



**ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN EL
MUNICIPIO DE LA MONTAÑITA CAQUETÁ**

BRAHAYAM ALEJANDRO ARDILA AVILA

Código 11792221142

YUBER ALEXANDER HERRERA PARRA

Código 1136886279

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2023

**ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN EL
MUNICIPIO DE LA MONTAÑA CAQUETÁ**

BRAHAYAM ALEJANDRO ARDILA AVILA

YUBER ALEXANDER HERRERA PARRA

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Doctor, Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2023

Resumen

Las avenidas torrenciales suelen presentarse debido al incremento excesivo de precipitaciones en zonas de pronunciadas pendientes e inestables, uno de los factores principales es el fenómeno de transformaciones de tierra, donde no se ha adaptado el uso adecuado al suelo y al encontrarse dentro de corrientes de aguas, su material es deprendido y se combina con el flujo ocasionando desastres.

Este trabajo se realizó para generar la zonificación de amenaza por avenida torrencial en el municipio de La Montañita, generando los mapas acordes a la amenaza de acuerdo a los valores respectivamente de la clasificación morfométrica, precipitación, material superficial, coberturas y geomorfología del municipio, así mismo, se buscó analizar la información recopilada de entidades gubernamentales, municipales, regionales e instituciones privadas, la cual sirvió de base para realizar un previo reconocimiento de la zona de estudio, en donde se determinó la clasificación morfométrica de las cuencas del municipio, los rangos de precipitación, las coberturas, materiales superficiales y por último la geomorfología, estas variables fueron evaluadas y aponderados según la metodología establecida del CORNARE para realizar la zonificación de amenaza por avenida torrencial.

Como resultado principal se obtuvo un mapa de zonificación de amenaza por avenida torrencial en el municipio de La Montañita, el cual permite visualizar la interacción de este fenómeno con los centros poblados del municipio, observando que el norte, es la zona que es más susceptible de ser afectada en caso de presentarse el evento, ya que la cantidad existente de drenajes presentes combinado con los demás parámetros evaluados, aumentan la amenaza de que ocurra dicho evento en el municipio.

Palabras clave: Cuenca, avenidas, torrenciales, zonificación, amenaza.

Abstract

Torrential floods usually occur due to the excessive increase of rainfall in areas of steep and unstable slopes, one of the main factors is the phenomenon of land transformations, where the land has not been adapted to the proper use and when found within streams, its material is depressed and combined with the flow causing disasters.

This work was carried out to generate the zoning of torrential flood hazard in the municipality of La Montañita, generating maps according to the threat according to the values of morphometric classification, precipitation, surface material, cover and geomorphology of the municipality, as well as to analyze the information collected from governmental, municipal, regional and private institutions, These variables were evaluated and weighted according to the methodology established by CORNARE to carry out the zoning of threats due to torrential floods.

The main result was a map of zoning of torrential flood hazard in the municipality of La Montañita, which allows visualizing the interaction of this phenomenon with the populated centers of the municipality, noting that the north is the area that is most likely to be affected in case of the event, since the existing amount of drainage present combined with the other parameters evaluated, increase the threat of such an event occurring in the municipality.

Key words: Watershed, floods, torrential, zoning, hazard.

Tabla de Contenido

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción..... | 9 |
| 2. Objetivos..... | 11 |
| 2.1. Objetivo general..... | 11 |
| 2.2. Objetivos específicos | 11 |
| 3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento | 11 |
| 3.1. Referentes de estudios similares internacionales..... | 17 |
| 4. Metodología..... | 18 |
| 4.1. Área de estudio..... | 18 |
| 5.2. Zonificación por avenidas torrenciales | 21 |
| 5.2.1. Recopilación de información | 23 |
| 5.2.2. Análisis de los datos..... | 23 |
| 5.2.3. Criterios, métodos y valoraciones de datos..... | 24 |
| 5.2.4. Clasificación morfométrica | 24 |
| 5.2.5. Precipitación | 27 |
| 5.2.6. Coberturas | 27 |
| 5.2.7. Materiales Superficiales..... | 28 |
| 5.2.8. Geomorfología | 29 |
| 5.3. Análisis espacial | 29 |
| 5.3.1. Modelo digital de elevación | 30 |
| 5.3.2. Delimitación de subcuencas y red de drenaje..... | 31 |
| 5.3.3. Clasificación morfométrica | 33 |
| 5.3.4. Precipitación | 37 |
| 5.3.5. Coberturas | 40 |
| 5.3.6. Material superficial..... | 40 |
| 5.3.7. Geomorfología | 41 |
| 6. Resultados y discusión..... | 43 |
| 6.1. Zonificación | 53 |
| 6.1.1. Clasificación morfométrica | 53 |
| 6.1.2. Precipitación | 54 |
| 6.1.3. Coberturas superficiales..... | 55 |
| 6.1.4. Material superficial..... | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1.5. Geomorfología | 58 |
| 6.2. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales | 58 |
| 7. Conclusiones..... | 62 |
| 8. Recomendaciones..... | 63 |
| Referencias Bibliográficas | 64 |

Tabla de Figuras

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Localización general | 19 |
| Figura 2. Fuentes hídricas del municipio de La Montañita..... | 21 |
| Figura 3. Metodología general del proyecto..... | 22 |
| Figura 4. Esquema de la metodología CORNARE..... | 24 |
| Figura 5. Código para obtener DEM mediante la plataforma GGE | 30 |
| Figura 6. Modelo digital de elevación del municipio de La Montañita | 31 |
| Figura 7. Esquema herramientas de geoprosesamiento utilizadas en el software ArcGIS..... | 32 |
| Figura 8. Red hídrica y el orden de ríos del municipio de La Montañita | 32 |
| Figura 9. Delimitación de subcuencas y microcuencas hidrográficas del municipio de La Montañita | 33 |
| Figura 10. Clasificación de pendientes del municipio de La Montañita | 36 |
| Figura 11. Código de plataforma para la descarga de datos recientes de precipitación | 37 |
| Figura 12. Model Builder para la obtención de mapa de isoyetas | 39 |
| Figura 13. Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas seleccionadas del municipio de La Montañita | 39 |
| Figura 14. Coberturas superficiales del municipio de La Montañita | 40 |
| Figura 15. Suelos y material superficial del municipio de La Montañita | 41 |
| Figura 16. Geomorfología del municipio de La Montañita | 42 |
| Figura 17. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río San Pedro..... | 46 |
| Figura 18. Clasificación de pendientes de la subcuenca de la quebrada La Montañita | 47 |
| Figura 19. Clasificación de pendientes de la subcuenca de la quebrada Niña María .. | 48 |
| Figura 20. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Orteguzaza | 49 |
| Figura 21. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Peneya | 50 |
| Figura 22. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Suncilla..... | 50 |
| Figura 23. Isoyetas del municipio de La Montañita | 52 |
| Figura 24. Clasificación morfométrica con nivel de amenaza..... | 53 |
| Figura 25. Mapa de precipitación con clasificación de amenaza | 55 |
| Figura 26. Mapa de coberturas superficiales con clasificación de amenaza..... | 56 |
| Figura 27. Mapa de materiales superficiales con clasificación de amenaza..... | 57 |
| Figura 28. Mapa geomorfológico con clasificación de amenaza | 58 |
| Figura 29. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales | 59 |
| Figura 30. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales contraste imagen satelital | 60 |
| Figura 31. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales contraste imagen satelital de centros poblados..... | 61 |

Tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Núcleos veredales del municipio de La Montañita | 20 |
| Tabla 2. Ponderación de factores de la clasificación morfométrica..... | 25 |
| Tabla 3. Asignación del índice compacidad | 25 |
| Tabla 4. Asignación del índice de densidad de drenaje | 26 |
| Tabla 5. Clasificación de pendientes | 27 |
| Tabla 6. Reclasificación de coberturas | 28 |
| Tabla 7. Reclasificación de materiales superficiales..... | 28 |
| Tabla 8. Reclasificación de paisajes geomorfológicos | 29 |
| Tabla 9. Ponderación de factores de amenaza por avenida torrencial..... | 30 |
| Tabla 10. Clasificación de forma de la cuenca..... | 34 |
| Tabla 11. Rangos del factor de forma..... | 34 |
| Tabla 12. Clasificación unidades geográficas | 35 |
| Tabla 13. Clases de pendientes | 36 |
| Tabla 14. Estaciones climatológicas seleccionadas con su registro de precipitación ... | 38 |
| Tabla 15. Parámetros Fisiográficos de las Cuencas Hidrográfica | 44 |
| Tabla 16. Resultados de Densidad de Drenaje..... | 45 |
| Tabla 17. Valores de pendiente media y clasificación | 51 |
| Tabla 18. Valores de clasificación morfométrica..... | 52 |

1. Introducción

Las avenidas o flujos torrenciales son entendidos como una combinación de fenómenos hidrológicos y geológicos, dado que fusionan acontecimientos hidrológicos de tipo crecientes súbitas con fenómenos gravitacionales como los movimientos en masa, los cuales se transportan a lo largo de un cauce. Dado que la sociedad vive en expansión urbana debido al gran aumento en la población, se ha generado grandes problemas ambientales y sociales, en los entornos urbanos, los eventos por avenidas torrenciales son más notorios debido a que hay un gran impacto en la sociedad y en la economía, lo cual ha conllevado a la pérdida de bienes, pérdidas humanas y culturales, descensos en la economía, incrementos en los seguros, entre otros (Franco, 2010).

Igualmente, estos fenómenos van asociados a las inundaciones las cuales pueden generar el deterioro de la cobertura vegetal en las partes altas y medias de las cuencas, lo cual causa que las escorrentías en épocas de precipitación sean mucho mayores, este deterioro en la cobertura vegetal se ve ligado a la deforestación, la desecación de humedales y a la expansión de la agricultura (Sedano, Carvajal & Ávila, 2013).

En Colombia la Ley 1523 de 2012 tiene como propósito la inclusión de la Gestión del Riesgos de Desastres (GRD) como una política de desarrollo en la que se asume el manejo de amenazas naturales y desastres ambientales y tecnológicos, proyectando de esta manera un desarrollo social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de las políticas y acciones constantes para dar conocimiento del riesgo evitando en lo más posible la generación del mismo. En caso de que se llegue a presentar un desastre natural la sociedad debe prepararse para controlar y manejar la posterior rehabilitación y reconstrucción de la

zona; todo esto enfocado a que exista una contribución a la seguridad pública y privada, la comodidad, el desarrollo óptimo de la vida y la dirección sostenible del lugar (Secretaría Jurídica Distrital de la alcaldía mayor de Bogotá, 2012).

Para contextualizar la ley y trasladarla más adelante en el análisis sobre la zonificación por amenaza de avenidas torrenciales en la Montañita, Caquetá, es importante definir algunos términos. El primero de ellos se denomina riesgo de desastre, este corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos producidos sobre una sociedad vulnerable, la cual no se encuentra preparada para el impacto o los efectos producidos por dicho contexto. El segundo atañe a que es un desastre, el cual se define como las manifestaciones de eventos tanto naturales como antropogénicos no intencionales, causada por una serie de daños en la sociedad. Este último al presentarse en cualquier lugar del país activa una alerta al estado para la ejecución de respuestas de emergencia, rehabilitación y reconstrucción en la zona afectada (Lavell, 2003).

La Montañita históricamente se ha visto afectada por diversos fenómenos naturales, el más reciente el 18 de mayo del 2022, en donde debido a una lluvia continua de más de diez horas provoco una creciente en el cauce de la quebrada la Montañita, desbordando y derribando los diferentes taludes de su tránsito actual, inundando el caso urbano y la inspección de Santuario, con un aproximado de afectación de casi un 80%, por ende este articulo mostrara el nivel de amenaza e impacto de las avenidas torrenciales en dicho municipio, para evitar a futuro afectaciones de mayor impacto a las que ya se han presentado.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Zonificar las amenazas por avenidas torrenciales en el municipio de La Montañita, Caquetá usando herramientas de sistemas de información geográfica.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar las variables necesarias para la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de la Montañita, Caquetá.
- Determinar las categorías de amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de La Montañita, Caquetá.

3. Marco Teórico y Estado del Conocimiento

Las avenidas torrenciales son fenómenos naturales producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos acelerados del nivel de los cauces en los cuerpos de agua que, aunque son de baja ocurrencia, tienen gran capacidad destructiva y en particular, su interés radica en evaluar los riesgos naturales a lo que se encuentra expuesta una determinada cuenca hidrográfica. Su alto impacto se debe a que es un evento impredecible y lo rápido en que sucede (Montoya Jaramillo et al., 2009).

Una avenida torrencial, consiste en el crecimiento veloz y sin control de los niveles de un cuerpo de agua de una cuenca o subcuenca, este fenómeno natural es un evento considerado impredecible, debido a que no se puede predecir el momento exacto en que pueda ocurrir (Santamaría et al., 2018).

Los flujos torrenciales o inundaciones son un fenómeno natural que se presenta en Colombia debido a su ubicación geográfica y a la presencia de montañas y ríos. La temporada de lluvias en el país es de abril a noviembre y durante estos meses se pueden presentar intensas precipitaciones que generan deslizamientos de tierra, crecidas de ríos y represas y desbordamientos de quebradas y arroyos (Ramos Cañon et al., 2021).

Estos tipos de fenómenos que conlleva a las inundaciones se han vuelto cada vez más frecuentes y graves en Colombia debido a la deforestación, la urbanización y la falta de medidas de prevención y protección. En los últimos años, han ocurrido varios eventos que han causado gran destrucción y pérdida de vidas humanas, como el deslizamiento de Mocoa en 2017, el huracán Iota que afectó al país en 2020 y las inundaciones en varias zonas del país durante la temporada de lluvias de 2021 (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017).

La región amazónica se caracteriza por ser una zona con lluvias intensas y con gran cantidad de ríos y quebradas que pueden aumentar considerablemente su caudal en épocas de lluvia. Esto puede generar la acumulación de agua en zonas vulnerables, lo que aumenta el riesgo de inundaciones y flujos torrenciales (Felipe Hurtado-Montoya & José Mesa-Sánchez, 2014).

Además, la Amazonia está siendo afectada por la deforestación y la expansión de la agricultura y la ganadería, lo que provoca la alteración del ciclo hidrológico y afecta negativamente la capacidad de los suelos y los bosques de retener agua. Esto puede incrementar la frecuencia e intensidad de los flujos torrenciales en esta región (Manfré et al., 2018).

Los flujos torrenciales en su mayoría pueden tener graves consecuencias, como la destrucción de viviendas, diferentes infraestructuras y hasta cultivos, así como la pérdida de vidas humanas y animales. Por ende, es fundamental el estudio de estos fenómenos para poder tomar medidas de prevención, como lo es la planificación territorial, la gestión de las cuencas hidrográficas y el desarrollo sostenible (Zuluaga Gómez, 2011).

Los valores de precipitación en la zona presentan su punto máximo en el mes de junio con 498 mm, pero su alza empieza desde enero, teniendo un comportamiento monomodal en el año, en condiciones normales los aguaceros suelen ser de mucha intensidad y poca duración y en cuanto al tema de horario, estas suelen presentarse más en las horas de la tarde y de la noche (Administración Municipal et al., 2018).

Las autoridades colombianas han implementado medidas de prevención y mitigación para enfrentar estos eventos, como la creación de sistemas de alerta temprana, la construcción de obras de infraestructura para proteger las poblaciones vulnerables y la promoción de proyectos de reforestación y conservación de cuencas hidrográficas. Sin embargo, queda aún mucho por hacer para reducir los riesgos y aumentar la resiliencia frente a estos fenómenos en Colombia (Franco Idarraga, 2010).

El riesgo de que ocurran fenómenos que se desencadenen en desastres, son una construcción social, vinculada con el potencial de perder vidas o en su defecto, daños en infraestructuras, que pueden suceder población específica, los ecosistemas que se basan o sus medios de vida, de acuerdo al resultado de la unión o mutuo condicionamiento entre la amenaza y vulnerabilidad (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017).

La epistemología acerca de los desastres observado desde la rama de las ciencias sociales en los últimos treinta años, ha permitido precisar las causas de los desastres en las características de la población que los experimenta, estructuradas a través del transcurrir de los años, y no en el elemental suceso de un fenómeno natural. Consecuentemente, las múltiples formas de entender los desastres naturales, la conciencia acerca de lo que puede ocasionar riesgo y las maneras de evitarlo, se tornan factores determinantes, debido a que condicionan la posibilidad de sortearlos o mitigar su impacto en la población (Serna Quintana, 2011).

La amenaza se considera como la contingencia de que suceda un evento que desencadene un fenómeno natural, como puede ser un deslizamiento en masa o inundación, afectando a una población determinada siendo susceptible de sufrir daños irreversibles como pérdidas de vidas. Consecuentemente, la vulnerabilidad es considerada como el resultado del orden social y la amenaza es definida por la socialización que se realiza específicamente de la naturaleza (Serna Quintana, 2011).

Un evento derivado de un fenómeno natural suele inferir un desastre, debido a la pérdida de vidas e infraestructura, combinado con sus efectos nocivos, amenaza infiere al fenómeno natural y vulnerabilidad, a la susceptibilidad de una población o ecosistema. Evento se define como el fenómeno, natural o no, que una vez se desencadena, causa efectos adversos sobre las vidas de determinada población y su infraestructura (Polanco L & Bedoya Sanmiguel, 2005).

Las avenidas torrenciales son catalogadas dentro de amenazas como tipo socio natural, conforme a lo descrito en el documento “Terminología sobre Gestión del Riesgo de

Desastres y Fenómenos Amenazantes”, pertenece a un flujo demasiado veloz que transporta masa sólida, que recorre especialmente limitado conforme a la extensión determinada de un cauce o lecho, generalmente con una pendiente ampliamente pronunciada que logra generar movimiento del material (Hernández Sierra, 2018).

Desde la perspectiva de la geomorfología, las avenidas torrenciales se pueden determinar como una clase de movimiento en masa, que se caracteriza por tener un flujo veloz que contienen una combinación de material sólido y agua, considerando la característica de los materiales incluidos y las clases de movimientos que estos generan, los cuales incluyen materiales altamente concentrados de lodo, escombros y rápidas transiciones (Hernández Sierra, 2018).

Los movimientos en masa forman parte de los desastres naturales en todo el mundo, que acarrear grandes pérdidas económicas y humanas. Este fenómeno se produce por muchas razones, algunas de ellas son geológicas, geomorfológicas y la intervención antrópica. Ellos generalmente se asocian a una inducción externa que aumenta rápidamente las tensiones o reduce la resistencia. Los factores desencadenantes más comunes son los movimientos tectónicos el deshielo rápido o las precipitaciones intensas y prolongadas (Muñoz et al., 2014).

Los fenómenos de movimientos de tierra severos son comunes en regiones con mucha precipitación y terreno accidentado. La construcción de carreteras en estas regiones puede aumentar la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos. El mapeo e identificación de áreas de peligro y cicatrices de deslizamientos en regiones con carreteras es importante para la prevención y mitigación de eventos severos. Sin embargo, mapear y monitorear estos eventos

es difícil porque las carreteras cruzan áreas extensas y se requieren grandes cantidades de datos para identificar las características y los eventos pasados. Las características geomorfológicas de estas regiones también dificultan el acceso a las evaluaciones (Caiza & Zambrano Nájera, 2018).

La ocurrencia de deslizamientos de tierra en el frente de la montaña y en las laderas de las cuencas interiores, y especialmente los flujos de escombros y lodo que pueden llegar a la llanura aluvial son comunes y representan un riesgo creciente para las áreas pobladas. Un gran evento de flujo de sedimentos, es un ejemplo del impacto potencial de deslizamientos de tierra catastróficos en el área. Si bien las fuertes lluvias son el desencadenante principal de flujos y deslizamientos superficiales, otras condiciones meteorológicas como la altitud influye a causar este evento (Lara et al., 2018).

Los fenómenos naturales pueden causar daños materiales significativos a infraestructuras y propiedades privadas, así como poner en peligro la vida de las personas. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo una gestión adecuada del riesgo y prever medidas de prevención y mitigación ante estos fenómenos (Sedano-Cruz et al., 2013).

La gestión del riesgo en caso de flujos torrenciales implica una planificación adecuada y la creación de sistemas de alerta temprana que permitan a las personas evacuar rápidamente para evitar peligros adicionales. Asimismo, es importante identificar las áreas de mayor riesgo y trabajar en la implementación de medidas de control adecuadas, como la construcción de muros de contención y la regulación de los arroyos y ríos cercanos (Muñoz-Duque & Arroyave, 2017).

En definitiva, la amenaza de flujos torrenciales es un aspecto crucial en la gestión de riesgos, ya que estos fenómenos pueden causar daños materiales y poner en peligro la vida de las personas. Es indispensable tomar medidas para prevenir y mitigar estos eventos y garantizar la seguridad de las comunidades cercanas (Montoya Jaramillo et al., 2009).

3.1. Referentes de estudios similares internacionales

González (2011) realizó una investigación con la finalidad de analizar la peligrosidad, la descripción de las precipitaciones constantes, su repercusión sobre la evaluación y zonificación de los procesos del fenómeno de remoción en masa en la ciudad de Tampico, geográficamente ubicada en la cuenca baja del río Panuco, México (De et al., 2011).

Por otra parte, Rivas & Carrera (2016) zonificaron la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial terminal del río Borburata, Estado de Carabobo Venezuela, consistió en precisar en la localidad de Borburata atendiendo las características geomorfológicas de su entorno, las condiciones de precipitaciones que se presentan en la región y principalmente en la cuenca localizada, las probabilidades que se generan durante las épocas de lluvias, desencadenándose en inundaciones (Rivas Larry & Carrera Juan, 2016).

Merlinsky & Tobías (2016) realizaron un estudio cuyo objetivo fue analizar la construcción pública del problema de las inundaciones en Buenos Aires, Argentina. La Ciudad de Buenos Aires está situada en tierras bajas próximas a vertientes de cuerpos de hídricos que vierten sus aguas en el río de La Plata, con la finalidad de analizar el fenómeno a partir de instrumentos conceptuales de sociología acerca del riesgo, localizando el centro de atención sobre los procesos físicos y antropogénicos que causan las inundaciones en la ciudad (Merlinsky & Ayelén Tobías, 2016).

Consecuentemente, Lara & Sepúlveda (2018) realizaron un trabajo con la finalidad de presentar mapas recopilados sobre la susceptibilidad de fenómenos de remoción en masa, sobre el frente precordillera de la ciudad de Santiago de Chile, comprendida entre los ríos Maipo y Mapocho, identificando las zonas expuestas a la ocurrencia de fenómenos como deslizamientos y flujos (Lara et al., 2018).

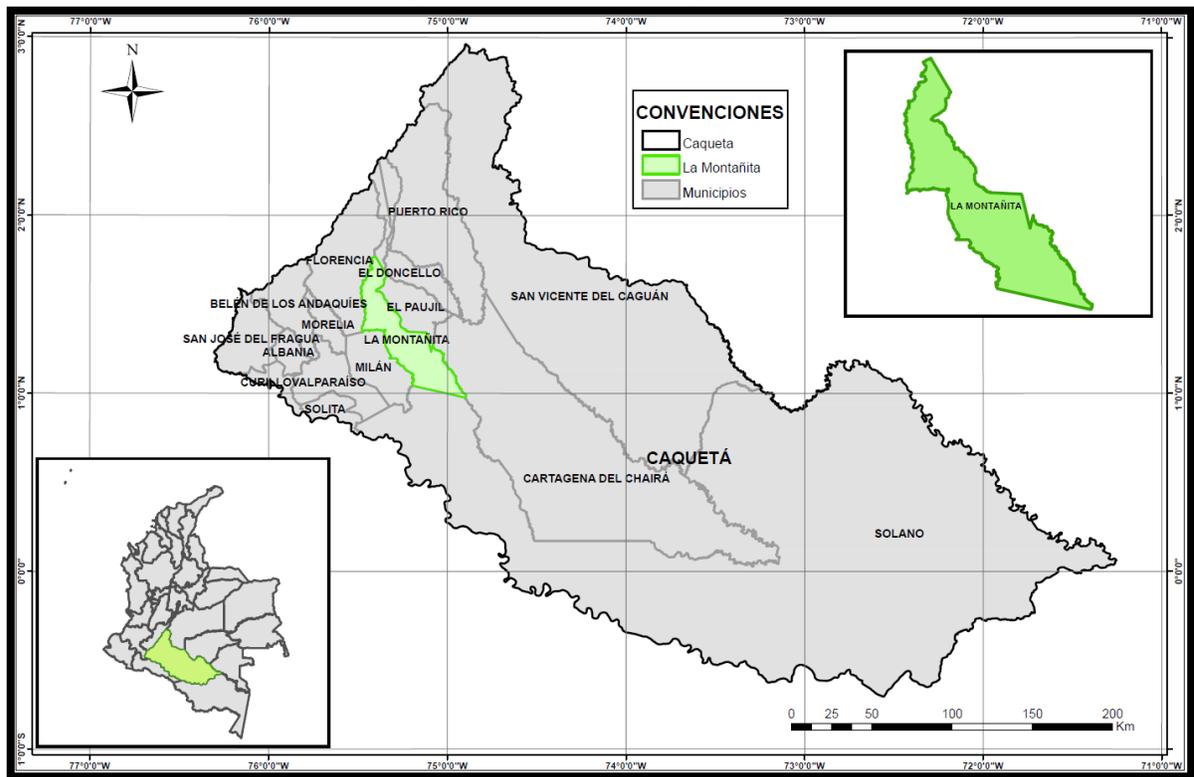
4. Metodología

4.1. Área de estudio

El Municipio de La Montañita está situado al sur del país, con una extensión de 1.840,4222 km², se localiza a 575 kilómetros de Bogotá D.C, pertenece al departamento del Caquetá y su cabecera municipal está ubicada al Suroriente de la ciudad de Florencia, a una distancia de 27 kilómetros, con la que se une por medio de la carretera Marginal de la Selva (Administración Municipal et al., 2018).

El municipio está compuesto principalmente por paisajes de montaña pertenecientes a la cordillera Oriental, del piedemonte llanero, del lomerío amazónico y del valle aluvial del río Ortegúaza (Administración Municipal et al., 2018) (Figura 1).

Figura 1. Localización general



Fuente: Propia del autor

El estudio se desarrolló específicamente en el municipio La Montañita, ubicado al Noroeste del departamento de Caquetá, sus límites se describen a continuación: por el norte, la ciudad de Florencia; por el oriente, los municipios El Paujil y Cartagena del Chairá; por el sur, el municipio de Solano; y al occidente, el municipio de Milán.

La división político-administrativa rural del municipio La Montañita la conforman 10 núcleos veredales y algunos de ellos cuentan con centro poblados, a continuación, se describe los núcleos del municipio con sus respectivas áreas (Tabla 1).

Tabla 1. Núcleos veredales del municipio de La Montañita

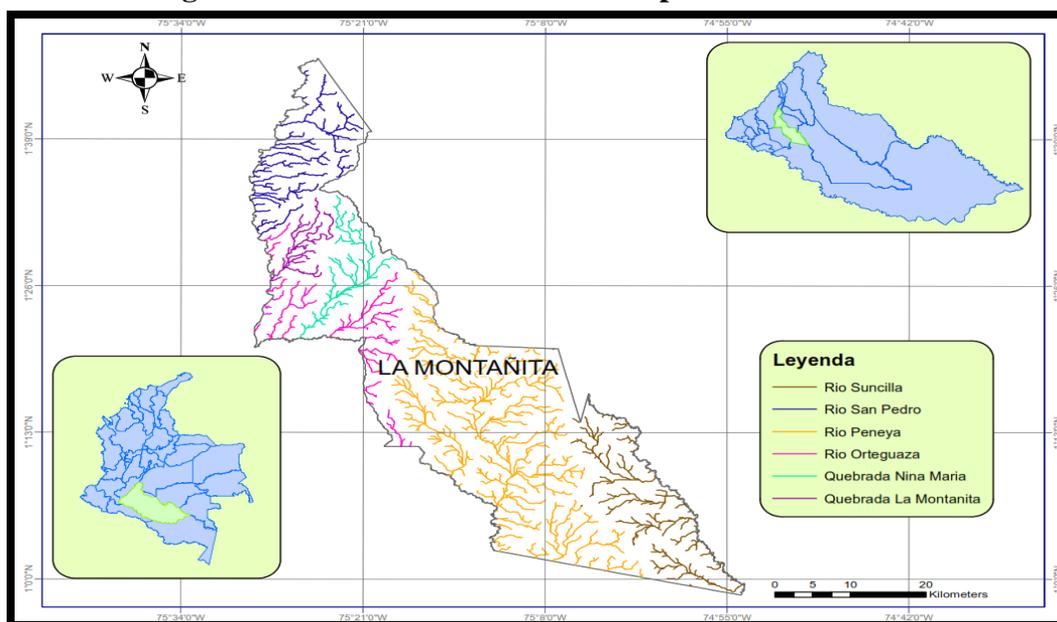
| Centro Poblado | Área (ha) |
|-----------------------|------------------|
| El triunfo | 12738 |
| La Gaitania | 14359 |
| La Montañita | 6133 |
| La Unión Peneya | 24826 |
| Mateguadua | 18111 |
| Miramar | 23358 |
| Palmeras | 23798 |
| Reina Baja | 14269 |
| San Isidro | 18601 |
| Santuario | 14104 |

Fuente: Administración Municipal

La oferta hídrica del municipio La Montañita está representada por una importante red hidrográfica que está compuesta por las cuencas de los ríos Peneya y San Pedro, y la de las quebradas La Montañita y La Niña María, afluentes del río Orteguzza, y la cuenca del río Suncillas afluente del río Caguán. Estos ríos y quebradas nacen en la cordillera Oriental, por tal razón, son flujos hídricos de origen Andino - Amazónico.

La red de drenaje superficial del Municipio La Montañita entregan sus aguas al río Caquetá a través de los ríos Orteguzza y Caguán y por intermedio del río Caquetá al gran río Amazonas (Administración Municipal et al., 2018).

Figura 2. Fuentes hídricas del municipio de La Montañita



Fuente: Propia del autor

5.2. Zonificación por avenidas torrenciales

El estudio presentado se adecuó según el documento técnico de la metodología del CORNARE acerca de la evaluación y zonificación de riesgos causada por los fenómenos de avenida torrencial, inundación, remoción en masa y magnitud de procesos erosivos (Zuluaga Gómez, 2011).

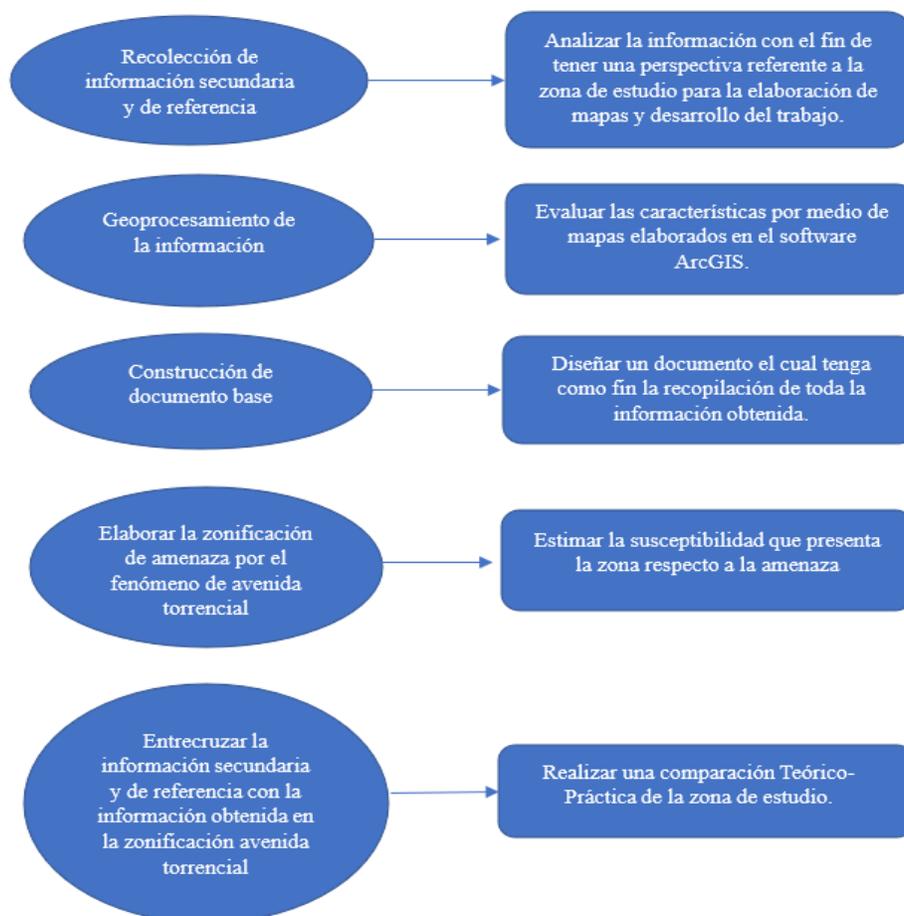
La recopilación de información secundaria se realizó por medio de las bases de datos con las que cuenta la universidad y datos abiertos de entidades públicas donde se reflejaron las investigaciones o casos de estudio que se han venido desarrollando a lo largo del tiempo en cuanto a la temática establecida.

A nivel digital, se generaron mapas de ubicación, ordenamiento de cuencas y suelos, los cuales fueron obtenidos a partir de datos abiertos de la Corporación Autónoma Regional (CAR), Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Departamento Administrativo Nacional de

Estadística (DANE) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como feature class de vías, uso potencial y actual del suelo, conflicto de suelos, modelo digital de elevación (DEM), zonificación climática, y cobertura vegetal.

Para el análisis hidrológico se implementó un tratamiento estadístico a los datos que se obtuvieron del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con el fin de extraer los datos medios mensuales multianuales dando como resultado el estudio pluviométrico del área.

Figura 3. Metodología general del proyecto



Fuente: Propia del autor

5.2.1. Recopilación de información

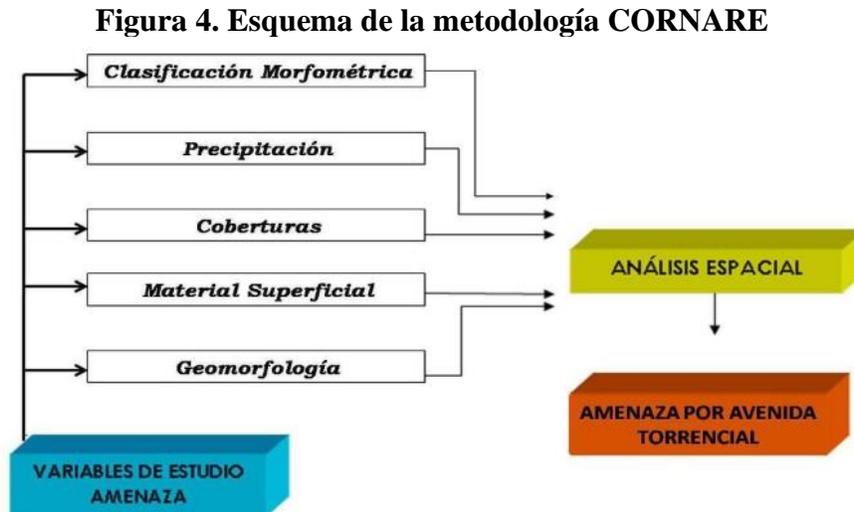
La información secundaria del ordenamiento territorial del municipio de La Montañita y la gestión del riesgo fue tomada del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), otorgada por el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastre con actualización del año 2018 y de la Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE). De la cual se tomó como referencia su ordenamiento territorial, el plan de gestión de riesgos y desastres que está implementado en el territorio.

5.2.2. Análisis de los datos

Se realizó teniendo en cuenta la metodología de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare (CORNARE), la cual tiene como finalidad la identificación de las áreas que se ven involucradas por el aumento de agua en la corriente del río por avalanchas, crecientes, borrasca o torrentes, también tiene en cuenta el comportamiento de los cauces que llegan al río e incluye el análisis de las diferentes vulnerabilidades presentes en la zona de estudio (Zuluaga Gómez, 2011); se realizó el análisis para cada mapa donde se obtuvo una perspectiva inicial de la zona, con el objetivo de hacer la evaluación en campo para proporcionar veracidad a la información que había suministrado cada mapa, posteriormente se llevó a cabo una comparación teórico-práctica, en donde se tuvieron en cuenta los indicadores de amenaza en esta zona, para estimar la exposición de la sociedad a un fenómeno de avenida torrencial, su capacidad de respuesta y recuperación del mismo (Figura 2).

5.2.3. Criterios, métodos y valoraciones de datos

La zonificación de amenaza por avenidas torrenciales se realizó, teniendo en cuenta las clasificaciones de las amenazas establecida en la metodología de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare (CORNARE) (Figura 3).



Fuente: Zuluaga Gómez, 2011

5.2.4. Clasificación morfométrica

El mapa de clasificación morfométrica está definido por unas características especiales, la cual da forma a una cuenca torrencial, los factores a tener en cuenta para esta clasificación son el coeficiente de compacidad (KC), la densidad de drenaje (DD) y la pendiente media de la cuenca (PM), a continuación, se mostrará la ponderación que tendrán estos factores en la clasificación (Zuluaga Gómez, 2011) (Tabla 2).

Tabla 2. Ponderación de factores de la clasificación morfométrica

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Coeficiente de compacidad KC | 25% |
| Densidad de Drenaje DD | 25% |
| Pendiente Media de la Cuenca PM | 50% |
| Clasificación Morfométrica | 100% |

Fuente: Metodología CORNARE

Para definir el coeficiente de compacidad KC, se tuvo en cuenta la relación del perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia, hacia la superficie de la misma cuenca. En teoría, la cuenca tiene tendencia a ser de forma alargada si el índice de compacidad es superior a 1.5, mientras que se considera de forma redonda, en la medida que este valor tiende a aproximarse a 1. Este factor es importante ya que es un referente para establecer el comportamiento de la escorrentía superficial en la cuenca, clarificando que las cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo más rápido, comparadas con las cuencas de formas redondas, obteniendo así, como resultado una salida más veloz y que a su vez, genera una mayor energía cinética en el transporte de diversos materiales o sedimentos.

Para las 6 subcuencas presentes en el municipio La Montañita se obtuvieron índices de compacidad que oscilaron entre 1,370 y 3,070 y se clasificaron en cinco rangos (Tabla 3).

Tabla 3. Asignación del índice compacidad

| INTERVALO | CALIFICACIÓN |
|------------------|---------------------|
| 1,370 - 1,714 | Muy Baja |
| 1,715 – 2,059 | Baja |
| 2,060 – 2,404 | Media |
| 2,405 – 2,749 | Alta |
| 2,750 - 3,070 | Muy Alta |

Fuente. Metodología CORNARE

La densidad de drenaje es una medida que indica la cantidad de agua que fluye a través de una cuenca hidrográfica en relación a su área. En otras palabras, se refiere a la cantidad de agua que se evacua de una determinada área de la superficie de la Tierra en un determinado período de tiempo. Se calcula dividiendo el área de la cuenca hidrográfica por la longitud total de todos los canales y ríos que drenan esa área. Por lo tanto, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, mayor será la cantidad de agua que fluye a través de la cuenca hidrográfica en un período de tiempo determinado (Ramos Cañón et al., 2021).

La densidad de drenaje es importante para entender el funcionamiento del ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica y a su vez, de cómo se distribuye el agua en una región determinada. También puede ser útil para la planificación y gestión de recursos hídricos, ya que una alta densidad de drenaje, puede indicar una mayor susceptibilidad a inundaciones y erosión del suelo (Ramos Cañón et al., 2021).

Para las 6 subcuencas que se analizaron, se obtuvieron valores de densidad de drenaje que variaron entre 0,654 y 1,053 (Tabla 4).

Tabla 4. Asignación del índice de densidad de drenaje

| INTERVALO | CALIFICACIÓN |
|------------------|---------------------|
| 0,654 - 0,734 | Muy Baja |
| 0,735 - 0,815 | Baja |
| 0,816 - 0,896 | Media |
| 0,897 - 0,977 | Alta |
| 0,978 - 1,053 | Muy Alta |

Fuente: Metodología CORNARE

Para la generación del mapa de pendiente media, se realizó un modelo digital de elevación, utilizando un geoprocésamiento de pendiente en el software ArcGIS PRO, y se reclasificaron los valores obtenidos en porcentajes de pendiente (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de pendientes

| VALOR PENDIENTE (%) | CALIFICACIÓN |
|----------------------------|---------------------|
| < 5 | Muy Baja |
| 5 - 11 | Baja |
| 12 - 34 | Media |
| 35 - 75 | Alta |
| > 75 | Muy Alta |

Fuente: Metodología CORNARE

5.2.5. Precipitación

Para el análisis de esta variable se reclasificaron los registros máximos de precipitación en cinco grupos equitativos, siendo los de menor rango con calificación muy baja y para el mayor grupo, corresponde calificación muy alta, estos valores se proporcionaron de la estación referente, para determinar variables climáticas, en este caso la estación Aeropuerto de la cual se encontró la información en el esquema de ordenamiento territorial y de las estaciones más cercanas al municipio, adicionalmente de un punto en el casco urbano con la información extraída de Google Earth Engine.

5.2.6. Coberturas

Dentro de este aspecto se tiene en cuenta las diferentes coberturas superficiales presentes en todo el municipio de La Montañita, donde se identifica la distribución en el espacio de las áreas de los diferentes usos y se fijó un valor a los mismos, para este caso se realizó la asignación de la metodología CORNARE (Tabla 6).

Tabla 6. Reclasificación de coberturas

| COBERTURA SUPERFICIAL | VALOR ASIGNADO |
|--|-----------------------|
| Suelo desnudo | 10 |
| Pastos | 8 |
| Cultivos anuales o transitorios | 7 |
| Bosque plantado | 5 |
| Cultivo permanente | 4 |
| Áreas construidas | 3 |
| Pastos no agrícolas | 3 |
| Arbustos, matorrales rastrojos | 2 |
| Bosques | 1 |
| Cuerpos de agua, corrientes y ciénagas | 1 |

Fuente: Metodología CORNARE

5.2.7. Materiales Superficiales

Para la presente variable se realizó la distribución espacial de los diferentes materiales obtenidos de las diversas transformaciones o acumulaciones de los materiales existentes en la superficie (Tabla 7), cabe aclarar que esta reclasificación se deriva de fenómenos de remoción en masa y que, a su vez, al ser este influenciado por fuertes lluvias, genera como resultado avenidas torrenciales.

Tabla 7. Reclasificación de materiales superficiales

| MATERIAL EN SUPERFICIE | VALOR ASIGNADO |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Depósito de vertiente (Coluviones) | 10 |
| Saprolito roca metamórfica foliada | 8 |
| Saprolito roca metamórfica no foliada | 7 |
| Saprolito roca ígnea | 6 |
| Saprolito roca sedimentaria | 5 |
| Depósito aluvial | 4 |

Fuente: Metodología CORNARE

5.2.8. Geomorfología

Los rasgos del terreno están directamente relacionados con la formación de cuencas torrenciales y otros eventos como los deslizamientos de tierra.(Caiza & Zambrano Nájera, 2018) Estas cuencas se localizan principalmente en áreas de montaña y llanuras, aunque en esta zona se pueden encontrar diversos tipos de paisajes geomorfológicos (Administración Municipal et al., 2018). Por lo tanto, la delimitación adecuada de estas cuencas fue crucial para poder identificar aquellas que tienen mayor riesgo de sucesos de fenómenos naturales, por lo que se adaptó el patrón de las unidades geomorfológicas a la de los paisajes con mayor interacción al flujo de agua las más propensas a sufrir procesos de erosión (Tabla 8).

Tabla 8. Reclasificación de paisajes geomorfológicos

| PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS | VALOR ASIGNADO |
|---------------------------------|-----------------------|
| Lomerio erosional | 5 |
| Montaña estructural erosional | 4 |
| Piedemonte coluvioaluvial | 3 |
| Valle aluvial | 2 |

Fuente: Metodología CORNARE

5.3. Análisis espacial

Para obtener el mapa de amenaza por avenidas torrenciales se ponderaron las variables anteriormente descritas, utilizando el software ArcGIS PRO para realizar el geoprocesamiento de algebra de mapas (Tabla 9).

Tabla 9. Ponderación de factores de amenaza por avenida torrencial

| FACTOR | PESO FACTOR (%) |
|----------------------------|------------------------|
| Clasificación Morfométrica | 30 |
| Geomorfología | 20 |
| Precipitación | 20 |
| Materiales Superficiales | 15 |
| Cobertura Superficial | 15 |

Fuente: Metodología CORNARE

El resultado es una clasificación que de ser el caso se determinarían en cinco rangos o se reclasificarían en los mismos, siendo los valores menores de amenaza muy baja y los valores mayores de amenaza muy alta, los demás rangos dependerán de dicha reclasificación.

5.3.1. Modelo digital de elevación

La obtención del modelo digital de elevación, fue mediante la plataforma Google Earth Engine, en la herramienta de selector de código, importando la colección de NASADEM: elevación digital de 30 m, así mismo, se creó una geometría en el selector en donde se identificó una aproximación de la zona de estudio (Figura 4).

Figura 5. Código para obtener DEM mediante la plataforma GGE

```

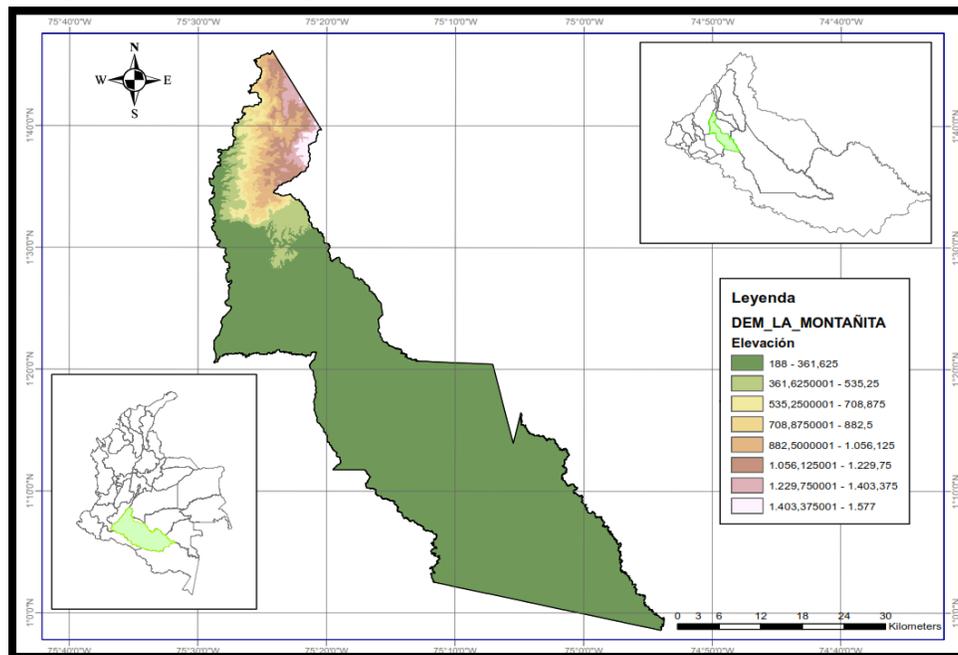
var dem = ee.Image('NASA/NASADEM_HGT/001');
var elevation = dem.select('elevation');
Map.addLayer(elevation, {min:0,max:4000}, "elevation");
var Zonaest = elevation.clip(geometry);
Map.addLayer(Zonaest, {min:0,max:1400}, "ClipElevationZonaest");
Export.image.toDrive({
  image: Zonaest,
  description: "Zonaest_DEM",
  scale: 30,
  region: geometry,
  maxPixels: 1E10
})

```

Fuente: Propia del autor

Una vez se descargó el archivo, en el software ArcGIS PRO se realizó un geoprocamiento para extraer por mascara, obteniendo así, el modelo digital de elevación de 30 m, con el límite municipal de La Montañita, con un rango entre 188 m hasta los 1577 m (Figura 5), adicionalmente se aclara que este límite fue obtenido de los datos abiertos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Figura 6. Modelo digital de elevación del municipio de La Montañita

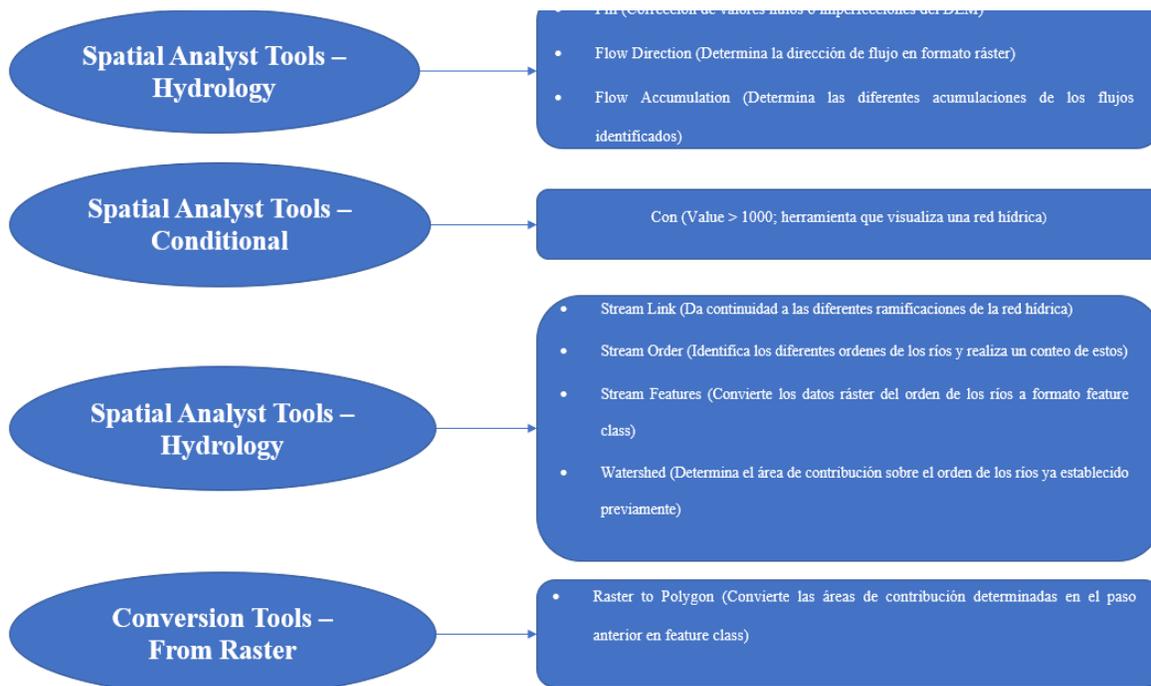


Fuente: Propia del autor

5.3.2. Delimitación de subcuencas y red de drenaje

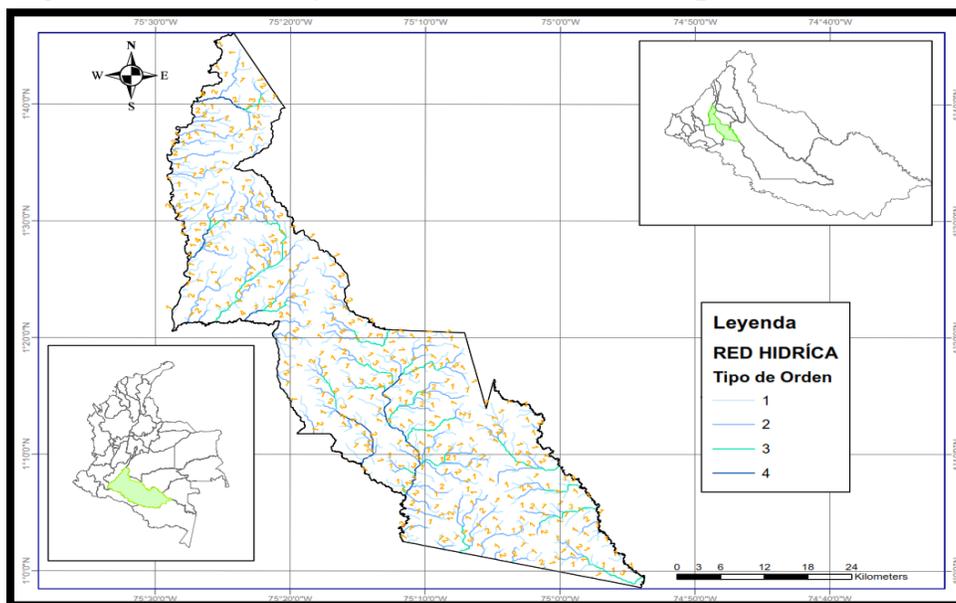
Este proceso se realizó utilizando las siguientes herramientas de geoprocamiento del software ArcGIS Desktop (Figura 6), soportado también con los lineamientos establecidos dentro del documento diagnóstico del esquema de ordenamiento territorial del municipio La Montañita (Figura 7).

Figura 7. Esquema herramientas de geoprocresamiento utilizadas en el software ArcGIS



Fuente: Propia del autor

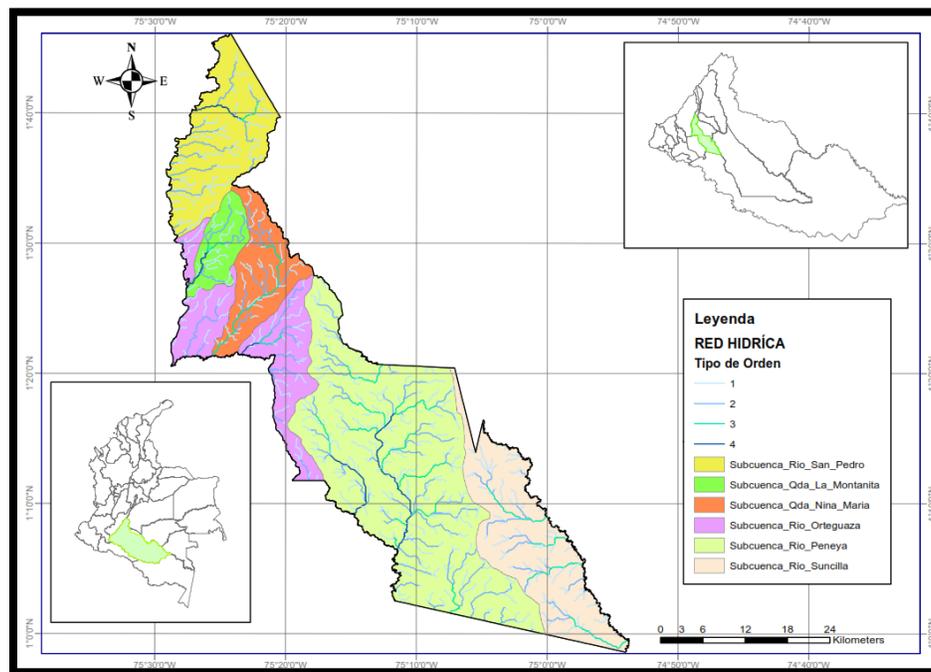
Figura 8. Red hídrica y el orden de ríos del municipio de La Montaña



Fuente: Propia del autor

Se asignaron los nombres de las subcuencas y microcuencas en la tabla de atributos, producto de los feature class del geoprocesamiento realizado utilizando la herramienta de Watershed, con ayuda del esquema de ordenamiento territorial del municipio de La Montañita (Figura 8).

Figura 9. Delimitación de subcuencas y microcuencas hidrográficas del municipio de La Montañita



Fuente: Propia del autor

5.3.3. Clasificación morfométrica

Dentro de los primeros parámetros fisiográficos de las 6 subcuencas que se encuentran en el municipio La Montañita, se obtuvo el área total y perímetro de las cuencas, adicionalmente la longitud del río principal, con el fin de determinar el ancho promedio de la cuenca, el coeficiente de compacidad, el factor de forma y el radio de circularidad (Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de forma de la cuenca

| Rango | Forma |
|--------------|------------------------------------|
| 1,00 - 1,25 | Redonda a oval redonda (compacta) |
| 1,26 - 1,50 | Oval redonda a oval oblonga |
| 1,51 - 1,75 | Oval oblonga a rectangular oblonga |
| > 1,75 | Casi rectangular (alargada) |

Fuente: Propia del autor

Los resultados se generaron desde el software ArcGIS PRO, utilizando la herramienta Arc Hydro Tools y también se realizó el procesamiento de la herramienta Watershed Processing – Longest Flow Path. Adicionalmente se tomó en cuenta las unidades hidrográficas con sus respectivos rangos, (Tabla 11) y a su vez, los rangos del factor de forma (Tabla 12).

Tabla 11. Rangos del factor de forma

| Factor de forma (valores aproximados) | Forma de la cuenca |
|--|---------------------------|
| < 0,22 | Muy alargada |
| 0,23 a 0,30 | Alargada |
| 0,31 a 0,37 | Ligeramente alargada |
| 0,38 a 0,45 | Ni alargada ni ensanchada |
| 0,46 a 0,60 | Ligeramente ensanchada |
| 0,61 a 0,80 | Ensanchada |
| 0,81 a 1,20 | Muy ensanchada |
| > 1,20 | Rodeando el desagüe |

Fuente: Propia del autor

Tabla 12. Clasificación unidades geográficas

| Unidad hidrográfica | Área (Km²) | Número de orden del río |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Microcuenca (pequeña) | 10 - 100 | 1°, 2° ó 3° |
| Subcuenca (mediana) | 101 - 700 | 4° ó 5° |
| Cuenca (grande) | 701 - 6000 | 6° a mas |

Fuente: Propia del autor

Para la variable de densidad de drenaje se tuvo presente la longitud total de la red hídrica de la cuenca en kilómetros, dividida en el área total de la cuenca en kilómetros cuadrados. Este proceso se realizó desde el software ArcGIS PRO mediante un geoprociamiento realizando un clip de la red hídrica con cada subcuenca, los cuales generaron 6 feature class de subcuencas como resultados, con su respectiva red de drenaje independiente.

Posteriormente se realizó un proceso estadístico en donde dependiendo de el orden del cuerpo hídrico, se procedió a realizar una sumatoria de la longitud del mismo, estos datos se organizaron y se almacenaron en un feature dataset. El producto resultante se visualizó en Excel, donde se procedió a sumar las longitudes de todas las cuencas y se ingresó el valor del área para cada cuenca.

La variable de pendiente media de la cuenca se desarrolló utilizando el modelo digital de elevación y los feature class de las subcuencas identificadas, generando así, un modelo para cada una de las cuencas, con el fin de crear una perspectiva mayor del municipio La Montañita, se realizó un mapa de pendientes general para todo el municipio y se reclasificó según la tabla de clases de pendientes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (Tabla 13).

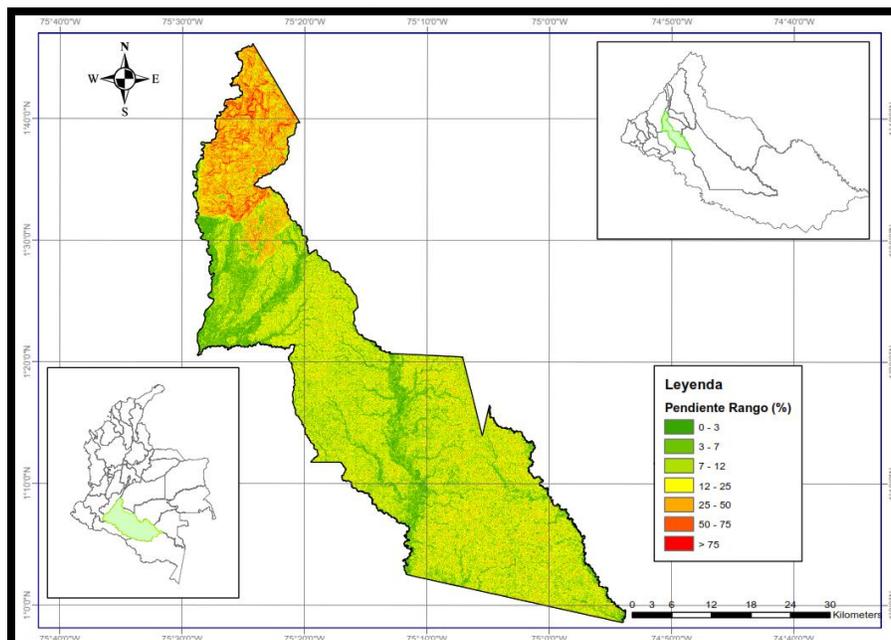
Tabla 13. Clases de pendientes

| Rango valor | Categoría |
|-------------|-----------------------|
| 0% - 3% | Plano |
| 3% - 7% | Ligeramente plano |
| 7% - 12% | Ligeramente inclinado |
| 12% - 25% | Fuertemente ondulado |
| 25% - 50% | Fuertemente quebrado |
| 50% - 75% | Escarpado |
| > 75% | Muy escarpado |

Fuente: Metodología IGAC

Dentro de la reclasificación del IGAC se visualizó que hacia el norte del municipio La Montañita, se evidencia presencia de terrenos con topografía escarpada y adicionalmente montañoso, en la mayoría del área del municipio se observa que predominan pendientes de entre 7 a 12 por ciento, y también se evidencia que en la parte de la sección de la inspección de Santuario y el casco urbano tiende a ser llanura (Figura 9).

Figura 10. Clasificación de pendientes del municipio de La Montañita



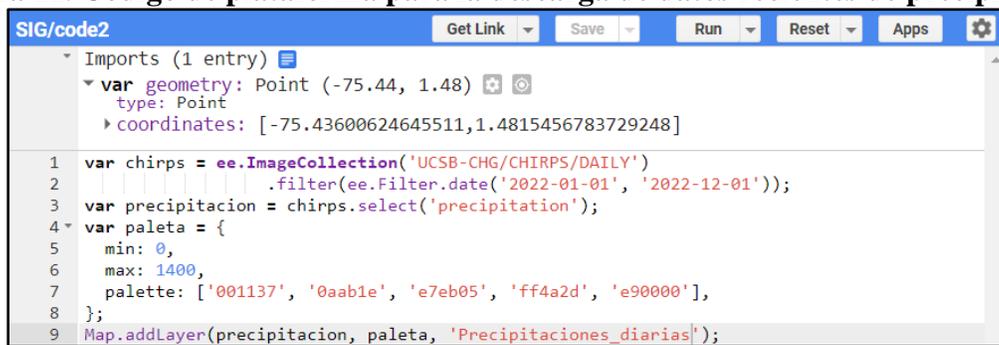
Fuente: Propia del autor

Generadas las salidas gráficas de las pendientes de las subcuencas respectivamente, utilizando las herramientas de geoprocésamiento de Functional Surface (Interpolate Shape) y de Zonal (Zonal Statics as Table) del software ArcGIS PRO, se obtuvo la información estadística del feature class de pendientes, destacando el valor medio.

5.3.4. Precipitación

Los registros de precipitación se obtuvieron por medio de dos métodos, el primero fue utilizando la plataforma de Google Earth Engine, en la herramienta de selector de código, importando la colección de CHIRPS Dayly: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (Version 2.0 Final), así mismo, se creó una geometría en donde se identificará una aproximación geográfica de la zona de estudio. (Figura 10). Se consultó el registro del año 2022, se descargó el registro en formato de Excel y se calcularon los registros de precipitación mediante períodos mensuales y anuales; adicionalmente el punto de geometría se le otorgó la característica de montaña y se unió a las demás estaciones.

Figura 11. Código de plataforma para la descarga de datos recientes de precipitación



```

SIG/code2
Get Link Save Run Reset Apps
Imports (1 entry)
var geometry: Point (-75.44, 1.48)
  type: Point
  coordinates: [-75.43600624645511,1.4815456783729248]
1 var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY')
2   .filter(ee.Filter.date('2022-01-01', '2022-12-01'));
3 var precipitacion = chirps.select('precipitation');
4 var paleta = {
5   min: 0,
6   max: 1400,
7   palette: ['001137', '0aab1e', 'e7eb05', 'ff4a2d', 'e90000'],
8 };
9 Map.addLayer(precipitacion, paleta, 'Precipitaciones diarias');
  
```

Fuente: Propia del autor.

Para el segundo método, se descargaron los registros de precipitación mediante la plataforma de datos abiertos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, obteniendo así, los promedios climatológicos de 1981 – 2021, seleccionando las estaciones más cercanas a la respectiva zona de estudio (Tabla 14).

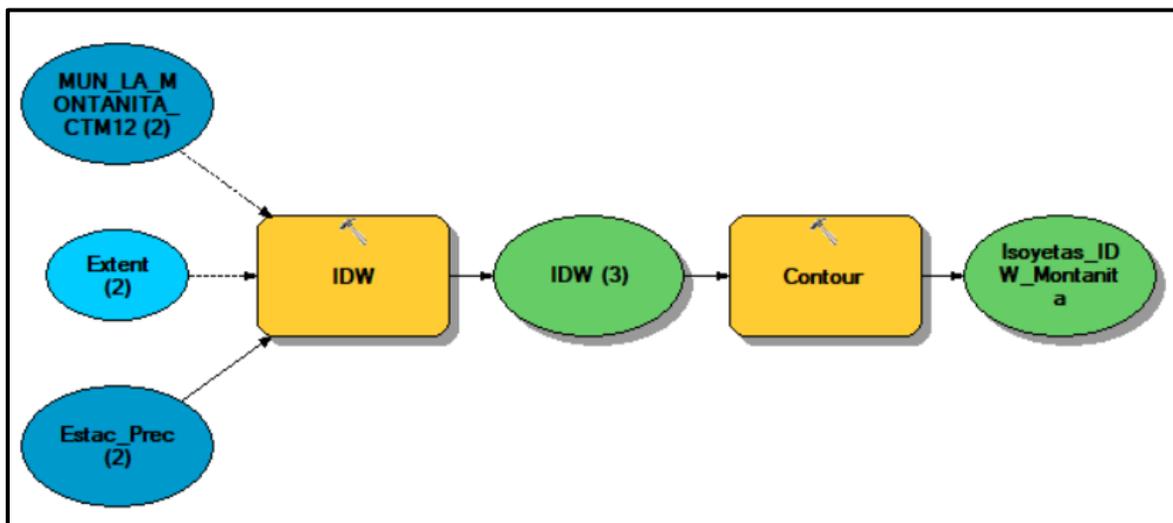
Tabla 14. Estaciones climatológicas seleccionadas con su registro de precipitación

| Estación | Elevación | Longitud | Latitud | X | Y | PP Anual |
|---------------------|-----------|--------------|---------------|--------|--------|----------|
| Belén de Andaquies | 300 | 75°52'14.6"W | 01°25'10.3"N | 156919 | 403136 | 4151,1 |
| Mono La | 300 | 75°48'27.8"W | 01°18'12.1"N | 144075 | 410140 | 3529,3 |
| Cartagena De Chaira | 300 | 74°50'36.8"W | 01°20'27.3"N | 148212 | 517403 | 2915,0 |
| Maguare | 270 | 75°9'45.6"W | 01°38'24.8"N | 181295 | 481906 | 2942,3 |
| Apto G Artunduaga | 244 | 75°33'34.4"W | 01°35'20.6"N | 175647 | 437758 | 3758,6 |
| Larandia | 500 | 75°29'35.7"W | 01°29'20.7"N | 164594 | 445131 | 3947,1 |
| Macagual | 280 | 75°39'39.6"W | 01°29'59.2"N | 165781 | 426470 | 3592,8 |
| Maracaibo | 265 | 75°24'0.0"W | 01°32'0.0"N | 169483 | 455505 | 4471,8 |
| Milán | 260 | 75°30'30.0"W | 01°17'21.3"N | 142506 | 443448 | 3730,1 |
| San Antonio Getuchá | 250 | 75°24'2.1"W | 01°5'56.3"N | 121472 | 455432 | 3199,3 |
| Puerto Rico | 285 | 75°9'2.4"W | 01°55'3.1"N | 211945 | 483243 | 3992,2 |
| Valparaíso | 270 | 75°42'16.1"W | 01°11'42.9"N | 132121 | 421624 | 3028,4 |
| Montaña | 220 | 75°26'6.77"W | 01°28'47.56"N | 163576 | 451587 | 4010,6 |

Fuente: Propia del autor

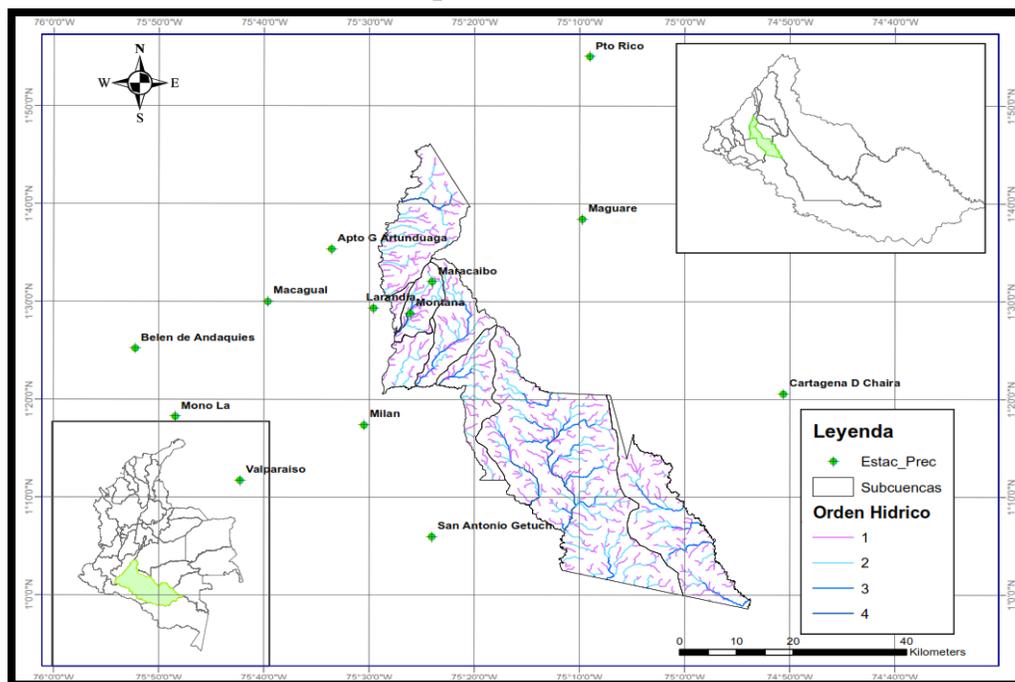
Para representar la precipitación se realizaron las respectivas isoyetas, estas se generaron mediante la herramienta de Model Builder del software ArcGIS Desktop (Figura 11) y adicionalmente se utilizó la herramienta de interpolación en base a la metodología IDW, la cual realizó la interpolación de la superficie a partir de los puntos de las estaciones climatológicas usando una técnica ponderada de distancia inversa (Figura 12).

Figura 12. Model Builder para la obtención de mapa de isoyetas



Fuente: Propia del autor

Figura 13. Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas seleccionadas del municipio de La Montañita

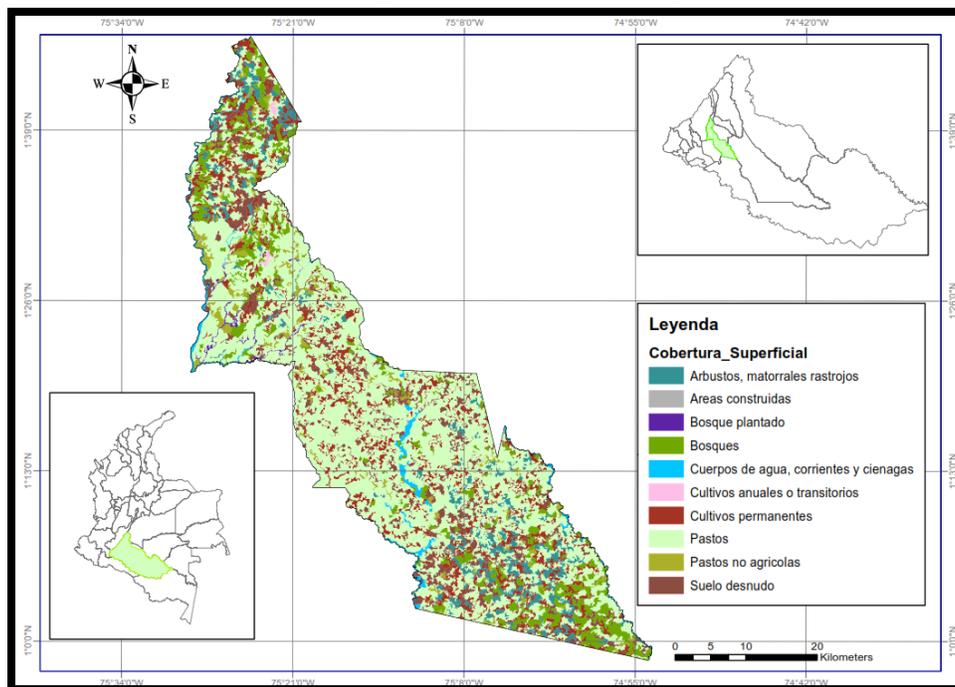


Fuente: Propia del autor

5.3.5. Coberturas

En la variable de coberturas, se evidenció en mayor cantidad área de pastos y pastos no agrícolas en la parte sureste del municipio de La Montañita, en dirección a la subcuenca del río Suncilla, mientras que para el área de las subcuencas de la quebrada La Montañita, se dirige en sentido hacia el río San Pedro, visualizando así, un mosaico de cultivos, bosques y de las demás coberturas (Figura 13).

Figura 14. Coberturas superficiales del municipio de La Montañita



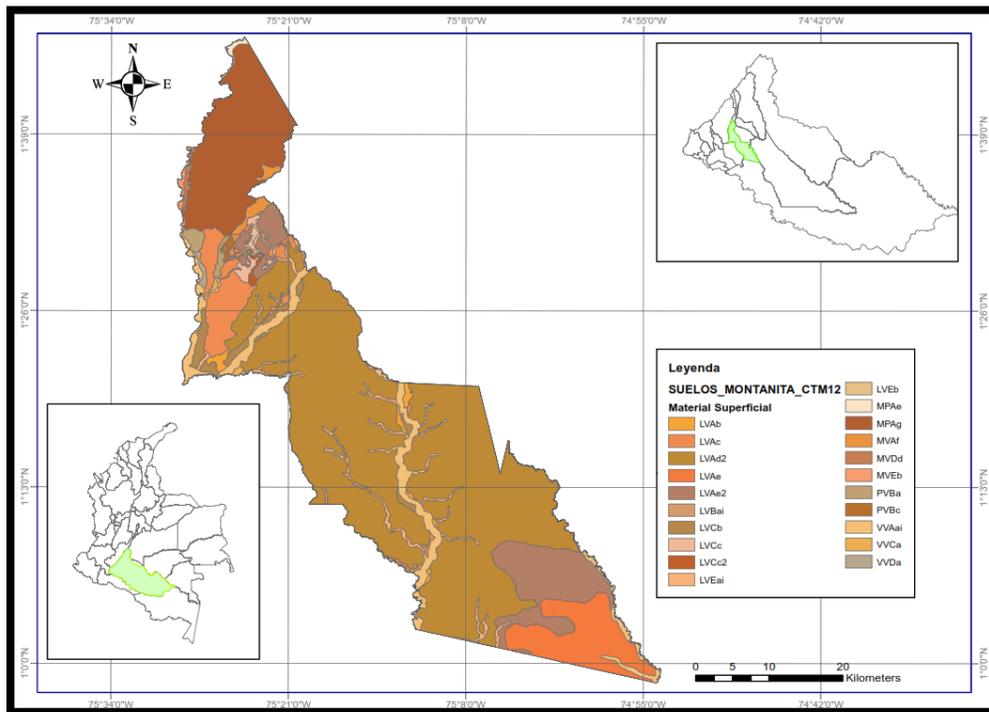
Fuente: Propia del autor

5.3.6. Material superficial

Dentro de los materiales que se encuentran en la metodología CORNARE, se establecieron en la zona de estudio, Saprolito roca sedimentaria, Saprolito roca metamórfica foliada, depósitos aluviales y depósitos de vertientes, para los demás materiales que no se

contemplaron para la respectiva zona de estudio, se les asignó un valor menor, según sus respectivas características (Figura 14).

Figura 15. Suelos y material superficial del municipio de La Montañita



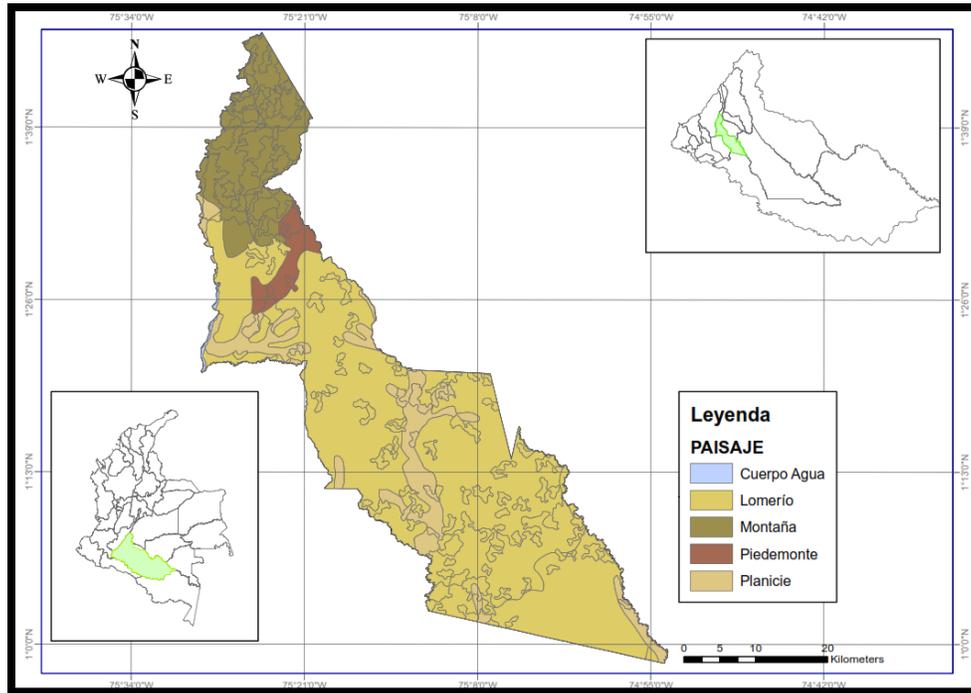
Fuente: Propia del autor

5.3.7. Geomorfología

Los paisajes geomorfológicos son diversos en el municipio de La Montañita, por lo cual se realizó una reclasificación por macro unidades y sus respectivos valores asignados, encontrando en mayor parte del territorio lomeríos, lo que corresponde con el mapa de pendientes (Figura 8), en la parte de la subcuenca del San Pedro se encontró la zona de alta montaña y en la parte de la inspección y casco urbano una gran parte de lomerío y piedemonte.

En la zona de unión de las diversas quebradas de orden 1 y 2 se evidencio tipos de ambiente de planicie, que corresponde al tipo de paisaje que se encuentra en las rondas hídricas de las subcuencas y microcuencas del sur del municipio (Figura 15).

Figura 16. Geomorfología del municipio de La Montañita



Fuente: Propia del autor

6. Resultados y discusión

Para el primer resultado se obtuvieron los parámetros de radio de circularidad, el factor de forma y el coeficiente de compacidad, este último parámetro como parte de la clasificación morfométrica, siendo la de la quebrada La Montañita la más pequeña y que podría llegar a ser considerada como una microcuenca.

La cuenca del río San Pedro es la única de las subcuencas que, según su factor de forma, es considerada como ancha, mientras que la de las dos quebradas son las más estrechas y las faltantes como amplias.

Todos los parámetros son resultados de la interacción o relación del área total de la cuenca, el perímetro, la longitud del río principal y el ancho promedio de la cuenca, los cuales son mediciones que se realizaron en el software de escritorio ArcGIS PRO (Tabla 15).

Por medio del coeficiente obtenido, se tiene que la cuenca de la quebrada La Montañita tiende a ser redonda, mientras que las demás tienen formas alargadas, lo que indica que a mayor coeficiente presentan un flujo de agua más veloz, siendo la cuenca del río Orteguaza, la que mayor desarrollo de energía cinética presenta.

Tabla 15. Parámetros Fisiográficos de las Cuencas Hidrográfica

| ASPECTOS FISICOS | UNIDAD DE MEDIDA | Cuenca Río San Pedro | Cuenca Quebrada La Montañita | Cuenca Quebrada Niña María | Cuenca Río Orteguaza | Cuenca Río Peneya | Cuenca Río Suncilla |
|-----------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| Área total de la cuenca | km ² | 233 | 71 | 138 | 213 | 748 | 296 |
| Perímetro de la cuenca | km | 89 | 41 | 73 | 159 | 174 | 157 |
| Longitud de río principal | km | 16,43 | 21,64 | 33,47 | 18,04 | 40,19 | 20,41 |
| Ancho promedio de la cuenca | km | 14,18 | 3,28 | 4,12 | 11,81 | 18,61 | 14,5 |
| Coefficiente de compacidad | - | 1,64 | 1,37 | 1,75 | 3,07 | 1,79 | 2,57 |
| Factor de forma | - | 0,8633 | 0,1516 | 0,1232 | 0,6547 | 0,4630 | 0,7103 |
| Radio de Circularidad | km | 0,3696 | 0,5308 | 0,3254 | 0,1059 | 0,3105 | 0,1509 |

Fuente: Propia del autor

La densidad de drenaje se obtuvo a partir de la relación de la sumatoria de los drenajes de cada subcuenca expresada en Km y el área de la misma y así observar la disponibilidad hídrica de las cuencas identificadas, siendo la de la quebrada la montañita la de mayor rango de disponibilidad de agua (Tabla 16).

Tabla 16. Resultados de Densidad de Drenaje

| Cuenca | Cantidad de Fuentes Hídricas | Longitud Total (Km) | Área Subcuenca (Km ²) | Densidad de drenaje (Km/Km ²) |
|-----------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
| Quebrada La Montañita | 36 | 74,78 | 71 | 1,0532 |
| Quebrada Niña María | 85 | 114,17 | 138 | 0,8273 |
| Río Orteguaza | 102 | 144,74 | 213 | 0,6795 |
| Río Peneya | 455 | 600,40 | 748 | 0,8026 |
| Río San Pedro | 111 | 175,55 | 233 | 0,7534 |
| Río Suncilla | 171 | 193,57 | 296 | 0,6539 |

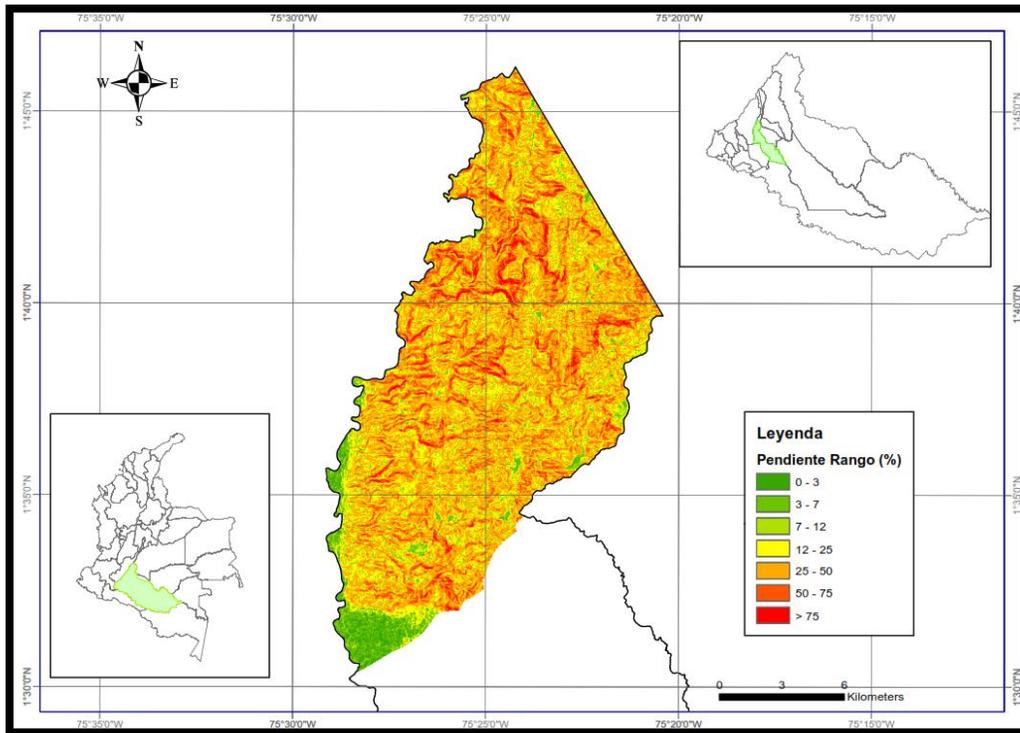
Fuente: Propia del autor.

Para finalizar la clasificación morfométrica se obtuvieron los valores de la pendiente media para cada una de las cuencas, para lo cual, primero se analizaron las pendientes normales de las mismas.

La pendiente media (PM), fue un valor estadístico que se generó en una tabla relacional de los atributos de las pendientes, donde también se obtienen datos de valor máximo, valor mínimo, sumatoria, entre otros.

En la cuenca del río San Pedro se obtuvieron pendientes mayores al 25%, obteniendo categorías muy escarpadas, quebradas y fuertemente onduladas, las zonas escarpadas tienden a mostrarse en la zona norte del municipio de La Montañita, correspondiente a las zonas altas (Figura 16).

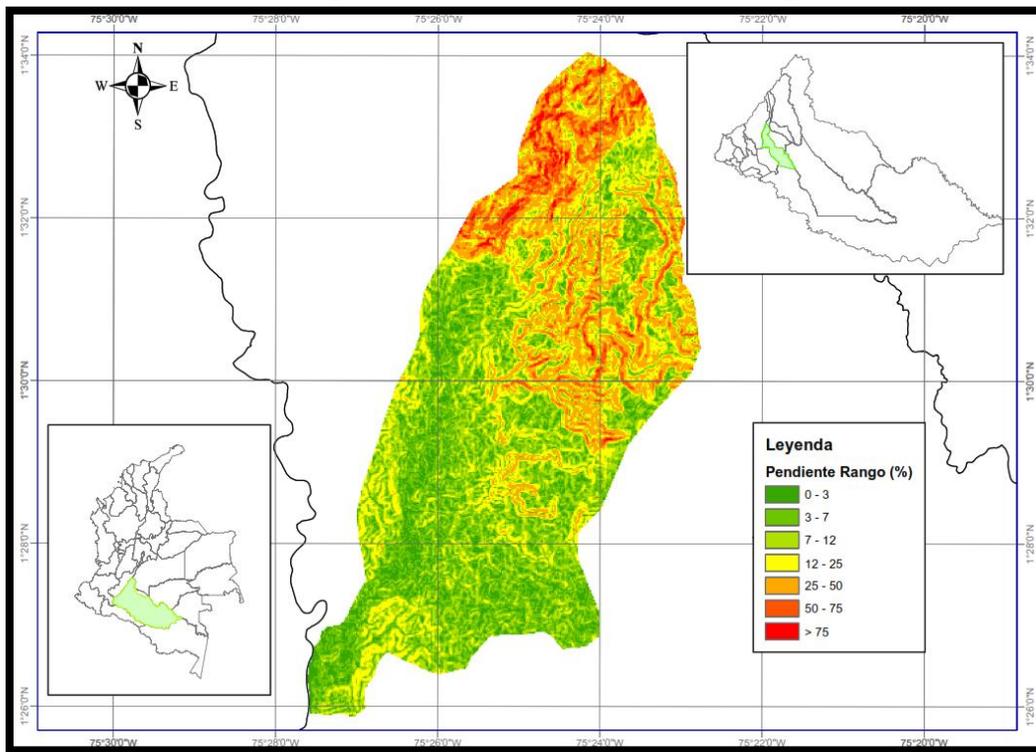
Figura 17. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río San Pedro



Fuente: Propia del autor

La subcuenca de la quebrada La Montañita es la más susceptible a fenómenos de remoción en masa, y a su vez, también a procesos de incisión y socavación, esto debido a sus pendientes pronunciadas en los afloramientos de agua mayores al 75% (Figura 17).

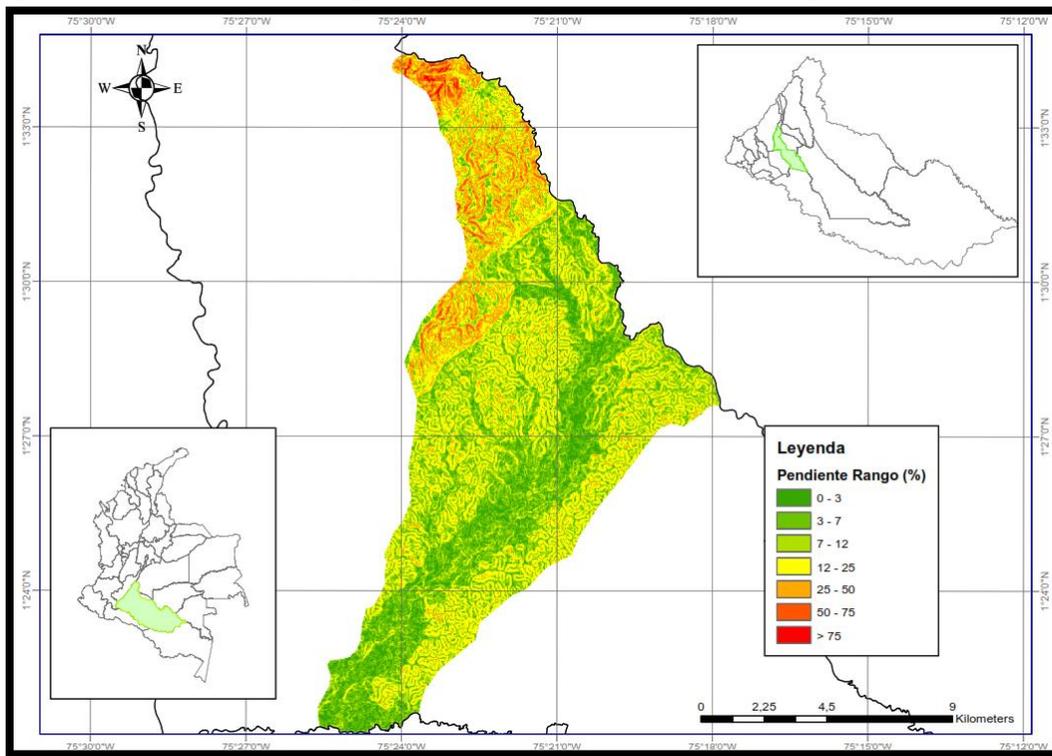
Figura 18. Clasificación de pendientes de la subcuenca de la quebrada La Montañita



Fuente: Propia del autor

Los terrenos fuertemente ondulados son predominantes en la subcuenca de la quebrada Niña María, también comparte paisajes altamente pronunciados con la subcuenca de la quebrada La Montañita (Figura 18).

Figura 19. Clasificación de pendientes de la subcuenca de la quebrada Niña María

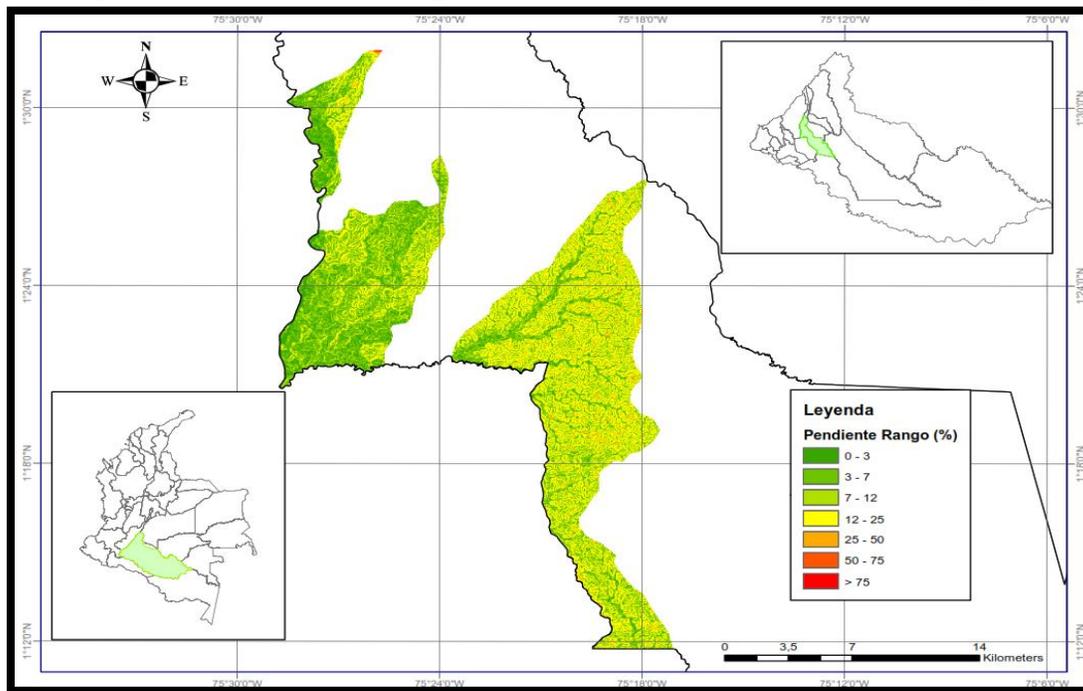


Fuente: Propia del autor

La subcuenca del río Orteguzza presentó una particularidad, ya que esta no está completa dentro del municipio y se encuentra seccionada en tres segmentos, adicionalmente estas se ubican en la parte baja de la cuenca, por lo tanto, presentan terrenos llanos y ligeramente inclinados.

Por otra parte, un factor a considerar es qué, en estos tres segmentos de cuenca se observan las uniones de varias redes hídricas, por lo cual, siempre estarán en las zonas bajas y de ahí se desprende su categorización en pendientes (Figura 19).

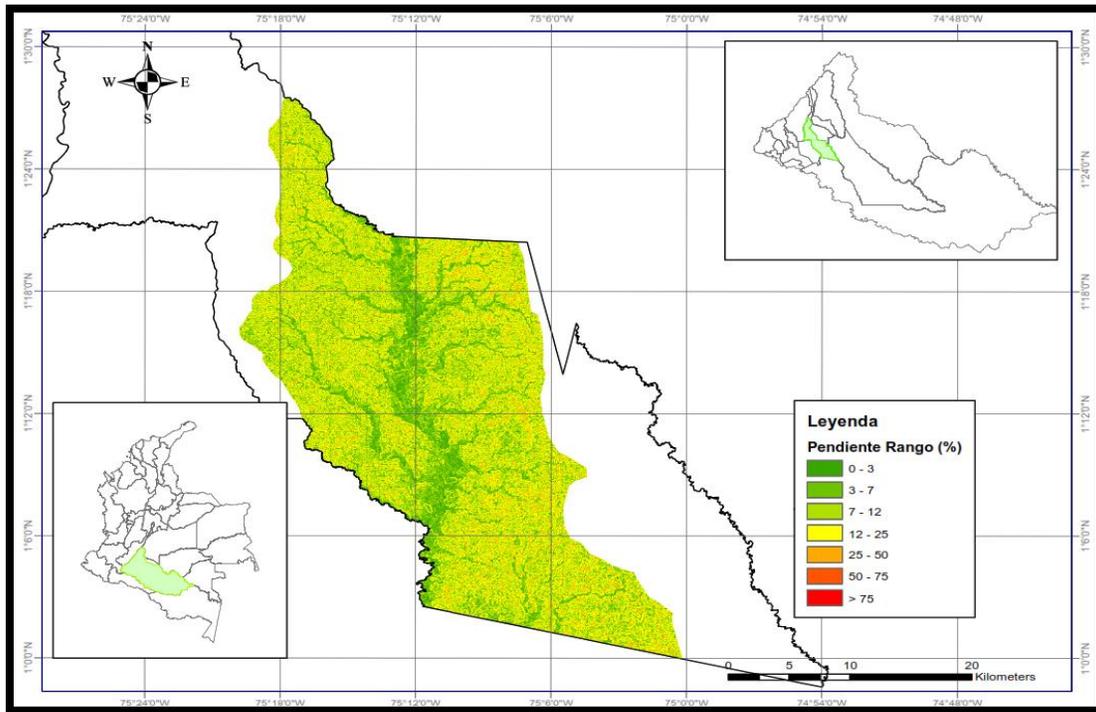
Figura 20. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Ortegaza



Fuente: Propia del autor

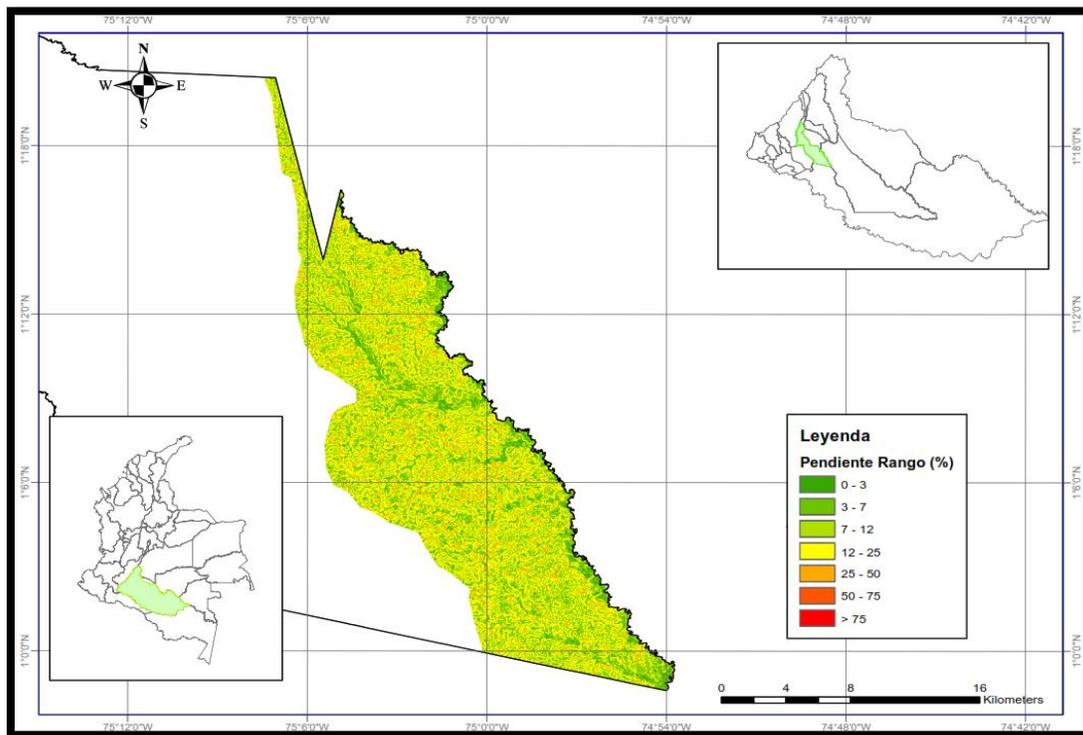
Los paisajes llanos, ligeramente planos y levemente inclinados, predominan en la subcuenca del río Peneya (Figura 20) y la subcuenca del río Suncilla (Figura 21), obteniendo áreas con característica de poca inclinación y, por lo tanto, con bajo grado de susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

Figura 21. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Peneya



Fuente: Propia del autor

Figura 22. Clasificación de pendientes de la subcuenca del río Suncilla



Fuente: Propia del autor

Las pendientes medias se utilizaron adicionalmente para zonificar amenazas generadas por movimientos en masa y por eso, se evidenció la incidencia del mismo ya que este va acompañado de las avenidas torrenciales, también este dato implicó un análisis estadístico zonal, en donde a mayor pendiente media, es mayor la susceptibilidad de que en la cuenca pueda ocurrir este fenómeno (Tabla 17).

Tabla 17. Valores de pendiente media y clasificación

| Subcuenca | Pendiente Media de la Cuenca | Valor |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------|
| Río San Pedro | 33,70% | Media |
| Quebrada La Montañita | 17,22% | Media |
| Quebrada Niña María | 12,90% | Media |
| Río Ortegúaza | 10,24% | Baja |
| Río Peneya | 11,58% | Baja |
| Río Suncilla | 12,66% | Media |

Fuente: Propia del autor

Adicionalmente con los valores morfométricos, se realizó la respectiva ponderación del coeficiente de compacidad, la densidad de drenaje y la pendiente media, según la metodología. (Tabla 18)

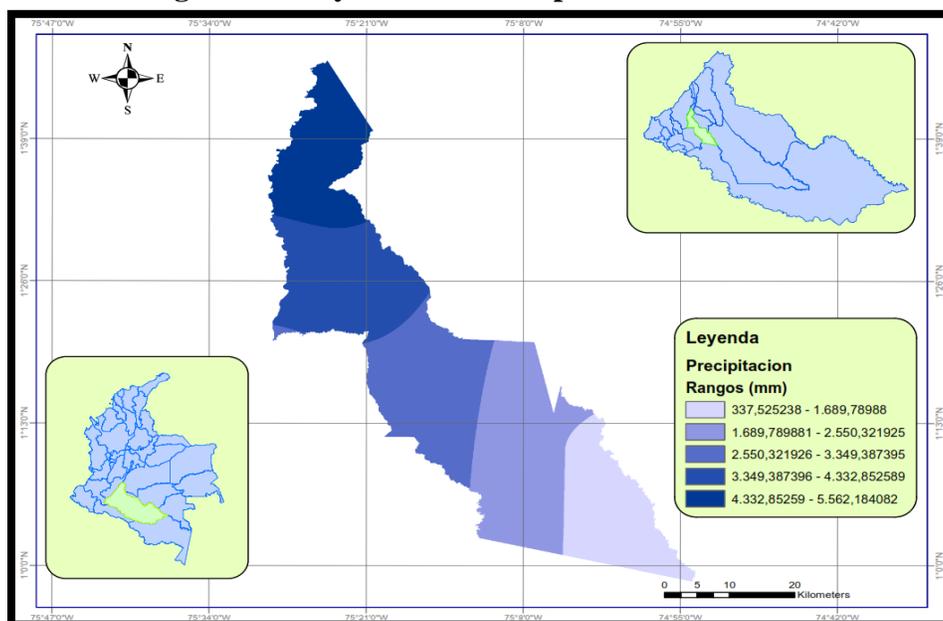
Tabla 18. Valores de clasificación morfométrica

| Microcuenca | Coefficiente de compacidad | Densidad de drenaje | Pendiente media | Clasificación morfométrica |
|-----------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------|
| Río San Pedro | 1,64 | 0,753 | 33,697 | 17,447 |
| Quebrada La Montañita | 1,37 | 1,053 | 17,222 | 9,217 |
| Quebrada Niña María | 1,75 | 0,827 | 12,903 | 7,096 |
| Río Orteguzza | 3,07 | 0,68 | 10,244 | 6,060 |
| Río Peneya | 1,79 | 0,803 | 11,583 | 6,440 |
| Río Suncilla | 2,57 | 0,654 | 12,659 | 7,135 |

Fuente: Propia del autor

La precipitación se representó con mapa de isoyetas, estratificando los rangos de precipitación en todo el municipio de La Montañita, siendo las subcuencas del río San Pedro y de la quebrada La Montañita, influenciadas por la altitud (Figura 22).

Figura 23. Isoyetas del municipio de La Montañita



Fuente: Propia del autor

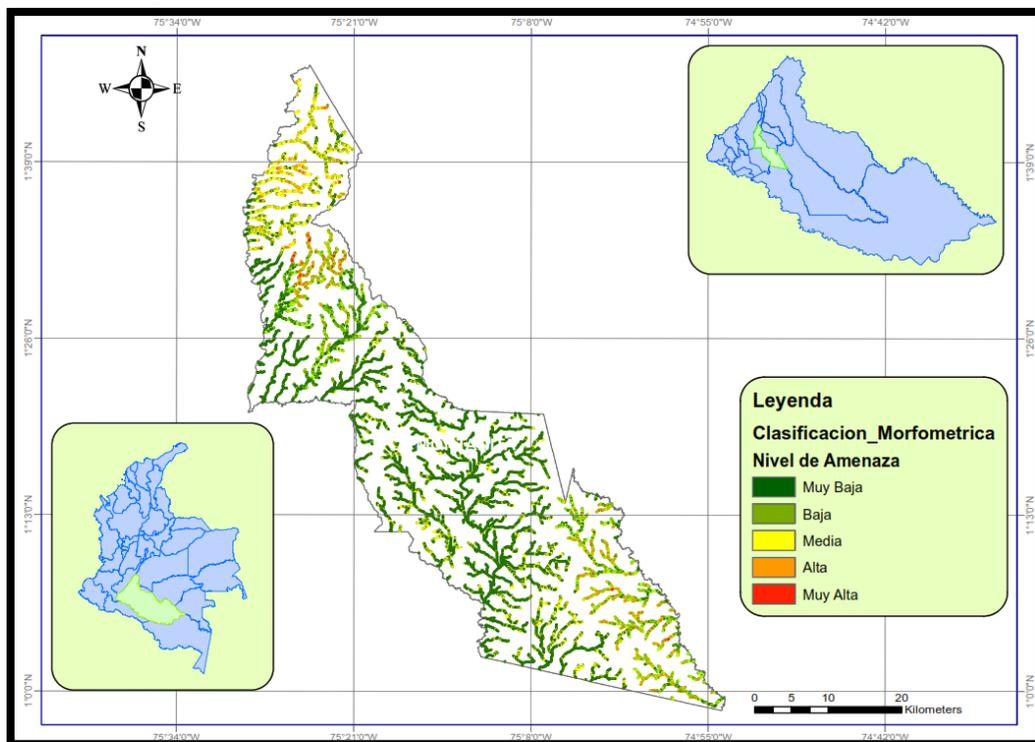
6.1. Zonificación

Para el presente apartado se observan los mapas temáticos que hacen parte del resultado para el mapa final de la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de La Montañita Caquetá.

6.1.1. Clasificación morfométrica

La subcuenca del río San Pedro presenta amenaza media en los cuerpos de agua de orden tres, en algunos ordenes de primer grado se puede visualizar niveles altos de amenaza (Figura 23).

Figura 24. Clasificación morfométrica con nivel de amenaza



Fuente: Propia del autor

Las cuencas torrenciales se caracterizan por tener una extensión menor a 200 Km², se presentan en regiones con terrenos montañosos y escarpados, adicional a lo anterior,

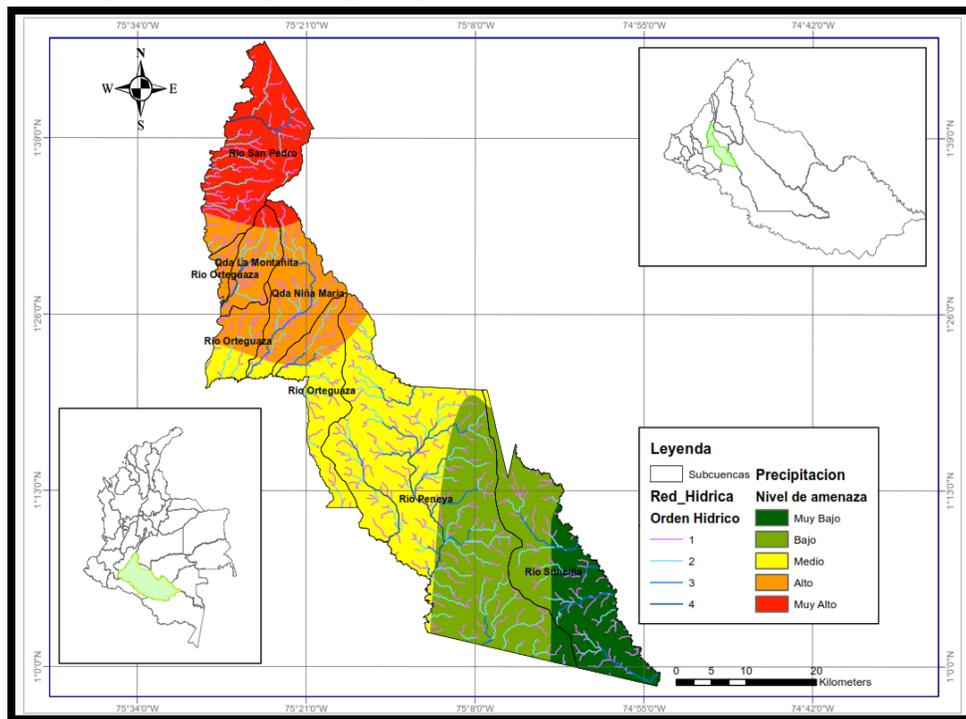
contienen abundante material detrítico, que suele desprenderse con facilidad ante la presencia de cuerpos hídricos con pendientes pronunciadas y a su vez, esta red hídrica suele ser densa, provocando así, flujos con mayor velocidad, por lo tanto, generando mayor energía cinética de arrastre hacia las partes bajas de las cuencas (Zuluaga Gómez, 2011).

Adicional a lo anterior se puede evidenciar que las subcuencas del río Orteguzza, las quebradas La Montañita y Niña María, cumplen con las condiciones para constituirse como cuencas potencialmente torrenciales, esto debido a que su densidad de drenaje es relativamente alta. Además, presentan formas alargadas y su pendiente media es alta, provocando inundaciones súbitas principalmente en las partes bajas de las cuencas, en las cuales se encuentran los centros poblados más importantes del municipio de La Montañita.

6.1.2. Precipitación

Los rangos de precipitación máxima correspondientes al nivel de amenaza muy alto, se presentan en la subcuenca del río San Pedro y de nivel alto en la subcuenca de la quebrada La Montanita, parte de la cuenca baja del Orteguzza y en la quebrada Niña María (Figura 24).

Figura 25. Mapa de precipitación con clasificación de amenaza



Fuente: Propia del autor

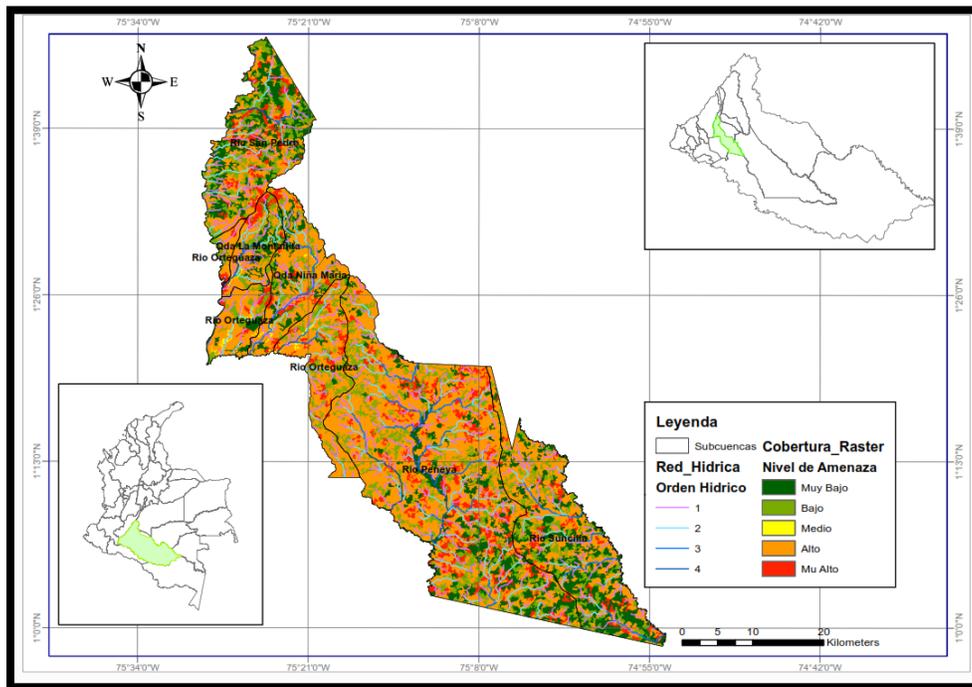
Para el municipio de La Montañita las precipitaciones son de mayor intensidad (torrenciales) y suceden en poco tiempo, por lo tanto, causa un mayor daño debido a su alta capacidad erosiva y adicionalmente genera mayor escorrentía que a su vez, aumentan drásticamente los caudales de los cuerpos de agua y les entrega gran cantidad de sedimentos generando así, fuertes avenidas torrenciales como es el caso que presentan las fuentes hídricas de las quebradas de La Montañita, Las Margaritas y el río San Pedro (Administración Municipal et al., 2018).

6.1.3. Coberturas superficiales

Las coberturas aledañas a los cuerpos de agua de orden dos y adicionalmente los suelos desnudos, cultivos anuales o transitorios se caracterizan por ser más amenazados en caso de sucesos de avenidas torrenciales, las subcuencas del río Peneya, Suncilla y San Pedro, son

las subcuencas que presentan mayor cantidad de coberturas con nivel muy bajo de amenaza (Figura 25).

Figura 26. Mapa de coberturas superficiales con clasificación de amenaza



Fuente: Propia del autor

Esta variable tiene alta incidencia, debido a que influye en la manifestación de flujos de detritos, siendo así, una variable de alto impacto en la susceptibilidad de este fenómeno, puesto que dependiendo de los usos que se le apliquen o de sus respectivas vocaciones, pueden interactuar de una manera positiva o negativa con las corrientes de agua cercanas (Sepúlveda et al., 2016).

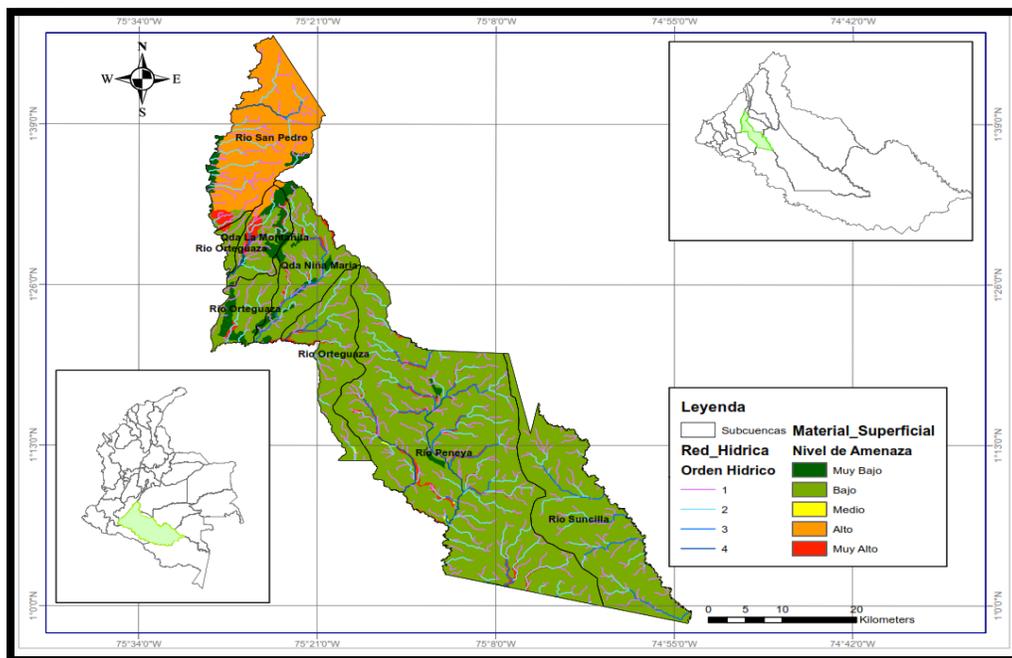
Los suelos del municipio La Montañita normalmente no cumplen con su vocación y en su mayoría, están compuestos de cultivos transitorios o pastos extensivos de ganadería, los cuales permiten un flujo de agua continuo y al momento de presentarse precipitaciones

extremas, se convierten en zonas inundables y consecuentemente pueden ser arrasados. (Administración Municipal et al., 2018)

6.1.4. Material superficial

La presencia de coluviones, generan mayor nivel de amenaza, esto es debido a que son depósitos de vertientes y son zonas susceptibles a desprendimientos de material que se mezclan con las corrientes de agua (Figura 25).

Figura 27. Mapa de materiales superficiales con clasificación de amenaza



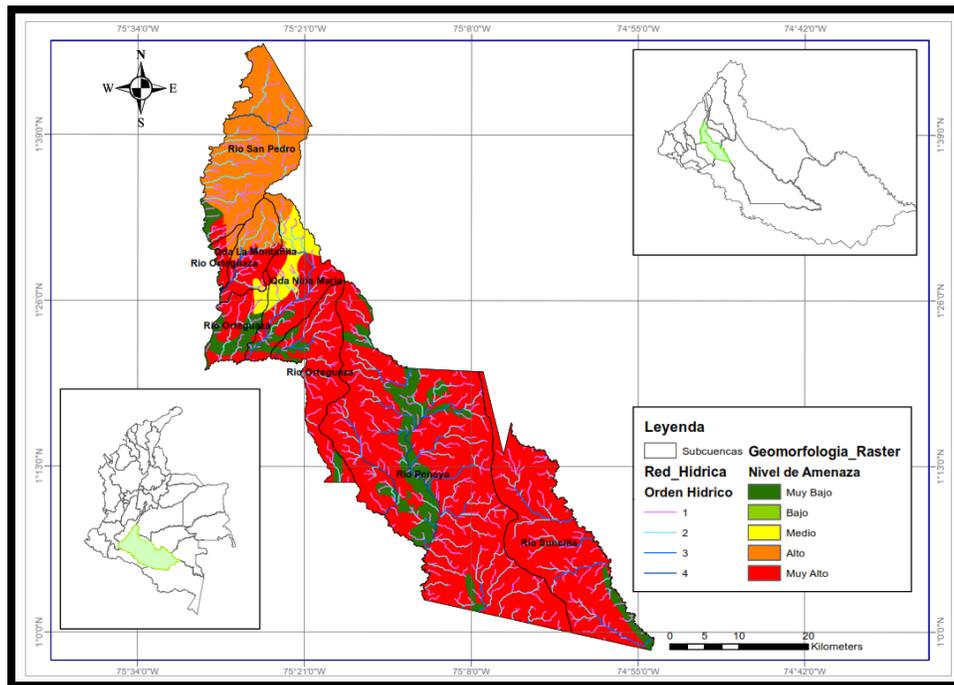
Fuente: Propia del autor

Los materiales superficiales comparten un comportamiento similar a las coberturas, esto debido a que, al presentarse arrastre de material desde la parte alta de las subcuenca, además en conjunto con diferentes tipos de roca y a su vez materia orgánica, causan que los coluviones y los diferentes depósitos se saturen permitiendo así, el esparcimiento irregular de estos flujos combinados de agua y material. (Caiza & Zambrano Nájera, 2018)

6.1.5. Geomorfología

La mayor parte de los suelos del municipio de La Montañita, tienen frentes erosivos y estos, son los que mayor grado de amenaza tienen al verse afectados por diferentes corrientes de agua, por lo tanto, también es un factor de sobreutilización de los usos del suelo (Figura 27).

Figura 28. Mapa geomorfológico con clasificación de amenaza



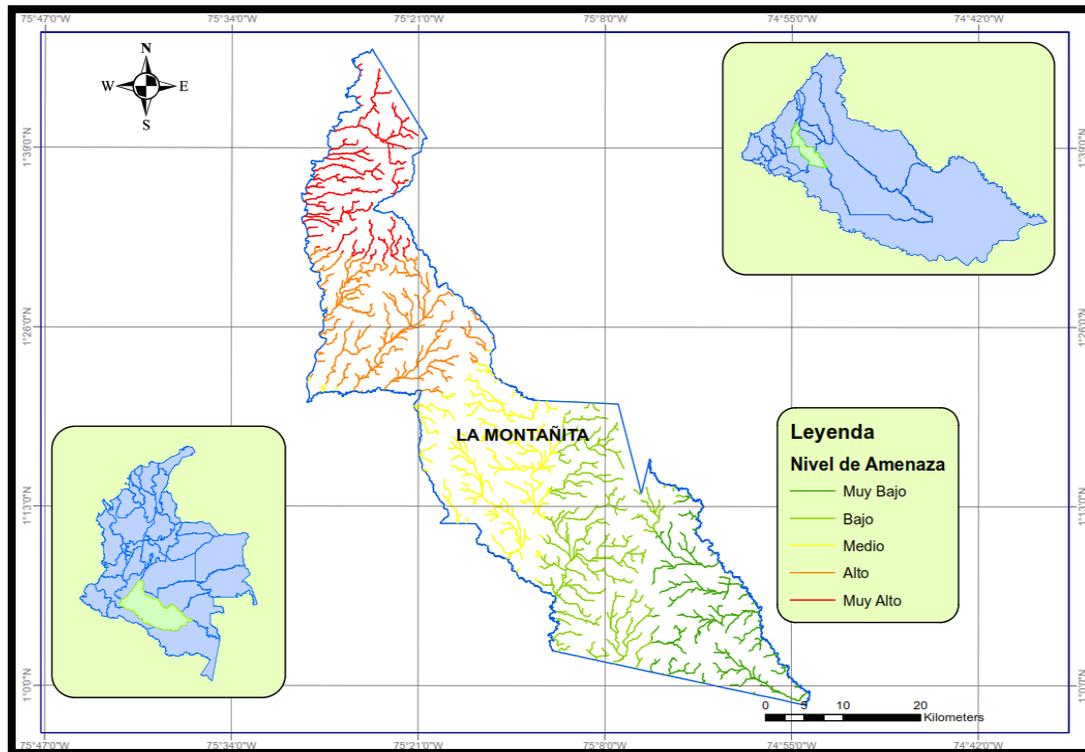
Fuente: Propia del autor

La diversidad geomorfológica del municipio, provocó que se realizará una reclasificación respecto a paisajes geológicos como lo indica la metodología CORNARE, siendo las zonas de llanura más susceptibles siempre y cuando los ambientes característicos de montaña y piedemonte pertenezcan a la misma subcuenca o microcuenca (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017).

6.2. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales

Para obtener el mapa de zonificación del municipio de La Montañita, se tuvieron en cuenta los valores de ponderación planteados en la metodología y adicionalmente la clasificación para generar el mismo (Figura 28).

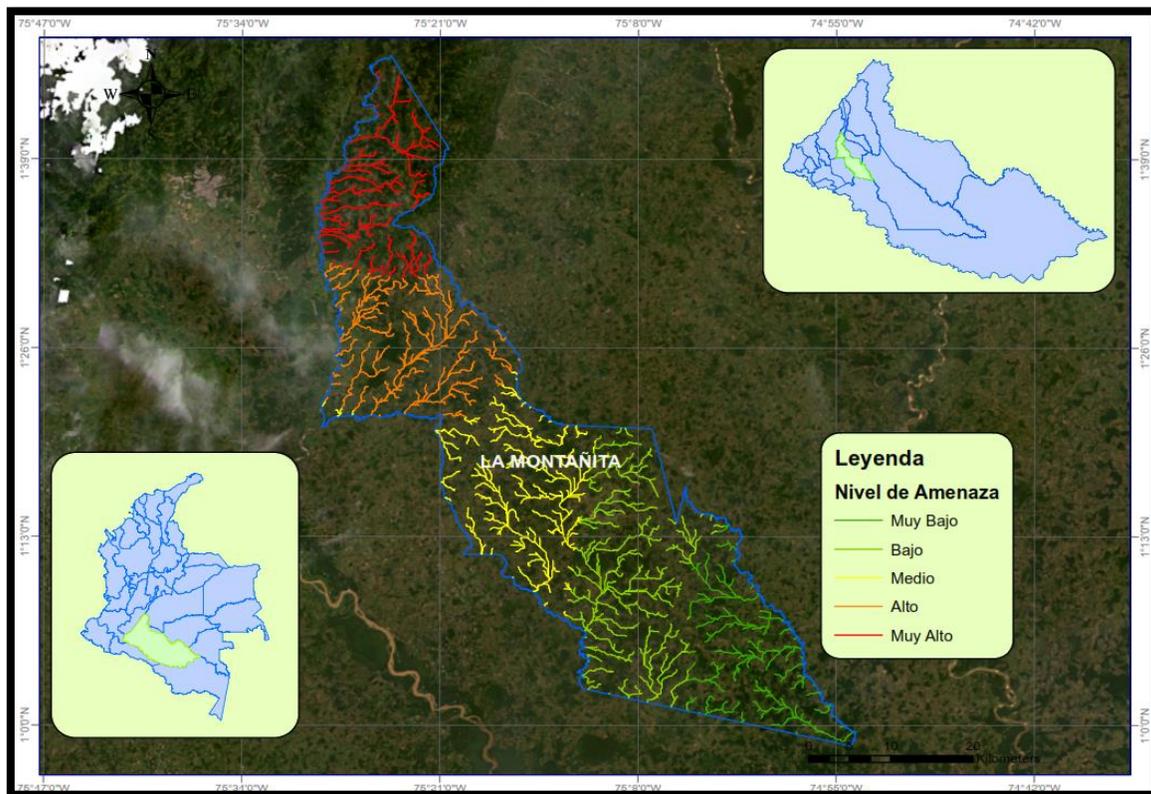
Figura 29. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: Propia del autor

Para los dos principales centros urbanos del municipio de La Montañita, inspección Santuario y el casco urbano de La Montañita, el nivel de amenaza es alto, este resultado se contrastó con la imagen satelital de Api en SAS Planet, para el mes de marzo del 2023 (Figura 29).

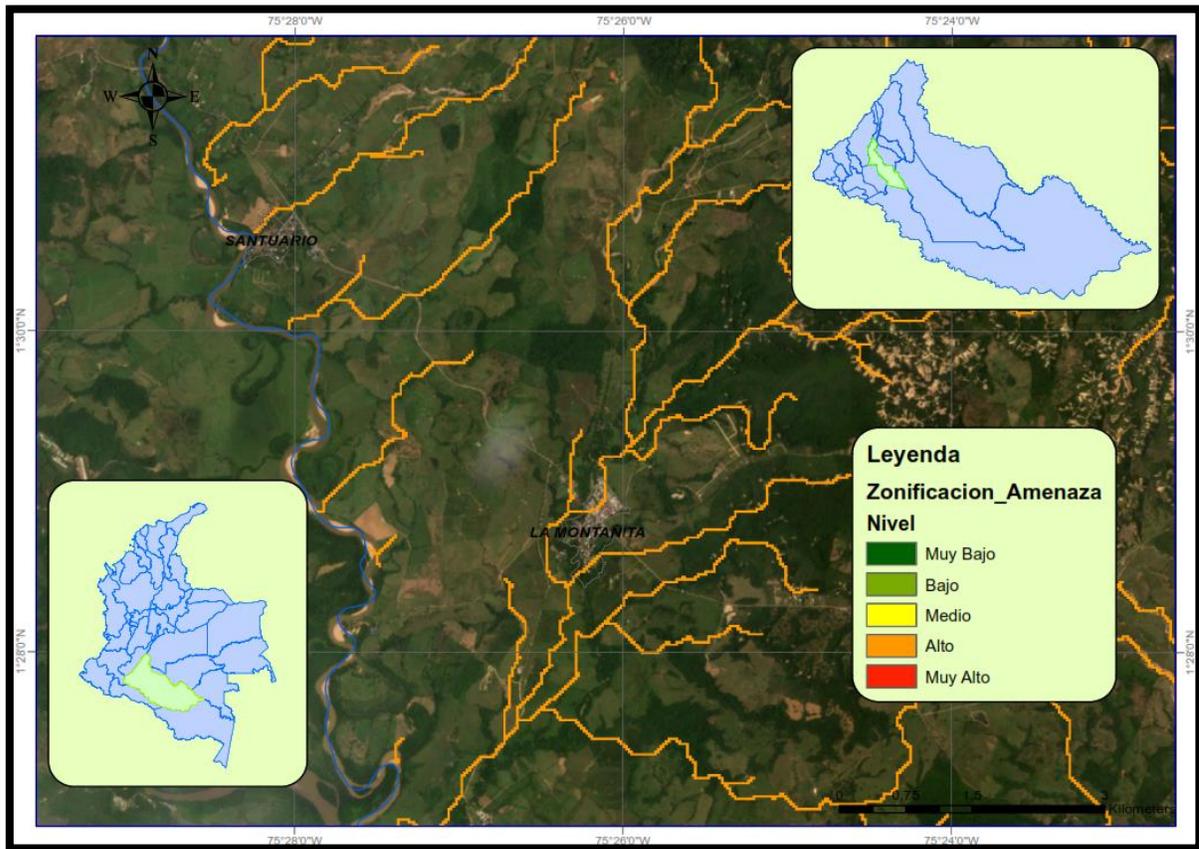
Figura 30. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales contraste imagen satelital



Fuente: Propia del autor

Esto es debido a que la clasificación morfométrica de la quebrada La Montañita y el río San Pedro, tiene mayor grado de precipitación, adicionalmente por la ponderación que tiene, su nivel de amenaza es más alto que las demás subcuencas analizadas y estos centros poblados hacen partes de las zonas en mención (Figura 30).

Figura 31. Mapa de zonificación de amenaza por avenidas torrenciales contraste imagen satelital de centros poblados



Fuente: Propia del autor

En la zona de estudio, se evidencia un alto nivel de precipitaciones anuales, junto a una variedad geológica y de suelos, generando diversidad de paisajes y ambientes, donde varían según las subcuencas que están presentes en el área del municipio, adicionalmente se observa que en la mayoría de los estudios realizados, se desarrolla una zonificación para una área específica, ya sea una subcuenca o microcuenca y que, dependiendo de la metodología utilizada, presentarán diversas ponderaciones o pesos en las variables, en función de la entidad que realice la metodología o estudio de caso.

La metodología utilizada en el presente estudio, está enfocada en la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales a nivel departamental o municipal, con fines de generar cumplimiento a los planes de gestión del riesgo y sostenibilidad.

Se evidenció también que la información meteorológica no está actualizada y no es suficiente para obtener unos resultados más precisos al momento de generar el mapa de isoyetas, ya que se recurrió a estaciones distantes de la zona de estudio y de datos proporcionados por plataformas satelitales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se discutirán los resultados obtenidos respecto a las variables utilizadas para el desarrollo de la metodología CORNARE.

7. Conclusiones

Conforme a los resultados obtenidos de los parámetros de las subcuencas de los ríos San Pedro, Ortegua, Peneya, Suncilla y la quebrada Niña María, se evidencia que presentan una forma muy alargada, esto conlleva a generar mayor energía cinética y consecuentemente transportar fácilmente material vegetal o detritos, mientras que la subcuenca de la quebrada La Montañita presenta tendencia con forma oval – oblonga, siendo esta subcuenca de un flujo poco veloz en su orden hídrico, adicionalmente presenta pendientes altamente pronunciadas y que combinadas causan mayor susceptibilidad a un fenómeno de avenida torrencial.

En el desarrollo de la zonificación de amenaza por avenida torrencial para el municipio de La Montañita, se identificó de que la zona de estudio no cuenta con información climatológica suficiente, siendo una limitante para obtener un resultado con mayor precisión, debido a que la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio se encuentra a una

distancia aproximada de 15 Km al límite del municipio La Montañita. Por tal razón los valores tomados de precipitación multianual, se consideran estimados.

La metodología CORNARE está enfocada en determinar o identificar las corrientes de agua que son más susceptibles a un fenómeno de avenida torrencial y no haciendo énfasis a delimitar una zona de afectación en terreno con relación al flujo al momento que ocurra el evento, por lo que está orientada en determinar lo propenso a que el flujo sea una amenaza.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la zonificación por avenidas torrenciales en el municipio de La Montañita se evidencia que la longitud total de los cuerpos hídricos es de 1404,25 Km, clasificando como Muy alta (221,64 Km), Alto (303,29 Km), Media (297,59 Km), Baja (372,26 Km) y Muy Baja (209,47 Km).

8. Recomendaciones

- La estación meteorológica más cercana al centro poblado del municipio de La montañita, se ubica a una distancia de 18 kilómetros aproximadamente, en consecuencia, se recomienda instalar una estación meteorológica para que la información acerca de precipitaciones, sean más precisos.

- Para obtener un modelo digital de elevación con resolución no mayor a 30 m, se recomienda el uso de sensores remotos en aeronaves no tripuladas, o en su defecto el uso de información adquirida por plataformas satelitales privadas, con el propósito de obtener resultados más precisos.

Referencias Bibliográficas

- Administración Municipal, Concejo Municipal, Consejo Territorial de Planeación, & Corporación Técnica Colombiana CORTECOL. (2018). *REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ MUNICIPIO DE LA MONTAÑITA ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2018-2031 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA TERRITORIAL*.
- Caiza, J. L., & Zambrano Nájera, J. (2018). *PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE CUENCAS TORRENCIALES O SEMITORRENCIALES POR MEDIO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y GEOMORFOLÓGICOS*. <https://doi.org/10.1016/S0140>
- De, P., En Masa En, R., Planificación, L. A., De Tampico, U., & Sánchez González, D. (2011). Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en más en la planificación. *Cuadernos Geográficos Universidad de Granada, Volumen 48*, 135–159.
- Felipe Hurtado-Montoya, A., & José Mesa-Sánchez, Ó. (2014). Reanalysis of monthly precipitation fields in Colombian territory. *DYNA, 81*(186), 251–258. <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/>
- Franco Idarraga, F. L. (2010). Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. *Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes, 31*(1), 97–108.
- Hernández Sierra, E. F. (2018). Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para las quebradas El Chulo y El Tablón en la zona urbana del municipio de Gachetá, Cundinamarca. *Revista Espacios, 39*(8), 1–15.
- Lara, M., Sepúlveda, S. A., Celis, C., Rebolledo, S., & Ceballos, P. (2018). Landslide susceptibility maps of Santiago city Andean foothills, Chile. *Andean Geology, 45*(3), 433–442. <https://doi.org/10.5027/andgeoV45n3-3151>
- Manfré, L. A., Albuquerque, N. G., & Quintanilha, J. A. (2018). Landslide hazard mapping near the admiral Álvaro Alberto nuclear complex, Rio de Janeiro, Brazil. *Boletim de Ciências Geodesicas, 24*(1), 125–141. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702018000100009>
- Merlinsky, M. G., & Ayelén Tobías, M. (2016). Inundaciones y construcción social del riesgo en Buenos Aires Acciones colectivas, controversias y escenarios de futuro. *Cuadernos Del Cendes, 33*(91), 45–63.
- Montoya Jaramillo, L. J., Silva Arroyave, S. M., & Gonzalez, J. E. (2009). EVALUACIÓN DE ZONAS DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES UTILIZANDO METODOLOGÍAS CUALITATIVAS. CASO DE APLICACIÓN A LA

- QUEBRADA DOÑA MARÍA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 11–29.
- Muñoz, E., Martínez-Carvajal, H., Arévalo, J., & Alvira, D. (2014). Quantification of the effect of precipitation as a triggering factor for landslides on the surroundings of Medellín – Colombia. *DYNA (Colombia)*, 81(187), 115–121. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n187.40640>
- Muñoz-Duque, L. A., & Arroyave, O. (2017). Percepción del riesgo y apego al lugar en población expuesta a inundación: un estudio comparativo. *Pensamiento Psicológico*, 15(2), 79–92. <https://doi.org/10.11144/javerianacali.ppsi15-2.pral>
- Polanco L, C., & Bedoya Sanmiguel, G. (2005). Compilación y análisis de los desastres naturales reportados en el departamento de Antioquia exceptuando los municipios del Valle de Aburrá-Colombia, entre 1920-1999. *Ingeniería y Ciencia, Volumen 1*, 45–65.
- Ramos Cañon, A. M., Reyes Merchan, A. A., Munévar Peña, M. A., Ruiz Peña, G. L., Machuca Castellanos, S. V., Rangel Florez, M. S., Prada Sarmiento, L. F., & Cabrera, M. A. (2021). Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales. In *Guía metodológica para zonificación de amenaza por avenidas torrenciales*. Servicio Geológico Colombiano y Pontificia Universidad Javeriana. <https://doi.org/10.32685/9789585313156>
- Rivas Larry, & Carrera Juan. (2016). Zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie del río Borburata, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de Investigación, Volumen 40*(núm 87), 241–266.
- Santamaría, J. E. V., Isabel Gómez Vélez, M., Darío, H., & Hincapié, M. (2018). The Mocoa tragedy: Example of a retrospective without an end point in the management of the risk of disasters detonated by natural events? *Revista de Derecho*, 50, 203–228. <https://doi.org/10.14482/dere.50.0007>
- Sedano-Cruz, K., Carvajal-Escobar, Y., & Díaz, J. Á. (2013). ANÁLISIS DE ASPECTOS QUE INCREMENTAN EL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA. *Luna Azul*, 37, 1–20.
- Sepúlveda, A., Franco, J. P., & Rodríguez Pineda, C. E. (2016). *Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia*.
- Serna Quintana, C. A. (2011). The social nature of floods and landslides in Medellín (1930-1990). *Historia Critica*, 43, 198–223. <http://www>.
- Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 109–136. <https://doi.org/10.18359/rcin.2309>

Zuluaga Gomez, C. M. (2011). *EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE RIESGOS Y DIMENSIONAMIENTO DE PROCESOS EROSIVOS EN LOS 26 MUNICIPIOS DE LA JURISDICCIÓN DE CORNARE. CONVENIO CORNARE-GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA N° 2011-CF-12-0051 Y REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO-NARE "CORNARE."*