

**DETERMINACION DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES ANTE FENÓMENOS DE
AVENIDAS TORRENCIALES, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DATOS GEOLÓGICOS
Y GEOMORFOLOGICOS EN LA ZONA BAJA DE LA MICROCUENCA LA VIUDA
EN EL MUNICIPIO DE CHITAGÁ, PARA ESTABLECER UN MAPA DE
ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD CON UN ENFOQUE A ESCALA 1:25000,
BAJO LA JURISDICCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO, CORPONOR -
TERRITORIAL PAMPLONA.**



AMADYS YULYANNA PARRA CARRILLO

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE GEOLOGIA
VILLA DEL ROSARIO**

2024

**DETERMINACION DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES ANTE FENÓMENOS DE
AVENIDAS TORRENCIALES, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DATOS GEOLÓGICOS
Y GEOMORFOLOGICOS EN LA ZONA BAJA DE LA MICROCUENCA LA VIUDA
EN EL MUNICIPIO DE CHITAGÁ, PARA ESTABLECER UN MAPA DE
ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD CON UN ENFOQUE A ESCALA 1:25000,
BAJO LA JURISDICCIÓN DE GESTIÓN DEL RIESGO, CORPONOR -
TERRITORIAL PAMPLONA.**

AMADYS YULYANNA PARRA CARRILLO

**Trabajo de grado, modalidad Práctica empresarial, requisito para optar al título de
Geóloga.**

Director académico

Msc. Ilich Sebastián Villamizar Solano

Director empresarial

Ing. Henry Humberto Cruz Cruz

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE GEOLOGIA

VILLA DEL ROSARIO

2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado a lo largo de esta trayectoria en mi formación profesional, especialmente a Dios y la Virgen que sé que me acompañan en todo lugar y momento. A mis padres Zulai Maide Carrillo y José Alberto Parra por haberme guiado y dado los recursos necesarios para mi formación, gracias a ellos soy lo que soy en este momento.

A mis compañeros por apoyarme y guiarme cuando más lo necesite y a mis docentes, especialmente al docente Ilich Sebastián Villamizar por orientarme durante el desarrollo de mi propuesta de grado y quien se tomó el tiempo de leer cuidadosamente cada detalla de este estudio.

A la Corporación Autónoma Regional (CORPONOR) territorial- Pamplona. Por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de su entidad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
OBJETIVOS	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
1. MARCO DE REFERENCIA.....	4
2. ANTECEDENTES	5
3. MARCO TEORICO.....	8
4. MARCO GEOLOGICO.....	11
4.1. Geología Regional	11
4.2 Geología estructural.....	13
5. METODOLOGIA.....	14
5.1 Recopilación Bibliográfica	15
5.2. Pre- Campo.....	15
5.3 Visita a Campo	16
5.4 Análisis de la información	16
5.5 Mapa de Zonificación	17
5.6 Informe final.....	17
6. RESULTADOS.....	17
6.1 Geología Local.....	17
6.2 Unidades geológicas superficiales	19
6.3 Geomorfología.....	21

6.4 Red Hídrica.....	31
6.6 Zonificación por avenida torrencial en la zona baja de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá.....	35
7.DISCUSIONES.....	38
8. CONCLUSIONES	39
9. RECOMENDACIONES.....	40
10. REFERENCIAS.....	41

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. <i>Mapa de ubicación de la Zona Baja de la Microcuenca la Viuda.</i>	4
Figura 2. <i>Mapa geológico en la zona baja de la Microcuenca la Viuda.</i>	12
Figura 3. <i>Esquema metodológico para la realización del estudio.</i>	15
Figura 4. <i>Neis de Bucaramanga, con presencia de textura tipo Augen.</i>	18
Figura 5. <i>Neis de Bucaramanga, con presencia de textura tipo Augen.</i>	19
Figura 6. <i>Roca dura Neis de Bucaramanga en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	20
Figura 7. <i>Suelo transportado aluvial (Stal).</i>	21
Figura 8. <i>Mapa de unidades geológicas superficiales.</i>	21
Figura 9. <i>Mapa Geomorfológico en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	22
Figura 10. <i>Abanico fluviotorrencial proveniente de un ambiente fluvial.</i>	23
Figura 11. <i>Loma Residual (Dlor), zona baja microcuenca la Viuda.</i>	24
Figura 12. <i>Canal artificial, municipio de Chitagá y terrazas agrícolas.</i>	25
Figura 13. <i>Zona baja, Microcuenca la Viuda.</i>	26
Figura 14. <i>Mapa de pendientes en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	27
Figura 15. <i>Mapa morfodinámico en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	29
Figura 16. <i>Cicatriz o corona de MM presenta en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	31
Figura 17. <i>Mapa de Red hídrica en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	33
Figura 18. <i>Mapa de Cobertura y uso del suelo.</i>	35
Figura 19. <i>Mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.</i>	37
 Tabla 1. <i>Parámetros morfométricos en la zona baja de la microcuenca la Viuda.</i>	 27
Tabla 2. <i>Pendientes en la zona baja de la microcuenta la Viuda.</i>	27

RESUMEN

El municipio de Chitagá, Norte de Santander, no cuenta con un Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) actualizado, este esquema carece de datos demográficos, económicos, ambientales, sociales y culturales. Adicional a ello no cuenta con información pertinente e importante acerca de fenómenos de avenida torrencial ni datos relevante sobre la microcuenca la Viuda, zona importante social, ambiental y económicamente en esta región.

Dado ello, el estudio se enfoca en determinar las zonas susceptibles ante un fenómeno de avenida torrencial generando así, un análisis detallado de la zona baja de la microcuenca la Viuda en el municipio de Chitagá, Norte de Santander. En dicho estudio se usa una metodología combinada con un enfoque cualitativo y cuantitativo los cuales recopilan datos estadísticos y datos necesarios para una comprensión detallada, donde se planifico seis fases, en las cuales se hizo una recopilación bibliográfica, un análisis de la información pre y pos campo, generando así un análisis y levantamiento geológico, geomorfológico, su red hídrica, cobertura y uso de suelos, junto con herramientas de sistema de información geográfica proporcionando un detalle a escala 1:25000. Finalmente, mediante un análisis determinístico bivariado se elabora el mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.

Este trabajo representa un esfuerzo significativo hacia la protección y seguridad de las comunidades vulnerables en la zona estudiada, contribuyendo valiosamente al conocimiento y la gestión del riesgo de desastres naturales.

Palabras claves: Zonificación, Susceptibilidad, Geomorfología.

INTRODUCCION

Las avenidas torrenciales son amenazas naturales poco estudiadas en Colombia y presenta una escasa instrumentación para determinar descarga y precipitación en las cuencas (González *et al.*, 2005). En Colombia “entre 1998 a 2018, se han presentado aproximadamente 406 eventos de avenidas torrenciales, dejando como resultado múltiples afectaciones a las poblaciones cerca de las cuencas (Vera & Valderrama, 2020). El municipio de Chitagá en el año 2015 sufrió un fenómeno de avenida torrencial provenientes a la cuenca del rio Chitagá, dejando grandes pérdidas y afectando la infraestructura, a los habitantes de la zona, los cultivos, los acueductos, las vías y viviendas, entre otras.

El objetivo de este estudio es determinar las zonas más susceptibles ante un fenómeno de avenida torrencial, creando así un mapa donde se encuentran las zonas más susceptibles a dicho fenómeno en la zona baja de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá departamento de Norte de Santander con un enfoque a escala 1:25000. El resultado de dicho estudio es la creación del mapa de zonificación de susceptibilidad, donde se encuentra los niveles de susceptibilidad presente en la zona baja de la microcuenca la Viuda. Este es una buena herramienta ya que ayuda a contribuir con los estudios para la creación del EOT (Esquema de ordenamiento territorial), sirve como base para el desarrollo de estrategias de mitigación, planes de evacuación, genera información sobre la zona baja de la microcuenca y plantea algunas recomendaciones.

La importancia de este estudio es la capacidad de proporcionar análisis científicos detallados que ayuden con la toma de decisiones proactiva en la gestión del riesgo de desastres. Adicional a ello contribuye así a la seguridad y bienestar de sus habitantes ante los desafíos que plantea el cambio climático y los cambios en el medio ambiente.

OBJETIVOS

En esta sección se presentan los objetivos para el desarrollo de este trabajo

Objetivo General

Determinar las zonas susceptibles ante un fenómeno de avenidas torrenciales mediante el análisis de datos geológicos, geomorfológicos y geográficos presentes en la zona baja de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá para establecer un mapa de zonas susceptibles a dicho fenómeno con un enfoque a escala 1:25000, bajo la jurisdicción de gestión del Riesgo, Corponor - territorial Pamplona.

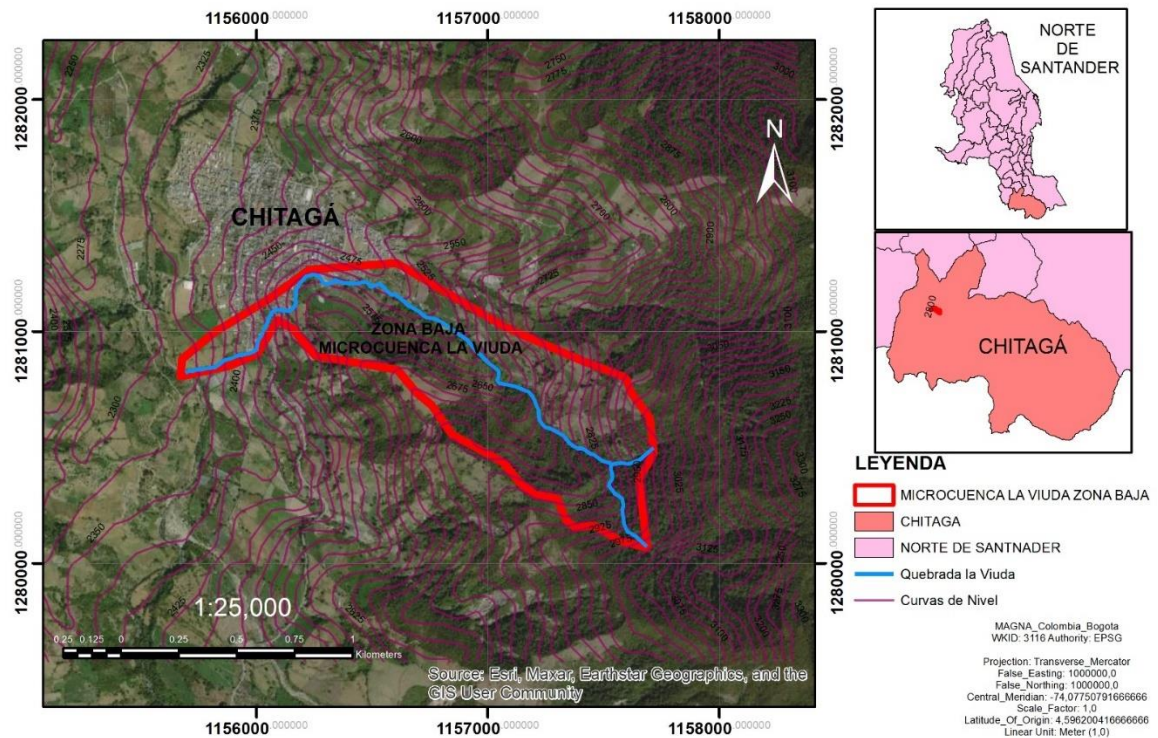
Objetivos Específicos

- ✓ Analizar y levantar datos geológicos, geográficos y geomorfológicos relevantes de la zona baja correspondientes a la microcuenca La Viuda, incluyendo imagen satelital, datos de precipitación, uso del suelo y cobertura y datos históricos de avenidas torrenciales.
- ✓ Generar un estudio de parámetros morfométricos, morfodinámica y la red hídrica de la zona baja de la microcuenca la Viuda con la herramienta de sistemas de información geográfica (SIG).
- ✓ Generar un mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales donde se muestre las zonas de baja, media y alta susceptibilidad por dicho fenómeno en la zona baja de la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, Departamento de Norte De Santander.

1. MARCO DE REFERENCIA

En la región nororiental de Colombia podemos encontrar el municipio de Chitagá, ubicado en el departamento de Norte de Santander, Colombia. La microcuenca la Viuda perteneciente a la cuenca del río Chitagá, es una de las principales fuentes hídricas del municipio. Presenta un área total de 2.360724 Km² y un perímetro de 9.725 Km, su zona baja corresponde a un área de 0.921558 Km² y un perímetro de 5.524191 Km. Esta zona comprende un 39% de la microcuenca (Figura 1).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Zona Baja de la Microcuenca la Viuda.



Nota. Fuente: Autor.

2. ANTECEDENTES

Colombia posee una gran diversidad, esta se manifiesta a través de fenómenos que representan ciertamente un riesgo potencial para el progreso económico y social del país. Esto se ve influenciado por los fenómenos climáticos como lo son el Niño y la Niña, los cuales hacen que se cambien los patrones de precipitación y así generar eventos de origen hidrometeorológicos.

Según Flórez (2015), en su trabajo denominado como: Movimientos en masa y flujos torrenciales en el municipio de Chitagá, Norte de Santander realizado en el 2015, en donde se estudiaron las avenidas torrenciales durante los días 1 al 7 de julio de 2015, de los eventos torrenciales ocurridos en las cuencas hidrográficas de la vertiente oriental (derecha) del río Chitagá entre las quebradas El Carbón y Tapurcuá, incluyendo las de Bucaramanguita, El Palmar, El Hato, la Robazón, La viuda, El Arpero, Siagá, Hato Viejo (El Ahorcado), La Perla (Sulalá) y otras corrientes menores. Se encontró que, en el espacio urbano de Chitagá, los cauces con sus vegas y terrazas bajas constituyen una amenaza alta para las viviendas y las vías en caso de avalanchas fuertes. Es de anotar que a lo largo de la quebrada La viuda (sobre la vega) existen viviendas en condición de riesgo y se destaca el paso de la quebrada por El Contento donde el cauce está cubierto por construcciones. En ese mismo orden de ideas señala el autor, que en los últimos 50 años se han presentado flujos torrenciales a lo largo de las quebradas el Arpero y La Viuda, afectando la parte alta del cono en los tanques del acueducto y la obra de captación de agua. Resalta que a lo largo de la quebrada la Viuda (sobre la vega), el Hato, Hato viejo y la Perla existen viviendas en condiciones de riesgo ya que están construidas en las gargantas de salida de las quebradas. “En todas las quebradas, un poco antes de salir de la montaña (arriba de la garganta de salida), se observan niveles en forma de terrazas que

evidencian depósitos de flujos torrenciales de mayor magnitud en el pasado, aunque actualmente son estables” (Flórez, 2015).

Villamizar (2017), en su proyecto investigativo denominado Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca la viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander, encontró que en la microcuenca las pendientes son abruptas y escarpadas, su red de drenaje no es homogénea y su amenaza por crecientes súbitas es de mediana a baja intensidad. El proceso erosivo de la microcuenca ha aumentado por la actividad agrícola y la deforestación de la zona incrementando así posibles deslizamientos laterales, depósitos de sedimentos y acumulando estos sedimentos en el cauce, ocasionando represamiento y desbordes. Las particularidades del relieve, los tipos de suelo y la cobertura vegetal en la microcuenca La Viuda son elementos desencadenantes que causan desbordamientos. Esto se relaciona principalmente con los cambios en las condiciones climáticas, la ubicación de asentamientos urbanos a lo largo de las orillas del cauce y la rápida deforestación y expansión de la agricultura y la urbanización. Este conjunto de factores también ha aumentado los procesos erosivos en toda la microcuenca, lo que eleva la probabilidad de deslizamientos laterales, la acumulación de sedimentos (roca, piedra, sedimentos más pequeños y material vegetal) y la obstrucción del cauce, lo que da lugar a represamientos y desbordamientos. La propensión a experimentar crecidas súbitas está influenciada por factores constantes, como la naturaleza del terreno, la geología, la forma del terreno y la vegetación natural, además de manera primordial por las características de las precipitaciones, como su tipo, intensidad, duración, distribución, entre otros.

Villamizar *et al.*, 2019 en su trabajo denominado: Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca la viuda, Chitagá, Colombia, concluyen que el área estudiada corresponde a un paisaje montañoso con pendientes que van desde abruptas a escarpadas, que

pueden facilitar la ocurrencia de procesos de remoción en masa, de tal manera que la amenaza por crecientes súbitas asociadas a esta microcuenca son de mediana a baja intensidad, a su vez no se descarta que se puedan provocar, por el exceso de actividades antrópicas en la parte alta y media de la microcuenca, debido a la pérdida de cobertura vegetal que se viene presentando en la actualidad, asimismo, se tiene las características del relieve, suelos y cobertura vegetal de la microcuenca La Viuda, son factores detonantes que ocasionan desbordamientos, principalmente asociadas a la variación de las condiciones climáticas, a la localización de asentamientos urbanos en las orillas del cauce y al acelerado proceso de deforestación y ampliación de la frontera agrícola y urbana.

Alvarado (2020), en su monografía Análisis de las metodologías implementadas en la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en la Gestión de riesgo en Colombia realizada en el año 2020, dice que los eventos de avenidas torrenciales son de gran poder destructivo en Colombia, causando en el último siglo 2.595 muertes, sugiere que es importante realizar una zonificación de amenaza como determinante en el ordenamiento territorial de todos los municipios. En otros resultados, se encontró que la mayoría de los estudios de caso implementados en Colombia tienen dificultad en la obtención de los insumos para realizar los análisis hidrológicos, geomorfológicos, de sedimentos e hidráulico para una escala 1:2.000, ya que implica registros de hidrológicos en el área de influencia y que en varias zonas del país no siempre se cuenta con estaciones de medición de caudales. Adicionalmente, “La cartografía disponible (base de datos nacionales), no cuentan con información a esa escala detalle por tanto debe levantarse en campo, así como debe contarse con una batimetría de todos los cauces que se requiere realizar un modelo hidráulico, y estos insumos requieren de una inversión económica alta” (Alvarado, 2020).

3. MARCO TEORICO

El riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento adverso y las consecuencias de ese evento. La amenaza es un evento que tiene el potencial de causar daño. La vulnerabilidad es la susceptibilidad de un sistema o entidad a sufrir los efectos negativos de una amenaza debido a debilidades internas.

La zonificación es un método de planificación y control que se integra en la planificación del ordenamiento territorial. Es la división de un área geográfica en varios sectores o áreas con el objetivo de regular el uso del suelo y las actividades aprobadas en cada uno de estos sectores. Según el Instituto Colombiano de Geología y Minería en su trabajo realizado en el año 2010, la zonificación se inicia con la identificación y el análisis de los procesos distintivos en diversas áreas geográficas según condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas y su respuesta a los procesos morfodinámicos como lluvias, sismos, vulcanismo etc.

La susceptibilidad es la probabilidad de una región a sufrir las consecuencias de un riesgo específico. En esta susceptibilidad influyen una serie de factores, incluidos los relacionados con los ámbitos físico, social, económico y ambiental. Para Alarcón *et al.*, (2016) la susceptibilidad se ve afectada por las alteraciones en el régimen climático, conflictos relacionados con el uso inapropiado del suelo, la cobertura insuficiente, y otros elementos que pueden desencadenar eventos adicionales, como graduales, represamientos y las consiguientes avalanchas aumentando el potencial de impacto.

Ahora bien, la zonificación de susceptibilidad es un procedimiento de mapeo y evaluación que identifica áreas vulnerables o susceptibles a un fenómeno o riesgo específico. Su principal objetivo es detectar y categorizar regiones vulnerables a eventos naturales como inundaciones, terremotos y erupciones volcánicas, entre otras.

Los fenómenos hidrometeorológicos conocidos como inundaciones torrenciales se definen por un aumento repentino y severo del caudal de un río o quebrada, provocado por fuertes lluvias. Debido a su velocidad y al volumen de agua y sedimentos que transporta, esta crecida o inundación plantea un alto riesgo de graves inundaciones, extensa destrucción material e incluso la posibilidad de víctimas humanas.

Las avenidas torrenciales son eventos hidrometeorológicos donde ocurre un aumento repentino y severo del caudal de un río o quebrada, provocado por fuertes precipitaciones. Debido a su velocidad y al volumen de agua y sedimentos que transporta, esta crecida o inundación genera un alto riesgo como inundaciones, daños materiales e incluso la posibilidad de perder vidas humanas. Según la Dirección de Gestión del Riesgo de Santander (2019), las avenidas torrenciales son crecientes torrentes comunes en las cuencas de alta montaña, las cuales se originan como un detonante de las lluvias que superan los valores de precipitación en pocas horas saturando las laderas, facilitando el deslizamiento del material que cae en el cauce transportándolo aguas abajo lo cual pueden causar daños en infraestructura y pérdidas humanas. Para Cornare, (2012), una avenida torrencial es un “Fenómeno que se origina comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas”. Ahora bien, La guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000 del Servicio Geológico Colombiano (2017), define las avenidas torrenciales como flujos de detritos y flujos de lodo con características geomorfológicas propias de la cuenca que favorecen a la acumulación de sedimentos en el cauce, adicional a ello los cambios drásticos en el gradiente del afluente, la alta densidad de drenajes y los eventos de precipitación también favorecen a la acumulación.

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible & Universidad Nacional de Colombia (2013) los flujos de lodo y detritos clasificado como avenidas torrenciales, se presenta en cuencas con características morfométrica y climáticos particulares. Características como el tamaño correspondiente a cuencas pequeñas entre 0.3 Km² hasta 300 Km², su forma puede ser circular y dan una idea de la probabilidad del creciente, la pendiente es una característica importante donde la pendiente media en sus laderas puede tener un porcentaje de 10 al 13% y longitudinales mayores a 4%, su geomorfología tales como cañones en forma de v, relieves abruptas, evidencia de materiales fluvio-torrenciales, cambios bruscos de pendiente y por último, la precipitaciones de alta intensidad. Los flujos torrenciales son mecanismos de transporte de sedimentos ya sea de materiales finos o gruesos. Según Aristizábal *et al.*, (2020) estos flujos se pueden clasificar en procesos gravitacionales, flujo de escombros y de inundaciones. Los flujos torrenciales de procesos gravitacionales según Cruden *et al.*, (1996) son flujos con movimiento espacialmente continuo. Por otro lado los flujos de escombros según Crosta *et al.*, (1990) los divide en cuatro categorías: el flujo de escombros no canalizados en drenajes de orden cero, originados con desgarres superficiales; el flujo de escombros en cuencas canalizadas de pendientes medias, originados como deslizamiento rotacionales o traslacionales; avalanchas de escombros en intercuenas de pendientes mayores a 45° y las torrentes de escombros que se dan al inicio de valles estrechos, causados por una falla que provoque deslizamientos.

La geomorfología se centra en analizar y explicar las propiedades físicas de la superficie terrestre, así como los procesos naturales y geológicos que han dado forma a la topografía del planeta a lo largo del tiempo geológico. La morfología fluvial es un subcampo de la geomorfología que se centra en el estudio de formas y fenómenos asociados con ríos y sistemas

fluviales. Este campo de investigación analiza cómo se crean los ríos, cómo cambian con el tiempo y cómo los procesos geológicos y geomorfológicos afectan la forma en que se forma la topografía del área. Según Alberto *et al.*, (2017) la morfología fluvial se relaciona con la configuración de elementos como los cauces, dependiendo de aspectos como: capacidad de transporte, tipos de suelo y cuerpos de agua. Por otro lado, existen parámetros morfométricos en las cuencas que tienen impactos en la generación de avenidas torrenciales. Para Abello, M. (2022) estos: el área, perímetro, longitud de cuenca, ancho de la cuenca, factor de forma y coeficiente de compactación.

- Área (A): Se refiere a la proyección de toda superficie de drenaje.
- Perímetro (P): Es la longitud horizontal de un plano que recorre la divisoria de aguas.
- Longitud de la cuenca (L): Distancia presentada de manera horizontal que va desde la desembocadura a otros puntos aguas arriba.
- Ancho de la cuenca (B): Relacionado entre la longitud y el área.
- Factor de forma: Relacionado entre cuadrado de longitud y área de la cuenca.
- Coeficiente de compacidad (kc): Comparación de la forma de la cuenca con una circunferencia.

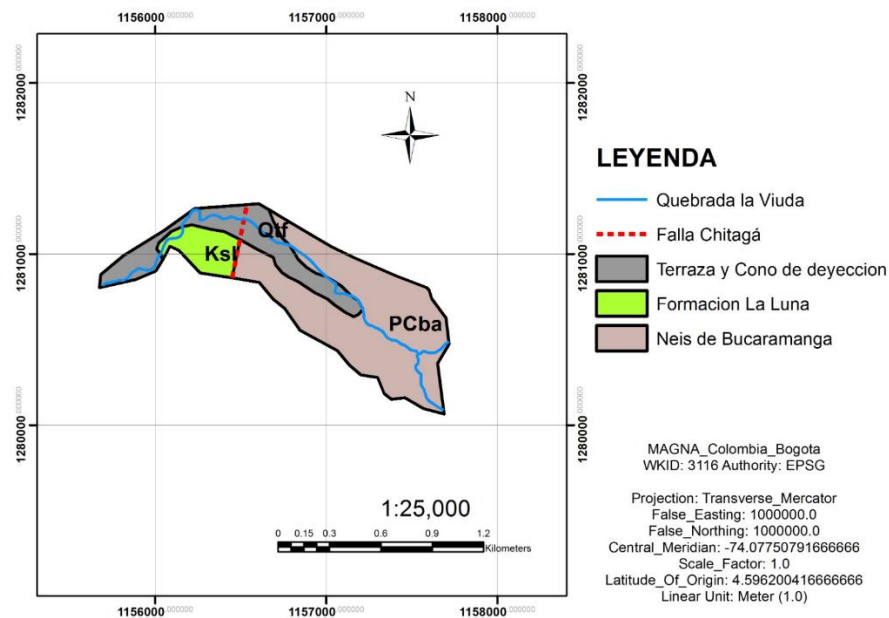
4. MARCO GEOLOGICO

4.1. Geología Regional

La geología del área del municipio de Chitagá está enmarcada dentro del desarrollo geológico de la Cordillera Oriental de Colombia. En el tiempo límite Cretácico-Terciario comienza el levantamiento de la Cordillera Oriental mediante una fase inicial de inversión de fallas normales jurásicas y cretácicas tempranas, fase que fue más conspicua en el Mioceno superior-Plioceno inferior, cuando se configuraron las tres cordilleras y el levantamiento máximo

se produjo durante el Pleistoceno. El área del municipio de Chitagá, hace parte de la región límite entre el sector meridional del Macizo de Santander y rocas cretácicas y terciarias del borde E de la Cordillera Oriental (cerca al límite con Venezuela), justo al SE del Páramo de Santurbán, sitio en donde la Cordillera Oriental se bifurca en la Cordillera de Mérida en Venezuela y en la Serranía de Los Motilones. (Alcaldía municipal de Chitagá, 2000) (Figura 2).

Figura 2. Mapa geológico en la zona baja de la Microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: Modificado del Servicio Geológico Colombiano (1977). Mapa regional.

4.1.1 Neis de Bucaramanga

Nombre propuesto por Ward *et al.*, (1973) para referirse a una secuencia estratificada de rocas meta-sedimentarias de alto grado de metamorfismo compuesta principalmente de paraneis pelítico, semi-pelítico y arenáceo; esquistos y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolitas, se observan también algunas zonas de migmatitas de dos tipos: la primera (PCab) en la cual el paraneis se encuentra mezclado con rocas graníticas neísicas; y la

segunda (PCabh) donde el paraneis y el granito están cortados por rocas graníticas no foliadas de edad más joven.

4.1.2 Formación la Luna

El nombre de la Formación la Luna fue usado por Garner (1926). Se subdivide en los miembros Galembo compuesto por lutitas negras duras y calcáreas, con capas delgadas de cherts negro y concreciones de caliza amonitas y capas fosfáticas, Miembro Salada compuesta por lutitas negras, duras, calcáreas con pocas capas delgadas de caliza negra, lentes y concreciones piriticos y miembro Pujama compuesta por lutitas grises a negras calcáreas. Contiene caliza carbonácea y bituminosa, gris oscuro a negra, dura, en capas horizontales uniformes, cherts negros con intercalaciones de shale negro hacia la base. Areniscas calcárea gris oscuro, de grano fino, dura. Presencia nódulos de cherts y concreciones discoidales de caliza negra, dura. (Ward *et al.*, 1973).

4.1.3 Terraza y Cono de Deyección (Qtz)

Son depósitos que datan del pleistoceno hasta la actualidad, están disectados y fragmentados, remanentes de depósitos aluviales extensos. Los depósitos fluviales inferiores parecen derivarse principalmente de areniscas Jurásicas y Cretáceas. Los materiales que constituyen los depósitos coluviales derivan de roca parental muy meteorizada desde cuarcita dura, arenisca arcósica friable y neis feldespático muy blanco, casi saprolítico. (Ward *et al.*, 1973).

4.2 Geología estructural

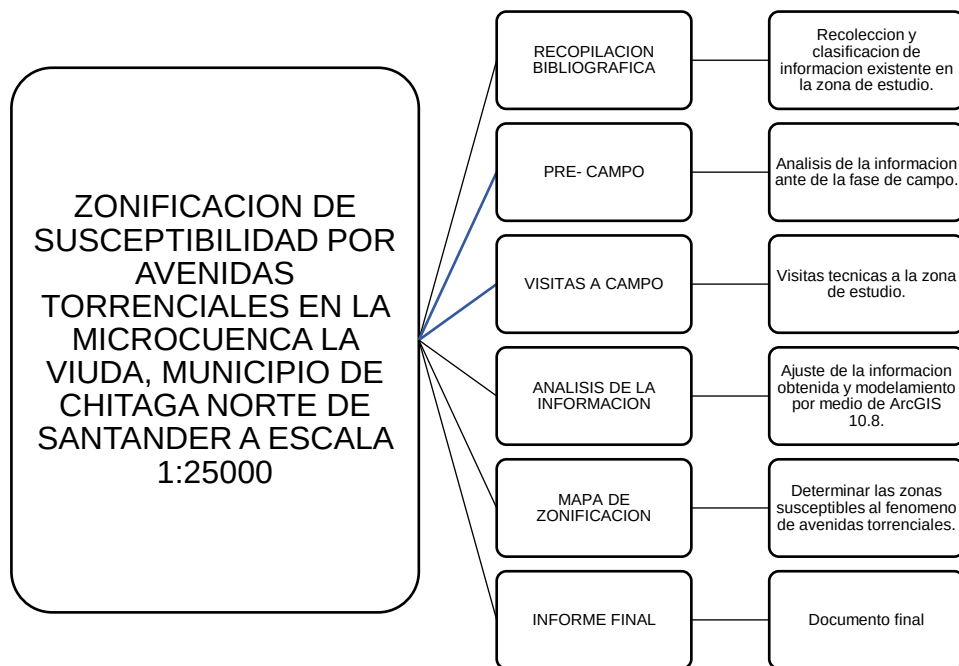
El área del municipio de Chitagá se caracteriza por una tectónica compresiva intensa que ha generado pliegues y principalmente fallas inversas. De W a E se destacan la Falla de Servitá, la Falla de Chitagá y la Falla de Chucarima, las cuales son de carácter regional y tienen una

dirección general N-S y NW-SE. Estas fallas limitan bloques tectónicos que son los responsables de la estratigrafía del área del municipio de Chitagá, en donde aparecen en términos generales de W a E, rocas del Jurásico; rocas cretácicas y terciarias; rocas precámbricas y paleozoicas; y nuevamente rocas cretácicas y terciarias. Quizás la estructura de plegamiento a destacar es el Sinclinal Delgadito, con orientación general N-S, situado a unos 6 Km al SSW del municipio de Chitagá y formado por rocas terciarias, incluida la Formación Los Cuervos que es roca fuente de carbón como se verá más adelante (Alcaldía municipal de Chitagá, 2000).

5. METODOLOGIA

Para determinar las zonas susceptibles ante fenómenos de avenidas torrenciales, se usó el método cuantitativo y cualitativo. El método cuantitativo es aquel que se basa en los datos numéricos y análisis estadísticos con el objetivo de explicar fenómenos o comportamientos. El método cualitativo es aquel que se basa en la recolección de datos, lo cual ayuda a proporcionar ideas e hipótesis. El presente proyecto presenta un enfoque cuantitativo ya que recolectan datos estadísticos como precipitaciones. Además, un enfoque cualitativo ya que se obtienen datos necesarios para una comprensión profunda y detallada de los fenómenos de avenidas torrenciales (Figura 3).

Figura 3. Esquema metodológico para la realización del estudio



Nota: Fuente: Autor.

5.1 Recopilación Bibliográfica

En esta primera fase se realizó una recolección y clasificación de información de bibliografía existente en la zona de estudio, como informes, artículos científicos, imágenes satelitales, páginas web, guía metodológica de zonificación por avenidas torrenciales, información geológica del área. Se obtuvo información de páginas de entidades gubernamentales nacionales como el Instituto de Hidrogeología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Alcaldía municipal de Chitagá y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). Toda esta etapa se realizó con el fin de adquirir un conocimiento de la zona y tener claro los aspectos generales.

5.2. Pre- Campo

Se realizó una fase de pre-campo donde se analizó la información obtenida en la primera fase, se estudió la geología presente en la microcuenca la Viuda, se programaron las visitas a campo para luego hacer el reconocimiento de la zona, adicional a ello se identificaron los lugares donde posiblemente se podría muestrear y establecer un buen estudio del trabajo de campo. Se solicitó permisos para entrar a la zona de estudio y acompañamiento por parte de gestión del riesgo a la alcaldía de Chitagá.

5.3 Visita a Campo

Se realizaron 3 visitas a la zona de estudio donde se rectificó y analizo la información recopilada en la fase de pre-campo, se identificó la geología presente en el área, la geomorfología, el uso del suelo, los deslizamientos en la zona, la influencia del sector urbano, entre otros. Se procedió a tomar evidencias fotográficas, toma de coordenadas con la ayuda de GPS, se registró información importante de la zona en la libreta de campo y posteriormente esa información se llevó a la oficina para ser analizada.

5.4 Análisis de la información

Se estudió la información obtenida en la recopilación bibliográfica y en la visita a campo donde se correlaciono la información y se comenzó la delimitación de la zona baja de la microcuenca la Viuda, utilizando un modelo digital de elevación (DEM), donde por medio de los niveles de cuenca se logró separar la zona baja de la microcuenca con una representación a escala 1:25000 utilizando el sistema de información geográfico ArcGIS 10.8. Posterior a ello se realizó el mapa geológico de la zona teniendo los datos del Servicio Geológico Colombiano junto con los datos recolectados en campo. Por medio de una imagen satelital del programa SAS PLANET y junto con ArcGIS 10.8 se logró realizar el estudio geomorfológico, unidades geológicas superficiales, geomorfodinamico, el uso de suelos y coberturas. Luego de realizar

estos estudios se hizo un análisis de los parámetros morfométricos de la cuenca creando así el mapa de pendientes. Por último, se realizó el modelamiento de la red hídrica por medio de ArcGIS 10.8.

5.5 Mapa de Zonificación

Se elaboró el mapa de zonificación por avenidas torrenciales usando los mapas elaborados en el análisis de la información, tales como mapa geomorfológico, pendientes, uso del suelo y coberturas y unidades geológicas superficiales. Este trabajo se realizó a través de la herramienta de sistema de información geográfica ArcGIS 10.8. Allí se obtuvo el mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales de la zona.

5.6 Informe final.

Con base en la información obtenida en las fases anteriores, se organizó y redactó este documento final donde se hizo una síntesis de toda la información obtenida junto con las debidas conclusiones del estudio. Este informe es entregado a la Corporación Autónoma Regional Nororiental (CORPONOR) y a la Universidad de Pamplona.

6. RESULTADOS

6.1 Geología Local

6.1.1 Neis de Bucaramanga (*Pcab*)

Unidad metamórfica del precámbrico, formada por rocas metamórficas con minerales tales como biotita, anfíboles, cuarzo, feldespato, con presencia de colores oscuros y claros adicional a ello se puede identificar bandeamiento con textura tipo Augen (Figura 4) donde en sus “ojos” se observan cristales de feldespato los cuales están deformados y rodeados por una matriz de grano más fino. Con su textura y colores podemos determinar que tenemos en la zona

neis anfibolítico y paraneis cuarzo- feldespático. Adicional a ello, su textura nos sugiere un ambiente de alta presión y temperatura típico de un metamorfismo regional.

Figura 4. Neis de Bucaramanga, con presencia de textura tipo Augen



Nota: Fuente: Autor.

6.1.2 Terrazas y cono de deyección (Qt_f)

Unidad de depósitos cuaternarios que datan la época el Pleistoceno hasta la actualidad, generados por corrientes fluvio-torrenciales. Se encuentran gravas y arenas con una matriz soportada areno-limosa. Este tipo de depósitos se encuentran en la zona urbano especialmente cerca a la quebrada la Viuda.

6.1.3 Depósitos Coluviales (Q_d)

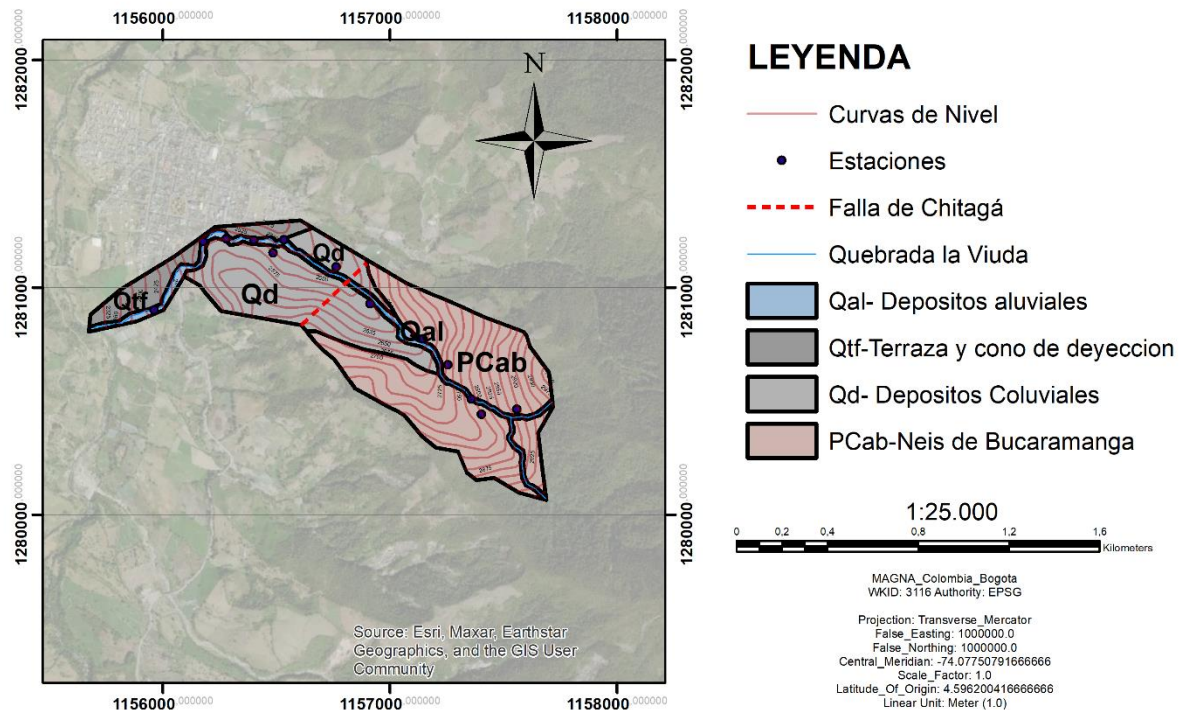
Unidad Cuaternaria del Holoceno, compuesta de cantos, gravas y arenas que han sido transportados por movimientos gravitacionales locales. Estos depósitos los podemos encontrar principalmente en las zonas de producción agrícola y en las laderas.

6.1.4 Depósitos aluviales (Q_{al})

Corresponde a depósitos de origen fluvial, producto de la erosión, deposición e incisión fluvial. Este es resultado de la acción directa de la quebrada la Viuda, se encuentran en el lecho de la quebrada, son identificados por ser un material detrítico compuesto por gravas con una

estructura matriz soportada areno-limoso de color. Se presentan tamaños de guijos, guijarros subredondeados a subangulares.

Figura 5. *Neis de Bucaramanga, con presencia de textura tipo Augen*



Nota: Fuente: Autor.

6.2 Unidades geológicas superficiales

Las unidades geológicas superficiales son los materiales que conforman un terreno, ya sea suelo o roca y se encuentran delimitadas teniendo presente el grado de homogeneidad y sus características geológicas, geomecánicas y geomorfológicas. De acuerdo a esto se identificó las unidades geológicas superficiales en la zona baja de la microcuenca la Viuda de acuerdo a lo estipulado por el Servicio Geológico Colombiano (2017) (Figura 8).

6.2.1 Roca dura Neis de Bucaramanga (RdNe)

Esta unidad se presenta en el noreste y sureste en la zona baja de la microcuenca la Viuda, compuesta por neis con textura Augen lo que nos indica un ambiente de alta presión y

temperatura. Contiene un color oscuro a claro especialmente oscuro (gris a negro). Con un área de 471434,921882 (m) (Figura 6).

Figura 6. Roca dura Neis de Bucaramanga en la zona baja de la microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: autor.

6.2.2 Suelo transportado coluvial (Stc)

Este tipo de suelos es aquel que se ha movido por acción de la gravedad, a menudo acompañado de procesos como deslizamientos de tierra. Se encuentra un material heterogéneo de consistencia dura, embebidos en una matriz de suelo areno-limoso, con compactada. Presenta un área de 300296,729 (m).

6.2.3 Suelo transportado aluvial (Stal)

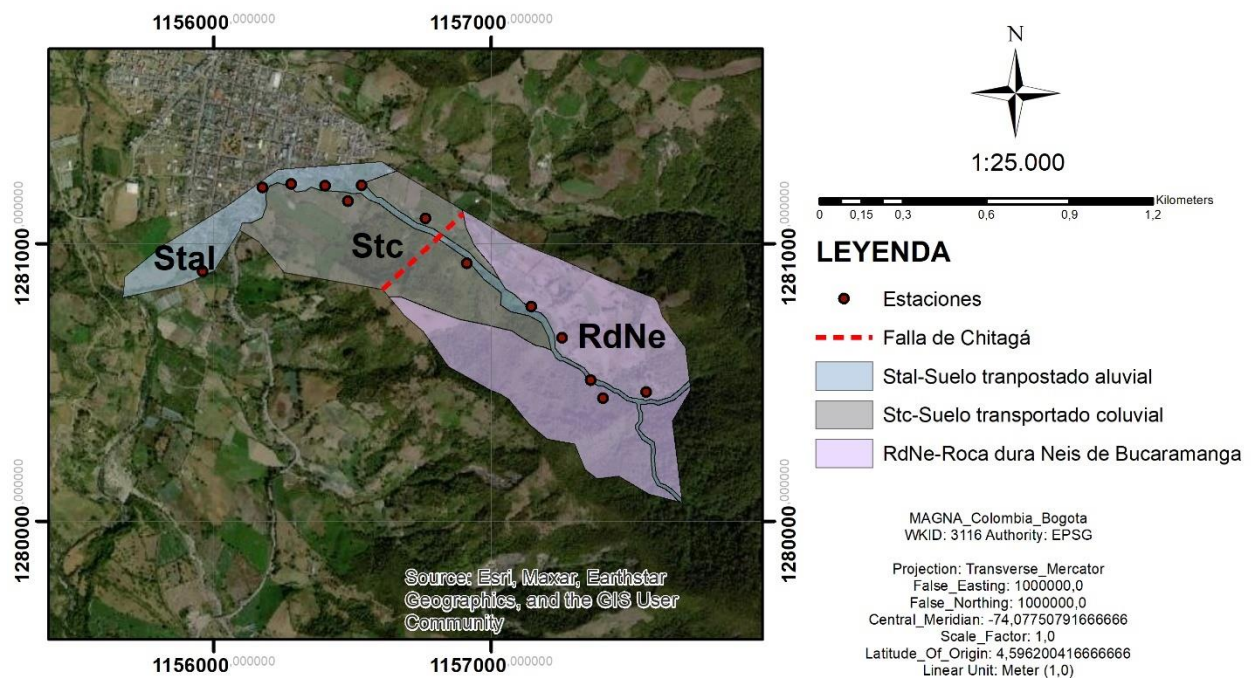
Este tipo de suelo es aquel que se ha movido de su lugar de origen y ha sido transportado por un agente (agua) en este caso la quebrada la Viuda, su transporte ha sido por la corriente del agua dejando así este tipo de suelo en la zona (Figura 7). Suelo arenoso con presencia de limos, sus arenas son gruesas a muy finas de color café, presenta guijos, guijarros subredondeados a subangulares. Se observa gran contenido de materia orgánica. Presenta un área de 149948,630576 (m).

Figura 7. Suelo transportado aluvial (Stal).



Nota: Fuente: autor

Figura 8. Mapa de unidades geológicas superficiales.



Nota: Fuente: autor.

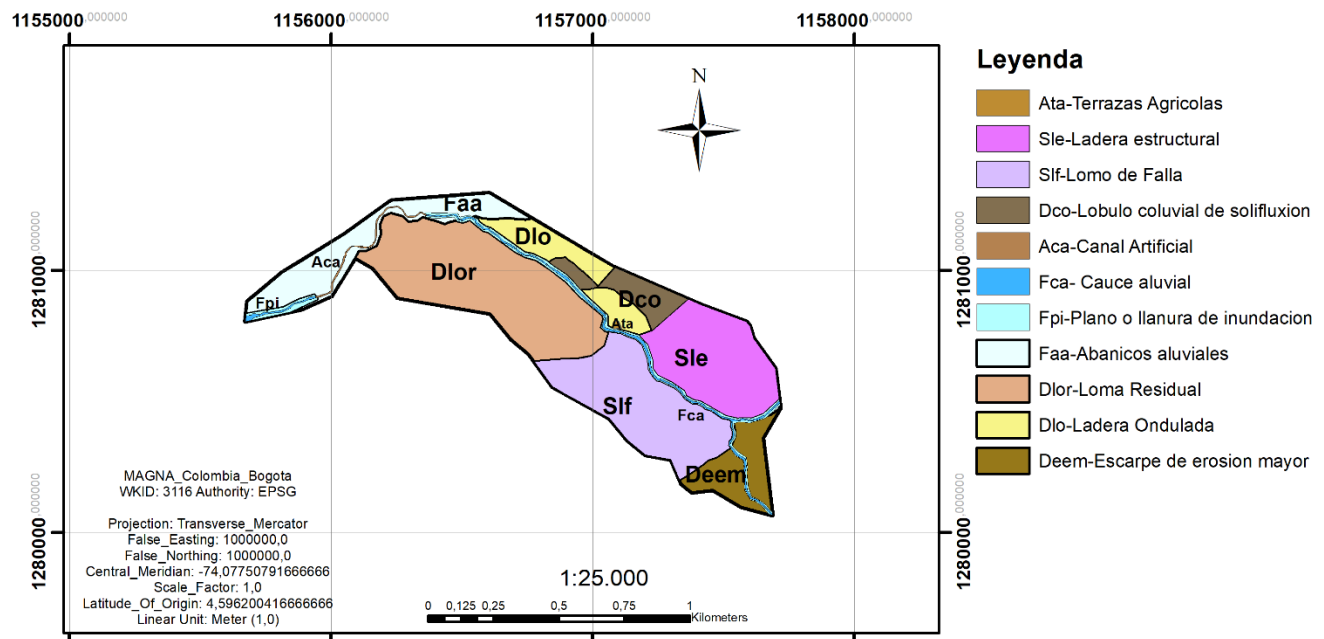
6.3 Geomorfología

6.3.1 Morfogénesis

Son aquellos procesos que dan forma al relieve de la zona. De acuerdo con lo estudiado en campo se logró analizar la zona baja de la microcuenca la viuda y se encontraron cuatro tipos de ambientes que le dieron el relieve a este mismo: el ambiente fluvial, ambiente denudacional, ambiente estructural y ambiente antropogénico.

Con base en lo establecido por el servicio geológico colombiano (2012), se elaboró el mapa geomorfológico en la zona baja de la microcuenca la Viuda (Figura 9).

Figura 9. Mapa Geomorfológico en la zona baja de la microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: autor.

6.3.1.1 Ambiente Fluvial

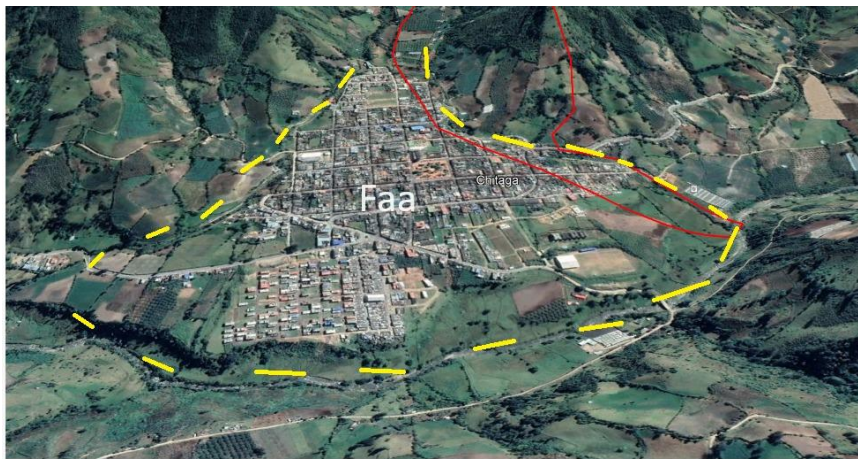
Este ambiente corresponde a el relieve generado por procesos erosivos de actividad fluvial y la acumulación de materiales en zonas aledañas a los cauces fluviales tanto en periodos de avenidas o inundaciones como en su dinámica de corriente normal.

6.3.1.1.1 Cauce Aluvial (Fca.). Según Carvajal (2012) es un canal de forma irregular

excavado generado por la erosión generada por corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. En la zona de estudio es conocida como quebrada la Viuda y es una de las principales fuentes de agua del municipio de Chitagá.

6.3.1.1.2 Abanico aluvial y Fluviotorrencial (Faa). De acuerdo con la información suministrada por el servicio geológico colombiano (2014) y la información recopilada en campo, en la zona baja de la microcuenca la viuda del municipio de Chitagá encontramos un abanico en forma de cono de laderas convexo presenta morfología plana y ondulada. Su origen está asociada a la acumulación fluvial y torrencial en forma radial. Encontramos depósitos de cono de deyección en la zona (Figura 10).

Figura 10. *Abanico fluviotorrencial proveniente de un ambiente fluvial.*



Nota: Fuente: Modificado de Google Earth.

6.3.1.1.3 Plano o llanura de inundación (Fpi). Geomorfología ondulada, presente en la desembocadura de la microcuenca la viuda hacia el río Chitagá, además también se encuentra bordeando toda la quebrada la Viuda. Es característico observar, como en regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas. Se encuentran sedimentos de tamaño grueso a fino con algunos cantos transportados.

6.3.1.2 Ambiente denudacional

Esta geoforma es producto de la meteorización y erosión, junto con transporte de origen gravitacional y pluvial las cuales remodelan y dejan remanentes las unidades ya existentes.

6.3.1.2.1 Ladera ondulada (Dlo). Superficie en declive de morfología alomada o colinada, de pendiente inclinada principalmente, en ocasiones es escarpada, estas laderas se pueden formar tanto en roca como en suelos residuales y depósitos coluviales. Predomina el patrón de drenaje dendrítico y subdendrítico

6.3.1.2.2 Loma residual (Dlor). Superficie con una altura menor a 200 metros sobre su base local, presenta un relieve relativamente bajo, con laderas cortas a muy cortas de forma convexa, con cimas redondeadas. Su origen es asociado a procesos de meteorización y erosión fluvial intensa asociados a la quebrada la Viuda (Figura 11).

Figura 11. Loma Residual (Dlor), zona baja microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: Autor

6.3.1.2.3 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco). Superficies en forma de lobulos alomados bajos. Originarios de procesos de transporte y depositacion de materiales sobre laderas por efecto hidrogravitacional. Los podemos observar en la zona NE en la zona baja de la microcuenca la Viuda.

6.3.1.3 Ambiente Estructural.

Geoformas que se originan por la dinámica interna de la tierra, estos están asociados a fallas y plegamiento de las rocas.

6.3.1.3.1 Escarpe de Erosión Mayor. Se localiza en la zona más alta de la zona baja de la microcuenca la Viuda, presenta una superficie escarpada de longitud corta de forma recta, ladera abrupta a desplome. Suelen desarrollarse en rocas duras y se expresan en rocas metamórficas meteorizadas. Se encuentra asociada a laderas de contrapendiente.

6.3.1.3.2 Lomo de falla (Slf): Superficie con morfología alomada, de laderas cortas con presencia de pendientes abruptas a escarpadas. Se encuentran rocas duras (Neis de Bucaramanga) fracturadas. Tienden a presentar estructuras de tipo flor positiva.

6.3.1.3.3 Ladera Estructural (Sle): Superficie en declive, definida por planos preferentes de estratos, foliación, diaclasamiento la cual se encuentra a favor de la pendiente. Presenta pendientes suaves a escarpadas.

6.3.1.4 Ambiente Antropogénico

6.3.1.4.1 Canal Artificial (Aca). Canal de cemento contruidos para facilitar la navegación del flujo de agua, canalizado solo en una parte de la zona urbana del municipio de Chitagá (Figura 12).

Figura 12. *Canal artificial, municipio de Chitagá y terrazas agrícolas.*



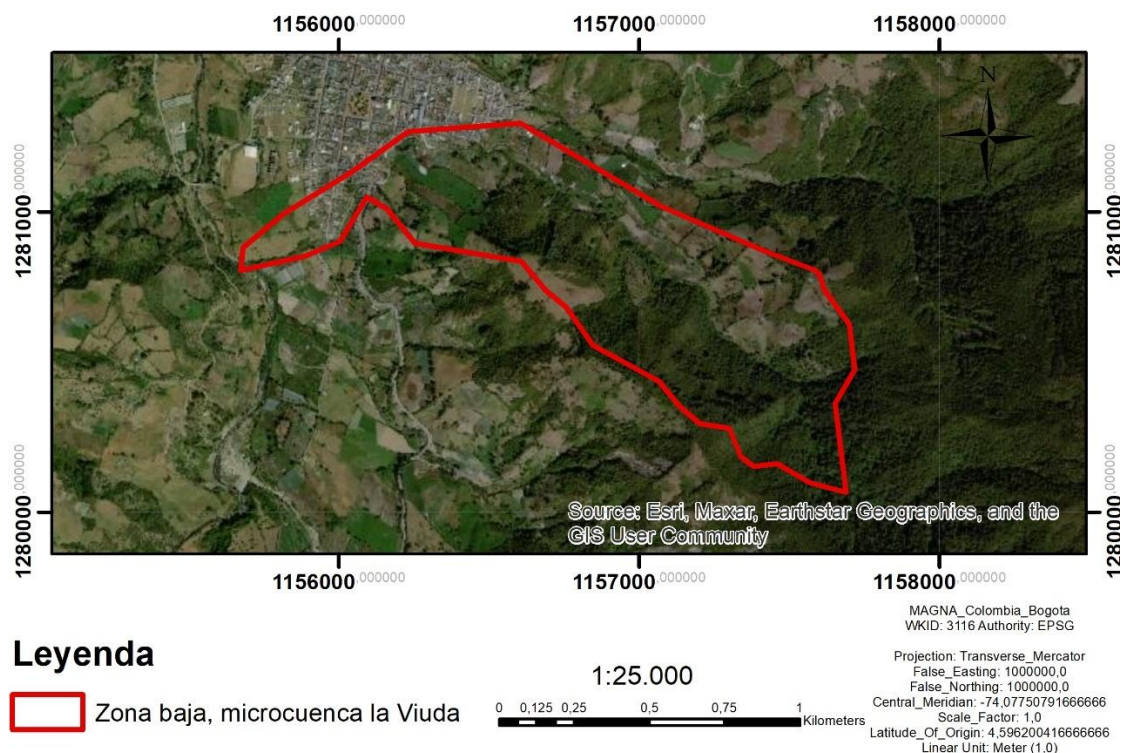
Nota: Fuente: autor

6.3.1.4.2 Terrazas agrícolas (Ata). Son escalones muy anchos, contruidos por el hombre usando la misma tierra del lugar, para actividades agrícolas. Las terrazas son hechas con el objeto de que suelos inclinados puedan usarse con cultivos agrícolas o plantaciones forestales, sin que la tierra sea arrastrada por el agua (Figura 12).

6.3.2 Parámetros Morfométricos

Los parámetros morfométricos proporcionan información sobre la forma, tamaño y características físicas de la microcuenca, lo que puede ser útil para comprender su comportamiento hidrológico y geomorfológico general. La microcuenca la Viuda cuenta con un área de 2.360724 Km² la cual la zona baja de esta misma corresponde a un 0.921558 Km² teniendo un porcentaje del 39,03% de la microcuenca (Figura 13). Esta zona baja cuanta con un perímetro de 5.5241 Km, se estipula un largo de 1.8831 Km y un ancho de 0.6391 Km (Tabla 1).

Figura 13. Zona baja, Microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: Autor.

Tabla 1. *Parámetros morfométricos en la zona baja de la microcuenca la Viuda.*

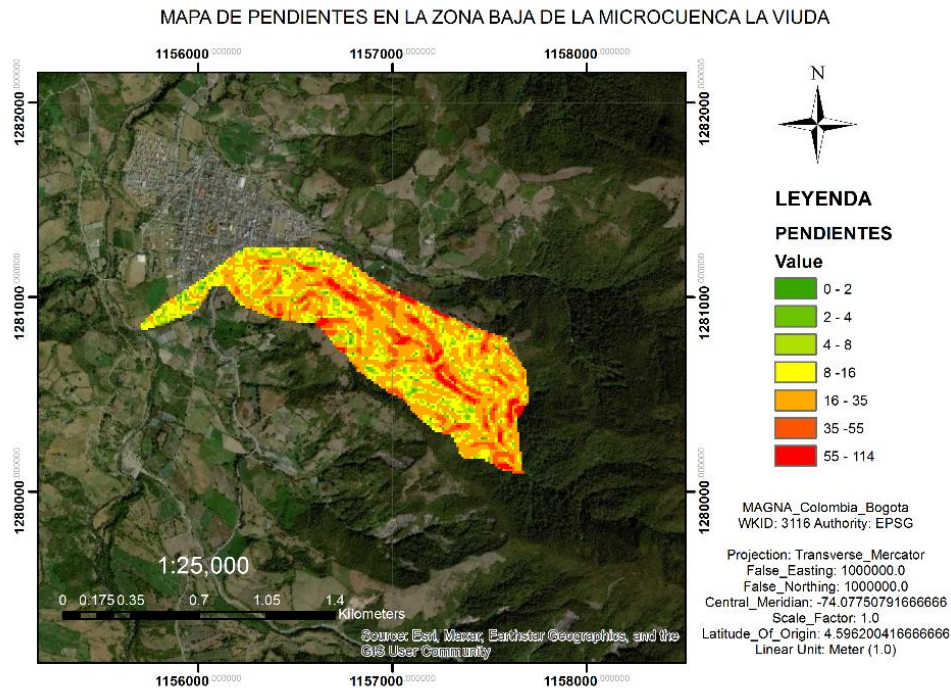
PARAMETROS MORFOMETRICOS		
AREA	0.921558	Km ²
PERIMETRO	5.524191	Km
ANCHO	0.639444	Km
LARGO	1.8889925	Km
FACTOR DE FORMA	0.33851061	S/N
INDICE DE GRAVELIOUS	1.61125909	S/N
RECTANGULO EQUIVALENTE (MAYOR)	2.37388957	Km
RECTANGULO EQUIVALENTE (MENOR)	0.38820593	Km

6.3.2.1 Pendientes: La pendiente es la elevación de una superficie, este representa el ángulo de inclinación de las laderas. Para la realización del mapa de pendientes se tuvo en cuenta los rangos de pendientes de Van Zuidam adaptada por el Servicio Geológico (2017), donde 0 es la parte más plana y >55 es extremadamente abrupta (Figura 14) (Tabla 2).

Tabla 2. *Pendientes en la zona baja de la microcuenca la Viuda.*

PENDIENTE EN LA ZONA BAJA DE LA MICROCUENCA LA VIUDA				
PENDIENTES		PROMEDIO (A)	OCURRENCIA (B)	A*B
MIN	MAX			
0	2	1	39	39
2	4	3	128	384
4	8	6	443	2658
8	16	12	1297	15564
16	35	25.5	2322	59211
35	55	44	789	34716
55	114	84.5	219	18505.5
TOTAL			5237	131077.5
PENDIENTE PROMEDIO				25.02911973

Figura 14. *Mapa de pendientes en la zona baja de la microcuenca la Viuda.*



Nota: Fuente: Autor.

Como podemos observar en el mapa encontramos varias zonas con relieve plano a casi plano en toda la zona, en estos lugares lo que podemos inferir es que no existe una denudación apreciable. De igual manera tenemos zonas donde encontramos pendientes suavemente inclinadas, especialmente cerca de la zona urbana donde se pueden presentar movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos. Se puede evidenciar una alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos. Adicional a ello, podemos observar que la zona presenta pendientes moderadamente abruptas a muy abruptas con presencia de procesos denudacionales intensos, esto quiere decir que es susceptible ante rodamientos de roca. Especialmente en las zonas más altas de la zona baja de la microcuenca podemos evidenciar pendiente muy abruptas junto con la zona donde pasa el flujo de agua de la microcuenca.

6.3.2.2 Curvatura. Las curvaturas que presenta la zona baja de la microcuenca la Viuda son de 2 tipos, según el cálculo y la interpretación de curvaturas de la clasificación de Dikau

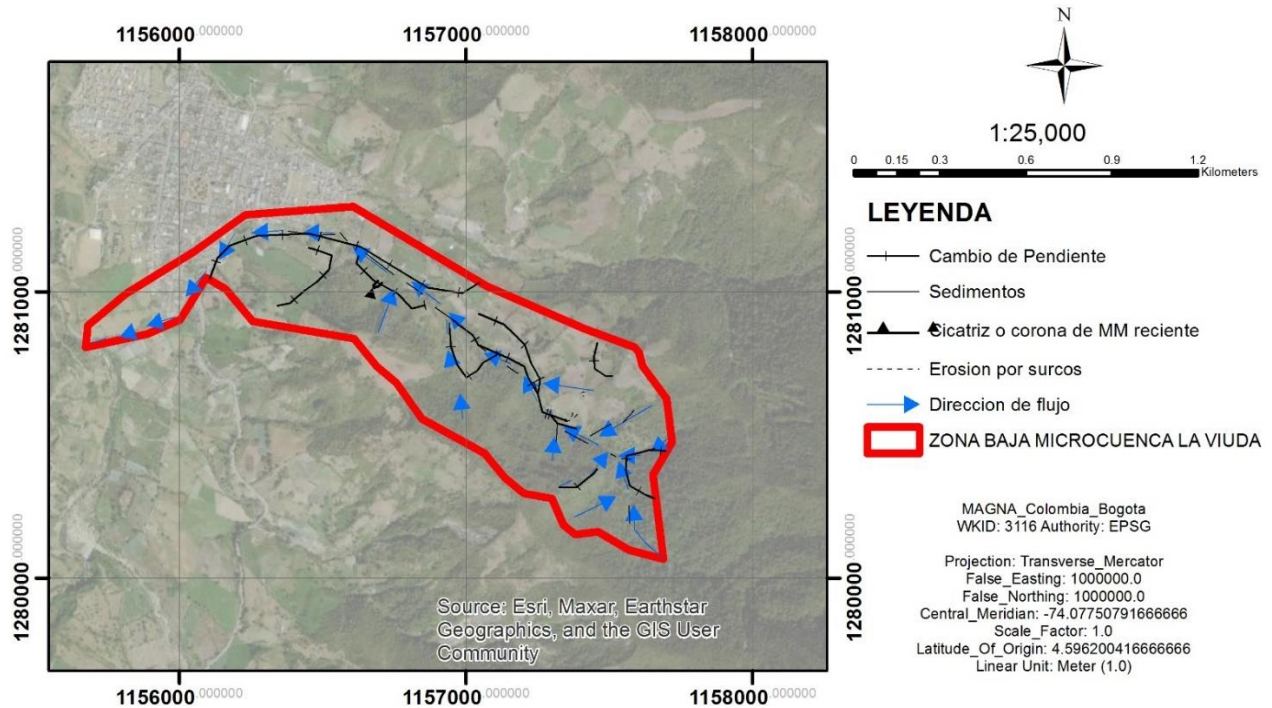
(1989). Se interpreta que la mayoría de la zona cuenta con una curvatura cóncava-cóncava lo que nos indica que estas zonas son propensas a la acumulación de precipitaciones y escorrentías, además son susceptibles a la acumulación de sedimentos transportados por el agua. También presenta una curvatura convexa-convexa especialmente en los lugares de lomas y colinas, estos lugares son propensos a dispersar el agua lo que genera la no acumulación de aguas en esta zona, además estas áreas pueden ser susceptibles a la erosión, especialmente en los terrenos con poca cobertura vegetal.

6.3.2.3 Forma de la ladera. Para establecer las formas de las laderas se tuvo en cuenta los rasgos de forma de ladera, información suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (2012). La forma de las laderas son tipo cóncavas y convexas principalmente con longitudes de muy cortas, cortas y moderadamente largas con una inclinación entre muy inclinada, abrupta, muy abrupta, escarpado a muy escarpado especialmente la parte más alta de la zona baja de la microcuenca la viuda principalmente en las laderas de erosión y laderas ondulada.

6.3.3 Morfodinámica

La Morfodinámica es la encargada de ayudarnos a comprender los procesos que le dan forma al relieve tanto antiguos como presentes. Estos procesos pueden ser erosivos (denudativos) o procesos constructivos (agradacionales) (Figura 15).

Figura 15. *Mapa morfodinámico en la zona baja de la microcuenca la Viuda.*



Nota: Fuente: Autor.

6.3.3.1 Cambio de Pendiente. Se presentaron cambios de pendiente abruptos a muy abruptos, en donde muchos de estos cambios de pendiente están acompañados por la erosión bajo cubierta forestal (uso agrícola), específicamente para la parte NE de la zona de estudio y en las zonas más altas este mismo. Se puede observar un cambio de pendiente en la zona urbana donde se presentan pendientes suaves.

6.3.3.2 Dirección de flujo. Aquí podemos observar con mayor detalle hacia donde se dirige el flujo de agua de la quebrada la Viuda en el municipio de Chitagá, la cual desemboca en el cauce principal el cual es el río Chitagá, se puede ver como no solo tiene un flujo, sino que además se convergen otros drenajes. Cabe resaltar que en la zona urbana hay una modificación antrópica (Canal artificial) que ayuda con el flujo de estas aguas para evitar el peligro a la población.

6.3.3.3 Zona de sedimentación y erosión. Se puede observar a través del flujo de la

quebrada la Viuda, la acumulación de sedimentos por el arrastre de este mismo, los cuales reposan en ellos hasta que una creciente de esta quebrada fluya y arrastre este material, se observan materiales tales como gravas, guijos, guijarros. Adicional a ello se logra observar erosión especialmente en las zonas de uso agrícola y uso de ganadería que generan surcos por el arrastre de animales.

6.3.3.4 Cicatriz o corona de MM. Se presenta una corona de MM donde ha ocurrido un deslizamiento de tierra, carece de vegetación y su material está completamente expuesto, se puede observar cómo su deslizamiento es traslacional, es decir, es plano o recto, su material cae directamente a la quebrada la Viuda (Figura 16), y este es transportado aguas abajo donde se analiza que queda represado y por crecida de la corriente es transportado hasta desembocar en el río Chitagá.

Figura 16. Cicatriz o corona de MM presenta en la zona baja de la microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: autor.

6.4 Red Hídrica

La red Hídrica es el conjunto completo de cuerpos de agua dentro de una zona, en este caso la analice en la zona baja de la microcuenca la Viuda en el municipio de Chitagá. Al analizar la red hídrica de la zona podemos conocer el comportamiento de estos flujos de agua.

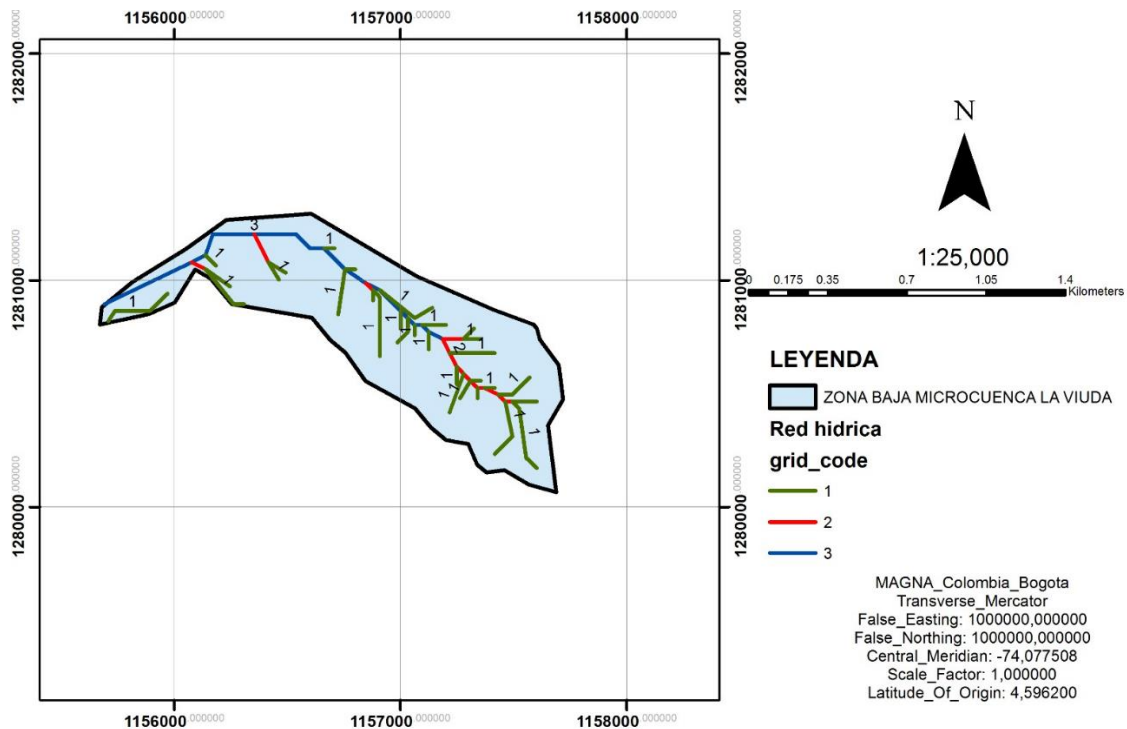
6.4.1 Orden de la red hídrica

El orden de la red hídrica nos ayuda a clasificar la jerarquía de los cursos de agua. De acuerdo al sistema de Strahler, los cursos de agua de primer orden son los arroyos más pequeños donde no se presentan tributarios, es decir, no presentan otro curso de agua (no se ramifican). Los cursos de agua de segundo orden son cuando dos arroyos de primer orden se unen. Los de tercer orden, son cuando dos cursos de agua de segundo orden se confluyen (se juntan). De acuerdo con estos datos, la zona baja de la microcuenca la viuda presenta 3 orden de red de hídrica como se muestra en la (Figura 17). Además, podemos observar que tiene un patrón de drenaje dendrítico (Tabla 3).

Tabla 3. Hidrografía en la zona baja de la microcuenca la Viuda

HIDROGRAFIA EN LA ZONA BAJA DE LA MICROCUENCA LA VIUDA					
ORDEN	CANTIDAD	LONGITUD (Km)	COINCIDENCIA	PENDIENTE PROM (B)	A*B
1	30	4.008328634	99	45.240671	4478.82643
2	1	0.785311314	22	26.903049	591.867078
3	1	1.78392726	54	16.54887	893.63898
TOTAL		6.577567208	175		5964.33249
PENDIENTE PROMEDIO					0.02934109
DENSIDAD DE DRENAJE			7.13744247		

Figura 17. Mapa de Red hídrica en la zona baja de la microcuenca la Viuda.



Nota: Fuente: autor.

6.5 Uso y cobertura del suelo

Se refiere a la forma en la cual usan la tierra y las características físicas de la superficie. Para este estudio se usó la metodología de Corine Land Cover adaptada a Colombia, IDEAM (2010) (Figura 18).

6.5.1 Tejido urbano continuo

Está representada por viviendas urbanas de uso doméstico, es mayoría son casa de un solo piso, carreteras pavimentadas, andenes.

6.5.2 Canales y canal artificial

Representada por la quebrada la Viuda. Canal construido para el flujo del agua de la quebrada la Viuda, facilitando así su densidad de navegación y para la protección de la zona urbana del municipio de Chitagá.

6.5.3 Pastos

Representa las zonas cubiertas con hierba, en tamaños pequeños, muchas de estas zonas son usadas para la ganadería.

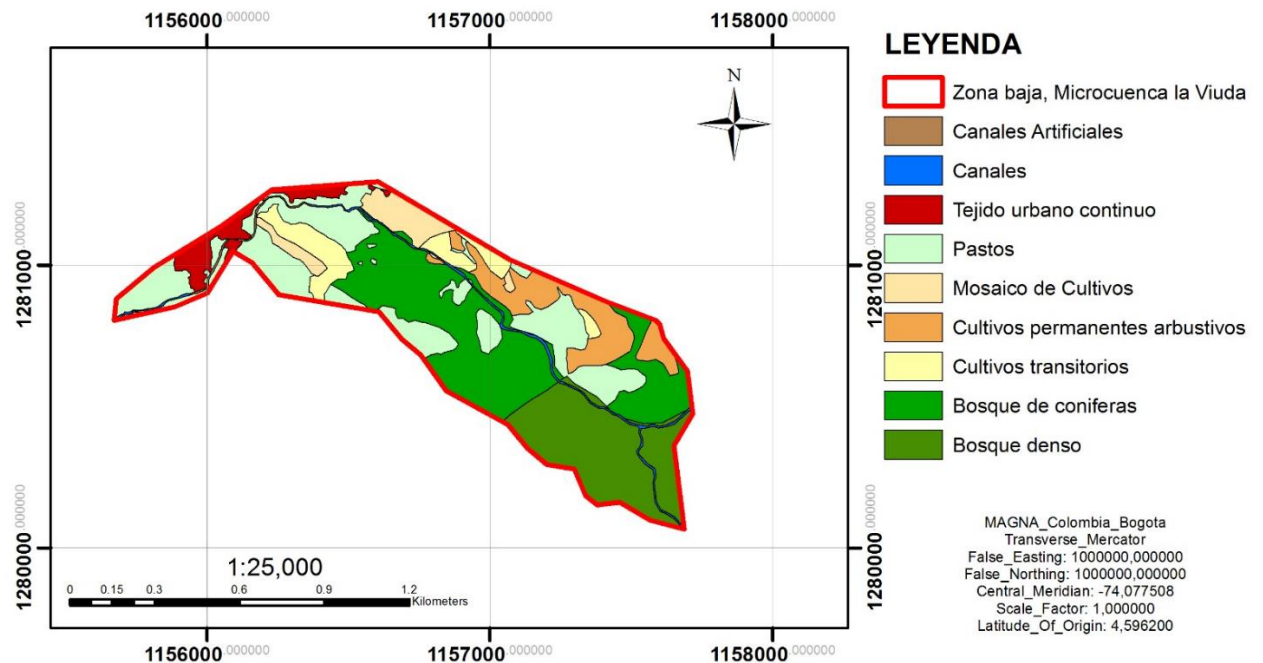
6.5.4 Mosaico de cultivos, cultivos permanentes arbustivos y cultivos transitorios.

Representa las zonas principalmente relacionadas a la producción de alimentos, es decir, a la agricultura, cultivos tales como tomate de árbol, lechuga, durazno, mora, papa, arveja, etc. Cultivos con periodos de estimación de 1 a 6 años, de 4 a 8 meses. Se puede observar la extensión de cultivos hacia donde se encuentra la quebrada lo que hace que hay probabilidad de susceptibilidad debido a la erosión que generan los cultivos específicamente por los químicos que generan erosión en el suelo.

6.5.5 Bosques de conífera y denso

Representa las zonas compuestas por cobertura vegetal, boscosa, arbustiva y herbácea. Se aprecia en algunas zonas la tala de árboles de estos bosques, esto lo hacen especialmente para la siembra de nuevos cultivos en el área. Capa gran cantidad de árboles y zona vegetal sana hace que haya mayor infiltración del agua y esta cree una barrera protectora contra los procesos de erosión.

Figura 18. Mapa de Cobertura y uso del suelo



Nota: Fuente: autor.

6.6 Zonificación por avenida torrencial en la zona baja de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá.

Para realizar el mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales se utilizó el método estadístico multivariado de pesos de evidencia. El método de Pesos de Evidencia es un método estadístico que se utiliza para cuantificar la importancia relativa de varias pruebas al evaluar la probabilidad de que ocurra un evento en particular.

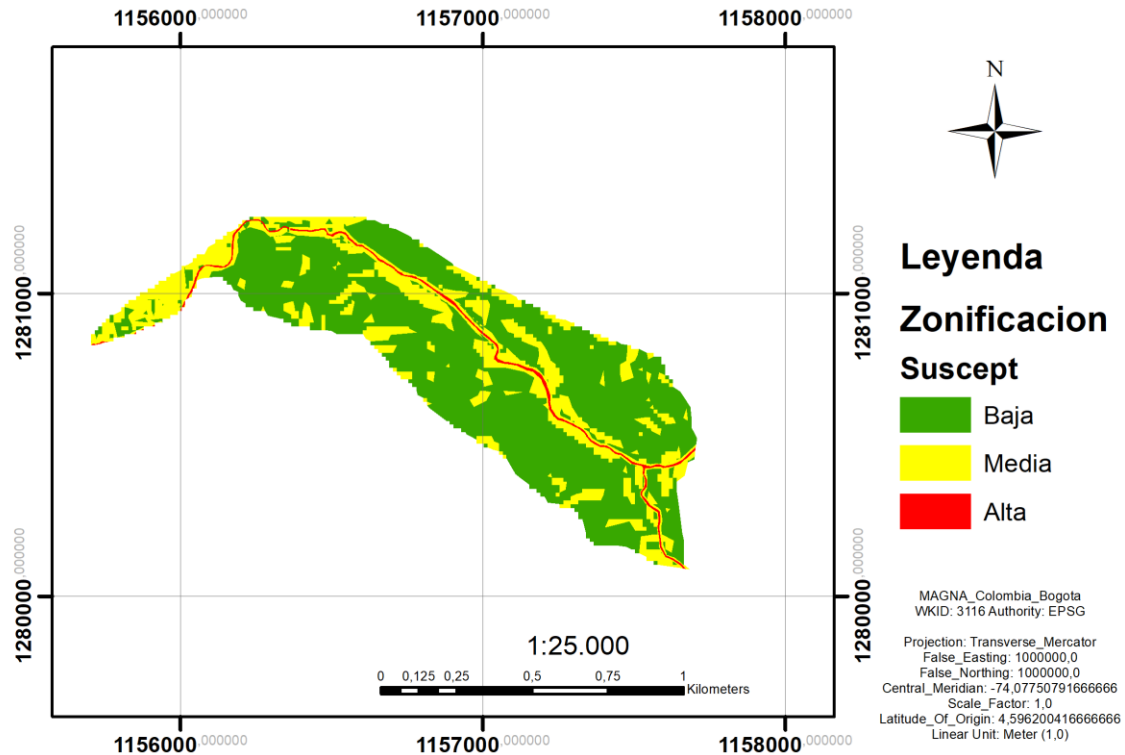
Para ello se recluto la información ya obtenida en las fases anteriores tales como los antecedentes de la zona, la visita a campo y los mapas realizados por el sistema de información geográfica ArcGIS 10.8. Con ello se analizó la susceptibilidad de acuerdo a la tendencia a la cual ciertas zonas pueden llegar a ser susceptibles a dicho fenómeno por medio de una hipótesis de

falla donde por medio de estudios ya realizados y la información secundaria (Unidades Geológicas Superficiales, Geomorfología, Procesos Morfodinámicos, Usos y Coberturas de suelos, pendientes), se definieron estas hipótesis con respecto a premisas o factores condicionantes que pueden provocar una avenida torrencial en la zona baja de la microcuenca la Viuda tales como Las áreas con pendientes suaves son más propensas a acumular agua durante eventos de lluvia intensa, lo que aumenta el riesgo de inundaciones. Los suelos poco permeables retienen más agua, lo que puede aumentar el riesgo de inundaciones durante eventos de lluvia intensa. La cobertura vegetal puede ayudar a absorber y retener agua, reduciendo así el riesgo de inundaciones. Una vez definidas las variables para el cálculo de susceptibilidad por avenidas torrenciales y con base a las hipótesis de falla se definieron las unidades contenidas en cada variable temática (Geomorfología, unidades geológicas superficiales, pendientes y uso y cobertura de suelos), se calculó la función final de susceptibilidad por dicho fenómeno donde se generan susceptibilidades bajas, medias y altas. Este estudio siguió el lineamiento indicado por el Servicio Geológico Colombiano (2017), el cual categoriza el grado de susceptibilidad por rangos entre 0.0 a 1.0. Por último, se calculó la función de susceptibilidad a partir de los pesos de evidencia obtenidos por método multivariado. Luego, estas variables son ingresadas a una ecuación algebraica para calcular así la susceptibilidad.

Ecuación 1. función final de susceptibilidad

$$LSI = Wf (UGS) + Wf (Cobertura) + Wf (Pendiente) \dots\dots$$

Figura 19. Mapa de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales.



Nota: Fuente: Autor.

Se realizó una clasificación según el Servicio Geológico Colombiano (2017), en tres rangos: Alta (rojo), Media (amarillo) y Baja (verde) (Figura 19).

Susceptibilidad alta por avenidas torrenciales: Esta susceptibilidad la podemos encontrar en el cauce principal de la quebrada la Viuda, esto debido a que esta zona se compone de pendientes abruptas a muy abruptas creando así una alta velocidad de escurrimiento, depósitos aluviales, es decir, encontramos suelos transportados aluviales los cuales dada la saturación de estos suelos durante la precipitación intensa aumenta la escorrentía y la velocidad del flujo de agua, generando así una vulnerabilidad y es susceptible a fenómenos de esta índole.

Susceptibilidad media: Esta susceptibilidad la encontramos principalmente en el tejido urbano.

Presenta pendiente suavemente inclinadas a moderadamente abrupto, esta susceptibilidad es debido a su capacidad mayor de infiltración y menor velocidad de escurrimiento comparada con

las pendientes más pronunciadas y escarpadas. Adicional a ello su cobertura vegetal y su uso de suelo (producción agrícola), ayuda a mejorar la estructura del suelo y a retener agua, esto es posible si existe una buena cobertura vegetal junto con raíces, pero si el suelo esta degradado, recién sembrado y expuesto esto ayuda a la erosión y el escurrimiento superficial.

Susceptibilidad baja: Esta susceptibilidad la encontramos en la gran mayoría de la zona, especialmente en la zona alta de la zona baja de la microcuenca la Viuda, presenta pendientes abruptas a muy abruptas, pero se compone de roca dura (Neis de Bucaramanga), siendo esta resistente y consolidada lo cual reduce la susceptibilidad a avenidas torrenciales, ya que es menos propensa a la erosión. Junto con ello encontramos una cobertura vegetal que ayuda a facilitar la infiltración del agua en el suelo.

7. DISCUSIONES

De acuerdo con la información suministrada por el Servicio Geológico Colombiano en el año 1997 en la plancha 110 Pamplona recuadro H-13. Específicamente en donde se encuentra localizada la zona baja de la microcuenca la Viuda, municipio de Chitagá se obtiene información sobre la estratigrafía de la zona, la cual está compuesta del Neis de Bucaramanga (Pcab), Formación la Luna (Ksl) y Depósitos cuaternarios de Terrazas y Cono de deyección (Qtf) (Figura 2). Sin embargo, al hacer un estudio en la zona y analizar la geología de esta misma se encontró que allí solo encontramos Depósitos aluviales (Qal), Depósitos Coluviales (Qd), Depósitos de terrazas y cono de deyección (Qtf) y Neis de Bucaramanga (Pcab), es decir, no se encuentran rocas relacionadas con la Formación La Luna (Figura 5). No se identificó rocas de la Formación La Luna tales como lutitas o calizas, no se evidencio ningún tipo de estratigrafía para indicar dicha formación. Se identifican rocas con bandeamiento por lo que se determina que son rocas metamórficas, lo que nos indica que hay presencia de Neis de Bucaramanga en la zona.

Se puede observar y se da a conocer que la no existencia de una metodología la cual se puede emplear para este estudio, con base a ello se decide utilizar una metodología determinística bivariada donde junto con la metodología empleada por el Servicio Geológico Colombiano (2017) se logra clasificar dicha susceptibilidad por fenómenos de avenidas torrenciales en tres niveles: Alta, Media y Baja.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo a la bibliografía recolectada sobre el área de estudio y sobre el tema de estudio se pudo establecer una base de información que llevo a realizar el estudio, debido a que no existe una metodología estándar para determinar las zonas susceptibles ante un fenómeno de avenida torrencial, se integró toda la información y se planteó el método estadístico multivariado por peso de evidencia. Con esta metodología se pudo categorizar y entender las zonas susceptibles ante fenómenos o eventos torrenciales, siguiendo los lineamientos estipulados por el Servicio Geológico Colombiano.

Se determinaron las características geológicas en la zona de estudio, donde se observan depósitos cuaternarios de tipo aluvial encontrados especialmente en la cerca del cauce de la quebrada la Viuda, depósitos coluviales originalmente encontrados en zonas de producción agrícola, depósitos de terrazas y cono de deyección referentes a la zona urbano y donde geomorfológicamente podemos encontrar un abanico aluvial. Además de ello se observa roca compuesta por Neis anfibiolitico, es decir, roca metamórfica en la parte alta de la zona baja de la microcuenca lo que hace que en esta zona haya una susceptibilidad baja a dicho fenómeno.

La geomorfológica presente en la zona baja de la microcuenca la Viuda se presenta en cuatro ambientes morfogeniticos, Encontramos un ambiente fluvial relacionado con depósitos

cuaternarios, un ambiente estructural relacionado con las rocas duras presentes en la zona y con la falla Chitagá, un ambiente denudacional relacionado con las zonas de producción agrícola y depósitos cuaternarios y un ambiente antropogénico relacionado con las estructuras hechas por los humanos como lo es el cauce artificial por donde fluye el flujo de agua de la quebrada la Viuda.

Según la metodología aplicada en el estudio se clasificó la susceptibilidad por avenidas torrenciales en tres niveles (Alta, media y baja), correspondiente en lo propuesto por el Servicio Geológico Colombiano (2017). Las áreas con susceptibilidad alta (cauce principal) presentan dicha susceptibilidad debido a sus pendientes abruptas lo que genera una velocidad de escurrimiento y se eleva así su índice ante fenómenos torrenciales. Las áreas con susceptibilidad media presentan infiltración de agua en su suelo lo que puede generar una menor velocidad de escurrimiento, adicional a ello presenta una geomorfología donde se puede acumular y ser susceptible ante dicho fenómeno. Las zonas con susceptibilidad baja, especialmente en la zona alta de la zona baja de la microcuenca la Viuda, presenta una susceptibilidad menor a dicho fenómeno ya que está compuesto principalmente de Neis de Bucaramanga (roca dura) y presenta una cobertura vegetal (bosque denso) que ayuda a la infiltración del agua.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar los estudios pertinentes y la creación de un nuevo esquema de ordenamiento territorial donde se agregue como red hídrica la quebrada la Viuda, ya que en el EOT del año 2000 no se encuentra añadida, no solo siendo esta quebrada la única que no aparece en el EOT sino otras quebradas muy importantes y relevantes en el municipio de Chitagá.

Adicional a ello, se recomienda comenzar con estudios detallados sobre esta zona del municipio de Chitagá donde se pueda acceder a esta zona, no solo en su parte baja sino además en parte más alta, lo cual, al día de hoy no es posible llegar hasta esta zona debido a las limitaciones como la vegetación y que no existe un camino hábil para transcurrir en ella.

Se recomienda poner en funcionamiento el sensor Hidrometeorológico ya que para estudios meteorológicos e hídricos es importante contar con esta información, no solo para la zona de la quebrada la Viuda, si no, para todo el municipio de Chitagá.

A la alcaldía del municipio se le recomienda tomar medidas preventivas respecto a la susceptibilidad y el peligro que presentan frente a las casa y lugares cercanos a la quebrada la Viuda debido a que en esta zona se encuentra una susceptibilidad media a que ocurra un fenómeno de avenida torrencial.

10. REFERENCIAS

Abello, M. (2022). Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el distrito de Riohacha (LA GUAJIRA) utilizando herramientas SIG. Trabajo de grado. Universidad Antonio Nariño. Bogotá, Colombia, p 1-74.

Alarcón R., Bastidas M., & Narváez N. (2016). Evaluación de susceptibilidad por inundación de la cuenca alta del Rio Putumayo. Trabajo de grado, Universidad de Manizales, pg 1- 41.

Alberto, J., Ardila, S., Ángel, M., Pinillos, S., & Sandoval, &. (2017). Geomorfología y resistencia a la erosión fluvial de los suelos Geomorfología y resistencia a la erosión fluvial de los suelos conformantes del cauce del Río Magdalena Neiva Prado conformantes del cauce del Río Magdalena Neiva Prado Citación recomendada. Trabajo de grado, p 1-10.

Alcaldía municipal de Chitagá, (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial, Chitagá Norte de Santander, p 1- 50.

Alvarado Reyes, L. F. (2020). Análisis de las metodologías implementadas en la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en la gestión de riesgo en Colombia. Trabajo de monografía, p 1-30.

Aristizábal, E., Arango M., García I. (2020). “Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos.” Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, vol. 29, no 1, p. 242-258.

Carvajal, J. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS, vol 25, p 27-84 .

Cornare, (2012) Zonificación de riesgo por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales. Corporación Autónoma Regional de la Cuencas de los Ríos Negro-Nare. Gobernación de Antioquia, p 1-104.

Crosta, G., F. Guzzetti, M. Marchetti, y P. Reichenbach. 1990. Morphological Classification of Debris-Flow Processes in South-Central Alps (Italy).” Actas del VI International Crongress EAEG. International IAEG Congress, p 1565-1572.

Cruden, David M., y D. J. Varnes. 1996. “Landslide Types and Processes, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences.” Special Report – National Research Council, Transportation Research Board. Landslides Eng., vol 24, p 20-47.

Cruz, C., Olivares, S., & González, M. (2014). Metodología de la Investigación. México, D.F.: Grupo Editorial Patria. p, 227.

Dikau, R. (1989). The application of a digital relief model to landform analysis. Londres:
In: Raper, J.F. (Ed.), Three dimensional applications in Geographical Information Systems.,
Taylor and Francis. p, 51-77. CRC Press

Dirección de gestión del riesgo. (2019). Metodología del conocimiento de riesgo para
diferentes escenarios amenazantes en Santander. Sistema Nacional de Gestion del Riesgo
Santander, Colombia, p 1-86.

Flórez, A. (2015) Movimientos en masa y flujos torrenciales. Chitagá, Colombia, p 1-23.

Garner, S, H. (1926). Suggested nomenclatura and correlation of the geological formations
of Venezuela: Am. Inst. Mining Metall. Engineers Trans. Symposiums of the Petroleum Division.

IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE
Land Cover adaptada para Colombia, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios
Ambientales. Bogotá, D. C.

Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2010). Documento metodológico de la
zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:500.000.
Subdirección de amenazas geológicas y entorno ambiental. Bogotá D. C. p, 1-127.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible & Universidad Nacional de
Colombia. (2013). Informe Final: Metodología para la Evaluación del Riesgo en los POMCAS.
Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Convenio UNAL-MADS.

Servicio Geológico Colombiano (1997). Geología de la plancha 110 Pamplona –
Bucaramanga a escala 1:100000, Departamento de Norte de Santander. Colombia. Mapa
Geologico.

Servicio Geológico Colombiano (2012). Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000, Bogotá, vol 88.

Servicio Geológico Colombiano. (2014). Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa a escala 1:100.000. Plancha 110-Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander. Bucaramanga

Servicio Geológico Colombiano (2017). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000. Bogotá D. C., Colombia. Imprenta Nacional de Colombia.

Vera, C, & Valderrama, M (2020). Metodologías para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales aplicadas a cuencas de alta montaña en Colombia. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Trabajo de monografía, p 1-83.

Villamizar, J. (2017). Análisis de amenaza por crecientes súbitas de la microcuenca La Viuda, municipio de Chitagá, Norte de Santander. Trabajo de grado p, 1-101.

Villamizar, J., Rivera, M. E., & Delgado, J. R. (2019). Mapa de amenaza por crecientes súbitas en la microcuenca La Viuda, Chitagá, Colombia. Revista ambiental agua, aire y suelo, vol 10, No 2.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona, Departamento de Santander. INGEOMINAS, Boletín Geológico, Vol. 21 (1-3), 1-34. Bogotá. Colombia.