDICES GEOMORFOLÓGICOS. Buenos Aires
- Resources, A. (s.f.). *ArcGIS Resources*.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913–920.
<https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- UNGRD. (2020). *Guía técnica para la elaboración de estudios de riesgo por inundación*.
<https://www.gestiondelriesgo.gov.co>
- USACE, C. d. (2024). *Manual de usuario de HEC-RAS*.
- VÉLEZ UPEGUI, JORGE JULIÁN, & BOTERO GUTIÉRREZ, ADRIANA. (2011). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA*, 78(165), 58-71.
- Wałęga, A. C. (2017). *Hidráulica de Canales Abiertos, Estructuras Hidráulicas Fluviales y Geomorfología Fluvial* (1ra ediciom ed.)