

Análisis de los factores que contribuyen a la amenaza por avenidas torrenciales en la zona en donde confluyen Las Quebradas Seca, La Joya, La Rosita y Chimitá, que afectan al asentamiento humano Rincón de la Paz en el municipio de Bucaramanga.

Daniela López Hernández

Trabajo de Grado en Modalidad de Práctica Empresarial para Optar el Título de Geóloga

Director

Guillermo Vargas Pieschacón

Esp. Geotecnia Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

Primero que todo doy gracias a Dios y a mi familia por ser mi motor para seguir adelante en este proceso que me hizo crecer personalmente y profesionalmente, también a todos los profesores, compañeros, amigos y colegas que aportaron su granito de arena a mi formación, y a la CDMB por haberme permitido hacer parte de este proyecto.

Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Objetivos	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos Específicos.....	21
2. Actividades realizadas durante la práctica empresarial.	22
2.1 Visitas de inspección ocular.....	22
2.2 Acompañamiento a reuniones, y apoyo en actividades de SURYT.	25
2.2.1 Capacitación Control de Erosión UNISANGIL.	25
2.2.2 Georreferenciación de obras ejecutadas por la Subdirección (SURYT).	26
2.2.3 Alimentación al Sistema Corporativo SINCA.	27
3. Marco Referencial.....	28
3.2 Marco Teórico.....	28
3.2.1 Antecedentes.	30
3.3 Marco Legal	32
4. Método	35
4.1 Primera Etapa: Pre-campo y selección de la información	35

4.1.1 Recopilación de eventos morfo dinámicos en la zona de estudio.....	41
4.1.2 Deslizamiento en el asentamiento Rincón de la Paz 12 de febrero del 2005.	49
4.1.3 Flujo de detritos en el asentamiento Rincón de la Paz 28 de marzo del 2016.....	50
4.2 Segunda etapa: Trabajo de Campo.	52
4.3 Tercera Etapa: Trabajo de Oficina.....	54
4.3.1 Cuencas Jóvenes y pequeñas menores a 200 Km ²	54
4.3.2 Cuencas en regiones montañosas y escarpadas.	57
4.3.3 Alta pendiente media de la cuenca.....	62
4.3.4 Gran capacidad de socavación e incisión del cauce.....	65
4.3.5 Abundante material detrítico a ser arrastrado y capacidad de transporte de material heterométrico	68
4.3.6 Cuencas con valles o cañones estrechos en V.	69
4.3.7 Geoforma redondeada de la cuenca.	70
4.3.8 Influencia de la forma de la cuenca en la escorrentía	72
4.3.9 Variaciones extremas en los valores pico de precipitación.	72
4.3.10 Alta densidad de drenaje.	74
4.3.11 Factores intrínsecos relacionados con las avenidas torrenciales.....	76
4.3.11.1 Geología.....	76
4.3.11.1.1 Suelos antrópicos (Sla).	77
4.3.11.1.2 Suelos aluviales de Terrazas Bajas, Medias y Altas (Sat1).	78
4.3.11.1.3 Suelos aluviales de cauce activo (Sal).	79
4.3.11.1.4 Suelo gravoso del miembro órganos (Formación Bucaramanga) Sft3.	79
4.3.11.1.5 Suelos de conos de deyección de detritos (Sft1).	80

4.3.11.1.6 Suelos Coluviales Recientes (Sco1).	81
4.3.11.1.7 Suelos Coluviales Antiguos (Sco2).	81
4.3.11.1.8 Suelo Miembros limos rojos (Formación Bucaramanga) Sfl2.	81
4.3.11.1.9 Suelos miembro gravoso (Formación Bucaramanga) Sft2.....	82
4.3.11.1.10 Suelos del miembro Finos (Formación Bucaramanga) Sfl1.....	82
4.3.11.2 Geomorfología	86
4.3.11.2.1 Laderas terraceadas A2.	88
4.3.11.2.2 Llenos de escombros A3.....	88
4.3.11.2.3 Llenos de basuras A4.	88
4.3.11.2.4 Llenos mixtos A5.	88
4.3.11.2.5 Obras de ingeniería A7.....	88
4.3.11.2.6 Laderas explanadas A9.....	88
4.3.11.2.7 Cimas anchas D1.	89
4.3.11.2.8 Laderas muy inclinadas D10.	89
4.3.11.2.9 Laderas moderadas D11.....	90
4.3.11.2.10 Lomos denudacionales D12.....	90
4.3.11.2.11 Escarpe de corona principal de Movimiento en Masas D14.....	90
4.3.11.2.12 Cuerpo o depósito de MM D15.....	90
4.3.11.2.13 Flujos de detritos y lodo D16.....	90
4.3.11.2.14 Tierras malas D19.	91
4.3.11.2.15 Cimas angostas y redondeadas D2.	91
4.3.11.2.16 Laderas con reptación o terracetas D21	91
4.3.11.2.17 Laderas severamente erosionadas D22.	91

4.3.11.2.18 Cimas puntiagudas D3.....	91
4.3.11.2.19 Lomos anchos D4.....	92
4.3.11.2.20 Lomos angostos y redondeados D5.	92
4.3.11.2.21 Laderas subhorizontales D6.	92
4.3.11.2.22 Escarpes denudacionales D7.....	92
4.3.11.2.23 Nichos denudacionales D8.	92
4.3.11.2.24 Hondonadas paralelas y subparalelas D9.....	92
4.3.11.2.26 Laderas moderadas D11.....	93
4.3.11.2.27 Lomos denudacionales D12.....	93
4.3.11.2.28 Lomo o cima estructural E1.....	93
4.3.11.2.29 Ladera estructural E7.....	93
4.3.11.2.30 Cima estructural E8.....	93
4.3.11.2.31 Cauce o lecho actual del río F1.....	93
4.3.11.2.32 Planicie o llanura de inundación F2.	94
4.3.11.2.33 Nivel de terraza bajo F3.	94
4.3.11.2.34 Escarpe de terraza F6.....	94
4.3.11.2.35 Superficie Abanico de Bucaramanga F7.	95
4.3.11.3 Usos de suelo.	97
4.3.11.3.1 Bosque.....	99
4.3.11.3.2 Suelo desnudo.	99
5. Resultados: Análisis de la torrencialidad.....	101

6. Conclusiones	104
7. Recomendaciones	107
Referencias Bibliográficas	109

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Localización de la zona de estudio para el análisis de las avenidas torrenciales.....	20
<i>Figura 2.</i> Capacitación sobre el control de erosión brindada a los estudiantes de ingeniería Ambiental de la Universidad UNISANGIL.....	26
<i>Figura 3.</i> Georreferenciación en el software Google Earth, con características generales de las obras ejecutadas por la subdirección SURYT.	27
<i>Figura 4.</i> Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, Parte 1.....	33
<i>Figura 5.</i> Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 2.....	34
<i>Figura 6.</i> Flujo de trabajo mediante un esquema	35
<i>Figura 7.</i> Modelo de Elevación Digital de la zona de estudio.....	37
<i>Figura 8.</i> Mapa de pendientes	38
<i>Figura 9.</i> Drenajes primarios y secundarios de la zona de estudio.	39
<i>Figura 10.</i> Ortofotomosaico utilizado en el estudio.	40
<i>Figura 11.</i> Distancia entre el cauce principal de la quebrada Chimita y el Asentamiento Humano Rincón de la Paz.....	42
<i>Figura 12.</i> Análisis multitemporal de la quebrada Chimita	43
<i>Figura 13.</i> Análisis multitemporal de la quebrada Chimita	44
<i>Figura 14.</i> Análisis multitemporal de la Quebrada la Rosita	45
<i>Figura 15.</i> Análisis multitemporal de la Quebrada la Rosita	46

<i>Figura 16.</i> Análisis multitemporal de la Quebrada la Joya y Quebrada Seca	47
<i>Figura 17.</i> Análisis multitemporal de la Quebrada la Joya y Quebrada Seca	48
<i>Figura 18.</i> Muro de gaviones construido por la CDMB luego del deslizamiento del 2005, junto con vegetación.	50
<i>Figura 19.</i> Sector cercano a Rincón de la Paz tras el aguacero del 28 de Marzo del 2016.....	51
<i>Figura 20.</i> Mapa de estaciones en campo (Ver anexo I.)	53
<i>Figura 21.</i> Área de las subcuencas en la zona de estudio por medio del programa Arcgis 10,5. Lo que indica una cuenca muy pequeña.....	56
<i>Figura 22.</i> Esquema que indica el relieve relacionado con la generación de avenidas torrenciales en una cuenca.	57
<i>Figura 23.</i> Fórmula para el cálculo de la pendiente del terreno.	58
<i>Figura 24.</i> Localización de los tres perfiles longitudinales para las cuatro quebradas	58
<i>Figura 25.</i> Perfil topográfico de la quebrada Chimitá y la Rosita en donde se observa que la altura varía desde los aproximadamente 690m a los 950 m de altura y una distancia horizontal hasta los 5000m. generado en Arcgis 10.5.	59
<i>Figura 26.</i> El perfil topográfico de la quebrada La Joya en donde se observan variaciones desde los aproximadamente 930 m a los 700 m de altura y una distancia horizontal hasta los 4000m. Generado desde Arcgis 10.5.	60
<i>Figura 27.</i> Perfil topográfico de la Quebrada Seca en donde se observan variaciones desde los aproximadamente 940m a los 730 m de altura y una distancia de 3600m. Generado desde Arcgis 10.5.....	61
<i>Figura 28.</i> Escarpes de terraza en la Quebrada la Rosita, el perfil transversal del rio posee una forma cuadrada debido a los aproximadamente 90° que forman con el escarpe adyacente	

compuesto principalmente por el miembro Órganos, terrazas aluviales y rellenos antrópicos. X: 1'101.865,792, Y: 1'276.541,069, H: 700 m.s.n.m. 62

Figura 29. Caída de detritos compuesta por suelo de relleno y fragmentos del miembro Órganos X: '100.979,288 m, Y:1'276.671,839 m H: 680 m.s.n.m. 65

Figura 30. Estructura escalonada para la mitigación de la erosión en la escarpa adyacente a la quebrada Chimitá destruido producto de la socavación lateral. X:1'100.939,444 m, Y:1'276.681,76 m, H:678 m.s.n.m..... 66

Figura 31. Muro de contención para la mitigación de la escarpa aledaña al cauce de la quebrada Chimitá, erosionado producto de la socavación lateral. X:1'100.880,532 m, Y:1'276.662,736 m, H: 679 m.s.n.m..... 66

Figura 32. Estructura de mitigación de la velocidad del cauce de la quebrada Chimitá, erosionado y destruido en su parte central. X:1'100.880,532 m Y:1'276.662,736 m H: 679 m.s.n.m 67

Figura 33. Estructura realizada en ciclópeo para la mitigación de la velocidad del cauce de la quebrada la Rosita, erosionado y destruido, X:1'100.880,532 m Y:1'276.662,736 m H: 679 m.s.n.m 67

Figura 34. Caída de detritos compuesto por el miembro Órganos y las terrazas antiguas del cauce, en la quebrada la Rosita. X: 1'101.249, 443 m, Y: 1'276.580, 712 m, H: 690 m.s.n.m..... 68

Figura 35. Suelos de llenos mixtos deslizados sobre el cauce de la quebrada Chimita, con presencia de basuras, matriz arenosa y clastos heterométricos..... 69

Figura 36. Fragmentos Heterométricos del suelo del miembro Órganos compuestos por niveles arenosos de color Rojizo, en la quebrada la Rosita. 69

<i>Figura 37.</i> El cauce con los escarpes adyacentes forma una figura de L con un ángulo de 90°, el escarpe alcanza una altura aproximada de hasta 20 m. X: 1'101.865,792, Y: 1'276.541,069, H: 700 m.s.n.m.....	70
<i>Figura 38.</i> Mapa de Unidades Geológicas Superficiales.....	77
<i>Figura 39.</i> Columna estratigráfica de la quebrada Chimita. Modificado de: Corporación autónoma regional para la defensa de Bucaramanga.....	83
<i>Figura 40.</i> Punto Columna estratigráfica de la quebrada Chimita. Modificado de: Corporación autónoma regional para la defensa de Bucaramanga.....	84
<i>Figura 41.</i> Mapa de Unidades Geomorfológicas.....	87
<i>Figura 42.</i> Laderas muy inclinadas en la zona aledaña al asentamiento humano Rincón de la Paz.	89
<i>Figura 43.</i> Cauce o lecho actual del río F1, Quebrada Chimita.	94
<i>Figura 44.</i> Mapa de Uso del suelo.....	98
<i>Figura 45.</i> Bosque fragmentado por tierras desnudas y vegetación secundaria o en transición presente sobre el asentamiento Rincón de La Paz.	99
<i>Figura 46.</i> Variables intrínsecas avenidas torrenciales	101

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Generalidades de las visitas técnicas realizadas en la práctica empresarial.</i>	23
Tabla 2. <i>Características de una cuenca torrencial.</i>	29
Tabla 3. <i>Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas.</i>	55
Tabla 4. <i>Clasificación en porcentaje de la pendiente media de López Cadenas de Llano (1998)</i> 64	
Tabla 5. <i>Valores de Pendiente media de las 5 microcuencas de la zona y de la cuenca completa.</i>	64
Tabla 6. <i>Valores de Índice de compacidad de las 5 microcuencas de la zona de estudio y la cuenca completa.</i>	71
Tabla 7. <i>Precipitación máxima para la estación Bucaramanga</i>	73
Tabla 8. <i>Precipitación máxima para la estación la floresta</i>	73
Tabla 9. <i>Calculo de la densidad de drenajes para cada una de las subcuencas y para la cuenca completa.</i>	75
Tabla 10. <i>Reclasificación de Variables Geología. Modificado. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012</i>	85
Tabla 11. <i>Reclasificación de Variables Geomorfología</i>	96
Tabla 12. <i>Reclasificación de Variables Uso del suelo.</i>	100
Tabla 13. <i>Ponderación de factores de la clasificación morfométrica</i>	102
Tabla 14. <i>Análisis de la torrencialidad en la zona de estudio para cada uno de los factores extrínsecos e intrínsecos de la zona de estudio.</i>	103
Tabla 15. <i>Ponderación de factores de susceptibilidad por avenida torrencial</i>	104

Lista de Apéndices

Ver Apéndices Adjuntos en el CD

Apéndice A. Marco Legal, parte 1.

Apéndice B. Marco Legal, parte 2.

Apéndice C. Análisis multitemporal Quebrada Chimita

Apéndice D. Análisis multitemporal Quebrada la Rosita

Apéndice E. Análisis multitemporal Quebrada la Joya y Quebrada Seca

Apéndice F. Esquema del flujo de trabajo

Apéndice G. Inventario de los procesos de erosión en las quebradas

Apéndice H. Mapa de estaciones de campo

Apéndice I. Mapa de Unidades Geomorfológicas

Apéndice J. Mapa de Unidades geológicas Superficiales

Apéndice K. Mapa de Uso del suelo

Apéndice L. Mapa de pendientes

Resumen

Título: Análisis de los factores que contribuyen a la amenaza por avenidas torrenciales en la zona en donde confluyen Las Quebradas Seca, La Joya, La Rosita y Chimitá, que afectan al asentamiento humano Rincón de la Paz en el municipio de Bucaramanga.*

Autor: Daniela López Hernández**

Palabras Clave: Rondas hídricas, avenidas torrenciales, Asentamiento Rincón de la Paz.

Descripción:

En la realización de la práctica empresarial hay un acercamiento entre el estudiante y el campo laboral, en donde se aplican los conocimientos adquiridos durante la carrera, expresados en diversas actividades en las que se incluyen visitas técnicas, y realización de informes con problemáticas que involucran a la geología en su rama específica, la Geotécnia, esta rama de la geología es muy importante para el municipio de Bucaramanga debido a la gran cantidad erosión que se produce en los escarpes de las laderas, y que en muchas situaciones se encuentran habitados o hay asentamientos aledaños que se ven afectados, en sí, esta erosión continua del abanico de Bucaramanga fue la razón de la creación de la CDMB entidad pública en donde se realiza la práctica; Entre los fenómenos erosivos que se pueden presentar en Bucaramanga se encuentran las avenidas torrenciales, estos eventos son poco estudiados en Colombia, pero es necesario, sobre todo, como es el caso en asentamientos humanos o barrios que se encuentren ubicados en rondas hídricas (como el asentamiento Rincón de la Paz) y posiblemente se puedan ver afectados, gracias al análisis de diversos factores intrínsecos y extrínsecos, se puede establecer la relación que tiene la cuenca con el fenómeno natural, para de este modo tener la capacidad de dar un concepto técnico que aporte información valiosa en los planes de ordenamiento territorial requeridos, y que posiblemente luego arrojen una información necesaria en la construcción de obras civiles.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Esp. Geotecnia Ambiental

Abstract

Title: Analysis of the factors that contribute to the threat of torrential floods in the area where the Ravines Seca, La Joya, La Rosita and Chimitá converge, affecting the human settlement Rincon de la Paz in the municipality of Bucaramanga . *

Author: Daniela López Hernández**

Keywords: Water rounds, torrential avenues, Rincón de la Paz Settlement.

Description:

In the realization of the business practice there is a rapprochement between the student and the labor field, where the knowledge acquired during the career is applied, expressed in various activities in which technical visits are included, and reporting with problems that involve geology in its specific branch, Geotechnics, this branch of geology is very important for the municipality of Bucaramanga due to the large amount of erosion that occurs in the escarpments of the slopes, and that in many situations are inhabited or there are settlements surrounding areas that are affected, in itself, this continuous erosion of the Bucaramanga range was the reason for the creation of the CDMB public entity where the practice is carried out; Among the erosive phenomena that can occur in Bucaramanga are the torrential avenues, these events are little studied in Colombia, but it is necessary, above all, as is the case in human settlements or neighborhoods that are located in water rounds (Rincón de la paz Settlement) and may possibly be affected, thanks to the analysis of various intrinsic and extrinsic factors, it is possible to establish the relationship that the basin has with the natural phenomenon in order to have the ability to give a technical concept that provides valuable information in the land-use planning plans required, and that may later provide information needed to carry out civil works.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Esp. Geotecnia Ambiental

Introducción

La práctica empresarial se presenta como un acercamiento y contacto entre el estudiante y el campo de acción de la geología, de manera que, basado en el conocimiento adquirido durante la estancia académica, se puedan generar soluciones geotécnicas a diferentes problemáticas presentadas en la cotidianidad. En el presente documento se llevará a cabo una descripción de las actividades realizadas durante la práctica en la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, en donde se ejerce una labor de acompañamiento y apoyo en actividades encaminadas al análisis geotécnico en el asentamiento humano Rincón de la Paz, al igual que en diferentes visitas de inspección ocular a lugares con afectación por fenómenos de remoción en masa u otros (Ver Tabla 1.) ; todo esto dentro del marco de las actividades de gestión de riesgo en el área de jurisdicción de la CDMB.

El asentamiento humano Rincón de la Paz perteneciente a la comuna 5 de Bucaramanga, cuenta con una población estimada de 1009 habitantes y se encuentra localizado en una ronda hídrica (Ver figura 1.), por lo cual se hace imprescindible un estudio sobre las amenazas por inundaciones o avenidas torrenciales en el plan de ordenamiento territorial. Dicha cuenca hídrica de la zona no ha sido previamente estudiada y es muy importante que se tenga en cuenta para realizar una correcta definición de las zonas que se encuentran en peligro.

Según el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, (Gómez, 2015), un estudio realizado según Desinventar 1894-2014, las avenidas torrenciales respecto a otros fenómenos naturales

como movimientos en masa, inundaciones, vendavales, actividad sísmica, incendios y granizadas tienen un porcentaje de 7,44% de ocurrencia. (Gómez, 2015).

La finalidad de este proyecto realizado en la práctica empresarial es aportar al análisis los factores que se encuentran relacionados con las avenidas torrenciales, en donde se incluyen, las características morfométricas de la zona, cobertura de suelo, precipitación, geología y geomorfología, entre otros factores extrínsecos. Esta información es de gran interés para la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), debido a que se contribuye en el proceso de legalización del asentamiento y la posterior inversión por parte de las entidades competentes, quienes pueden gestionar obras que mejoren la calidad de vida de las familias ubicadas en el sector; Por otra parte, durante las actividades realizadas en la práctica empresarial la finalidad es dar soluciones a cada una de las problemáticas observadas en las visitas oculares. (Ver tabla 1.)

Localización del área de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en la cordillera oriental de Colombia, al NW del abanico aluvial de Bucaramanga exactamente en la cuenca hidrográfica en la que confluyen: La Quebrada Chimitá y La Rosita, La Joya y Quebrada Seca con un área de 13,319 Km². Las alturas de la zona de estudio varían de 650 m.s.n.m a 1150 m.s.n.m. incluyendo la zona de la ciudad, Esta cuenca hidrográfica nace del afluente principal Rio de Oro, es decir tiene un origen fluvial y denudacional, se encuentra localizada dentro de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (Ver Figura 1.)

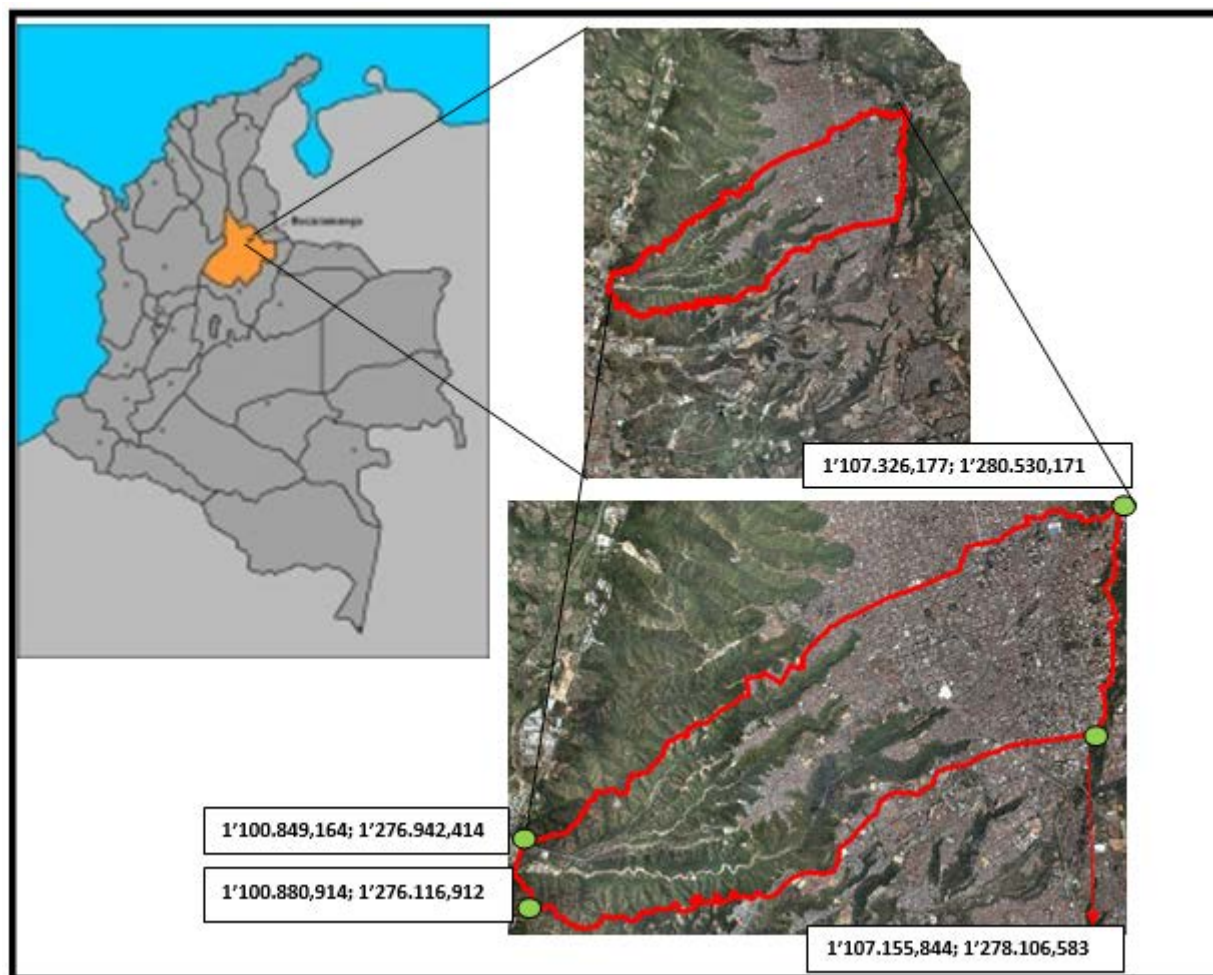


Figura 1. Localización de la zona de estudio para el análisis de las avenidas torrenciales

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar los factores que contribuyen a la amenaza por avenidas torrenciales en la zona en donde confluyen la Quebrada Seca, la Joya, la Rosita y Chimitá, que afectan al asentamiento humano Rincón de la Paz en el municipio de Bucaramanga

1.2 Objetivos Específicos

- Analizar factores relacionados con las avenidas torrenciales por medio de la teledetección para establecer si la zona requiere un estudio de amenaza a dicho fenómeno.
- Realizar observaciones de campo y recomendaciones técnicas en la zona de estudio a partir de los análisis obtenidos.
- Realizar actividades de la subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial SURYT, asignadas por el supervisor.

2. Actividades realizadas durante la práctica empresarial.

Esta práctica empresarial se ejecuta en la Subdirección de Gestión del Riesgo y Seguridad Territorial (SURYT) de la CDMB. Dentro de las funciones de esta subdirección se encuentran las diferentes labores encaminadas a la gestión del riesgo con el “propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible”, según se contempla en el artículo 6 de la ley 1523 del 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se llevan a cabo el cumplimiento de los objetivos allí plasmados.

2.1 Visitas de inspección ocular

La CDMB, mediante la oficina de atención al ciudadano, brinda a los usuarios visitas de inspección ocular frente a diferentes situaciones que impliquen riesgo para la comunidad, allí se manejan temas de deslizamientos, inundaciones, debilitamiento de estructuras de contención, afectación en viviendas, entre otros sucesos. En cumplimiento y respuesta a las diferentes solicitudes generadas por la comunidad, se entregan respuestas mediante informes técnico u oficios de respuesta a la situación requerida. En el informe técnico la entidad entrega un concepto basado en la inspección ocular y los conocimientos de los funcionarios adscritos, es decir, un análisis muy general partiendo de lo evidenciado visualmente en la zona. Estos informes contienen las características identificadas en la zona, un análisis panorámico de la situación y una recolección de los

antecedentes que se tengan en el sistema de información corporativo, adicionando a esta parte, otra información que llegue a ser relevante.

Sumado a esto, se genera un plano geológico y otro sismo geotécnico con las características de la zona visitada; estos planos que se entregan como parte de la respuesta a la comunidad, se fundamenta en la base de datos de la corporación CDMB y el Servicio Geológico Colombiano. Todo seguido de un registro fotográfico que evidencie el estado actual de la zona. Este paquete da respuesta formal a la ciudadanía, viene con las respectivas conclusiones y recomendaciones discutidas por la mesa de trabajo de la corporación.

Para poder resumir las actividades de apoyo ejecutadas en esta área, se realiza la Tabla 1. que contiene cada uno de los lugares visitados y las actividades realizadas en la visita.

Tabla 1.

Generalidades de las visitas técnicas realizadas en la práctica empresarial.

No	Lugar visitado	Observaciones	Producto entregado
1	Barrio Campo Hermoso - Bucaramanga	Revisión viviendas en cercanía a muro en gavión construido por la CDMB	Hoja de visita y respuesta a la solicitud
2	Visita técnica en la planta de tratamiento de aguas residuales en Portugal-Corregimiento de Lebrija, Santander	Verificación del buen funcionamiento de la planta de tratamiento.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud
3	Visita técnica al Barrio Norte Bajo.	Posible deslizamiento ocasionado por la inestabilidad del talud que sostiene a una vivienda con falta de cimentación y un muro de contención con fallos.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud
4	Visita técnica al barrio Villa Rosa	Represamiento de agua debido a la gran cantidad de precipitación presentada en los últimos días y a la falencia de los filtros de la zona.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud
5	Visita técnica barrio Villa Rosa, Manzana 33.	Problema presentado por las fallas en las canaletas lo que ocasiona entrada de agua en las casas en los momentos de alta precipitación.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud

No	Lugar visitado	Observaciones	Producto entregado
6	Visita técnica barrio San Gerardo III.	Peligro por deslizamiento en dos de las viviendas debido al daño en el Chafarreo del talud que se realizó 15 años atrás.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud
7	Visita al conjunto Álamos	Problemas por inundaciones debido a la falta de alcantarillas en la zona.	Hoja de visita
8	Visita de inspección ocular a las acciones populares en donde se encuentran: el asentamiento del Carmen, barrio granjas de Provenza, asentamiento granjas de Rigan, asentamiento Porvenir Sector Elba Lucia.	Cada uno de los asentamientos mencionados, realizaron una acción popular principalmente encaminadas a la restauración de muros de contención previamente construidos, se hizo seguimiento, y se dejó evidencia en las fotografías.	Evidencia con fotografías de las visitas.
9	Visita técnica al jardín las Ardillitas, localizado en vetas	La estructura del hogar ardillitas presenta grietas y una cimentación en madera que necesita restauración.	Hoja de visita e informe técnico.
10	Visita técnica en el cementerio del municipio del playón y la vereda el Diviso también localizada en el playón.	respuesta a la petición por inestabilidad de la ladera del cementerio adyacente a viviendas en el playón e inestabilidad en la vivienda de la vereda el diviso que no cumple con las normas NSR-10.	Hoja de visita e informe técnico.
11	Visita técnica al barrio transición II.	Presencia de humedad debido a la mala canalización de las aguas del sector.	Hoja de visita y respuesta.
12	Visita técnica barrio Buenos aires	Vivienda totalmente agrietada al borde de un abismo sin cumplir con la norma NSR-10.	Hoja de visita.
13	Visitas para la realización de encuestas del estudio de vulnerabilidad del barrio Alfonso López	Se realizaron encuestas a viviendas del barrio Alfonso López, aledañas a una escarpa con presencia de un muro de contención realizado por la CDMB	Encuestas y fotografías.
14	Realización de seguimiento a la Acción popular, en el barrio Los Andes del municipio de Floridablanca	Se evidenció el estado actual de la acción popular en el barrio los Andes, hay gran presencia de contaminación y desplazamiento lateral de las laderas del cauce de la quebrada la Ronda.	Hoja de visita e informe técnico.
15	Seguimiento Acción popular barrio Transición 2 del municipio de Bucaramanga	Visita de inspección ocular para seguimiento de acción popular en el barrio Transición 2, el cual presenta grandes problemas de humedad y filtración de aguas debido al mal funcionamiento de los canales.	Fotografías y coordenadas
16	Seguimiento Acción popular barrio pantano III, del municipio de Bucaramanga	Visita técnica para seguimiento de acción popular en el barrio pantano III para verificación del estado actual de la pantalla anclada construida por la CDMB que presenta humedad.	Fotografías y coordenadas.
17	Visita técnica al barrio la Feria.	Se evidencia gran riesgo de deslizamiento debido a la falta de canalización de las aguas negras. También se observa un problema de humedad y la vivienda no cumple con las normas de construcción	Fotografías y coordenadas
18	Realización de visita técnica a la quebrada limoncito	Se observa un deslizamiento translacional y taponamiento del canal principal de la quebrada limoncito.	Fotografías y coordenadas.

No	Lugar visitado	Observaciones	Producto entregado
19	Acción popular en el Barrio Villa Rosa Manzana 3.	Debido a las precipitaciones presentadas se han ocasionado deslizamientos y desplazamientos laterales de la ladera que rodea al barrio Villa Rosa Manzana 3.	Hoja de visita y respuesta a la solicitud.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Acompañamiento a reuniones, y apoyo en actividades de SURYT.

Se realiza un acompañamiento a visitas y reuniones que se enmarcan en la gestión de riesgo y en otros casos se realizan funciones como la organización de datos de la CDMB como máxima autoridad ambiental de la región.

2.2.1 Capacitación Control de Erosión UNISANGIL. La CDMB en calidad de autoridad ambiental, genera espacios donde se logra capacitar y socializar con personal universitario parte de lo que se ha llevado a cabo en el desarrollo del “Plan Maestro de Control de Erosión en Bucaramanga”. Mediante este espacio, estudiantes de UNISANGIL pudieron obtener información enfocada al marco histórico, conceptos de erosión, contexto geológico de Bucaramanga, procesos erosivos presentados en la región, justificación y soluciones planteadas por la CDMB para solventar la problemática, donde se aporta parte del conocimiento adquirido durante la estancia académica en temas generales sobre el control de erosión e igualmente la introducción y marco histórico del “Plan Maestro de Control de Erosión en Bucaramanga” (ver Figura 2.).



Figura 2. Capacitación sobre el control de erosión brindada a los estudiantes de ingeniería Ambiental de la Universidad UNISANGIL.

2.2.2 Georreferenciación de obras ejecutadas por la Subdirección (SURYT). Dentro del proceso de mejorar la organización de datos, durante el periodo de prácticas se da inicio a la realización de una copia de seguridad del archivo que contiene información georreferenciada de las diferentes obras ejecutadas por la CDMB.

Este proceso se realiza mediante el software Google Earth incluyendo información general como: Número de contrato, contratista, inicio de ejecución, fin de ejecución, Número de memorando interno de las obras y una corta descripción de la misma. Todo esto con el fin de tener copia de seguridad frente al posible error en el archivo georreferenciado en el software ArcGIS o cualquier otro percance que pueda llegar a afectarlo (Ver Figura 3).

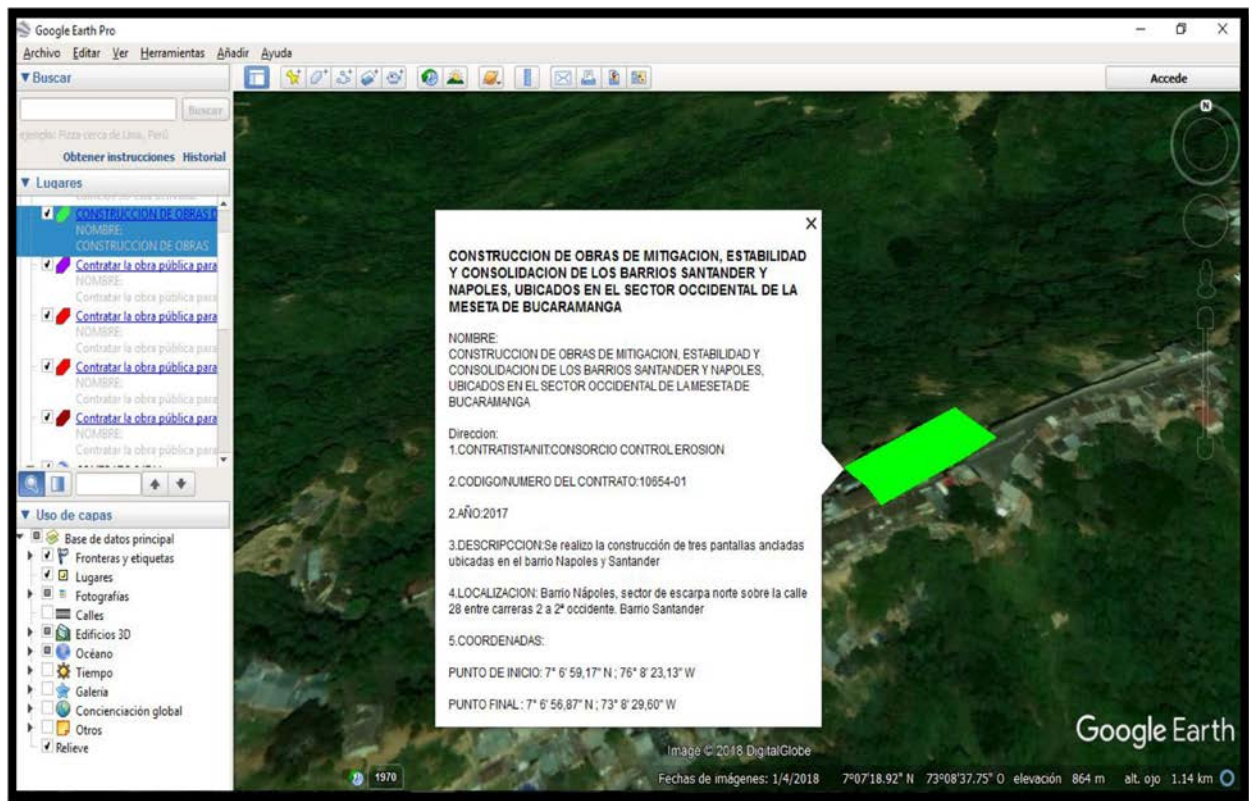


Figura 3. Georreferenciación en el software Google Earth, con características generales de las obras ejecutadas por la subdirección SURYT.

2.2.3 Alimentación al Sistema Corporativo SINCA. Al realizar las visitas técnicas y generar respuestas, ya sea mediante carta o informe, se ingresa toda esa información al sistema corporativo ambiental SINCA, sistema que permite a los funcionarios llevar un historial de antecedentes de las diferentes actividades realizadas por la entidad.

Por tanto, se hace una continua actualización del sistema de información ingresando los conceptos generados por cada uno de los profesionales en las respectivas vistas de inspección ocular realizadas.

3. Marco Referencial

3.2 Marco Teórico

Las avenidas torrenciales son una amenaza natural muy común y posiblemente la menos estudiada en Colombia; sin embargo, causan grandes pérdidas en vidas humanas e infraestructura. Solamente entre 1985 y 1995, más de 40 avenidas torrenciales altamente destructivas ocurrieron en el país, con más de 200 pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños a viviendas, sistemas de generación de energía, carreteras y tierras cultivables. (INGEOMINAS , 1920 - 1996). Entre las razones que existen para que este tipo de evento sea tan dañino están su naturaleza casi impredecible, la rapidez a cuál ocurre, su corta duración y su largo período de retorno, así como su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo. (Gonzales , Hermelin , & Chaves, 2004).

Este fenómeno natural muchas veces es denominado crecientes súbitas, avalanchas, crecidas, borrascas o torrentes, se originan 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. Esto genera la saturación de los materiales de las laderas facilitando el desprendimiento del suelo, produciéndose de esta manera, numerosos desgarres superficiales y deslizamientos cuyo material cae al cauce y es transportado inmediatamente aguas abajo o queda inicialmente represado y luego, una vez que se rompe el represamiento, es transportado violentamente de forma repentina. (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012).

Sumado a lo anteriormente dicho; Para un correcto análisis de las avenidas torrenciales existe una recopilación de características extrínsecas que se relacionan con estas y sirven para descartar o comprobar la posible ocurrencia del fenómeno en una cuenca. (Ver tabla 2).

Tabla 2.

Características de una cuenca torrencial.

Características de una Cuenca Torrencial
Cuencas Jovenes y pequeñas menores a 200 Km ²
Cuencas en regiones montañosas y escarpadas
Alta pendiente del canal central y de la pendiente media de la cuenca
Gran capacidad de socavación e incisión del cauce
Abundante material detrítico a ser arrastrado
Capacidad de transporte de material heterométrico
Cuencas con valles o cañones estrechos en V
Gran Variabilidad del caudal máximo y mínimo en la cuenca
Geoforma alargada de la cuenca
Variaciones extremas en los valores pico de precipitación
Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa
Alta Densidad de drenajes

Fuente. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012.

Las características extrínsecas anteriormente mencionadas son muy importantes, pero también se deben tener en cuenta las intrínsecas que las contienen, estas son: Clasificación morfométrica, Geomorfología, Geología y uso del suelo. El análisis principal que se hace a estos últimos factores es identificar cuáles son las geoformas, litologías, coberturas superficiales y variables morfométricas que inciden en mayor medida en la producción del fenómeno, esta relación se hace de manera similar al analizar los movimientos en masa, por tanto, las unidades que generen mayor inestabilidad, erosión o debilidad son las que están directamente relacionadas con el fenómeno y tienen mayor peso.

También se debe mencionar que por medio de las observaciones de campo y cálculos en la fase campo se relacionan las variables intrínsecas con las extrínsecas.

3.2.1 Antecedentes. La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) no ha realizado estudios previos en la cuenca hidrográfica en la que confluyen La Quebrada Chimitá, La Rosita, La Joya y Quebrada Seca, que afectan al Asentamiento Humano Rincón de la Paz, cabe resaltar que la zona en la que se ubican las viviendas se encuentra en la Jurisdicción de la CDMB y que sus primeros habitantes se alojaron hace más de 30 años, por lo cual es de suma importancia para la Corporación realizar los estudios y análisis de los posibles fenómenos naturales que se puedan presentar en la zona, entre los cuales se encuentran las avenidas torrenciales.

El Servicio Geológico Colombiano dentro de su misión institucional tiene la evaluación y el monitoreo de las amenazas de origen geológico, con el fin de entregar información a las diferentes entidades, útil para la gestión de riesgo, el ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo. Debido a este compromiso, en diciembre de 2005 se firma el Convenio Interadministrativo 058/2005 con la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y las alcaldías de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta para realizar la “Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”, que cubría un área total de 5080Ha a escala 1:5.000 en el año 2009. (INGEOMINAS, 2009), los insumos generados en dicho estudio son utilizados para el análisis de las avenidas torrenciales en el Asentamiento humano Rincón de la Paz.

Mediante un conversatorio organizado por la Sociedad Santandereana de Ingenieros se hace referencia a “inconsistencias del estudio de INGEOMINAS “Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”, el Ingeniero Jaime Suárez expresa algunas ideas relacionadas principalmente con el desconocimiento de la manera como fue obtenido el mapa amenazas y los resultados obtenidos en algunos puntos en particular relacionados con la cartografía de la zona. (INGEOMINAS, 2009)

Después de varias reuniones entre las entidades Servicio Geológico Colombiano, CDMB y alcaldías de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, Se llegó a la conclusión que no era posible actualizar dicha cartografía, por lo tanto, se continuaría trabajando con la misma y que las modificaciones sería compromiso directo de las alcaldías, en el presente estudio tomando como base esta cartografía se realizaron modificaciones y mejoras de la geología y la geomorfología por medio de la teledetección y el trabajo de campo, pues estos son los factores intrínsecos más importantes, estos cambios se realizaron en las zonas más susceptibles a presentar el fenómeno de las avenidas torrenciales.

Debido a lo dicho anteriormente en el presente estudio se realizará un análisis de las características principales y en mayor medida relacionados al fenómeno de las avenidas torrenciales por medio de la teledetección y corroboraciones de campo en algunos puntos específicos que son los que afectan más directamente el fenómeno y pertinentes para cumplir los objetivos principales.

Por otra parte, por medio del Plan de Ordenamiento Territorial segunda generación establecido para los años 2013-2027 en donde se realiza la Cartografía en desarrollo del convenio No. 3001-

2008 CDMB-IGAC-MUNICIPIO DE BUCARAMANGA se toman algunos de los insumos como la Geología, el uso del suelo y drenajes necesarios para la realización del respectivo proyecto, la mejora de estos insumos se realiza en las zonas que se encuentran influyendo de mayor forma al fenómeno de las avenidas torrenciales.

3.3 Marco Legal

El siguiente marco legal muestra en resumen el contenido legislativo y los aspectos normativos que fundamentan el porqué de la realización de este proyecto (Ver Figura 4 y Figura 5)

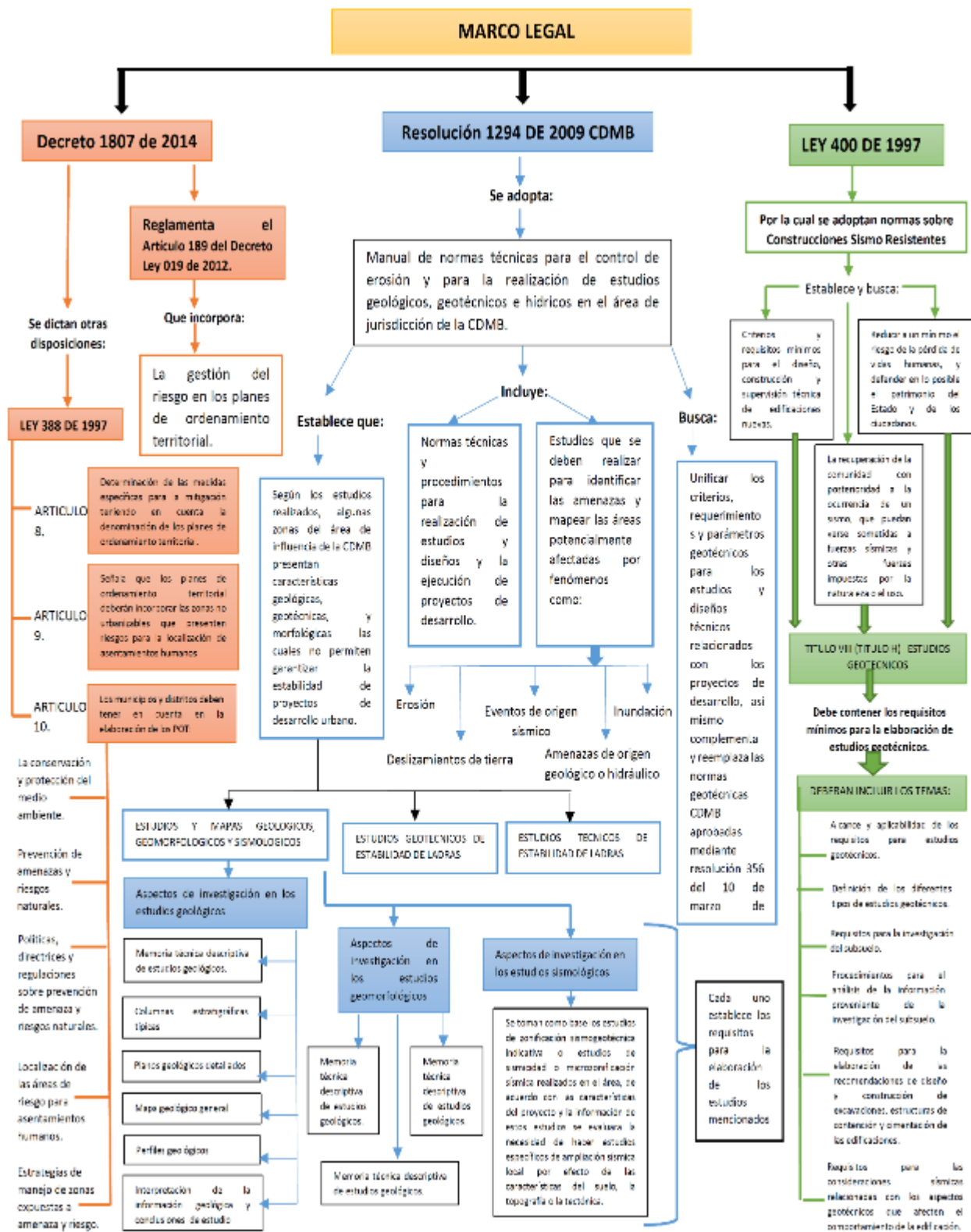


Figura 4. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, Parte 1. (Ver Apéndice A).

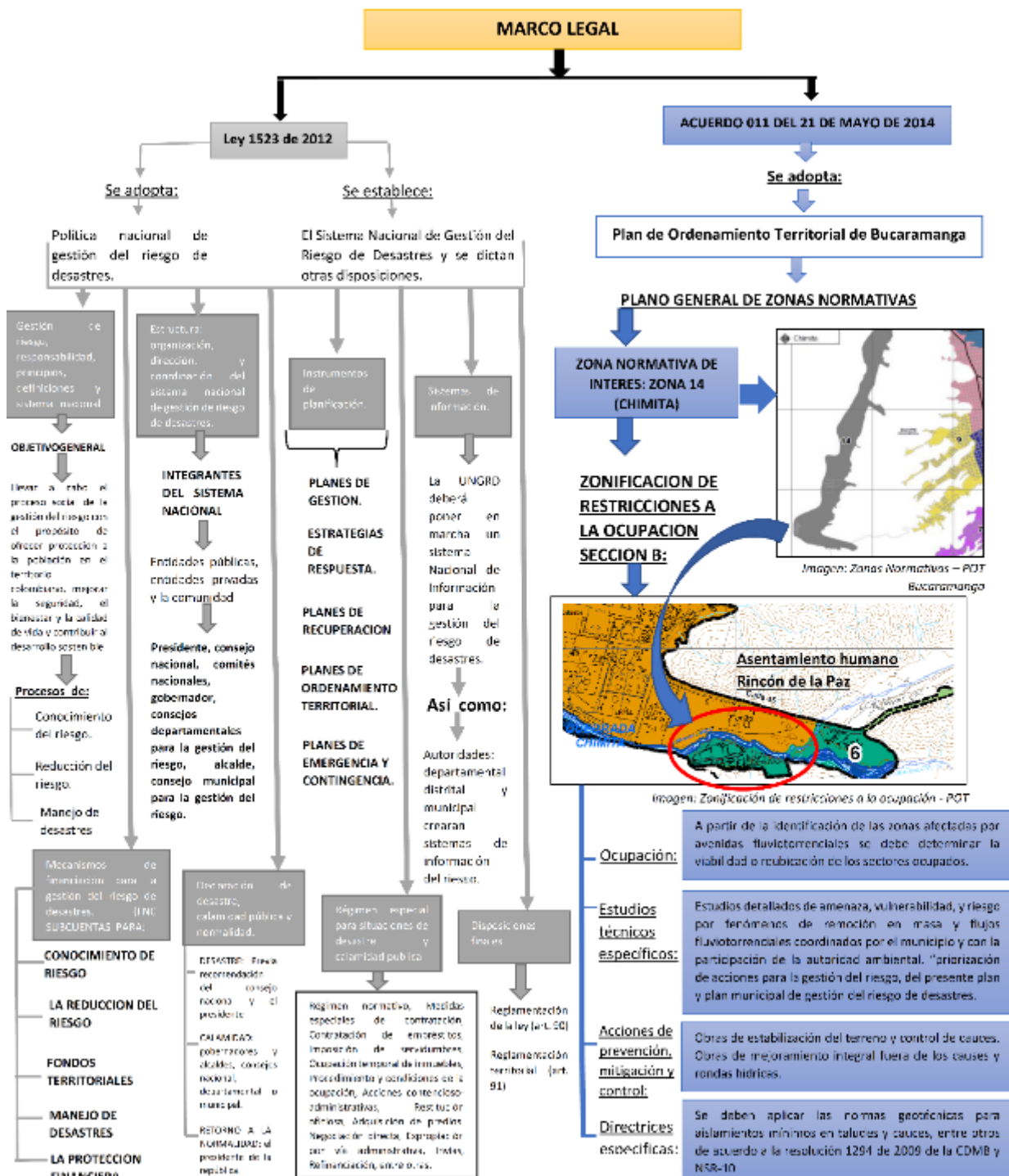


Figura 5. Mapa conceptual con la normativa legal vigente, para la aplicación del proyecto, parte 2. (Ver Apéndice B).

4. Método

El proyecto se desarrolla en la Subdirección de gestión de Riesgo y seguridad Territorial de la CDMB y se lleva a cabo mediante 3 etapas que se explican a continuación (Ver Figura 6).

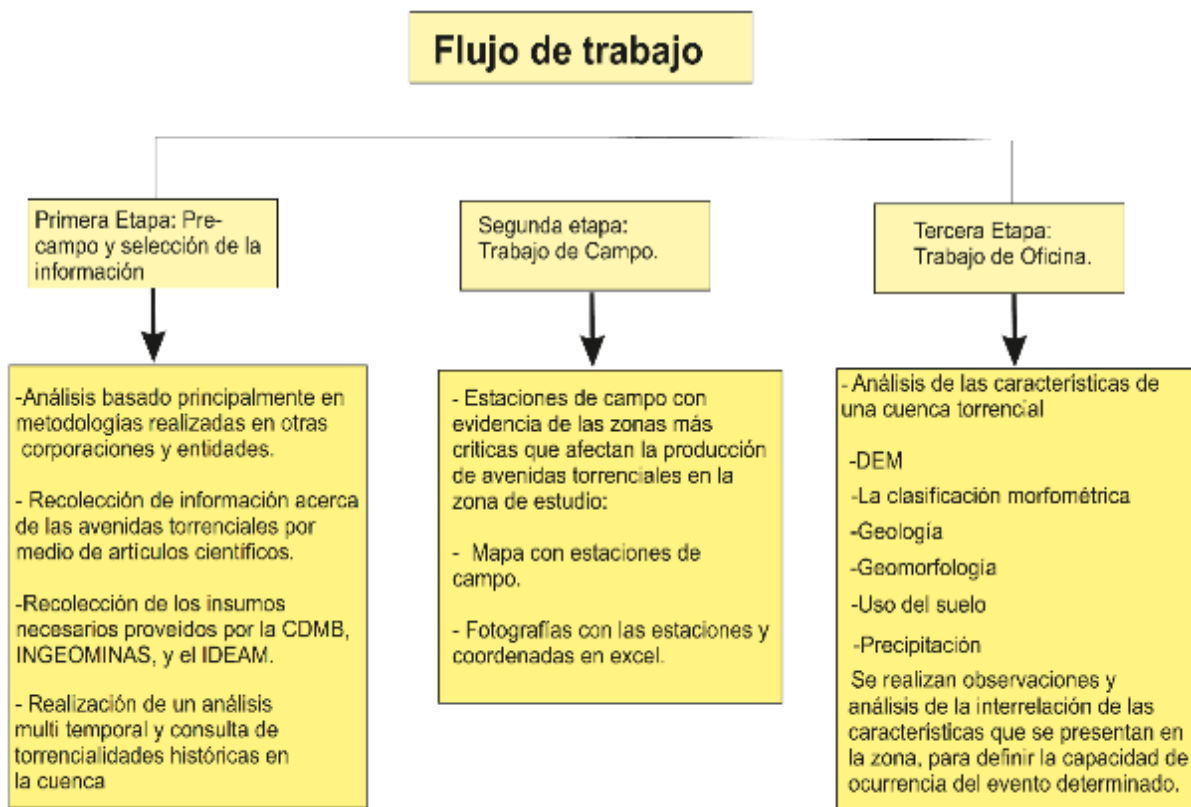


Figura 6. Flujo de trabajo mediante un esquema (Ver Apéndice F.).

4.1 Primera Etapa: Pre-campo y selección de la información

En esta etapa se reúne la mayor cantidad de información disponible de la zona de estudio y también de bibliografía relacionada con las avenidas torrenciales que ayuden a su correcto entendimiento;

Por medio del uso del programa Arcgis 10.5. Se recopilan los diferentes insumos necesarios para realizar el análisis del fenómeno natural:

- Modelo de elevación Digital
- Curvas de Nivel cada 2 metros
- Ortofotomosaico
- Geología.
- Geomorfología
- Uso del suelo
- Datos de precipitación

A continuación, se explica cuál es el papel de cada uno de estos insumos y su uso para el aprovechamiento, y posterior relación con las avenidas torrenciales:

A partir del Modelo de elevación Digital (Ver figura 7.), que posee una resolución espacial de 12.5m obtenido mediante el satélite ALOS, fue lanzado en enero del 2006 por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial y su nombre japonés es "DAICHI". (El satélite ALOS durante su operación (May 16, 2006 – April 22, 2011), colectó imágenes de Radar en escenas de 50 km x 70 km de todo el planeta, cada 45 días aproximadamente a través de su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar)); Se genera el mapa de pendientes (Ver figura 8.):

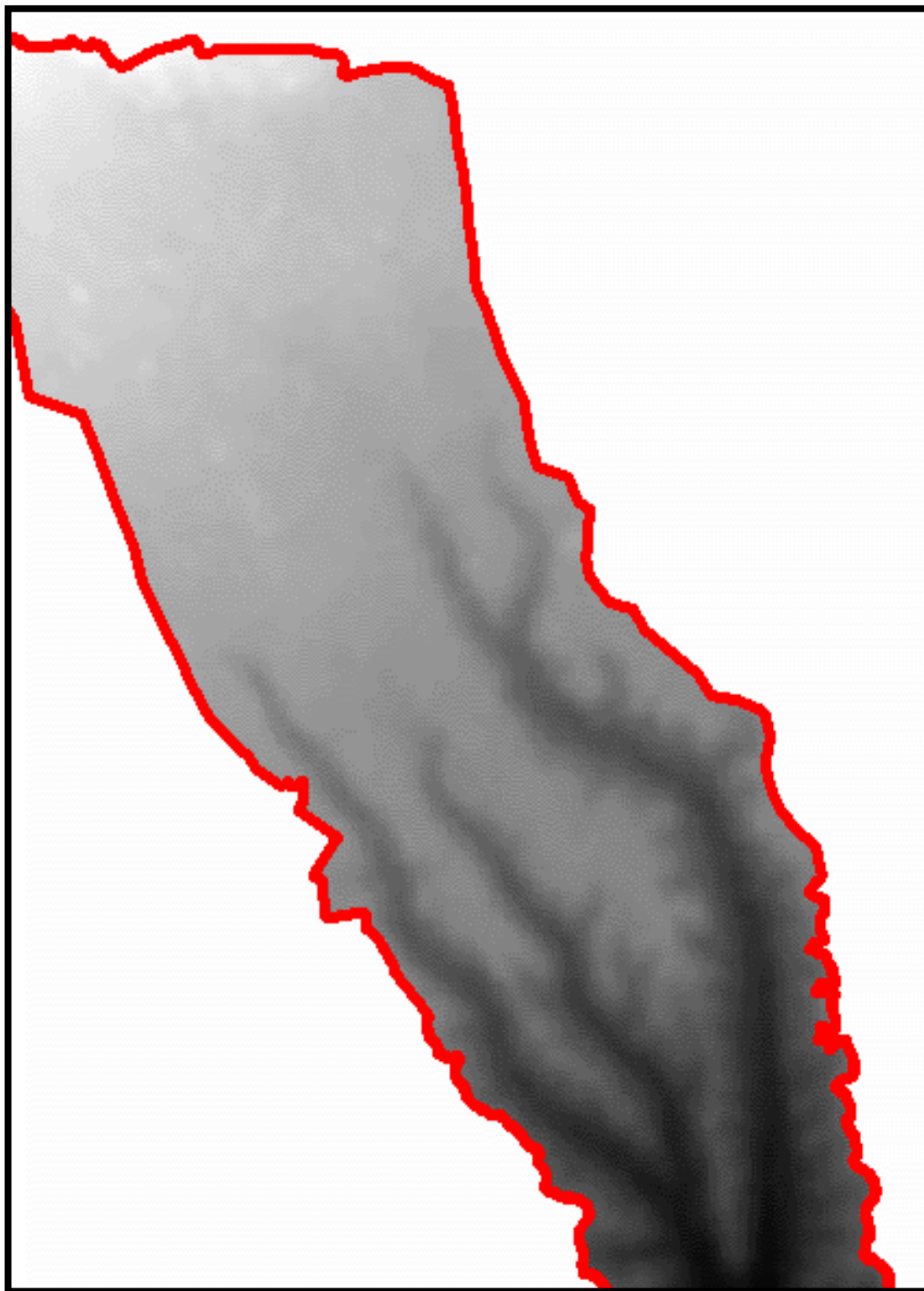


Figura 7. Modelo de Elevación Digital de la zona de estudio. Adaptado de: Corporación Autónoma para la defensa de la Meseta de Bucaramanga.

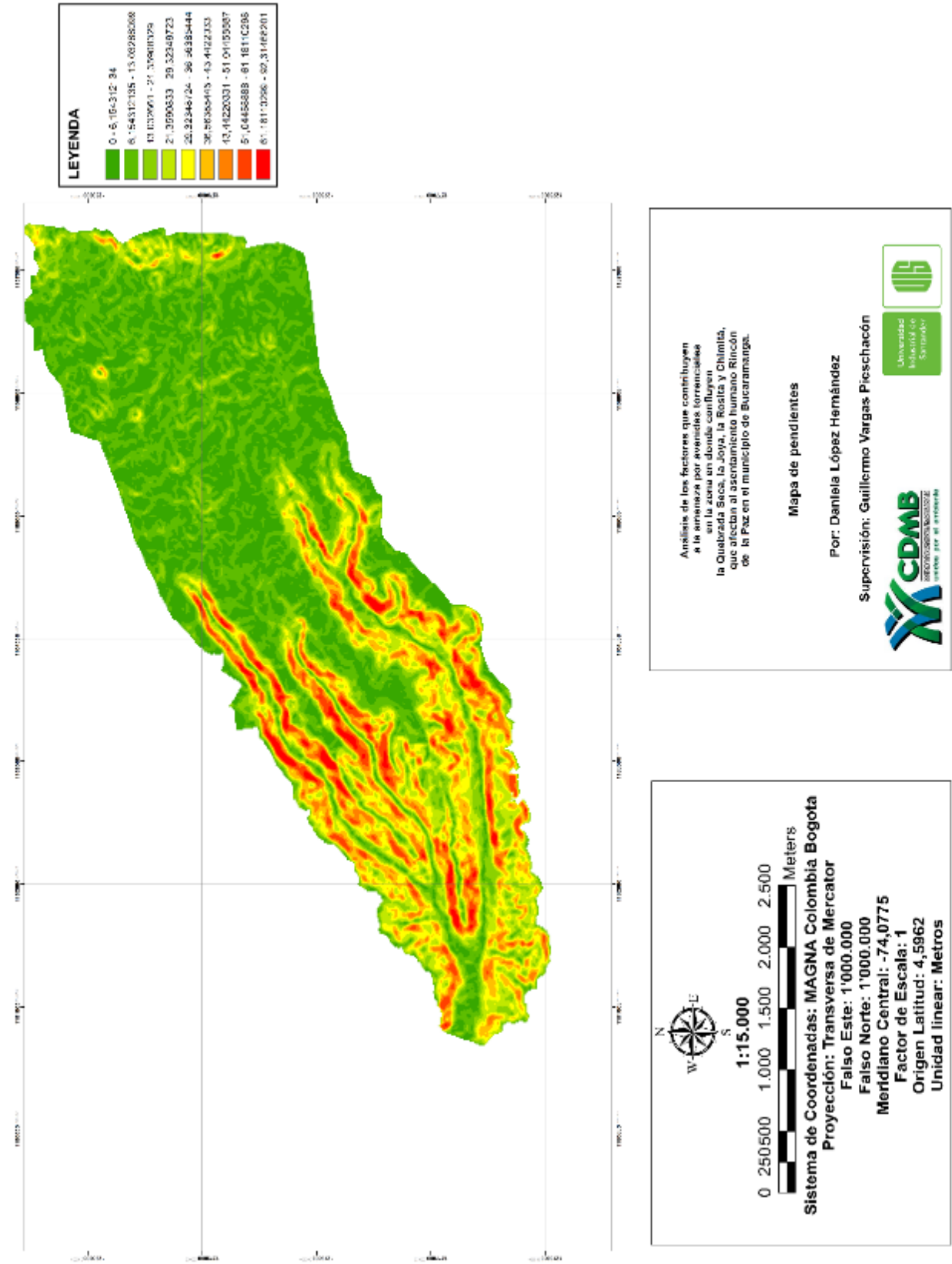


Figura 8. Mapa de pendientes (Ver Apéndice P.)

El mapa de pendientes (Ver Figura 8) es uno de los insumos más importantes en el estudio de la amenaza por avenidas torrenciales, pues si una cuenca posee pendientes altas tiene mayor probabilidad de presentarlas, (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS NEGRO - NARE "CORNARE", 2012). Esta relación se aborda más adelante en el presente documento.

Las curvas de nivel cada dos metros generadas por la CDMB y restituidas en el presente estudio, son usadas para la correcta definición de los drenajes (Ver figura 9) también con ayuda del ortofotomosaico, estos serán usados en la geomorfología, geología y el uso del suelo.

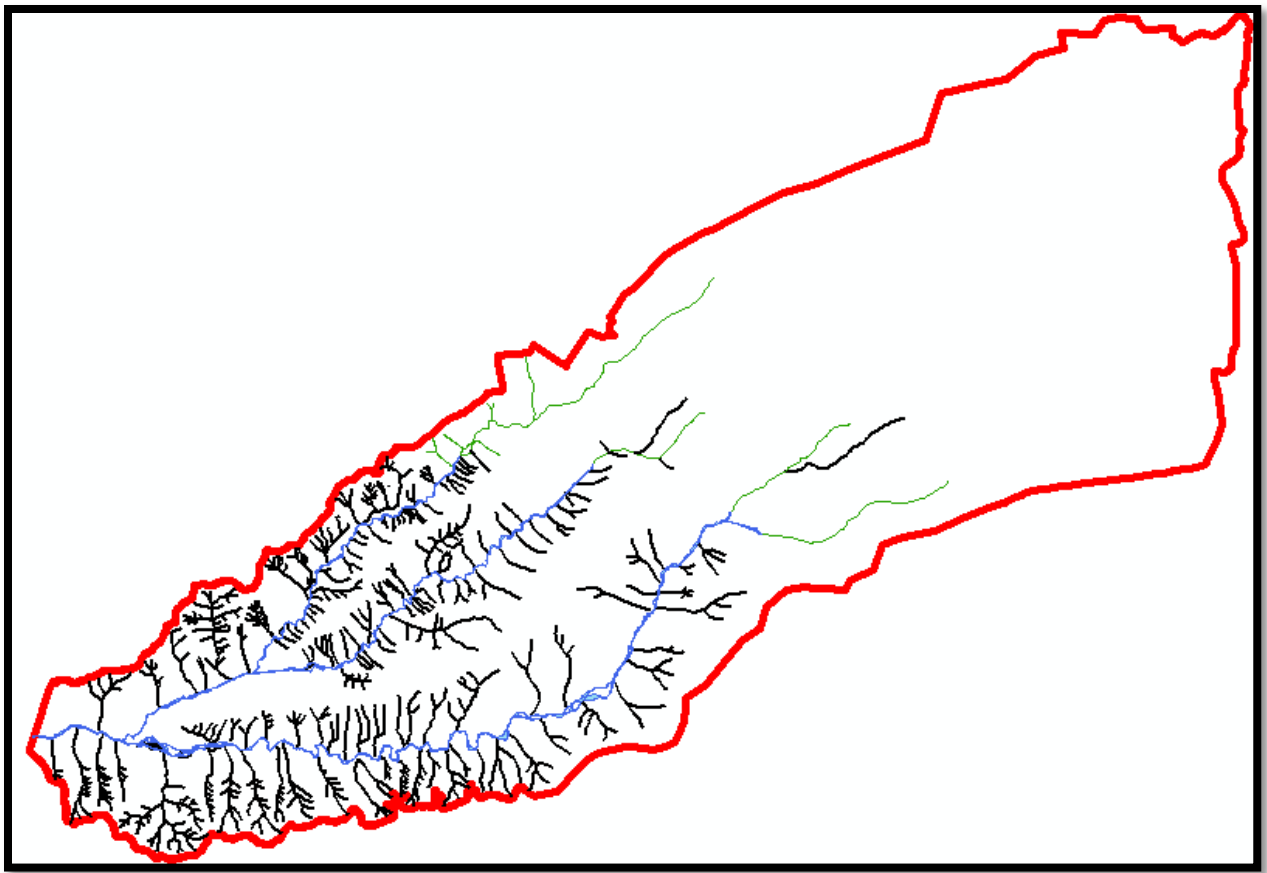


Figura 9. Drenajes primarios y secundarios de la zona de estudio.

El ortofotomosaico utilizado tiene un pixel de 60 cm, rectificadas en las líneas de vuelo del IGAC en el año 2009 (Ver Figura 10.) y es usado para la modificación, el análisis o corroboración de todos los insumos necesarios para realizar este estudio:

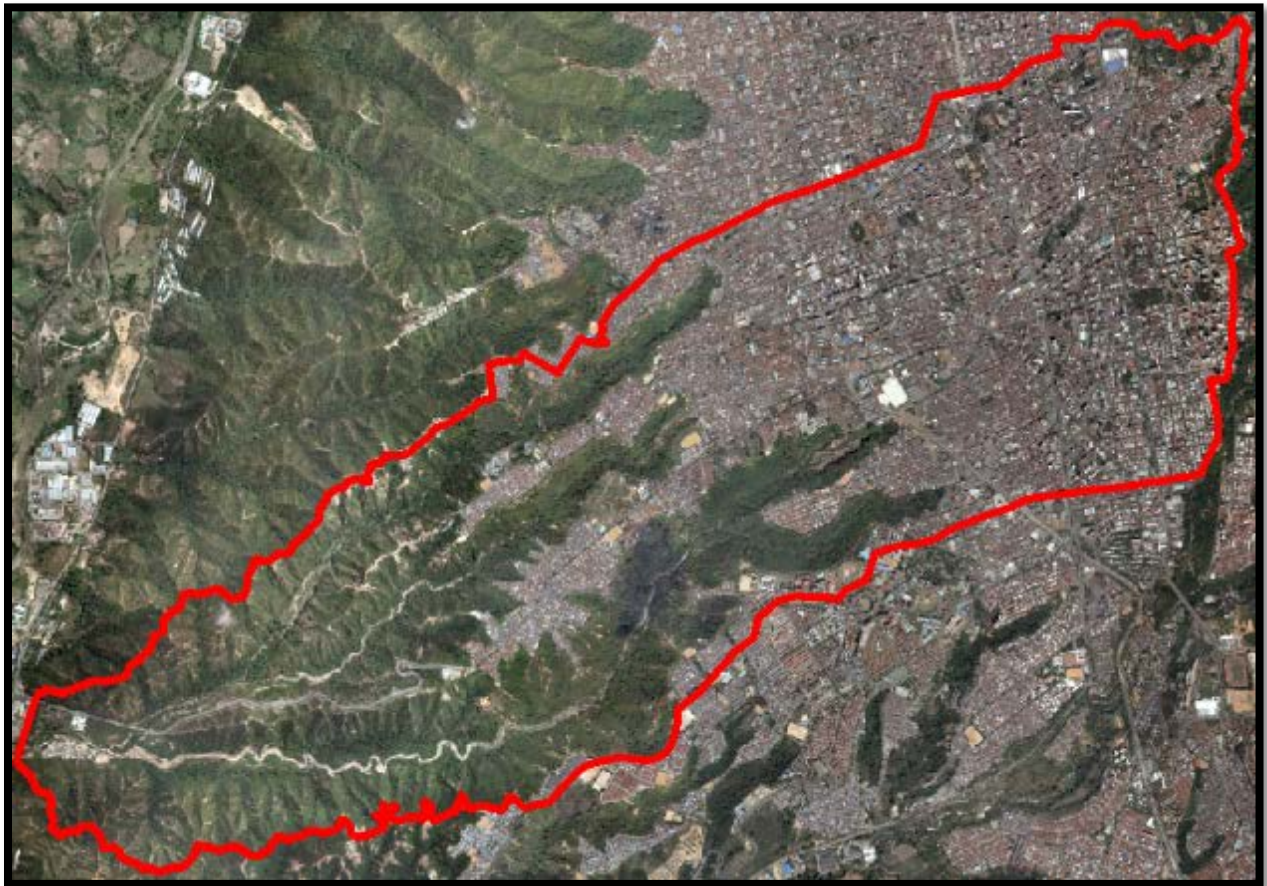


Figura 10. Ortofotomosaico utilizado en el estudio. Adaptado de: Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

Como ya se ha mencionado anteriormente la Geología, Geomorfología y Uso del suelo, es modificado en la zona más influyente al fenómeno de las avenidas torrenciales, y su base está en el estudio de la “Zonificación de amenaza por movimientos en masa en algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”, que cubría un área total de

5080Ha a escala 1:5.000 en el año 2009. (INGEOMINAS, 2009) y de El Plan de Ordenamiento Territorial segunda generación establecido para los años 2013-2027 en donde se realiza la Cartografía en desarrollo del convenio No. 3001-2008 CDMB-IGAC-MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

Estos factores intrínsecos debido a su gran importancia y modificaciones se muestran en un capítulo más adelante (Ver figuras 39, 40; 43;) con el respectivo análisis y modificaciones que los relaciona con el fenómeno estudiado de las avenidas torrenciales.

Así mismo los datos de precipitación provistos por la CDMB y por el IDEAM son procesados en la etapa de oficina, como también el análisis de los factores extrínsecos recopilados (Ver tabla 2).

Por otra parte, para el estudio de este tipo de eventos torrenciales, también es necesario tener una recopilación histórica del fenómeno natural en la zona, este se muestra a continuación:

4.1.1 Recopilación de eventos morfo dinámicos en la zona de estudio. En primera medida se realizan preguntas a los habitantes más antiguos de las viviendas localizadas en las laderas del margen derecho, aguas abajo de la quebrada Chimita, que llevan toda la vida viviendo en el asentamiento, por parte de ellos es manifestado que en periodos de alta precipitación la quebrada Chimita aumenta en gran medida su caudal, pero nunca se han visto afectados por este hecho debido a que hay una altura considerable que separa el cauce principal del asentamiento, son

aproximadamente 10 metros de altura. (Ver figura 11.), por lo que el asentamiento Rincón de la Paz históricamente no ha sufrido de inundaciones ni avenidas torrenciales que los afecten.



Figura 11. Distancia entre el cauce principal de la quebrada Chimita y el Asentamiento Humano Rincón de la Paz. (Ver apéndice G.)

También se debe tener en cuenta que las laderas que bordean el cauce de la quebrada Chimita han sido reforzados con muros de contención, o poseen otras obras de estabilización (Ver Apéndice G.), por tanto, no es posible ver claramente una estratigrafía que indique relación con las avenidas torrenciales y que se pueda correlacionar en varios lugares cercanos al asentamiento. De acuerdo a todo lo dicho anteriormente no hay un registro histórico de avenidas torrenciales en la zona de

estudio, por tanto, para tener un acercamiento de cómo ha sido la erosión en la zona de confluencia se realiza un análisis multitemporal, y de este modo observar si la zona de estudio ha sido afectada por otros fenómenos naturales que se relacionen a las avenidas torrenciales. (Ver figura 12, 13 y 14).

Analisis multitemporal quebrada Chimita

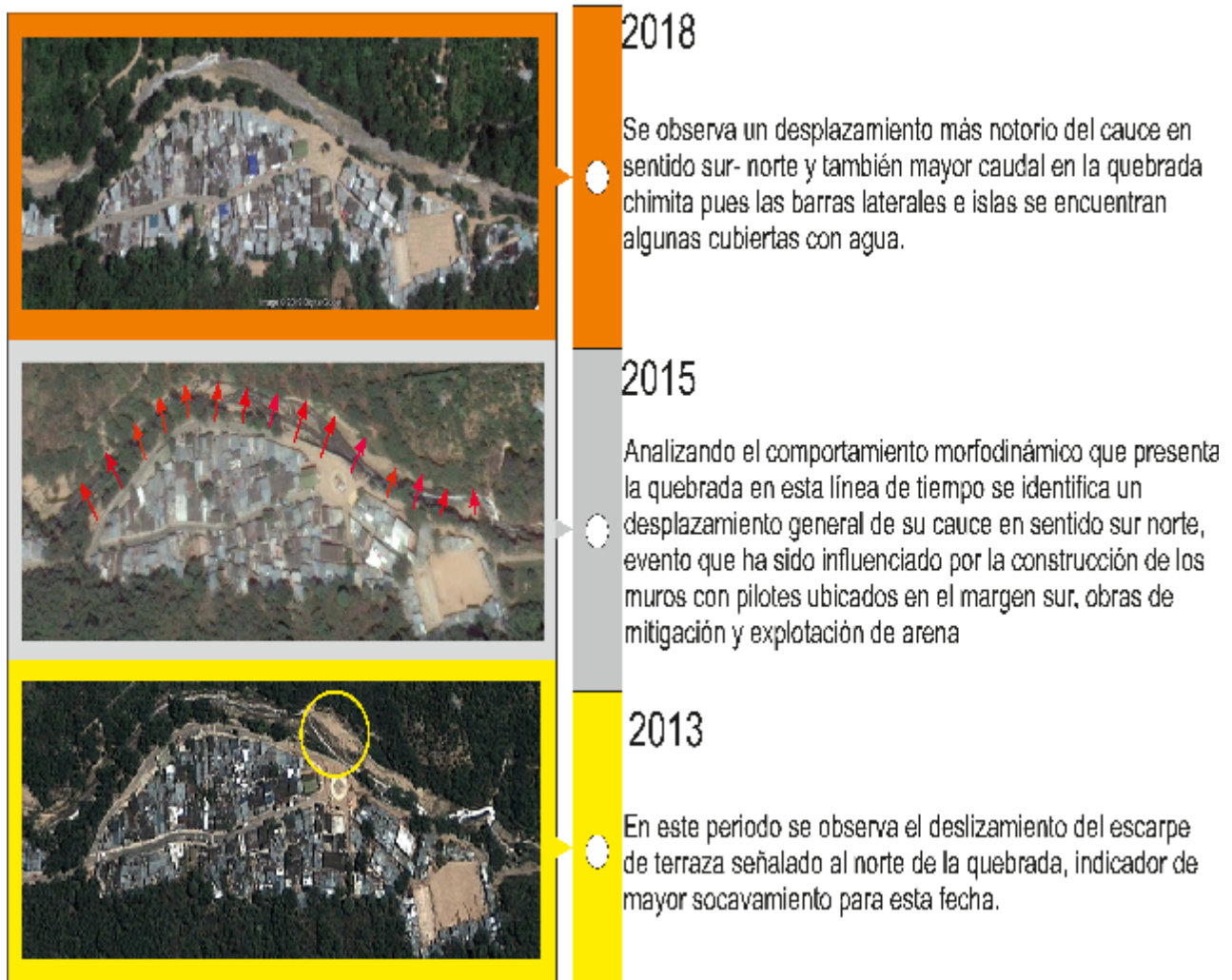


Figura 12. Análisis multitemporal de la quebrada Chimita (Ver Apéndice C.).



Figura 13. Análisis multitemporal de la quebrada Chimita (Ver Apéndice C.).

Analisis multitemporal quebrada Rosita

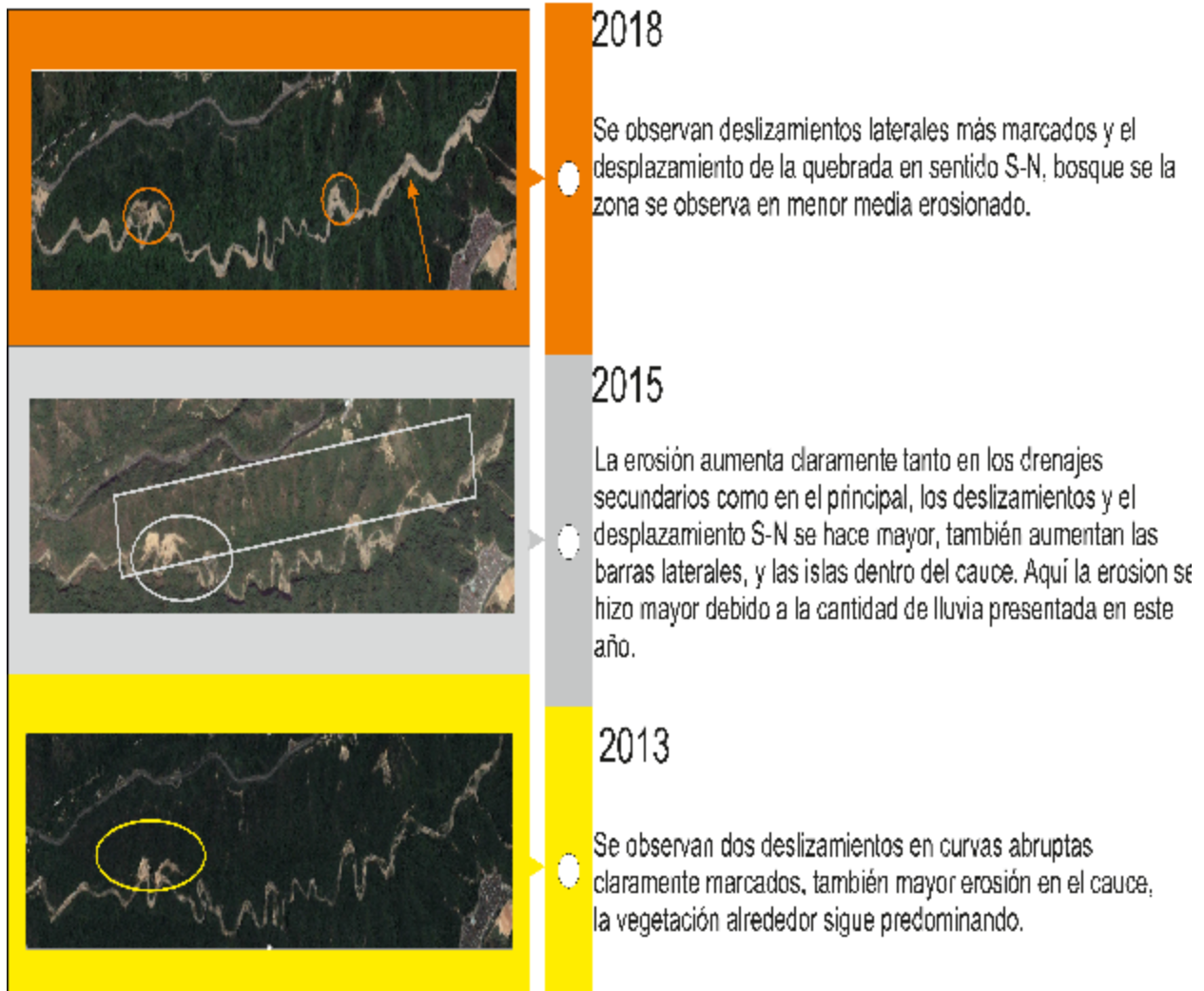


Figura 14. Análisis multitemporal de la Quebrada la Rosita. (Ver Apéndice D.)

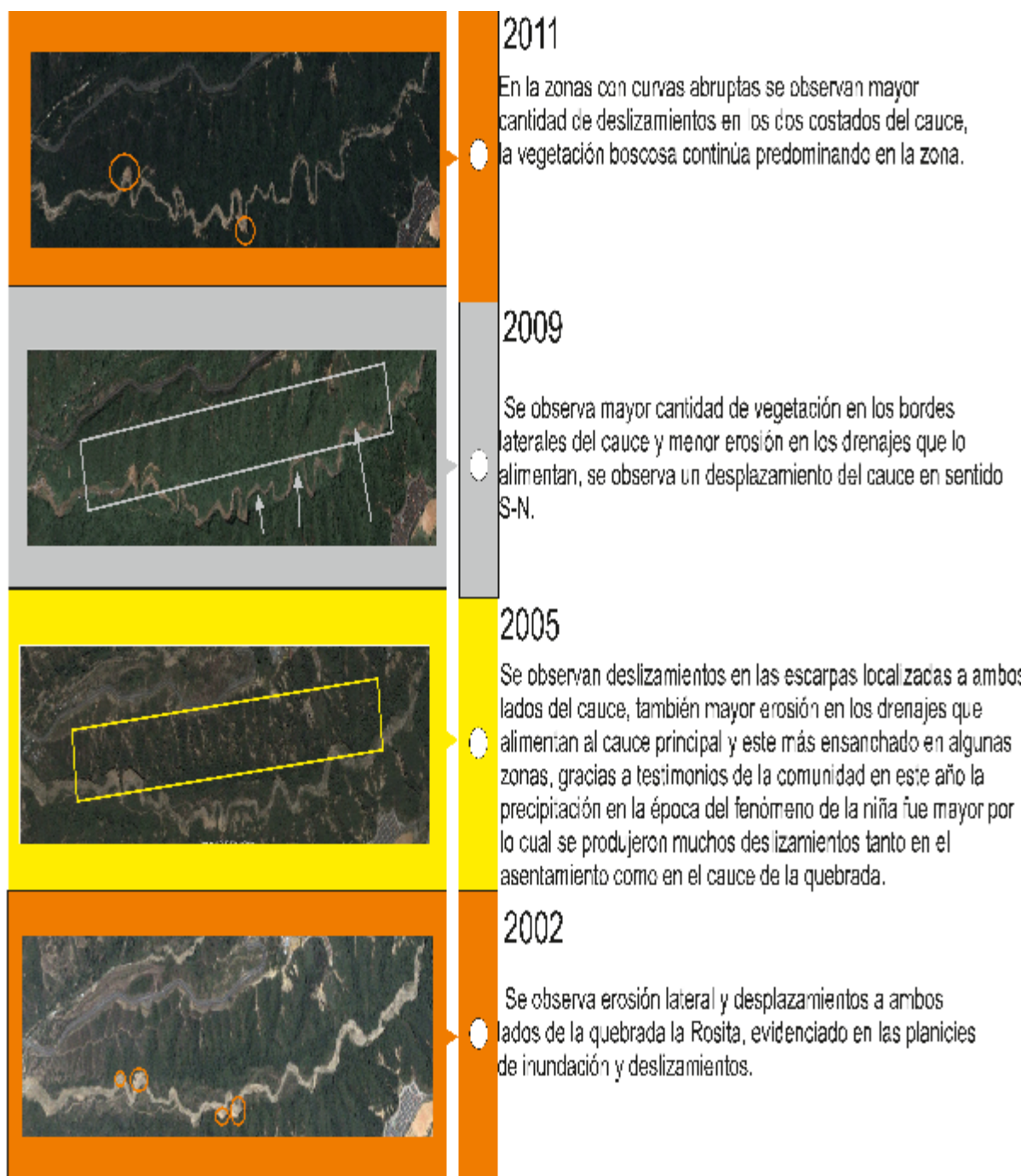


Figura 15. Análisis multitemporal de la Quebrada la Rosita. (Ver Apéndice D.)

Analisis multi-temporal de la Quebrada Seca y la Joya

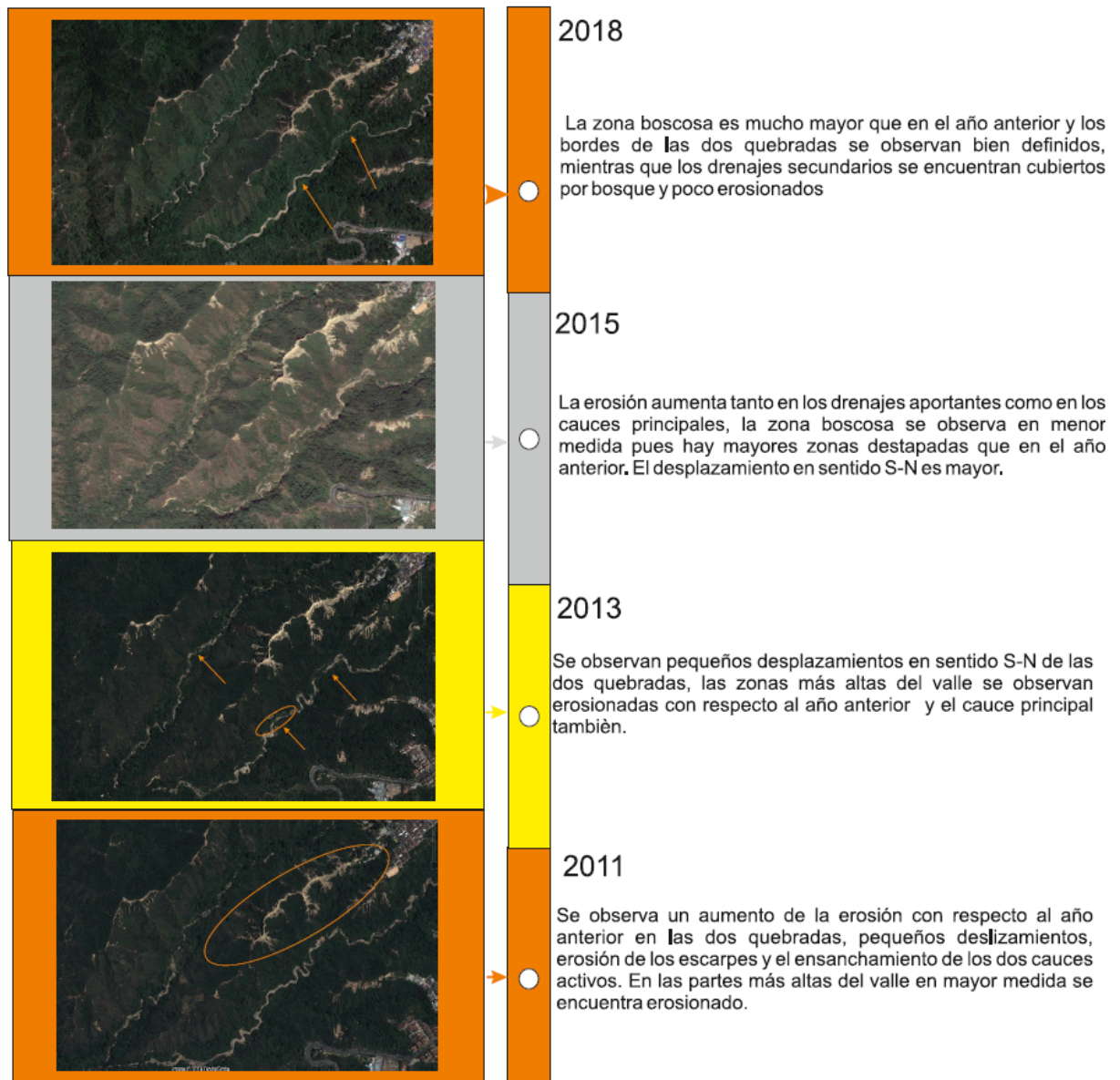


Figura 16. Análisis multitemporal de la Quebrada la Joya y Quebrada Seca. (Ver Apéndice E.).

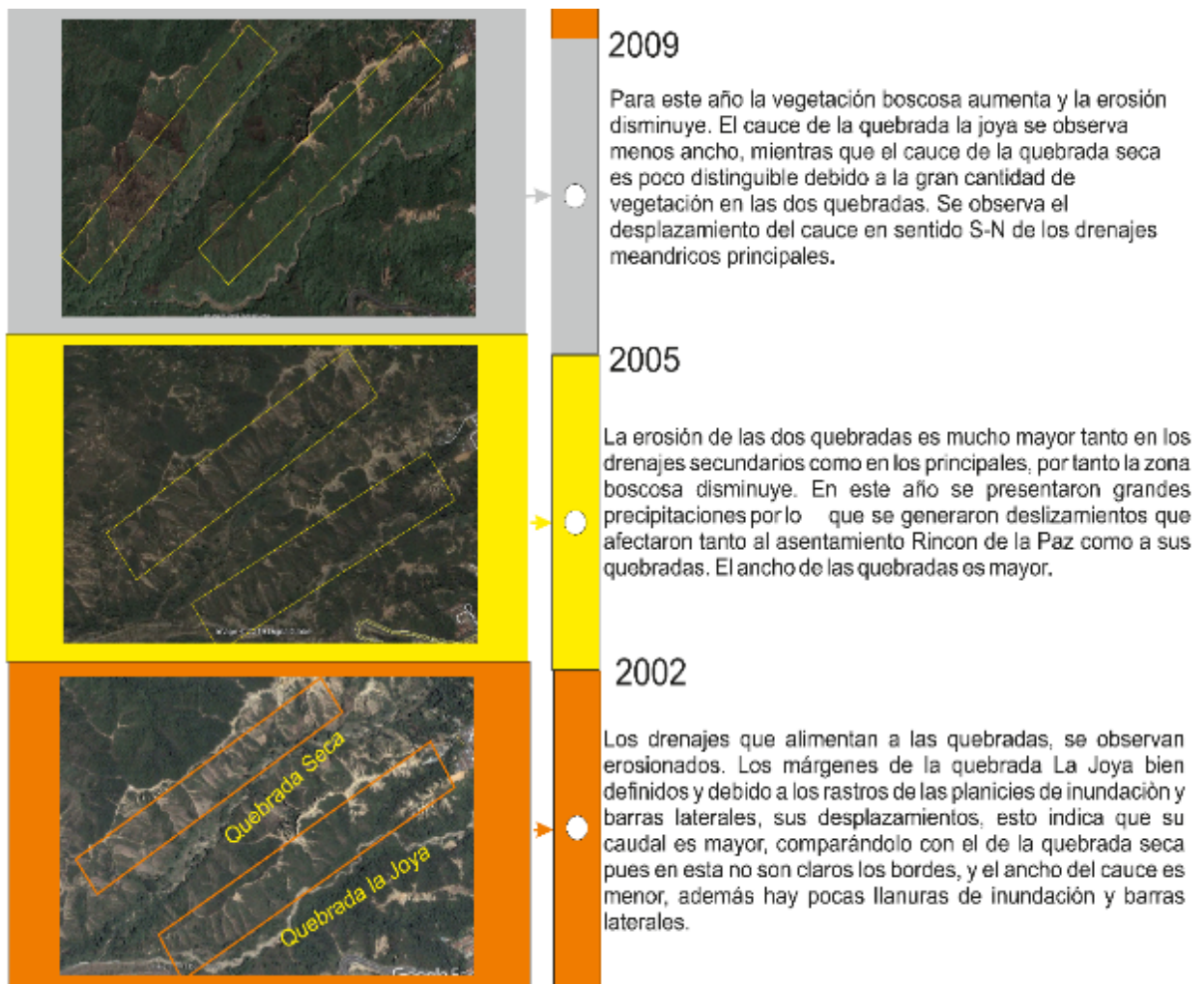


Figura 17. Análisis multitemporal de la Quebrada la Joya y Quebrada Seca. (Ver Apéndice E.).

En general por medio de este análisis se puede observar que la capacidad erosiva de la quebrada Chimita y la Rosita es mayor que la de la Quebrada Seca y Quebrada la Joya, como evidencia se muestra mayor ensanchamiento de los cauces, deslizamientos, socavación lateral en las curvas en donde la energía y velocidad es mayor, y desplazamiento en sentido S-N; También la forma meandrica de los cauces es más notoria.

Las Quebradas la Joya y Quebrada seca también poseen una forma meandrica, pero no es tan evidente como en las otras dos quebradas, sin embargo, se pudieron identificar algunos deslizamientos sobre todo en las curvas donde la energía es mayor, y en épocas de alta precipitación generación ensanchamiento de los cauces principales; El desplazamiento de estas quebradas también como en las otras dos es en sentido S-N.

En general en todas las quebradas se pueden observar variaciones en la erosión de los drenajes aportantes o secundarios, pues en épocas de alta precipitación las zonas boscosas predominan, mientras que cuando hay baja precipitación el suelo denudado aumenta. Esto me puede indicar que cuando aumenta la precipitación, los sedimentos (del suelo denudado generado en épocas de sequía) que se encontraban allí, son transportados por los nuevos caudales de los drenajes secundarios.

Por otra parte, por medio de este análisis multitemporal, se puede observar, que, en cuanto a fenómenos naturales, los más frecuentes son los deslizamientos y caídas de rocas en los bordes de los cauces principales, entre los cuales se pueden resaltar históricamente los siguientes:

4.1.2 Deslizamiento en el asentamiento Rincón de la Paz 12 de febrero del 2005. Entre los días 7 y 12 de febrero del 2005 se generaron lluvias extraordinarias en la cuenca del Rio de Oro, en donde se alcanzaron lluvias de 285mm en 108 horas, con intensidades superiores a 40mm/h. (Carvajal Pineda, 2012). La quebrada Chimita es un afluente secundario del rio de Oro, por tanto, también la zona de estudio se vio afectada por este aumento abrupto de la precipitación, la quebrada Chimita aumentó su caudal en gran medida, pero gracias al escarpe de casi 10 metros

que separa el cauce principal de las viviendas, estas no se ven afectadas. Según los informes, las lluvias presentadas del 7 al 12 de febrero de 2005, fueron las precipitaciones de agua más fuertes registradas durante los últimos 30 años en Santander. (Carvajal Pineda, 2012)

Relacionando este suceso con la imagen satelital (Ver figura 15), en la parte sur debido a la saturación de la ladera por sobre carga de agua se presentó un deslizamiento traslacional en donde se vieron afectadas las viviendas localizadas en la parte baja, según preguntas realizadas a los habitantes del sector, las medidas tomadas por la CDMB fueron la construcción de un muro de gaviones de aproximadamente 6 metros y la plantación de vegetación que le diera mayor estabilidad a la zona. (Ver figura 15)



Figura 18. Muro de gaviones construido por la CDMB luego del deslizamiento del 2005, junto con vegetación.

4.1.3 Flujo de detritos en el asentamiento Rincón de la Paz 28 de marzo del 2016. Al menos 30 casas del asentamiento Rincón de la Paz y de un asentamiento aledaño resultaron afectadas tras el fuerte aguacero que cayó en la ciudad en la madrugada del 28 de marzo del 2016.

Esto ocurrió debido a que unas familias invadieron el lote (propiedad de la Cdmb), talaron los árboles plantados y realizaron quemas para adaptar el terreno. (Chio, 2016)

Según el coordinador del Comité de Gestión del Riesgo, Freddy Raguá, una gran cantidad de agua bajó por la montaña y tapó las redes de alcantarillado, por lo que el lodo se entró en las casas a varias familias. (Chio, 2016). (Ver figura 16.)



Figura 19. Sector cercano a Rincón de la Paz tras el aguacero del 28 de Marzo del 2016. Adaptado de: Foto: Fabián Hernández / VANGUARDIA LIBERAL, (Chio, 2016).

De todo lo anteriormente dicho, relacionado con el análisis multitemporal de la zona de estudio, se puede decir que no hay evidencias concretas de producción de avenidas torrenciales que afecten al asentamiento humano Rincón de la paz históricamente, pero si se han producido otros

movimientos en masa como los flujos de detritos y deslizamientos, estos son ocasionados en las laderas al sur de las viviendas debido a la sobre carga de agua en épocas de lluvia sobre los taludes.

4.2 Segunda etapa: Trabajo de Campo.

A partir de la revisión, análisis y lectura de los insumos adquiridos, mencionados anteriormente, se establece que para la fase de campo los puntos clave a tener en cuenta se encuentran en las quebradas la Rosita, Chimita, y la Joya (Ver figura 17.) debido a que ellas poseen más capacidad erosiva y características morfométricas (factores extrínsecos, Ver tabla 2.) expuestas cerca al asentamiento Rincón de la Paz, que podrían tener relación con el fenómeno estudiado.

Por otra parte, este trabajo de campo también es necesario para corroborar los insumos intrínsecos como Geología, geomorfología y uso del suelo en las zonas en donde se realiza la modificación en los mapas. (Ver Figura 39, 40, 43)

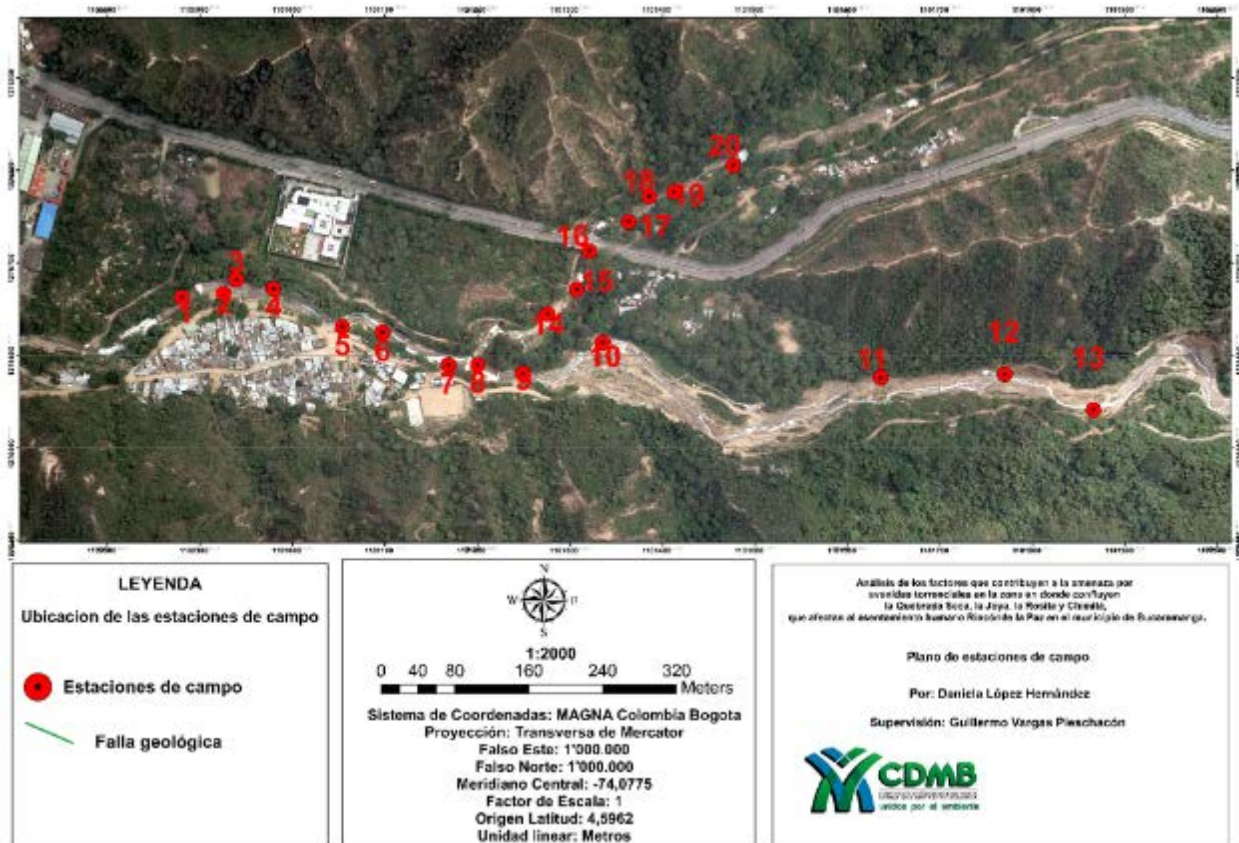


Figura 20. Mapa de estaciones en campo (Ver Apéndice I.)

Como se puede apreciar en la Figura 17. Algunos de los puntos tomados se encuentran en zonas curvadas, que me indican mayor energía y velocidad del cauce. En general lo que se evidencia durante el recorrido de campo, es en primera medida el deterioro de las obras de mitigación en los escarpes de las laderas, socavación lateral en la base del Miembro Órganos lo que ocasiona deslizamientos y caídas de rocas, también se puede apreciar la forma de la cuenca y relacionarla con el fenómeno, la variación de la pendiente de la cuenca, la capacidad de transporte de sedimentos, entre otros factores morfométricos (Ver tabla 2.) que serán desglosados más adelante en el cuerpo de trabajo. En el Apéndice G, se puede ver con más detalle la descripción de cada estación en campo.

4.3 Tercera Etapa: Trabajo de Oficina.

Al momento de iniciar un estudio de avenidas torrenciales, hay que tener en cuenta que la cuenca hidrográfica debe cumplir con ciertas características (Ver tabla 2) que la relacionen con el fenómeno, de este modo se tiene una idea general de lo que podría ocurrir y gracias a las conclusiones obtenidas, se puede inferir si es necesario profundizar más en el tema.

A continuación, se muestra la evaluación de las características que presenta la cuenca de la zona de estudio basados en la Tabla 2:

4.3.1 Cuencas Jóvenes y pequeñas menores a 200 Km². A la medida de la superficie de una cuenca de drenaje se le denomina área, y es la variable más utilizada para el cálculo de otras que, consecuentemente, serán pendientes de ella. Cuanto mayor sea el relieve, entendiendo por relieve las diferencias de nivel, mayor será el error cometido en la medida de la superficie. (I. Porqueras, 1985)

El área es la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en km². (I. Porqueras, 1985)

La cuenca hidrográfica en la que confluyen La Quebrada Chimitá, La Rosita, La Joya y Quebrada Seca posee un área total de 13,319 Km² y de acuerdo a la clasificación propuesta para

el tamaño de las cuencas (Campos 1992) esta se encuentra categorizada como una muy pequeña como se puede ver en la siguiente tabla (Ver tabla 3.)

Tabla 3.

Clasificación propuesta para el tamaño de las cuencas.

Tamaño de la Cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy Pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia Pequeña
500 a 2,500	Intermedia Grande
2500 a 5000	Grande
Más de 5000	Muy Grande

Fuente: (Campos, 1992) en (Camino, 2018)

Para otros autores cuencas con áreas inferiores a 300 km² son consideradas pequeñas y para ellas existe una alta probabilidad de que un simple evento meteorológico produzca lluvia simultáneamente sobre todos los sectores y genere escorrentía directa en los tributarios de diferentes órdenes (Gonzales , Hermelin , & Chaves, 2004). Por tanto, para Gonzales, 2004, la cuenca localizada en Bucaramanga también es considerada como muy pequeña.

En cuencas grandes, es muy improbable que se recojan lluvias simultáneamente en todos los sectores, lo que retrasa la escorrentía en el tiempo. (Gonzales , Hermelin , & Chaves, 2004). Esto quiere decir que, en cuencas pequeñas, el intervalo entre precipitación y descarga pico es corto, es decir el tiempo de concentración es reducido. Esto es también una consecuencia no solo del área

de captación sino también de su relieve el cual es un factor importante de analizar y que es mencionado más adelante. (Gonzales , Hermelin , & Chaves, 2004)

A continuacion se muestra el area de cada microcuenca de la zona de estudio, que tambien son clasificadas como muy pequeñas (Ver Figura 18.).

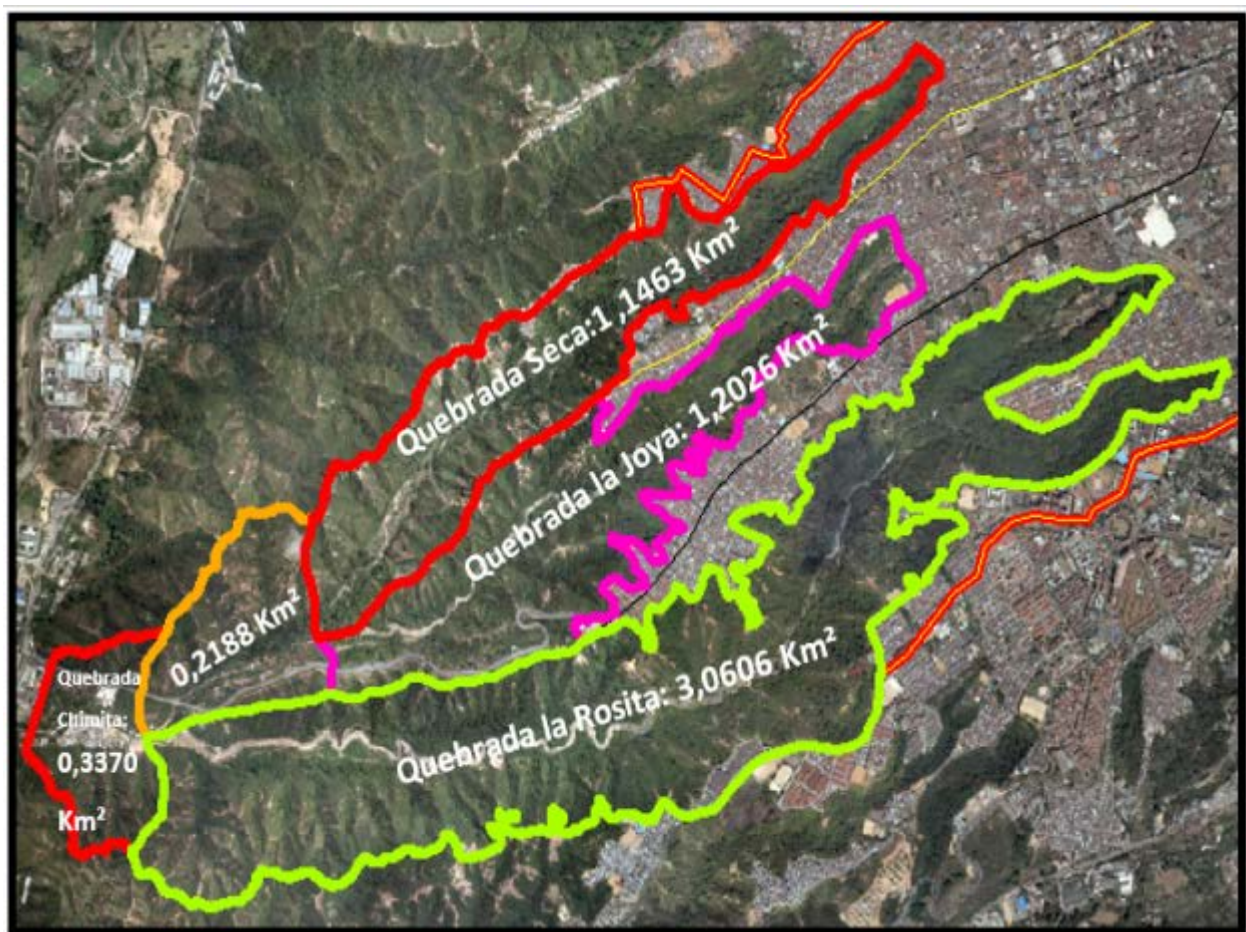


Figura 21. Área de las subcuencas en la zona de estudio por medio del programa Arcgis 10,5. Lo que indica una cuenca muy pequeña.

4.3.2 Cuencas en regiones montañosas y escarpadas. Los gradientes de relieve fuertes son comunes en cuencas montañosas, tanto en perfiles longitudinales de ríos como en pendientes del terreno. El alto gradiente tiene dos efectos: reduce el tiempo de concentración del agua de escorrentía e incrementa la velocidad de escorrentía. (Gonzales , Hermelin , & Chaves, 2004)

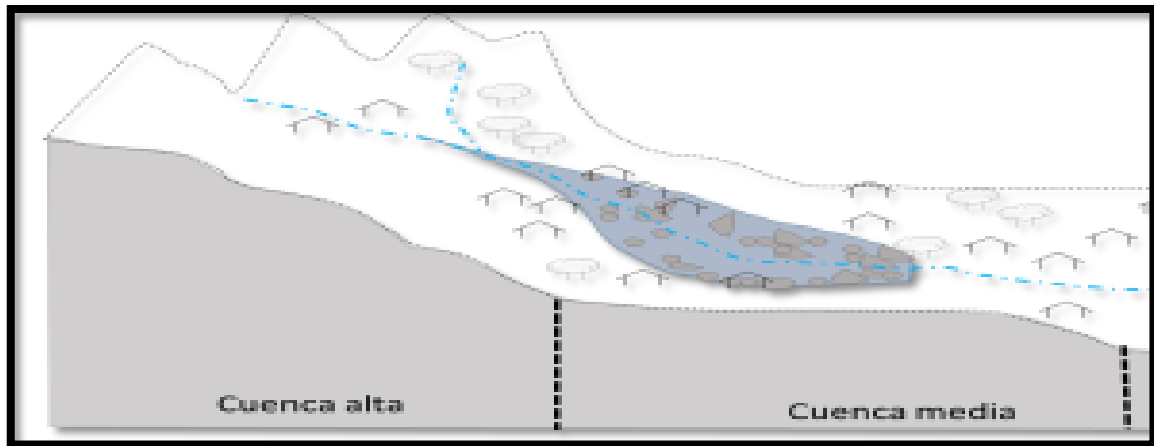


Figura 22. Esquema que indica el relieve relacionado con la generación de avenidas torrenciales en una cuenca. Adaptado de: Exposición planes de ordenamiento territorial, Servicio Geológico Colombiano, 2017.

El concepto de pendiente es la relación que existe entre el desnivel (ΔY) y la distancia horizontal (ΔX) se expresa normalmente en % o en grados. Su aplicación al terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera (ΔY) mediante las cotas, y su variación en el espacio (ΔX). Para realizar este cálculo se traza una línea perpendicular a las curvas de nivel (Ver figura 21.), en el siguiente esquema se muestra las operaciones requeridas para el cálculo de la pendiente. (Ibañez Asensio, 2011)

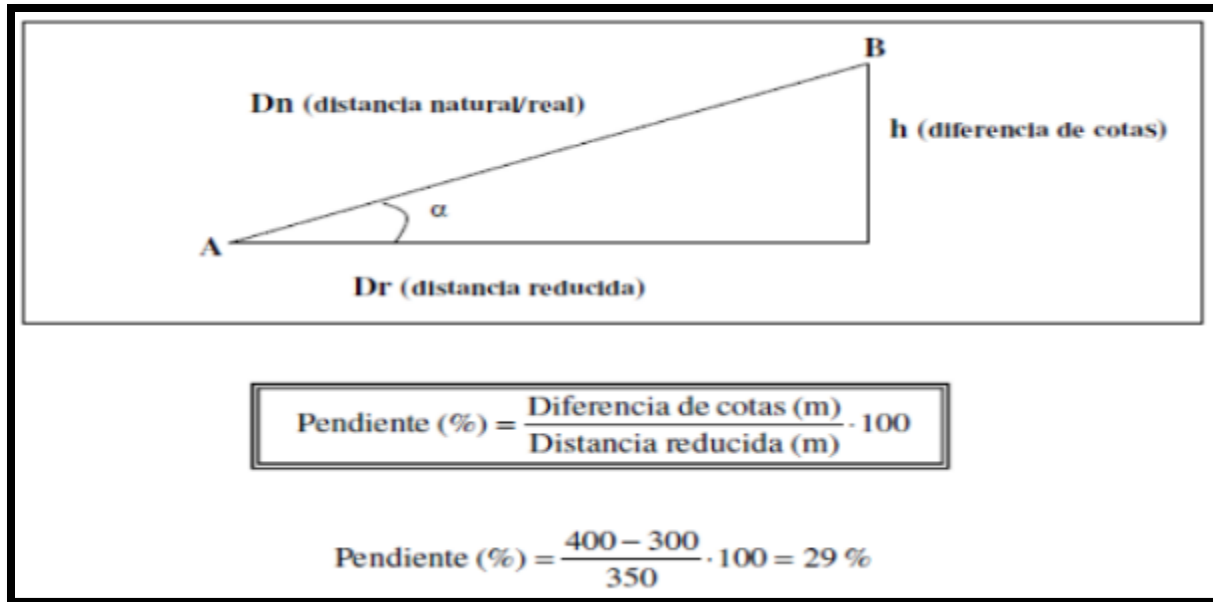


Figura 23. Fórmula para el cálculo de la pendiente del terreno. Adaptado de: Ibañez Asensio, 2011.

El perfil longitudinal de las quebradas en la zona de estudio tiene un gradiente leve por lo que esta característica no se relaciona con las avenidas torrenciales y son descritos a continuación, para cada una de las microcuencas:



Figura 24. Localización de los tres perfiles longitudinales para las cuatro quebradas

En esta figura (Figura 21.) se observa la localización de los tres perfiles longitudinales para las cuatro quebradas que se encuentran en la zona de estudio. 1. Quebrada la Rosita y Chimita, 2. Quebrada la Joya, 3. Quebrada seca.

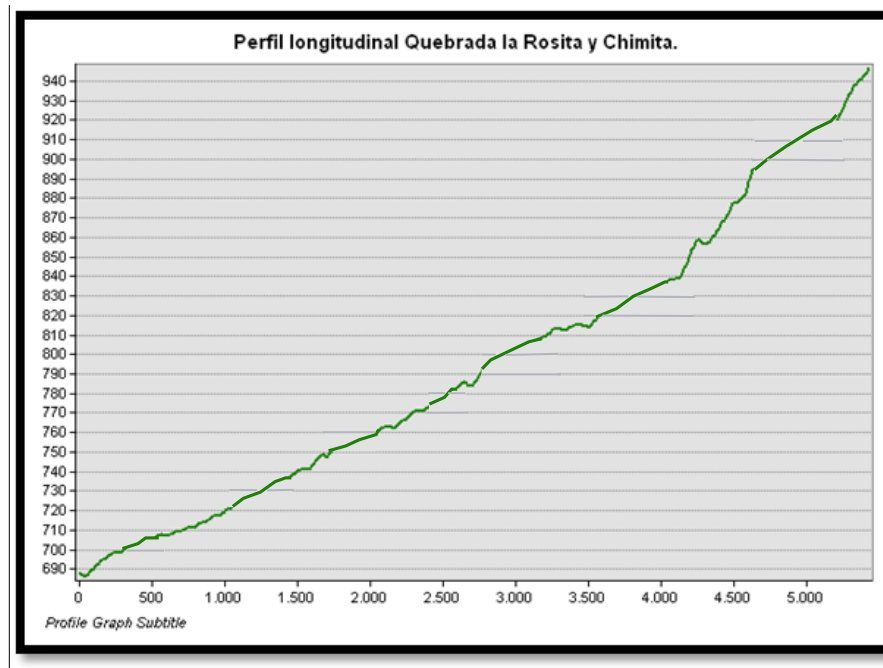


Figura 25. Perfil topográfico de la quebrada Chimitá y la Rosita en donde se observa que la altura varía desde los aproximadamente 690m a los 950 m de altura y una distancia horizontal hasta los 5000m. generado en Arcgis 10.5.

Cálculo del porcentaje de la pendiente topográfica:

$$((950-690) / 5500) * 100 = 4,7\%$$

Nota: En el cálculo de las pendientes topográficas no se tiene en cuenta la zona de la ciudad debido a que allí los drenajes se encuentran canalizados, es decir estables, y aportan poco al porcentaje de amenaza, aunque el caudal del río puede aumentar gracias a estos.

El porcentaje calculado de 4,7% Indica que la quebrada tiene un relieve muy leve, lo que indica que la microcuenca de la Rosita y Chimita no estaría relacionada con las avenidas torrenciales.

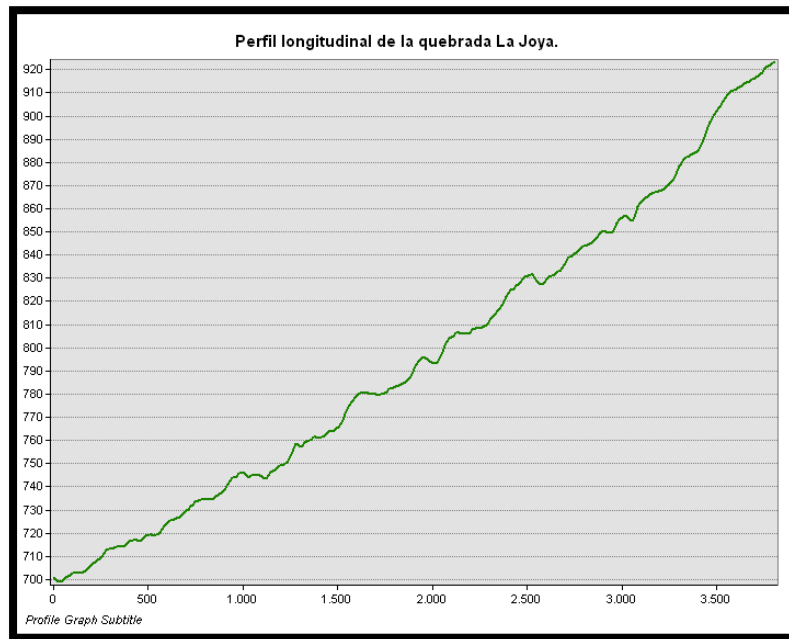


Figura 26. El perfil topográfico de la quebrada La Joya en donde se observan variaciones desde los aproximadamente 930 m a los 700 m de altura y una distancia horizontal hasta los 4000m. Generado desde Arcgis 10.5.

Cálculo del porcentaje de la pendiente topográfica:

$$((930-700) / 4000) * 100 = 5.75\%$$

Este porcentaje indica que la pendiente topográfica de la quebrada la seca es leve por lo que de acuerdo a este indicador se puede decir que la microcuenca no se encuentra relacionada a las avenidas torrenciales.

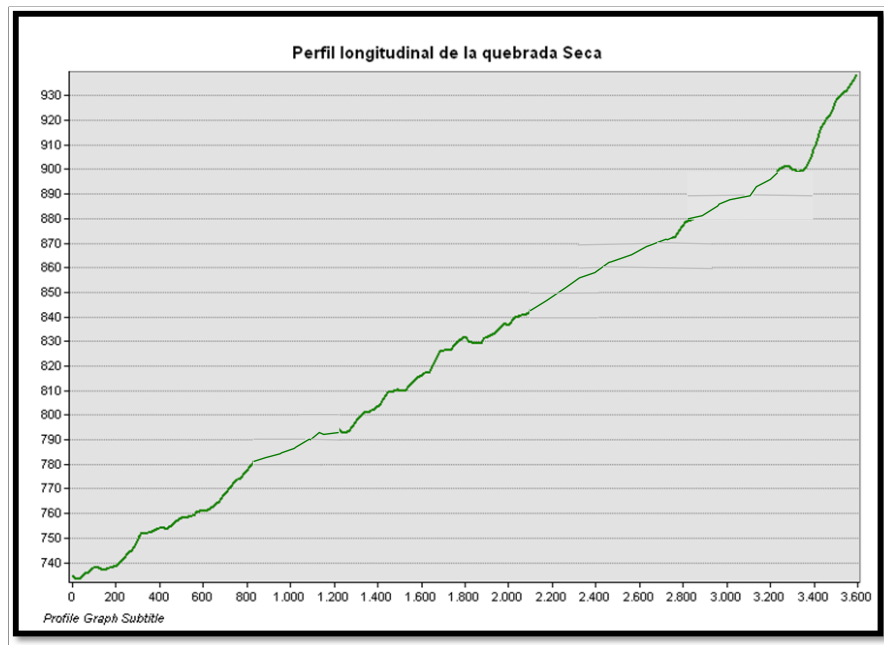


Figura 27. Perfil topográfico de la Quebrada Seca en donde se observan variaciones desde los aproximadamente 940m a los 730 m de altura y una distancia de 3600m. Generado desde Arcgis 10.5.

Cálculo del porcentaje de la pendiente topográfica:

$$((940-730) / 3600) * 100 = 5.83\%$$

Este porcentaje 5,83% indica que la pendiente topográfica de la quebrada la Joya es leve por lo que de acuerdo a este indicador no se encuentra relacionado con las avenidas torrenciales.

Por medio de control de campo se pudo observar que la subcuencas hidrográficas se encuentra rodeadas por escarpes de terrazas espesas, A continuación, se pueden observar algunas de las estaciones de campo realizadas en la microcuenca de la quebrada Chimita y la Rosita (Ver figura 25).



Figura 28. Escarpes de terraza en la Quebrada la Rosita, el perfil transversal del río posee una forma cuadrada debido a los aproximadamente 90° que forman con el escarpe adyacente compuesto principalmente por el miembro Órganos, terrazas aluviales y rellenos antrópicos. X: 1'101.865,792, Y: 1'276.541,069, H: 700 m.s.n.m.

4.3.3 Alta pendiente media de la cuenca. La pendiente media del cauce se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo (L) (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987; López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari, 2002). Se expresa en porcentaje (Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012).

El cálculo de este parámetro se relaciona con la erosión de una cuenca debido a que el proceso de degradación a que se ve sometida, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998).

(Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012), uno de los principales indicadores de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. (Bateman, 2007).

En teoría para hallar la pendiente media (PM) se utiliza la siguiente ecuación:

$$PM = 100 [(H \times L) / A]$$

PM: Pendiente media (%)

H: Distancia vertical entre curvas medidas (equidistancia) (km)

L: Longitud total de las curvas de nivel (km)

A: Superficie (km²).

(Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012)

Pero en este caso por medio del programa Arcgis, el cálculo de la Pendiente media se lleva a cabo siguiendo los pasos:

1. Creación del mapa de pendientes. (Ver figura 8.)
2. Interpolación del mapa de pendientes con las microcuencas.
3. Determinación de la pendiente media para cada microcuenca.(Ver tabla 5.)

En consecuencia, siguiendo los pasos, a partir del modelo digital de elevación (MDE), se realiza el mapa de pendientes (en %), posteriormente la interpolación y automáticamente Arcgis arroja los datos de pendiente media de la cuenca.

Según la clasificación de pendiente (en %) de López Cadenas de Llano (1998), la representación cartográfica es la siguiente (Ver tabla 4.), las pendientes medias escarpadas a muy escarpadas son las que se encuentran relacionadas con el fenómeno de las avenidas torrenciales.

Tabla 4.

Clasificación en porcentaje de la pendiente media de López Cadenas de Llano (1998)

Pendiente Media	Representación Cartográfica
menor del 0.5 %	Muy Plano
0.5 a 1 %	Plano
1 a 3 %	Suave
3 a 12 %	Presenta Lomadas
12 a 20 %	Relieve accidentado
20 a 50%	Muy fuerte
50 y 75 %	Escarpado
mayor al 75 %	Muy escarpado

Fuente: Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012

Tabla 5

Valores de Pendiente media de las 5 microcuencas de la zona y de la cuenca completa.

Subcuenca	Pendiente Media
Quebrada Chimitá.	25,716%
Quebrada Seca y Quebrada La Joya.	28,657%
Quebrada Seca	35,337%
Quebrada la Joya.	31,657%
Quebrada la Rosita.	30,798%
Cuenca completa	19,088%

La zona de estudio tiene una pendiente media de 19,088% según López Cadenas de Llano (1998) en (Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012) esta cuenca presenta un relieve accidentado, mientras que las subcuencas presentan un relieve muy fuerte.

Las avenidas torrenciales se encuentran relacionadas con pendientes muy abruptas(escarpadas a muy escarpadas), por lo tanto de acuerdo a los resultados obtenidos, este factor no se encuentra relacionado con el fenómeno en la zona de estudio.

4.3.4 Gran capacidad de socavación e incisión del cauce. Por medio de un control de campo se pudo verificar que las quebradas producen socavación lateral en los escarpes aledaños que las rodean, estos están compuestos geológicamente de base a techo por: Suelo del miembro Órganos, Suelo de terraza aluvial, Suelo de llanura de inundación, suelo de Relleno y Paleosuelo. Debido al fenómeno de socavación que producen las quebradas, el suelo del miembro Órganos se erosiona con gran velocidad, lo que genera desniveles en el escarpe de terraza, que conlleva a continuos desprendimientos y caídas de detritos de los suelos cercanos al techo de la estratigrafía del cauce de las quebradas. (Ver Figuras 26,31 y 33). Evidencia de la erosión lateral avanzada en el cauce, es el deterioro de las obras de mitigación realizadas por la CDMB. (Ver figura 27, 28, 29, 30).



Figura 29. Caída de detritos compuesta por suelo de relleno y fragmentos del miembro Órganos
X: '100.979,288 m, Y:1'276.671,839 m H: 680 m.s.n.m. (Ver Apéndice G.)



Figura 30. Estructura escalonada para la mitigación de la erosión en la escarpa adyacente a la quebrada Chimitá destruido producto de la socavación lateral. X:1'100.939,444 m, Y:1'276.681,76 m, H:678 m.s.n.m (Ver Apéndice G.)



Figura 31. Muro de contención para la mitigación de la escarpa aledaña al cauce de la quebrada Chimitá, erosionado producto de la socavación lateral. X:1'100.880,532 m, Y:1'276.662,736 m, H: 679 m.s.n.m (Ver Apéndice G.)



Figura 32. Estructura de mitigación de la velocidad del cauce de la quebrada Chimitá, erosionado y destruido en su parte central. X:1'100.880,532 m Y:1'276.662,736 m H: 679 m.s.n.m (Ver Apéndice G.)



Figura 33. Estructura realizada en ciclópeo para la mitigación de la velocidad del cauce de la quebrada la Rosita, erosionado y destruido, X:1'100.880,532 m Y:1'276.662,736 m H: 679 m.s.n.m (Ver Apéndice G.)



Figura 34. Caída de detritos compuesto por el miembro Órganos y las terrazas antiguas del cauce, en la quebrada la Rosita. X: 1°101.249, 443 m, Y: 1°276.580, 712 m, H: 690 m.s.n.m (Ver Apéndice G.)

4.3.5 Abundante material detrítico a ser arrastrado y capacidad de transporte de material heterométrico. A lo largo del recorrido de campo se observa en algunas zonas material detrítico (Ver figura 32.), que posiblemente en caso de una crecida del caudal puede arrastrado. También se observan fragmentos heterométricos (Ver Figura 33) producto de la caída de bloques del miembro Órganos, pero estos bloques se encuentran adyacentes al lugar en donde ocurre el movimiento en masa, por lo que se puede decir que no hay evidencia de capacidad de transporte de material heterométrico de gran tamaño, pues si fuese así se hubieran encontrado estos fragmentos en la parte baja de la quebrada Chimita.

En conclusión, se reitera la capacidad de socavación lateral que tiene la quebrada Chimita, pero se evidencia que no presenta caudales demasiado fuertes como para transportar grandes fragmentos de roca.



Figura 35. Suelos de llenos mixtos deslizados sobre el cauce de la quebrada Chimita, con presencia de basuras, matriz arenosa y clastos heterométricos.



Figura 36. Fragmentos Heterométricos del suelo del miembro Órganos compuestos por niveles arenosos de color Rojizo, en la quebrada la Rosita.

4.3.6 Cuencas con valles o cañones estrechos en V. Como se puede apreciar en la Figura 34. el ángulo entre el cauce aluvial activo y los escarpes es de 90° , además de ser anchos; Por medio del análisis multitemporal (Ver figuras 12, 13 y 14), se puede observar que la quebrada Chimita, la Rosita y la Joya en gran porcentaje del recorrido presenta cañones ensanchados; debido a esto

este parámetro indica que no hay relación con la producción de avenidas torrenciales en la zona de estudio.



Figura 37. El cauce con los escarpes adyacentes forma una figura de L con un ángulo de 90° , el escarpe alcanza una altura aproximada de hasta 20 m. X: 1'101.865,792, Y: 1'276.541,069, H: 700 m.s.n.m.

4.3.7 Geoforma redondeada de la cuenca. Por medio de los cálculos del Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius se relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (Gaspari & Rodríguez Vagaría, 2012) El círculo teórico representa un límite que define la forma y la superficie que abarca la cuenca, teniendo en cuenta la influencia de la esorrentía en el momento de la precipitación (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987). (Gaspari E., 2012).

Este parámetro es un referente para establecer la dinámica esperada de la esorrentía superficial en una cuenca, ya que, aquellas cuencas con formas redondeadas, tienden a presentar un flujo de

agua más veloz, a comparación de las cuencas alargadas, logrando una evacuación más rápida y mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base. (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - NARE "CORNARE", 2012)

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

Coeficiente de compacidad (IC) = Perímetro de la subcuenca / perímetro de una circunferencia con la misma superficie de una subcuenca

O

Coeficiente de compacidad (IC) = (0,28) Perímetro de la subcuenca / Área de captación

(Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - NARE "CORNARE", 2012)

En la tabla 6. Se puede apreciar el Índice de compacidad de cada una de las microcuencas; La cuenca en general de la zona de estudio por tener un valor mayor a 1,5 se considera alargada por lo que no se encuentra relacionada con las avenidas torrenciales.

Tabla 6

Valores de Índice de compacidad de las 5 microcuencas de la zona de estudio y la cuenca completa.

Subcuenca	Índice de Compacidad
Quebrada Chimitá.	1,2776
Quebrada Seca y Quebrada La Joya.	1,2188
Quebrada Seca	2,1005
Quebrada la Joya.	2,2733
Quebrada la Rosita.	2,735
Cuenca completa	1,587

4.3.8 Influencia de la forma de la cuenca en la escorrentía. Las cuencas más redondeadas poseen mayor probabilidad de generar crecidas ya que el tiempo de recorrido del agua a través de la cuenca es mucho más corto que en cuencas alargadas, en otras palabras, las cuencas redondeadas tendrían menor tiempo de concentración y por ende mayor rapidez para la concentración de flujos de aguas superficiales generando mayor violencia en sus crecidas, caso contrario ocurre con las cuencas alargadas donde el tiempo de viaje del agua es mucho más largo, contribuyendo a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.

4.3.9 Variaciones extremas en los valores pico de precipitación. El conocimiento de la variación de la precipitación en el tiempo y en el espacio es usado para diversos estudios como edafológicos e hidrológicos, en este caso para relacionarlo con el fenómeno de las avenidas torrenciales, ya que con estos datos se puede establecer cuáles son las zonas más propensas a presentar lluvias súbitas, este es el factor detonante más importante que determina la producción de las avenidas torrenciales. (Pizarro, 2003).

También se debe tener en cuenta que para un correcto estudio de avenidas torrenciales los datos del caudal de determinada cuenca son imprescindibles, pero en algunas ocasiones no se cuentan con estos registros o en otras, estas no tienen la suficiente duración como para hacer los análisis de frecuencia requeridos, por tanto, la información pluviométrica es utilizada para estimar crecidas. (Pizarro, 2003)

Para el estudio, en ninguno de estos afluentes se cuenta con una estación limnimétrica que provea los datos de los caudales, por tanto, se requirieron datos de precipitación.

Las estaciones: Sevilla, La Judía, Floridablanca, el Rasgón, El aburrido, Club Campestre, Ciudadela, Acapulco, Centro, Florida, Norte y Pajonal provistas por la CDMB, no tienen una toma continua de datos de por lo menos 20 años que sirviera para realizar un correcto análisis con un periodo de retorno de 50 años.

Por tanto, se acudieron a datos provistos del IDEAM en dos estaciones específicas: La Floresta y Bucaramanga, ya que de las otras estaciones solicitadas no había información disponible para el público: Ladrillera, Vivero, Bonanza, Totumos, Floridablanca, La Flora, Neomundo, y Ceylan. (Ver tabla 7 y 8).

Tabla 7.

Precipitación máxima para la estación Bucaramanga

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	8,3147	35,6718	53,7845	76,6700	93,6478	110,5002	149,4435
18 hr	X18 = 91%	7,5664	32,4613	48,9439	61,3360	85,2195	100,5552	135,9936
12 hr	X12 = 80%	6,6518	28,5374	43,0276	61,3360	74,9182	88,4001	119,5548
8 hr	X8 = 68%	5,6540	24,2568	36,5735	52,1356	63,6805	75,1401	101,6216
6 hr	X6 = 61%	5,0720	21,7598	32,8086	46,7687	57,1251	67,4051	91,1605
5 hr	X5 = 57%	4,7394	20,3329	30,6572	43,7019	53,3792	62,9851	85,1828
4 hr	X4 = 52%	4,3237	18,5493	27,9679	39,8684	48,6968	57,4601	77,7106
3 hr	X3 = 46%	3,8248	16,4090	24,7409	35,2682	43,0780	50,8301	68,7440
2 hr	X2 = 39%	3,2427	13,9120	20,9760	29,9013	36,5226	43,0951	58,2830
1 hr	X1 = 30%	2,4944	10,7015	16,1354	23,0010	28,0943	33,1501	44,8331

Tabla 8.

Precipitación máxima para la estación la floresta

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	10,2772	46,4436	70,3890	100,6440	123,0889	145,3680	196,8517
18 hr	X18 = 91%	9,3523	42,2637	64,0540	80,5152	112,0109	132,2849	179,1351
12 hr	X12 = 80%	8,2218	37,1549	56,3112	80,5152	98,4711	116,2944	157,4814
8 hr	X8 = 68%	6,9885	31,5817	47,8645	68,4379	83,7004	98,8502	133,8592
6 hr	X6 = 61%	6,2691	28,3306	42,9373	61,3928	75,0842	88,6745	120,0796

5 hr	X5 = 57%	5,8580	26,4729	40,1217	57,3671	70,1606	82,8598	112,2055
4 hr	X4 = 52%	5,3441	24,1507	36,6023	52,3349	64,0062	75,5914	102,3629
3 hr	X3 = 46%	4,7275	21,3641	32,3789	46,2962	56,6209	66,8693	90,5518
2 hr	X2 = 39%	4,0081	18,1130	27,4517	39,2512	48,0047	56,6935	76,7722
1 hr	X1 = 30%	3,0832	13,9331	21,1167	30,1932	36,9267	43,6104	59,0555

Debido a que solo se contaron con dos estaciones para la zona de estudio, no es posible realizar una correcta interpolación de los datos que permita analizar como varía la precipitación en el tiempo y el espacio, lo que se puede analizar de las precipitaciones máximas para la estación Bucaramanga y la floresta con un periodo de retorno de 50 años son 93,6478 mm/h y 123,0889 mm/h para tener una idea de si podría estar relacionado con fenómeno se relaciona con la precipitación máxima de la avenida torrencial en el Rio de Oro que afecto a girón esta fue de 285mm/h. Por lo tanto, se puede decir que la precipitación de acuerdo a estas dos estaciones seria baja y el valor no se relaciona con el fenómeno.

Pero para tener completa seguridad de ello se necesitan datos de un mayor número de estaciones. Por otra parte, al relacionar el caudal con este dato, también darían valores bajos, esto queda evidenciado en la poca capacidad de transporte de material heterométrico en la zona de estudio.

4.3.10 Alta densidad de drenaje. La Densidad de drenaje se define como la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta.

$$Dd = \Sigma Lu / S$$

Donde Dd es la densidad de drenaje (en Km/Km²), ΣLu es la longitud total de cauces (en Km) y S es el área total de la cuenca en Km². (Urdiain, 1983).

Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Su valor está controlado por las características litológicas pues está estrechamente relacionada con la permeabilidad. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal.

Una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración, y a su vez aumenta la probabilidad de ocurrencia de las avenidas torrenciales (Urdiain, 1983). (Ver Tabla 9)

Tabla 9.

Calculo de la densidad de drenajes para cada una de las subcuencas y para la cuenca completa.

Subcuenca	Densidad de Drenaje
Quebrada Chimitá.	7,66
Quebrada Seca y Quebrada La Joya.	7,18
Quebrada Seca	7,92
Quebrada la Joya.	8,71
Quebrada la Rosita.	6,93
Cuenca completa	7,50

La densidad de drenaje para cada una de las subcuencas sobre todo para la quebrada la Joya y para la cuenca completa es muy alto, lo que indica que el suelo del miembro órganos es poco permeable, y efectivamente que a mayor densidad de drenaje hay menor tiempo de concentración y mayor relación con la ocurrencia de las avenidas torrenciales. El cálculo de la densidad de drenaje por el método analítico conduce a valores variables entre 0,89 y 5.48 Km/Km² según el orden al que se aplique la fórmula utilizada. (Urdiain, 1983) Debido a esto se reitera que el dato de densidad de drenaje es muy alto y se encuentra relacionado con las avenidas torrenciales.

4.3.11 Factores intrínsecos relacionados con las avenidas torrenciales

4.3.11.1 Geología. Las unidades geológicas de la zona de estudio basadas en la cartografía tomada de INGEOMINAS, complementada con la Cartografía en desarrollo del convenio No. 3001-2008 CDMB-IGAC-MUNICIPIO DE BUCARAMANGA del año 2008, y Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca (2009) se caracterizan por ser suelos de origen predominantemente sedimentario de la Formación Bucaramanga.

En el presente análisis, el insumo de geología es modificado, pues las zonas de mayor influencia adyacentes a las microcuencas no están cartografiadas, por tanto, por medio de la teledetección y las estaciones de campo (Ver figura 14), se completan las Unidades Geológicas Superficiales de la zona de estudio a escala 1:15.000 (Ver Figura 38.)

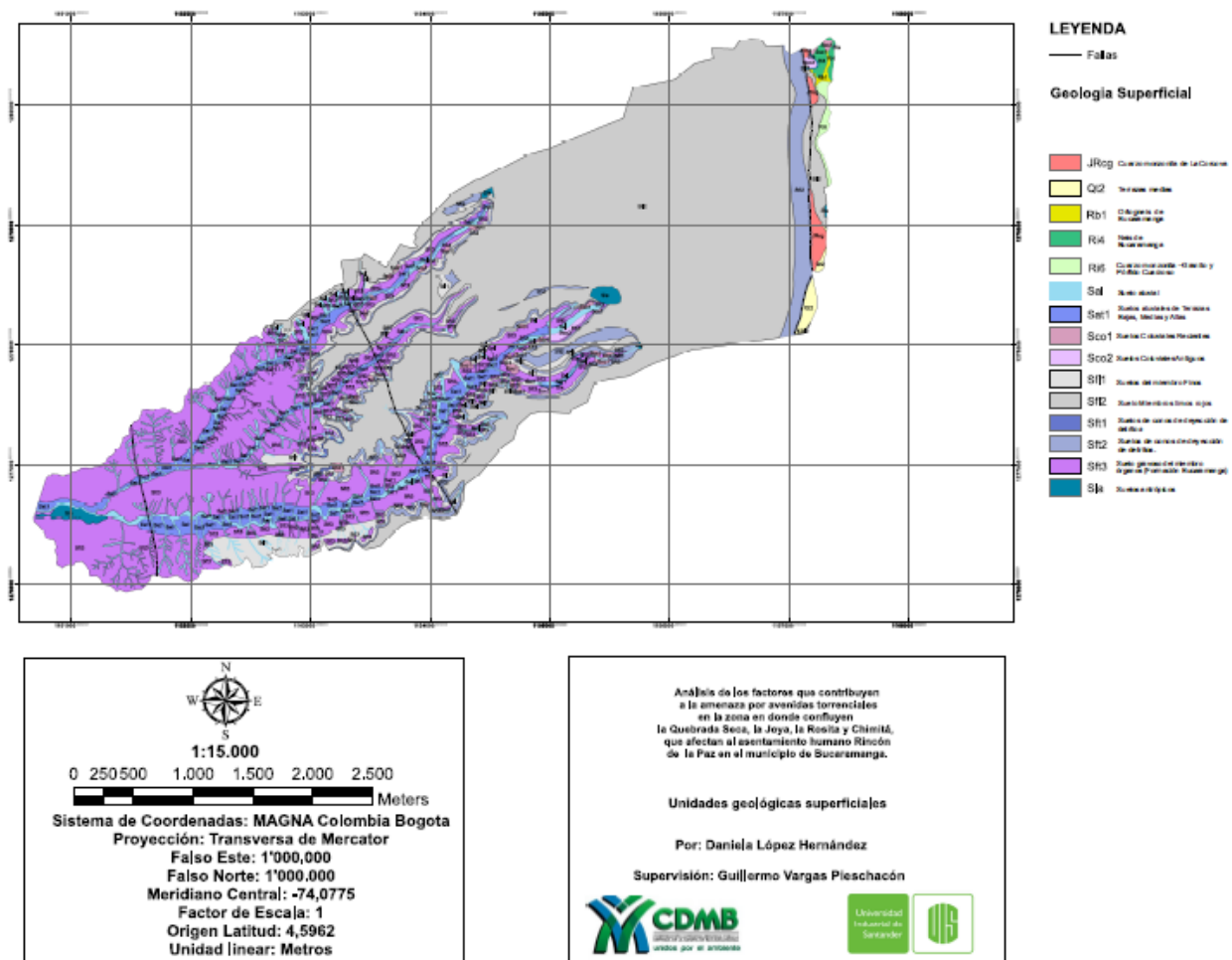


Figura 38. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales. Adaptado de: Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca (2009). (Ver apéndice J)

Las unidades Geológicas superficiales que inciden en mayor medida en la zona de estudio y que fueron modificadas son:

4.3.11.1.1 *Suelos antrópicos (Sla)*. Los suelos antrópicos son aquellos compuestos por materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, están aleatoriamente en el lugar, con el único objetivo de cumplir y satisfacer las necesidades de los diseños que presentan las obras de ingeniería

o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. Estos suelos se componen principalmente de materiales de tamaño de grano arena, arcilla y grava que son producto de residuos de construcción, en estos se incluye los rellenos de basura. (Ver figura 32) Es importante mencionar que los suelos antrópicos presentan un nivel de compactación bajo. (INGEOMINAS, 2009). Sobre este suelo se encuentra el asentamiento humano Rincón de la Paz debido a su característica mencionada de poca compactación y composición heterogénea se relaciona con el fenómeno de las avenidas torrenciales, pues uno de los detonantes principales de ocurrencia es la inestabilidad en la composición de los suelos en estudio.

4.3.11.1.2 Suelos aluviales de Terrazas Bajas, Medias y Altas (Sat1). Estos suelos afloran en mayor proporción sobre el margen norte de la quebrada Chimita y la Rosita (Ver apéndice G), son suelos aluviales recientes. En cuanto al tamaño de grano de los sedimentos, estos están compuestos por materiales de tamaño de grano arena, grava, cantos y bloques, redondeados a subredondeados, con una esfericidad bastante alta, respecto a su composición, se destaca que esta varía según la zona que es atravesada por las corrientes.

La matriz es areno arcillosa de color amarillo- grisáceo, con una consistencia que va de baja a media, generalmente son matriz soportados, sueltos y permeables, con humedad baja, siendo fácilmente disgregables o erosionables. Se destaca que estos suelos son susceptibles a la erosión. (INGEOMINAS, 2009). Así como el suelo anteriormente mencionado este también se encuentra relacionado con las avenidas torrenciales, debido a la alta erosionabilidad que presenta y es un detonante de avenidas torrenciales.

4.3.11.1.3 *Suelos aluviales de cauce activo (Sal)*. Los suelos aluviales de cauce activo están conformados por sedimentos recientes, los cuales han sido transportados y depositados por los ríos y las quebradas, configurando así, los cauces activos, abandonados y las llanuras de inundación. En cuanto al tamaño de grano de los sedimentos que forman estos suelos, podemos observar que se componen de granos tamaño bloques, arena, cantos, grava y finos, con unas litologías que incluyen minerales como cuarzo y líticos de variada composición, en cuanto a redondez y la esfericidad, observamos granos con forma subredondeada a redondeada, por lo general clasto soportados, con una granulometría heterogénea, embebidos en una matriz areno limosa. (INGEOMINAS, 2009). Debido a que en la zona hay muchos drenajes intermitentes estos suelos afloran en épocas de sequías y debido a su composición y compactación también se relacionan con el fenómeno de este análisis.

4.3.11.1.4 *Suelo gravoso del miembro órganos (Formación Bucaramanga) Sft3*. Definido por Hubach (1952), este aflora en la escarpa occidental del Abanico de Bucaramanga y se extiende a lo largo de las laderas que recorren el área de estudio. Según INGEOMINAS (2009), este suelo es matriz soportado, con un matriz limo arcillosa, de color gris claro, el cual en algunos sectores adquiere tonos que van desde marrones hasta rojizos causados por alteración. En este se aprecian bloques y cantos redondeados de areniscas cuarzosas micáceas, limolitas rojas que están alteradas, bloques de esquistos, cantos de cuarzo, cuarcitas y conglomerados.

En cuanto a su composición, podemos decir que es variable, se aprecia en su mayoría areniscas silíceas de grano medio, fragmentos de rocas ígneas en menor proporción, y abundante cuarzo

lechoso. Es común observar variaciones tanto laterales como verticales en cuanto a composición y textura.

Esta unidad es generalmente consistente en estado seco, pero pierde completamente su solidez y consistencia al absorber agua, situación que favorece a los procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, originando surcos, cárcavas y estoraques, geoformas características de este suelo. Cabe mencionar que en tiempos de lluvias se presentan desprendimientos de cantos y bloques.

El suelo del miembro órganos es una de las unidades más importantes en el presente análisis debido a su gran extensión en el área de estudio, también como se ha mencionado en su descripción su composición favorece a los procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, por lo que es un detonante fuerte al fenómeno de las avenidas torrenciales.

Las Unidades Geológicas Superficiales que serán descritas a continuación no influyen de la misma forma en este análisis como las anteriormente mencionadas, pues debido a la distancia con los cauces principales no van a generar la misma influencia, aunque cabe aclarar que debido a que se encuentran adyacentes a los drenajes secundarios de los cauces principales aportan sus sedimentos, pero en menor medida.

4.3.11.1.5 Suelos de conos de deyección de detritos (Sft1). Materiales asociados a flujos torrenciales dejados por las corrientes de agua al llegar a zonas planas, debido a una pérdida repentina en la capacidad de arrastre por disminución en la pendiente. Estas unidades tienen forma

de cono o abanico, cuya parte más distal está conformada por materiales finos y mejor seleccionados que los ubicados hacia el ápice, donde son más gruesos y mal calibrados. Estos depósitos son medianamente compactos, matriz soportados y se componen principalmente de cantos, gravas y bloques de rocas, angulares a subredondeados, en matriz areno-arcillosa, cuya composición depende de la litología de la fuente de origen. (INGEOMINAS, 2009).

4.3.11.1.6 Suelos Coluviales Recientes (Sco1). Masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y /o fragmentos de roca angulares a subangulares, depositados por la gravedad, lavado de la lluvia o movimientos en masa. Materiales clastosoportados o matriz-soportados según el origen de los sedimentos. Se caracteriza por mostrar signos de inestabilidad latente y meteorización intermedia a baja. (INGEOMINAS, 2009).

4.3.11.1.7 Suelos Coluviales Antiguos (Sco2). Son depósitos de características similares a los de Sco1 pero que no presentan signos claros de inestabilidad y su meteorización va de intermedia a alta. (INGEOMINAS, 2009).

4.3.11.1.8 Suelo Miembros limos rojos (Formación Bucaramanga) Sfl2. Depósito compuesto por arcillas y limos de color rojo con fragmentos angulares de cuarzo, cantos redondeados de arenisca cuarzosa, con diámetros entre 2 y 8 centímetros, se pueden encontrar bloques de diferente tamaño principalmente de areniscas y neis. Presenta variaciones laterales y verticales de arcillas limosas, gris verdosas con tintes rojizos de oxidación. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión. (INGEOMINAS, 2009)

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano y pendientes entre 2 y 7%; el drenaje es escaso paralelo y superficial (Niño y Vargas, 1992). (INGEOMINAS, 2011)

4.3.11.1.9 Suelos miembro gravoso (Formación Bucaramanga) Sft2. Materiales de consolidación intermedia, color amarillo naranja, con variaciones desde matrizsoportados hasta clasto soportados relación (70-30%) de matriz arenolimsa a (30-80%) de clastos que se redistribuyen en gravas (60% a 20%) y bloques (10% a 20%) respectivamente, los clastos son rocas principalmente sedimentarias de las formaciones Girón y Jordán, (INGEOMINAS, 2009).

4.3.11.1.10 Suelos del miembro Finos (Formación Bucaramanga) Sfl1. Secuencia dividida en dos conjuntos: Conjunto Arcilloso, localizado hacia la base, el cual se caracteriza por ser arcillolimoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente. Conjunto Arenoso, localizado hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles arenolimosos con niveles limoarenosos arcóscicos de colores amarillento a pardo amarillento. (INGEOMINAS, 2009).

A continuación se muestra una columna de los suelos más influyentes en el fenómeno:

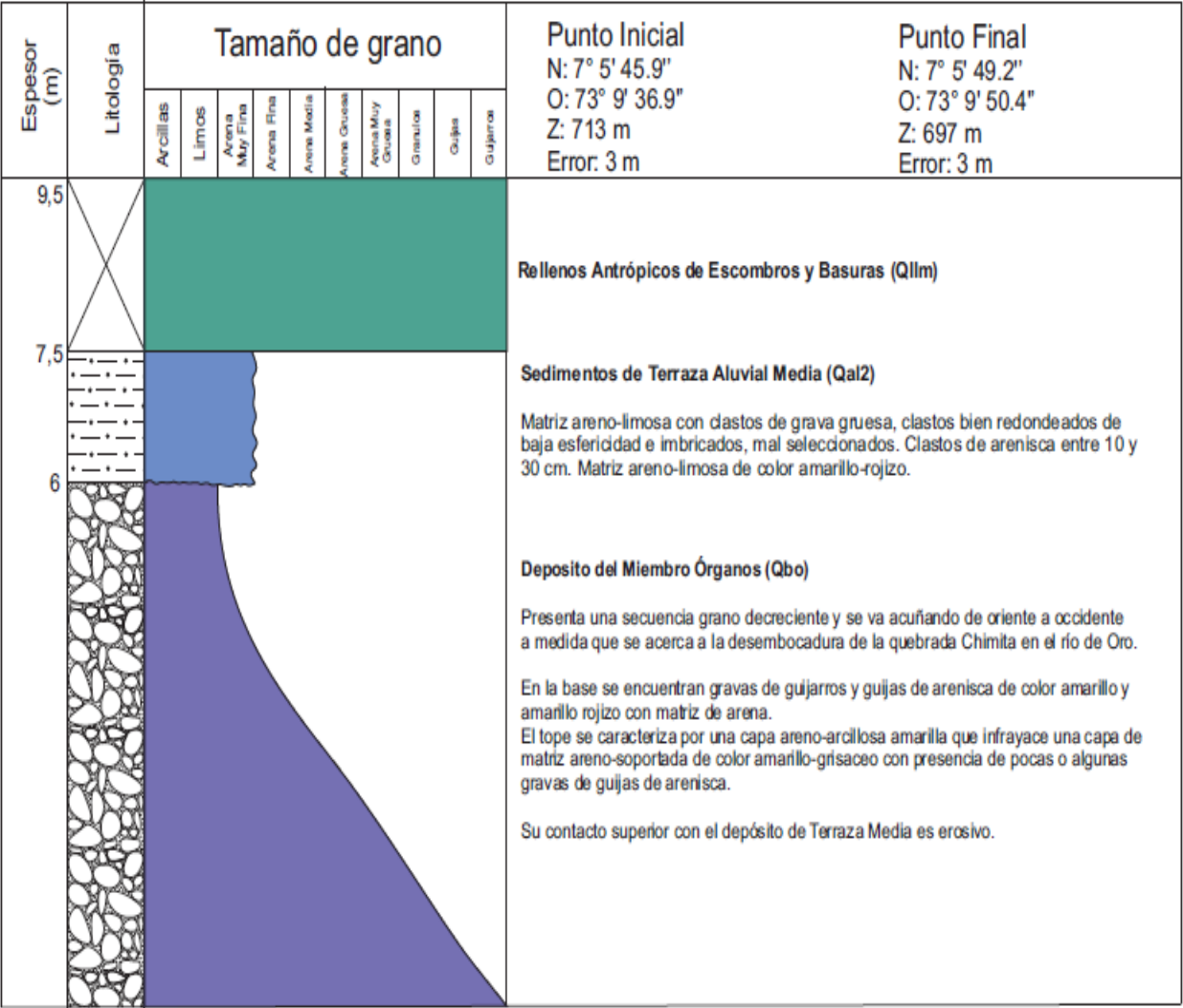


Figura 39. Columna estratigráfica de la quebrada Chimita. Modificado de: Corporación autónoma regional para la defensa de Bucaramanga.



Figura 40. Punto Columna estratigráfica de la quebrada Chimita. Modificado de: Corporación autónoma regional para la defensa de Bucaramanga

Análisis. De este parámetro intrínseco se puede deducir que el suelo del miembro Órganos (Sft3), los suelos de terraza aluviales (Sat1) y los suelos aluviales (Sal) del mismo cauce activo son los que se encuentran más relacionados con el fenómeno, en primera instancia por la corta distancia que tienen a los afluentes principales y en segunda instancia debido a su composición y grado de compactación, estas unidades son completamente erosionables, poseen fragmentos heterométricos y tienen poca compactación, por tanto, se relacionan con los escenarios en donde se producen avenidas torrencial, debido a esto geología es considerado un factor que podría actuar como detonante pues esas litologías hacen más probable la ocurrencia del fenómeno.

Los demás suelos que han sido mencionados anteriormente no tiene una gran influencia en el análisis pues a pesar de tener una composición también frágil, hay una distancia que los separa de los afluentes principales considerable. (Ver tabla 10)

Tabla 10.

Reclasificación de Variables Geología.

Geología	
Suelos antrópicos (Sla).	5
Suelos aluviales de Terrazas Bajas, Medias y Altas (Sat1).	3
Suelos aluviales de cauce activo (Sal).	2
Suelo gravoso del miembro órganos (Formación Bucaramanga) Sft3.	5
Suelos de conos de deyección de detritos (Sft1).	1
Suelos Coluviales Recientes (Sco1)	1
Suelos Coluviales Antiguos (Sco2)	1
Suelo Miembros limos rojos (Formación Bucaramanga) Sfl2.	1
Suelos miembro gravoso (Formación Bucaramanga) Sft2.	1
Suelos del miembro Finos (Formación Bucaramanga) Sfl1.	1

Nota: Modificado. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare

"CORNARE", 2012

4.3.11.2 Geomorfología. La geomorfología de la zona de estudio se realizó por medio de fotointerpretación, específicamente en los lugares que no cubría la “Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”, a escala 1:15.000 en el año 2009. A continuación, (Ver figura 36) se observa el mapa geomorfológico para la zona de estudio.

Las geoformas que se presentan en determinado ambiente, son el producto de la evolución de la zona en donde están implícitamente las pendientes, composición y forma.

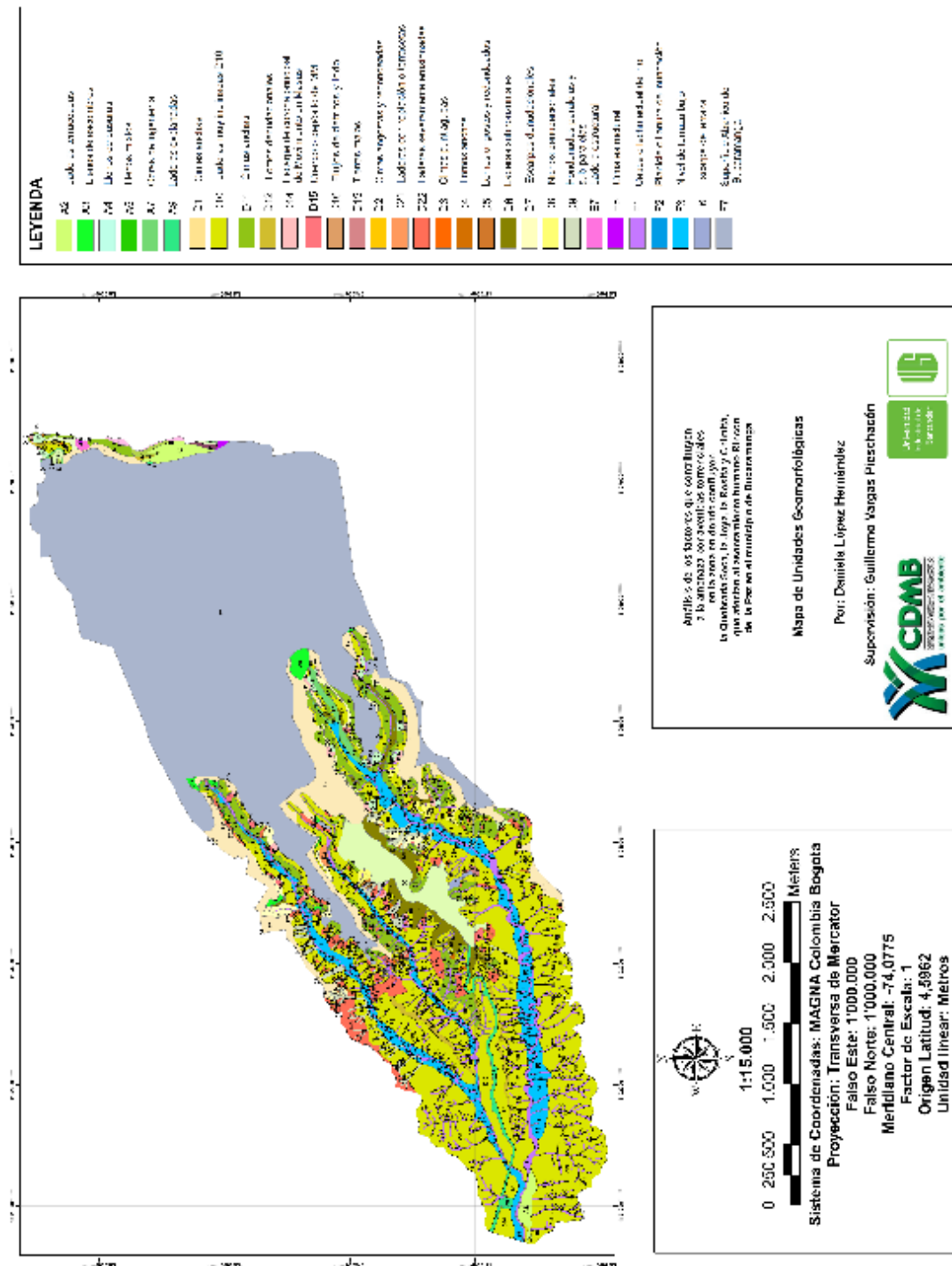


Figura 41. Mapa de Unidades Geomorfológicas. Adaptado de: Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca (2009) (Ver apéndice I.)

4.3.11.2.1 Laderas terraceadas A2. Esta geoforma corresponde a una superficie natural del terreno, la cual presenta pendientes con inclinaciones que oscilan entre los 10° y 65°, han sido intervenidas por medio de la acción del hombre, mediante cortes sucesivos en formas de terrazas, esto para fines de ingeniería como pueden ser la estabilización de laderas, para urbanización, entre otros.

Esta geoforma corresponde al asentamiento humano Rincón de la Paz

4.3.11.2.2 Llenos de escombros A3. Geoformas irregulares asociadas a botaderos de desechos o estériles provenientes de la explotación minera y de la construcción.

4.3.11.2.3 Llenos de basuras A4. Geoformas asociadas a botaderos de desechos orgánicos principalmente, los cuales son depositados sobre las laderas de algunas microcuencas.

4.3.11.2.4 Llenos mixtos A5. Llenos realizados en antiguos cauces de ríos y quebradas, compuestos por acumulaciones de escombros mezclados con basura.

4.3.11.2.5 Obras de ingeniería A7. Corresponden a obras de ingeniería civil para mitigar y prevenir movimientos en masa.

4.3.11.2.6 Laderas explanadas A9. Esta geoforma corresponde a cortes realizados en las laderas para disminuir su pendiente, con el propósito de adecuar o adaptar el terreno para llevar a cabo la construcción de viviendas o algunas obras de infraestructura. Para la construcción de la carretera de la 45 se generó esta geoforma.

4.3.11.2.7 *Cimas anchas D1*. Cúspides de colinas con formas semiredondeadas, a partir de las cuales divergen laderas en todas las direcciones. Este tipo de geoformas se presentan achatadas y por lo general semiplanas.

4.3.11.2.8 *Laderas muy inclinadas D10*. Esta geoforma corresponde a una superficie natural del terreno, la cual presenta unas laderas muy empinadas con inclinaciones que oscilan entre los 40° y 70°. Son alargadas y rectilíneas, se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos de ladera. (Ver figura 41.) Se encuentran principalmente afectadas por procesos denudacionales como la gravedad, los grados de inclinación de la pendiente, la disposición y el tipo de materiales, así como de la permeabilidad de los mismos y el clima, por lo general presentan buena cobertura vegetal. Se resalta que a partir de fenómenos que se presentan en las vertientes de estas laderas se generan procesos denudacionales que causan movimientos en masa.



Figura 42. Laderas muy inclinadas en la zona aledaña al asentamiento humano Rincón de la Paz.

Esta es una de las geoformas más influyentes en la zona de estudio relacionada con las avenidas torrenciales debido a sus inclinaciones y a los procesos denudacionales que ocurren y pueden generar movimientos en masa.

4.3.11.2.9 Laderas moderadas D11. Laderas onduladas con pendientes inclinadas entre 10° y 40° . Por lo general presentan buena cobertura vegetal.

4.3.11.2.10 Lomos denudacionales D12. Divisorias de aguas que presentan terminación en forma de crestas semiredondeadas, aplanadas e incluso llanas. Presenta pendientes rectas a levemente cóncavas, con inclinaciones mayores a 10° .

4.3.11.2.11 Escarpe de corona principal de Movimiento en Masas D14. Superficie casi vertical que se desarrolla en la periferia de un deslizamiento, causada por el desplazamiento de material hacia afuera y abajo de la ladera. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi-paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

4.3.11.2.12 Cuerpo o depósito de MM D15. Masa de suelo o roca, o mezcla de ambos, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o por desgarre de una zona de poco espesor.

4.3.11.2.13 Flujos de detritos y lodo D16. Son movimientos rápidos de detritos. En su parte superior (corona) se producen superficies de desgarre o pequeños escarpes irregulares o

semicirculares. Por lo general el material desprendido no se acumula y casi todo es arrastrado, depositado o lavado por las corrientes.

4.3.11.2.14 Tierras malas D19. Terrenos afectados por erosión hídrica severa que desarrollan cárcavas profundas, hondonadas estrechamente espaciadas y estoraques, con cobertura vegetal prácticamente ausente.

4.3.11.2.15 Cimas angostas y redondeadas D2. Cúspides de colinas con geometría angosta, semiredondeadas a redondeadas. La parte superior presenta laderas con inclinación suave.

4.3.11.2.16 Laderas con reptación o terracetas D21. Terrenos con arrugamientos en su superficie (reptación) que muestran desplazamiento lento, evidenciado por la inclinación del tronco de los árboles y de obras de infraestructura (cercas, postes, etc.).

4.3.11.2.17 Laderas severamente erosionadas D22. Superficie natural del terreno con pendientes mayores a 10° de inclinación, donde los procesos denudativos han actuado profundamente, pudiéndose distinguir erosión laminar, surcos y cárcavas. Esta geoforma también es influyente en el fenómeno de las avenidas torrenciales y aflora cerca de las zonas susceptibles a presentar el fenómeno

4.3.11.2.18 Cimas puntiagudas D3. Pináculos de colinas con geometría angosta y puntiaguda

4.3.11.2.19 *Lomos anchos D4*. Divisorias de aguas aplanadas a semiredondeadas, algunas de las cuales son aprovechadas para la construcción de caminos de herradura.

4.3.11.2.20 *Lomos angostos y redondeados D5*. Divisorias de aguas que terminan en crestas semiagudas, semiredondeadas a redondeadas, en donde la inclinación de sus laderas oscila entre 20° y 35°.

4.3.11.2.21 *Laderas subhorizontales D6*. Superficie natural suavemente inclinada del terreno con pendientes menores a 10°, ligeramente disectada, donde se desarrollan suelos residuales.

4.3.11.2.22 *Escarpes denudacionales D7*. Laderas cortas y muy empinadas, mayores a 70° de inclinación, erosionadas, asociadas a depósitos fluviotorrenciales y macizos rocosos.

4.3.11.2.23 *Nichos denudacionales D8*. Microcuencas cerradas con forma de cubetas semicirculares a ovaladas (vista en planta), donde los procesos denudacionales han venido trabajando sobre materiales poco consolidados.

4.3.11.2.24 *Hondonadas paralelas y subparalelas D9*. Depresiones alargadas paralelas a la pendiente del terreno, formadas por erosión profunda, algunas de las cuales se asocian a corrientes de agua.

4.3.11.2.25 *Laderas moderadas D11*. Laderas onduladas con pendientes inclinadas entre 10° y 40°. Por lo general presentan buena cobertura vegetal.

4.3.11.2.26 *Lomos denudacionales D12*. Divisorias de aguas que presentan terminación en forma de crestas semiredondeadas, aplanadas e incluso llanas. Presenta pendientes rectas a levemente cóncavas, con inclinaciones mayores a 10°.

4.3.11.2.27 *Lomo o cima estructural E1*. Lomo o abombamiento de la superficie del terreno producto de plegamiento y fallamiento. Las dimensiones pueden variar de unas decenas de metros a kilómetros dando lugar a cerros o montañas enteras.

4.3.11.2.28 *Ladera estructural E7*. Superficie natural inclinada del terreno, formada por capas o planos de discontinuidad (foliación, diaclasamiento, estratificación, etc.), ubicados en el mismo sentido de la pendiente.

4.3.11.2.29 *Cima estructural E8*. Geoforma también denominada cumbre producto de la actividad tectónica. Se caracteriza por presentar forma aproximadamente circular, desde la cual divergen laderas en todas las direcciones. Estas geoformas se muestran achatadas y por lo general semiplanas en su cúspide.

4.3.11.2.30 *Cauce o lecho actual del río F1*. Corresponde a una geoforma de ambiente fluvial, esta se deriva de procesos agradacionales y degradacionales de corrientes fluviales, incluyen la influencia de cauces actuales de corrientes como la quebrada Chimitá. Esta geoforma conforma el

dominio del cauce actual de las corrientes de agua, incluyendo las vegas más recientes y las barras torrenciales. (Ver Figura 42.)



Figura 43. Cauce o lecho actual del río F1, Quebrada Chimita.

4.3.11.2.31 Planicie o llanura de inundación F2. Zona aledaña al cauce actual de las corrientes fluviales, donde se presentan inundaciones, crecidas de caudales, también se observan barras laterales, acumulaciones de arena y transporte de sedimentos evidenciado.

4.3.11.2.32 Nivel de terraza bajo F3. Corresponde a una geoforma de ambiente fluvial, formada por la acumulación de material, a partir de procesos de incisión, eventos fluviales y fluvio-torrenciales, dejando así diferentes niveles con alturas menores a los 2 metros. Esta geoforma presenta una morfología plana a ligeramente inclinada, que se encuentra limitada ya sea por un talud o por un escarpe adyacente a los cursos actuales de los ríos y quebradas.

4.3.11.2.33 Escarpe de terraza F6. Cara frontal de las terrazas que presentan una inclinación aproximadamente vertical (entre 80° y 90°). Estas geoformas suelen presentarse por actividad erosiva de las corrientes.

4.3.11.2.34 Superficie Abanico de Bucaramanga F7. Geoforma levemente inclinada hacia el Occidente, asociada al nivel más superficial del abanico de Bucaramanga, limitada por escarpes fuertemente erosionados. Sobre esta superficie se encuentra construida la mayor parte de la ciudad de Bucaramanga. (INGEOMINAS, 2009)

Las geoformas que fueron modificadas fueron : D10 Laderas muy inclinadas, F1 Cauce o lecho actual del río, F3 Nivel de terraza bajo, A9 Laderas explanadas, D12 Lomos denudacionales D1, D22. Laderas severamente erosionadas, estas se encuentran cercanas a los afluentes principales.

Analisis. Analizando la geomorfología, esta se encuentra relacionada con las pendientes, los drenajes, la erosión, composición, forma y en general el ambiente de la zona, en este caso de estudio las laderas severamente erosionadas, las muy inclinadas, los niveles de terraza, y las planicies de inundación, por su gran extensión en la zona, morfología, y cercanía a los afluentes principales, se pueden relacionar con las avenidas torrenciales ya que debido a la erosión que producen son aportantes al fenómeno. Las otras geoformas a pesar de también tener características propias que producen erosión, debido a la distancia a los afluentes principales no se tienen en cuenta en el respectivo análisis. Aun así, la geomorfología en este caso no se toma como un factor detonante debido a los siguientes:

La geoforma de las cuencas hidrográficas en las que presentan normalmente avenidas torrenciales en este caso no se cumple, pues los valles no son estrechos y tampoco tienen pendientes abruptas por lo que la geomorfología no se considera como un factor detonante, pero que si tiene la capacidad de aportar un peso considerable a la erosión que contribuye al fenómeno.

A continuación, se muestra la reclasificación de las geoformas de la zona, teniendo en cuenta lo anteriormente dicho: (Ver tabla)

Tabla 11.

Reclasificación de Variables Geomorfología

Geomorfología	
Laderas moderadas D11.	5
Lomos denudacionales D12.	2
Laderas severamente erosionadas D22.	5
Nivel de terraza bajo F3.	5
Escarpe de terraza F6	5
Laderas explanadas A9	1
Cimas anchas D1	1
Laderas muy inclinadas D10.	
Laderas terraceadas A2.	1
Llenos de escombros A3	1
Escarpe de corona principal de Movimiento en Masas D14	1
Cuerpo o depósito de MM D15.	1
Flujos de detritos y lodo D16	1
Tierras malas D19.	1
Cimas angostas y redondeadas D2.	1
Laderas con reptación o terracetos D21	1
Llenos de basuras A4	1
Cimas puntiagudas D3.	1
Lomos anchos D4.	1
Lomos angostos y redondeados D5	1
Laderas subhorizontales D6.	1
Escarpes denudacionales D7	1
Nichos denudacionales D8.	1
Hondonadas paralelas y subparalelas D9.	1
Lomos denudacionales D12	1
Lomo o cima estructural E1.	1
Ladera estructural E7.	1
Cima estructural E8	1
Cauce o lecho actual del río F1.	1
Planicie o llanura de inundación F2	1
Llenos mixtos A5.	1
Obras de ingeniería A7.	1
Superficie Abanico de Bucaramanga F7	1

Nota: Modificado. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare

"CORNARE", 2012

4.3.11.3 Usos de suelo. El uso del suelo es tomado y modificado de El Plan de Ordenamiento Territorial segunda generación establecido para los años 2013-2027 en donde se realiza la Cartografía en desarrollo del convenio No. 3001-2008 CDMB-IGAC-MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.

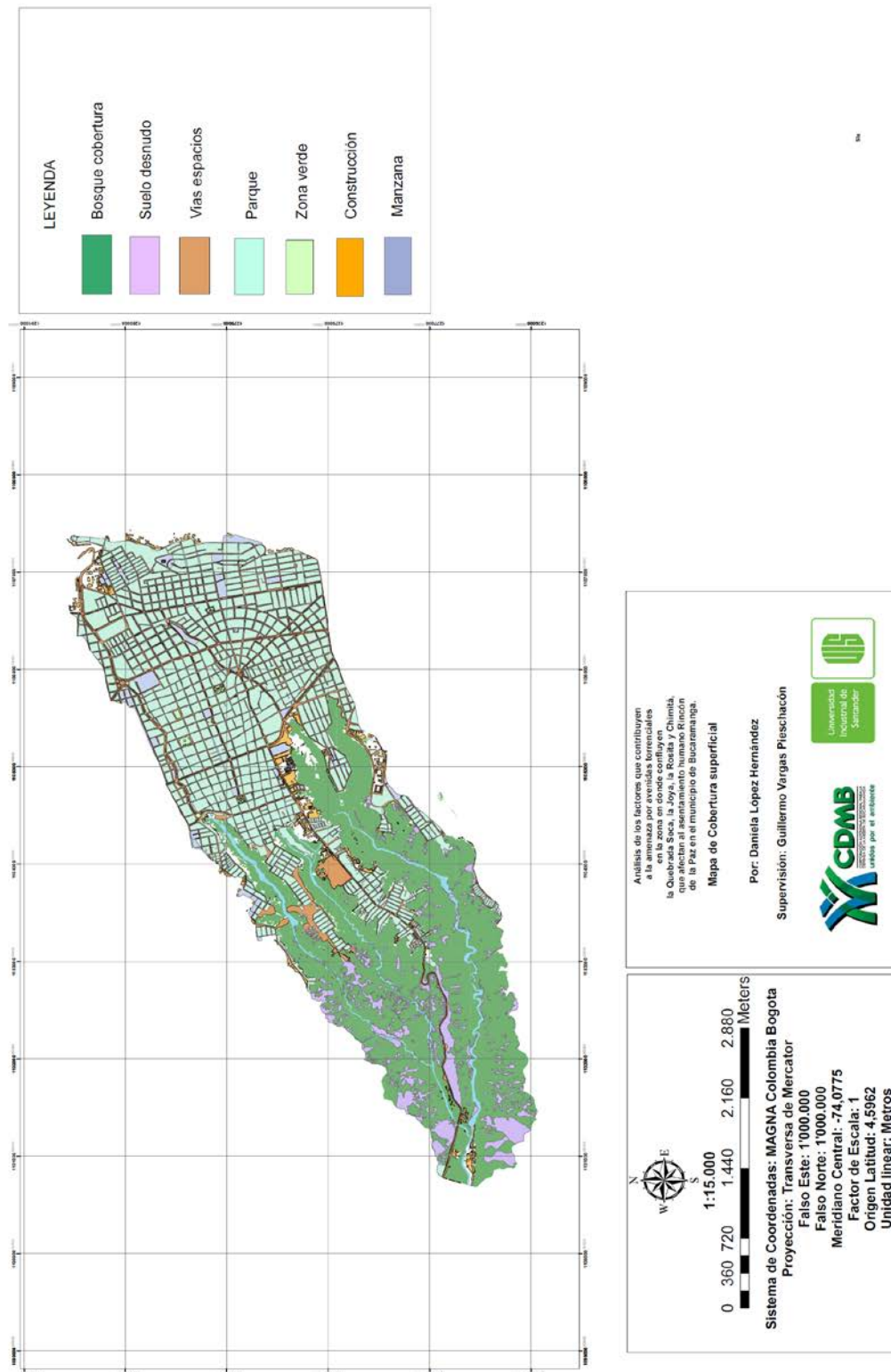


Figura 44. Mapa de Uso del suelo. Adaptado de: Cartografía en desarrollo del convenio No. 3001-2008 CDMB-IGAC-Municipio de Bucaramanga del año 2008 (Ver apéndice K)

4.3.11.3.1 *Bosque*. Ecosistema natural compuesto por especies originarias del país, en el cual las diversas especies de flora y fauna, en conjunto con el medio que las rodea (suelo, clima), conforman una trama interdependiente con características propias y múltiples funciones que en su estado original le otorgan al sistema una condición de equilibrio dinámico.



Figura 45. Bosque fragmentado por tierras desnudas y vegetación secundaria o en transición presente sobre el asentamiento Rincón de La Paz.

4.3.11.3.2 *Suelo desnudo*. Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno que se encuentran desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, esto debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión, degradación y/o condiciones climáticas extremas. En esta categoría se incluyen las áreas donde se presentan tierras salinizadas, en proceso de desertificación o con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de surcos, cárcavas y estoraques.

Análisis. El uso del suelo en la zona de estudio no es un factor detonante para las avenidas torrenciales ya que en gran medida la zona se encuentra rodeada de bosque y a pesar de que tiene un porcentaje considerable de suelo desnudo, no influye de una manera tan importante como para darle un gran peso en la influencia del fenómeno.

A continuación, se muestra la reclasificación de los usos de suelo de la zona, teniendo en cuenta lo anteriormente dicho: (Ver tabla 12)

Tabla 12.

Reclasificación de Variables Uso del suelo.

Bosque	1
Suelo desnudo	5
Vías- espacios	1
Parque	1
Zona Verde	1
Construcción	1
Manzana	1

Modificado. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012

5. Resultados: Análisis de la torrencialidad

Se tiene en cuenta que los factores intrínsecos principales son los siguientes:

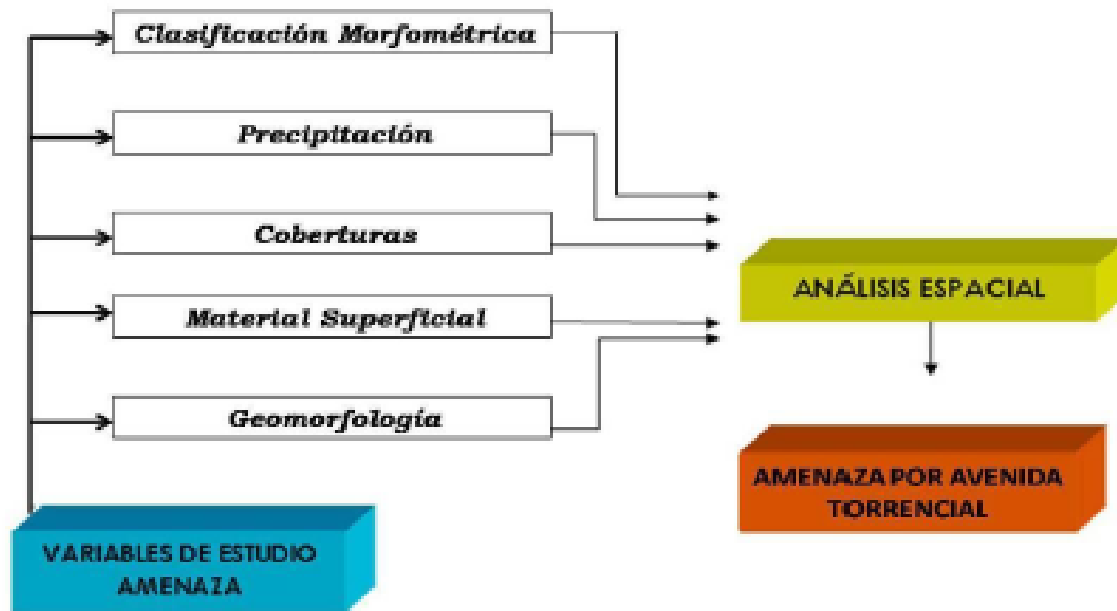


Figura 46. Variables intrínsecas avenidas torrenciales

De lo abordado durante el documento se puede decir que hay una relación directa de estos factores con los extrínsecos(que fueron observados en campo y la teledetección), por tanto se agrupan de la siguiente manera, colocando los resultados para cada uno de los factores intrínsecos:

Clasificación morfométrica:

Índice de compacidad:

- Las microcuencas son jóvenes y pequeñas menores a 200 Km²
- La quebrada Chimita y la zona de confluencia de la quebrada la Joya y quebrada seca son redondeadas

Pendiente media:

- La pendiente del cauce central es muy baja
- Varia de un relieve accidentado a muy fuerte

No hay relación de este factor con las avenidas torrenciales.

Densidad de drenajes

-Posee una red de drenaje densa

A partir de este análisis para la Clasificación morfométrica, se propone la siguiente ponderación:

Tabla 13.

Ponderación de factores de la clasificación morfométrica

Coeficiente de compacidad	40%
Densidad de Drenajes	40%
Pendiente Media	20%
Clasificación morfométrica	100%

Modificado. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012

Geología:

- Posee gran capacidad de socavación e incisión del cauce
- Hay abundante material detrítico a ser arrastrado y capacidad de transporte de material heterométrico

A partir del análisis realizado de este factor, se le asigna valores de reclasificación a los suelos que tienen más influencia en el fenómeno. (ver tabla) y en la ponderación tiene uno de los valores más altos (Ver tabla)

Geomorfología:

A las geoformas que tienen más influencia en el fenómeno se les asigna el mayor valor.

Pero en general la geoforma de los cauces no se relacionan con las avenidas torrenciales debido a que no son cuencas con valles o cañones estrechos en V, sino que son ensanchados y de forma cuadrada y escarpada. De esto se puede deducir que la geomorfología tendrá una ponderación baja

Uso del suelo:

El suelo desnudo aporta mayor valor a la capacidad erosiva de las microcuencas por esto se le da el mayor valor. Pero debido a que la zona boscosa es la que predomina en la ponderación este insumo tendrá un valor bajo. (Ver tabla)

A partir de este análisis se establece en primera medida cuales son los factores intrínsecos y extrínsecos detonantes que afectan la zona y posteriormente se realiza la ponderación final para cada uno de los factores intrínsecos. (Ver tabla)

Precipitación:

Es el factor detonante principal para las avenidas torrenciales.

Tabla 14.

Análisis de la torrencialidad en la zona de estudio para cada uno de los factores extrínsecos e intrínsecos de la zona de estudio.

Factores extrínsecos e intrínsecos	Es un factor detonante	Se relaciona con las avenidas torrenciales en la zona de estudio
Cuencas Jovenes y pequeñas menores a 200 Km ²	No	Si
Cuencas en regiones montañosas y escarpadas	Si	No
Alta pendiente del canal central y de la pendiente media de la cuenca	Si	No
Gran capacidad de socavación e incisión del cauce	Si	Si
Abundante material detrítico a ser arrastrado	Si	Si
Capacidad de transporte de material heterométrico	Si	No

Factores extrínsecos e intrínsecos	Es un factor detonante	Se relaciona con las avenidas torrenciales en la zona de estudio
Cuencas con valles o cañones estrechos en V	Si	No
Gran Variabilidad del caudal máximo y mínimo en la cuenca	Si	No
Geoforma alargada de la cuenca	No	No
Variaciones extremas en los valores pico de precipitación	Si	No es posible medir
Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa	Si	Si
Alta Densidad de drenajes	Si	Si
Geología	Si	Si
Geomorfología	No	Si
Uso del suelo	No	Si

Tabla 15.

Ponderación de factores de susceptibilidad por avenida torrencial

FACTOR	PESO FACTOR(%)
Clasificación morfométrica	20
Geomorfología	15
Precipitación	30
Materiales superficiales	20
Cobertura superficial	15
Total	100

Modificado. Fuente. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE", 2012.

6. Conclusiones

Durante la realización de la práctica empresarial se pusieron en práctica los conocimientos geológicos adquiridos, identificando los problemas de erosión que presenta el abanico de Bucaramanga y afecta a sus habitantes, especialmente a los ubicados en las geoformas de escarpes erosivos.

El asentamiento humano Rincón de la paz ha sido afectado principalmente por deslizamientos y flujos de detritos ocasionados principalmente por la saturación de agua de las laderas ubicadas al sur, pero no hay evidencia de avenidas torrenciales históricamente.

Por medio del análisis multitemporal se puede identificar que, en cuanto a fenómenos naturales, los más frecuentes son los deslizamientos y caídas de rocas en los bordes de los cauces de las cuencas de las quebradas La Rosita, Chimita y la Joya, es decir ellas tienen mayor capacidad erosiva y para tomar evidencias de las posibles avenidas torrenciales de la cuenca se toman esos puntos críticos.

En el trabajo de campo se puede evidenciar el deterioro de las obras de estabilización de la CDMB, en la ladera adyacente al asentamiento humano Rincón de la Paz y los frecuentes deslizamientos y caídas de detritos generados en las laderas de las quebradas, Chimita, la Rosita, y la Joya.

El valor de la densidad de drenaje indica que la zona de estudio posee zonas donde los suelos son poco permeables y este es un factor que aporta valor a la generación de avenidas torrenciales.

El suelo del miembro Órganos (Sft3), los suelos de terraza aluviales (Sat1) y los suelos aluviales (Sal) se encuentran relacionados con las avenidas torrenciales debido a su cercanía de pocos metros a los afluentes principales, y la baja compactación y erosionabilidad de los mismos.

La geoforma de las cuencas hidrográficas en las que presentan normalmente avenidas torrenciales (Ver figura 19) en este caso no se cumple, pues los valles no son estrechos y tampoco tienen pendientes abruptas por lo que la geomorfología no se considera como un factor detonante, pero que si tiene la capacidad de aportar un peso considerable a la erosión que contribuye al fenómeno.

El uso del suelo en la zona de estudio no es un factor detonante para las avenidas torrenciales ya que en gran medida la zona se encuentra rodeada de bosque y a pesar de que tiene un porcentaje considerable de suelo denudado, no influye de una manera tan importante como para darle un gran peso en la influencia del fenómeno.

Las características que protegen al asentamiento Humano Rincón de la Paz de las avenidas torrenciales son principalmente el talud escarpado de casi 10 metros de altura que lo separan del cauce aluvial, el bajo porcentaje en la Pendiente media, la pendiente del canal central y la poca capacidad de transportar materiales heterométricos, gracias a ello históricamente no han ocurrido.

Hay factores extrínsecos e intrínsecos que son indispensables a la hora de evaluar si una avenida torrencial se puede generar en una cuenca, estos son los llamados factores detonantes, entre los que se encuentran: gran capacidad de incisión del cauce, abundante material detrítico a ser arrastrado, alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa, alta densidad de drenajes y unas Unidades Geológicas Superficiales poco compactas y erosionables, estas características evidencian que si hay una relación con las avenidas torrenciales y se necesita un estudio a mayor profundidad en donde se tengan en cuenta también los caudales y la precipitación.

Aunque hay factores de gran peso que influyen a que se produzcan avenidas torrenciales en la zona, hay otros factores también de gran peso que protegen al asentamiento humano Rincón de la Paz de verse afectado por el fenómeno. Con los datos obtenidos (Ver tabla 8) no se puede descartar la posibilidad de que dentro de la cuenca en las planicies de inundación este fenómeno se presente y que, aunque el asentamiento humano Rincón de la Paz no se vea afectado directamente con las llegadas de estos flujos torrenciales, se pueden producir socavaciones laterales de las laderas escarpadas que los afecten.

Se puede establecer que se debe continuar con el estudio para realizar el mapa de amenazas por avenidas torrenciales en donde se tenga en cuenta el análisis realizado en este estudio y se le asigne el valor de ponderación a cada insumo requerido: Clasificación morfométrica, Geología superficial, geomorfología, precipitación y uso del suelo.

7. Recomendaciones

Uno de los factores más importantes en el estudio de avenidas torrenciales es la precipitación, aunque por parte de la CDMB y del IDEAM se suministraron datos de varias estaciones pluviométricas muchas de estas presentaban años sin toma de datos continuos, por este motivo no es posible un correcto análisis de los datos. Por tanto, se recomienda realizar correcciones o colocar estaciones con registros continuos para estudios futuros.

El estudio de los caudales también es muy importante para relacionarlo con las avenidas torrenciales, en la cuenca hidrografía no se contaba con estaciones limnimétricas que lo

permitieran por tanto es recomendable poner más estaciones en el área metropolitana de Bucaramanga.

Los insumos Geología, Geomorfología y Uso del suelo tomados de (INGEOMINAS, 2009), presenta fallos en su cartografía inicial que es necesario se realicen correcciones a la escala usa de de ellos 1:5000, puede se necesita para otros estudios dentro del area metropolitana de Bucaramanga.

Se recomienda realizar el mejoramiento de las obras civiles como muros de contencion, estructuras escalonadas y de ciclopeo que limitan a la La Quebrada Seca, La Joya, La Rosita y Chimitá, pues los fragmentos encontrados en los cauces puede acelerar la erosión lateral y ocasionar diferentes movimientos en masa con mayor frecuencia y que pueden llegar a afectar al asentamiento humano Rincon de la Paz. (Ver Apéndice G.)

Se recomienda continuar con el estudio para realizar el mapa de amenazas por avenidas torrenciales en donde se tenga en cuenta el analisis realizado en este estudio y se le asigne el valor establecido en este analisis a cada insumo requerido: Clasificacion morfometricas, Geologia superficial, geomorfologia, precipitacion y uso del suelo.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, P., & Aponte. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste. Facultad de ingeniería, UPTC, 22(35), 25-33.
- Bateman, A. (2007). HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA. Grupo de investigación transporte de sedimentos.
- Camino, M. A. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista Universitaria de Geografía, 27(1).
- Campos. (1992). Estudio de riesgo: vulnerabilidad a deslizamientos sismos e inundaciones en Tingo María. Perú.
- Carvajal Pineda, L. (11 de 2 de 2012). Vanguardia. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de Vanguardia:<https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/giron-recor-dara-a-victimas-de-la-tragedia-del-ano-2005-BGVL142939>
- Chío, J. C. (29 de marzo de 2016). Vanguardia. Recuperado el 01 de 06 de 2019, de Vanguardia: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/aguacero-afecto-30-casas-de-rincon-de-la-paz-de-bucaramanga-BDVL352517>
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro - Nare "CORNARE". (2012). Zonificación de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundación y Avenidas Torrenciales, Atención de Áreas Afectadas por Efectos Desastrosos. Municipio de San Rafael: Edición e Impresión Divegraficas Ltda.

- Gaspari, F. J., & Rodríguez Vagaría, A. M. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta de rio Sauce grande, Buenos Aires Argentina. AUGMDOMUS, 148-149.
- Gómez Mazo, J., Guarín, N., Pineda, V., & de Jesús, H. (2015). Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia DAPARD.
- Gonzales, J. L., Hermelin, M., & Chaves, O. A. (2004). Aspectos geomorfológicos de la avenida torrencial del 31 de enero de 1994 en la cuenca del Rio Fraile y sus fenómenos asociados. Cuadernos de Investigación - Universidad EAFIT, 13-17.
- I Porqueras, M. J. (1985). Forma de una cuenca de drenaje análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, vol. XIX, 44.
- I, p. M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, 19(1), 41-68.
- Ibañez, A., Gisbert, B., & Moreno, R. (2011). LA PENDIENTE DEL TERRENO. Universidad Politécnica de Valencia, 3-5.
- INGEOMINAS. (1920 - 1996). Inventario Nacional de Desastres Naturales. Medellín.
- INGEOMINAS. (2009). Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Girón y Floridablanca. Unidades Geológicas Superficiales. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2011). Zonificación Sismo geotécnica Indicativa del Área metropolitana de Bucaramanga. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA.
- URDIAIN, P. T., & San Julián, J. J. C. (1983). Análisis cuantitativo de la red de drenajes de la cuenca del río Deba. Lurralde: Investigación y espacio, (6), 95-118.