

**Caracterización geológica y geomorfológica mediante imágenes aéreas y procesamiento SIG de un área aproximada de 450 hectáreas, en las veredas Vijagual y San Cayetano del municipio de Bucaramanga.**

**Angie Mayerly Naranjo Diaz**

**Trabajo de Grado para optar al título de Geóloga**

**Director:**

**Juan Diego Colegial Gutiérrez**

**PhD. en Ciencias Geológicas**

**Universidad Industrial de Santander**  
**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas**  
**Escuela de Geología**  
**Bucaramanga**

**2019**

### Dedicatoria

*A mi madre Doris Diaz Medina quien ha sido y siempre será el pilar de toda mi vida, por ser la mujer más paciente y humilde, que me ha enseñado a ser una persona solidaria y amable, a mi padre Alfonso Naranjo por siempre estar presente, a mis hermanos Leslie y Cristian por sus grandes consejos, amor, cariño y comprensión.*

*A mis amigos Julián y Josué quienes han estado conmigo desde siempre y por los instantes felices que pasamos juntos, a Ivan y Daniela por su solidaridad y ayuda a través de esta etapa universitaria, a Laura y Tatiana por ser las que me brindan su apoyo incondicional y por compartir conmigo su gran amistad, ustedes son las personas con las que puedo contar, los quiero a todos y cada uno, por lo que son y por lo que me han brindado.*

### **Agradecimientos**

*A toda mi familia por siempre apoyarme en mis decisiones y acompañarme en todo el camino, a mis amigos por depositar su confianza en mí y ayudarme cada vez que lo necesité. Al profesor Juan Diego Colegial Gutiérrez, por ayudarme en la dirección de este proyecto y a la Escuela de Geología por bríndame la formación y conocimiento que he obtenido durante toda la carrera. A mis compañeros de trabajo Eric, Humberto, Robinson, Ciro, Alberto, Diego, Carlos, Rakel, por brindarme su confianza, apoyo y sabiduría durante este proyecto y a mis compañeros de estudio gracias.*

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción.....	16
1. Objetivos.....	18
1.1 Objetivo General.....	18
1.2 Objetivos específicos.....	18
2. Justificación.....	19
3. Plan de Trabajo.....	20
3.1 Fase de recopilación de información.....	20
3.2 Fase de pre-procesamiento.....	20
3.2.1 Geomorfología.....	21
3.2.2 Herramientas Utilizadas.....	21
3.3 Fase de revisión de campo.....	22
3.3.1 Criterios de cartografía geológica.....	22
3.3.2 Unidades geológicas para ingeniería o Unidades Geológicas Superficiales.....	24
3.3.3 Factores Considerados para Caracterizar las Unidades de Roca.....	25
3.4 Fase de procesamiento final y elaboración de informe final:.....	30
4. Marco Geológico Regional.....	31
4.1 Tectónica.....	32
4.1.1 Provincia Macizo de Santander.....	34

4.1.2 Provincia Valle Medio del Magdalena .....	35
4.1.3 Provincia Cordillera Oriental .....	35
4.2 Estructuras.....	36
4.2.1 Región oriental.....	36
4.2.2 Falla de Bucaramanga-Santa Marta .....	36
4.3 Geomorfología (SGC).....	37
4.3.1 Geomorfoestructura: .....	38
4.3.2 Provincia Geomorfológica .....	39
4.3.3 Regiones.....	40
5. Localización.....	42
6. Caracterización de la zona de estudio. ....	45
6.1 Información secundaria.....	45
6.1.1 Zonificación sismogeotécnica.....	45
7. Geología.....	51
7.1 Geología local. ....	51
7.1.1 Neis de Bucaramanga (PEb) .....	51
7.1.2 Cuarzomonzonita, Granito y Pórfido Cuarzoso (JRcg). ....	52
7.1.3 Formación Diamante (PCd). ....	53
7.1.4 Formación Tiburón (TRPt). ....	55
7.1.5 Formación Bocas (TRb).....	56
7.1.6 Formación Girón (Jg).....	57
7.1.7 Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Qbo).....	58
7.1.8 Depósitos de ladera (Ql). ....	59

7.1.9 Depósitos Aluviales (Qal).....	61
7.1.10 Mapa de Geología Local.....	62
7.1.11 Geología Estructural. ....	65
7.2 Unidades geológicas para ingeniería o Unidades Geológicas Superficiales. ....	68
7.2.1 Descripción de las Unidades Geológicas para Ingeniería.....	68
7.3 Geomorfología. ....	83
7.3.1 Pendientes de la Zona .....	84
7.4 Unidades y subunidades del área. ....	88
7.4.1 Geoformas de Origen Estructural (S). ....	89
7.4.2 Geoformas de Origen Denudativo (D).....	92
7.4.3 Geoformas de Origen Fluvial (F).....	101
7.4.4 Geoformas de Origen Antrópico (A). ....	105
8. Conclusiones y recomendaciones. ....	108
Referencias Bibliográficas .....	110

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Unidades geológicas para ingeniería (UGI) según su origen .....	24
Tabla 2. Comparación de perfiles de meteorización de un macizo rocoso.....	27
Tabla 3. <i>Clasificación de los ambientes morfogenéticos.</i> .....	41
Tabla 4. <i>Coordenadas que ubican los límites del polígono perteneciente a la zona de estudio.</i>	43
Tabla 5. <i>Leyenda Mapa de Zonificación Sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga</i> .....	47
Tabla 6. <i>Unidades Geológicas para Ingeniería del estudio de exploración.</i> .....	70
Tabla 7. <i>Unidades geomorfológicas de la zona de estudio (según Carvajal 2011).</i> .....	84
Tabla 8. <i>Descripción de rangos de pendientes.</i> .....	87
Tabla 9. <i>Distribución de las áreas en hectáreas de la zona de estudio para los diferentes rangos de pendientes.</i> .....	87

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Regiones fisiográficas del Departamento de Santander. ....	33
<i>Figura 2.</i> Esquema de Jerarquización geomorfológica .....	38
<i>Figura 3.</i> Localización de la zona de estudio en el mapa Geomorfoestructural de Colombia .....	39
<i>Figura 4.</i> Localización del área de estudio en el mapa de Provincias de Colombia). .....	40
<i>Figura 5.</i> Localización área de estudio escala 1:20.000. ....	44
<i>Figura 6.</i> Mapa de Zonificación Sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga,.....	46
<i>Figura 7.</i> Exposición de roca perteneciente al Neis de Bucaramanga, ubicado por la vía a la verdea Los Magueyes, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 35. ....	52
<i>Figura 8.</i> Exposición de cuarzomonzonita, ubicado por la vía a la verdea Los Magueyes, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 40. ....	53
<i>Figura 9.</i> Exposición de roca caliza perteneciente a la Formación Diamante (PCd), ubicado en el sector de la mina de Cemex, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 178. .	54
<i>Figura 10.</i> Exposición de roca perteneciente a la Formación Tiburón, ubicado sobre la carretera que conduce a la estación de policía, fotografía pereciente al archivo del proyecto. ....	56
<i>Figura 11.</i> Limolita calcárea, fracturada, perteneciente a la Formación Bocas. Ubicada en la carretera que se llega a los tanques del acueducto de Bucaramanga, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 335.....	57

*Figura 12.* Conglomerados subredondeados en matriz limo arcillosa perteneciente al miembro órganos de la Formación Bucaramanga, fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut: 35..... 59

*Figura 13.* Depósitos coluviales sobre el miembro órganos de la Formación Bucaramanga, ubicado por la carretera que conduce de la vía nacional a Los Magueyes, fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut: 74..... 60

*Figura 14.* Depósitos aluviales del Río Suratá ubicado sobre el puente que conduce hacia la estación de policía, fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut: 170..... 61

*Figura 15.* Distribución porcentual de las unidades geológicas en la zona de estudio. .... 62

*Figura 16.* Mapa de Unidades Geológicas de la zona de estudio..... 63

*Figura 17.* Columna esquemática generalizada de las unidades geológicas. .... 64

*Figura 18.* Mapa de localización de trazos aproximado de las fallas presentes en la zona de estudio. .... 67

*Figura 19.* Unidades Geológicas Superficiales. .... 69

*Figura 20.* Suelo transportado de ladera antrópico (Stla). Punto de control Panorámico. E: 1104849 m, N: 1283513 m. fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 30°..... 72

*Figura 21.* Suelo transportado del Miembro Órganos. Estación CX-JR-E30. E: 1104808 m, N: 1283454 m. fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 140°. .... 73

*Figura 22.* Depósito de suelo transportado aluvial de terraza (StaT). CX-LP-05. Punto de control E: 1105795 m, N: 1282743 m. fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 10°..... 75

*Figura 23.* Vista panorámica de suelo transportado de cauce activo (StFca). Estación CX-JR-29. E: 1104785 m, N: 1283394 m. fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 111°..... 76

*Figura 24.* Vista panorámica de suelo transportado coluvial inactivo (Stci). Punto control. E: 1105327 m, N: 1283136 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 20°. ..... 77

*Figura 25.* Suelo transportado coluvial activo (Stca). Estación LN-012. E: 1105529 m, N: 1284174 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 45°. ..... 78

*Figura 26.* Suelo residual de la Formación Tiburón (SrTRpt). Punto Control. E: 1105890 m, N: 1284009 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 320°. ..... 79

*Figura 27.* Roca perteneciente a la Formación Tiburón (RbTRpt). CX-LP-01. E: 1105003 m, N: 1283243 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 75°. ..... 80

*Figura 28.* Azimut 203°. Roca blanda de la Formación Diamante (RbPcd). Estación CX-JR-E28. E: 1105215 m, N: 1284497 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 81

*Figura 29.* Roca blanda de la Formación Bocas (RbTRb). Estación Apique 8. E: 1105970 m, N: 1283866 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 3°. ..... 82

*Figura 30.* Roca intermedia de la Formación Tiburón (RiTRpt). Estación LN-05. E: 1105593 m, N: 1283891 m. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 83

*Figura 31.* Modelo digital de elevación. .... 86

*Figura 32.* Mapa de pendientes del área. .... 88

*Figura 33.* Se aprecia lomo de falla. E: 1105610 m, N: 1285214 m. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 175. .... 90

*Figura 34.* Vista en 3D en donde se aprecia lomo de falla, al noreste de la zona de estudio. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 90

*Figura 35.* Se aprecian posibles facetas triangulares. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 55. .... 91

*Figura 36.* Se aprecia geofoma en el barrio colorados, norte de Bucaramanga. Fotografía  
 pereciente al archivo del proyecto. Azimut 130. .... 93

*Figura 37.* Se aprecia lóbulo coluvial. E: 1104885 m, N: 1283468 m. Fotografía pereciente al  
 archivo del proyecto. Azimut 85..... 94

*Figura 38.* localizada al suroeste de la zona de estudio Corona de movimiento en masa.  
 Fotografía pereciente al archivo del proyecto..... 95

*Figura 39.* Se aprecia crestas inclinadas en la parte sureste de la zona de estudio. .... 96

*Figura 40.* Se aprecian montículos remanentes. E: 1105539 m, N: 1285172 m. Azimut 305.  
 Fotografía pereciente al archivo del proyecto..... 98

*Figura 41.* Vista de ladera suave a moderada ubicada en la parte Oeste de la zona de estudio.  
 Fotografía pereciente al archivo del proyecto..... 99

*Figura 42.* Se aprecia ladera moderada irregular. Ubicada al E: 1105937 m, N: 1283891 m y una  
 altura de 881 msnm. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 100

*Figura 43.* Se aprecia ladera moderada a escarpada, ubicada al E: 1106114 m, N: 1282457 m con  
 una altura de 717 msnm. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 101

*Figura 44.* Se aprecia posible terraza baja al sur de la zona de estudio. .... 103

*Figura 45.* Se aprecia cauce activo perteneciente al Río Surata, ubicado al E: 1104785 m, N:  
 1283394 m y con una altura de 657 msnm. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. .... 104

*Figura 46.* Se aprecia zonas urbanas, ubicadas al suroccidente de la zona de estudio. Fotografía  
 pereciente al archivo del proyecto. .... 105

*Figura 47.* Se evidencia plata de tratamiento de agua, ubicada al sur este de la zona de estudio.  
 Fotografía pereciente al archivo del proyecto..... 106

*Figura 48.* Unidades Geomorfológicas de la zona de estudio..... 107

## Resumen

**Título:** Caracterización geológica y geomorfológica mediante imágenes aéreas y procesamiento SIG de un área aproximada de 450 hectáreas, en las Veredas Vijagual y San Cayetano del municipio de Bucaramanga\*.

**Autor:** Angie Mayerly Naranjo Diaz\*\*.

**Palabras Clave:** Geotecnia, geomorfología, procesos morfodinámicos, USG.

### Descripción:

En el presente proyecto se representan los resultados obtenidos en la realización de la caracterización geológica y geomorfológica mediante imágenes aéreas y procesamiento SIG de una zona de aproximadamente 450 hectáreas aledaña a las Veredas Vijagual y San Cayetano, donde primeramente se realizaron investigaciones previas sobre estudios realizados en el área, seguido del posterior procesamiento de datos, dentro de lo cual incluye la compilación de información y modificación de la cartografía, ya que las planchas existentes en el Servicio Geológico Colombiano se encuentran a una escala 1:100.000, por lo tanto es imprescindible un mejoramiento del detalle de estudio y así determinar contactos y la presencia de estructuras geológicas, además de fallas y geformas predominantes, después esta información es corroborada con visitas de campo, donde se confirma o corrige lo anteriormente mencionado, finalmente esto se acopla generando los mapas geológicos, morfológicos y de unidades geológicas superficiales finales de la zona, basados en estudios específicos de las características de las rocas y su comportamientos. En el área de estudio afloran rocas sedimentarias pertenecientes a las Formaciones Diamante, Tiburón, Bocas que datan del carbonífero Pérmico y Triásico del Grupo Suratá, y depósitos cuaternarios que corresponden al Miembro Órganos, los depósitos de ladera y depósitos aluviales. La Formación Tiburón representa el 49% del área, seguido de Miembro Órganos con el 36%, los depósitos de ladera el 7%, depósitos aluviales el 6%, depositándose en menos proporción la Formaciones Diamante y Bocas con el 1%.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas Escuela de Geología Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez Geólogo

## Abstract

**Title:** Geological and geomorphological characterization through aerial images and sig processing of an approximate area of 450 hectares, in Vijagual and San Cayetano Verdes-Bucaramanga. \*

**Author:** Angie Mayerly Naranjo Diaz. \*\*

**Key Words:** Geotechnics, geomorphology, morphodynamic processes, USG.

### Description:

In the present project the results obtained in the realization of the geological and geomorphological characterization by aerial images and GIS processing of an area of approximately 450 hectares adjacent to Vijagual and San Cayetano are represented, where preliminary investigations on studies carried out in the area, followed by the subsequent processing of data, including the compilation of information and modification of the cartography, since the existing maps in the Colombian Geological Service are at a scale of 1: 100,000, therefore a improvement of the study detail and thus determine contacts and the presence of geological structures, in addition to faults and predominant geofoms, after this information is corroborated with field visits, where the aforementioned is confirmed or corrected, finally this is coupled generating the geological maps, morphological and final surface geological units of the area, based on specific studies of the characteristics of rocks and their behavior. In the study area, sedimentary rocks belonging to the Diamante, Tiburon, Bocas Formations that date from the Permian and Triassic Carboniferous of the Suratá Group, and Quaternary deposits that correspond to the Organ Member, the slope deposits and alluvial deposits. The Tiburón Formation represents 49% of the area, followed by Organs Members with 36%, hillside deposits by 7%, alluvial deposits by 6%, and Diamante and Bocas with 1% deposits in less proportion.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas Escuela de Geología Director: Juan Diego Colegial Gutiérrez Geólogo

### Introducción.

En el reglamento académico estudiantil de pregrado está definido que una de las modalidades de trabajo de grado es la práctica empresarial, que se considera "una experiencia académica en la cual el estudiante entra en contacto e interactúa a través de proyectos específicos, con la realidad de contextos empresariales a nivel local, nacional o internacional en áreas de su profesión, en la cual aplica y fortalece competencias personales y profesionales" (Tomado del Reglamento Académico – Estudiantil de Pregrado, 1982, p. 61).

La escuela de geología aprobó, de común acuerdo con la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S., un convenio de apoyo interinstitucional para la realización de prácticas empresariales como modalidad de trabajo de grado, dicha empresa consideró pertinente vincular una estudiante al proyecto "ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN LOTE CON UN ÁREA APROXIMADA DE 450 HECTÁREAS, CONFORMADO POR 5 PREDIOS PERTENECIENTES A LA EMPRESA CEMEX, EN EL CUAL SE DESARROLLARÁN LAS PARCELACIONES SURATÁ - BUCARAMANGA" en el cual participará en el procesamiento y realización de la cartografía desde imágenes de satélite utilizando software de geomática como ArcGis y SAGA. Las actividades previstas a realizar en el proyecto consisten en determinar y caracterizar la geología, geomorfología, unidades geológicas superficiales (UGS) y las unidades geológicas para ingeniería, por medio de la fotointerpretación, el uso de la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y mapas topográficos suministrados por la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S, además de realizar la actualización y mejoramiento de las delimitaciones cartográficas de las

unidades geológicas a escala 1:2.000, para finalmente generar los respectivos mapas de UGS, de geomorfología, junto con los proceso morfodinámicos y las unidades geológicas para ingeniería, lo que finalmente tendrá una verificación de campo para comprobar las correcciones hechas previamente.

La zona de estudio se encuentra limitada al sur por la vereda Los Santos, al Norte por la vereda San Cayetano, al Noreste por la Vereda Santa Rita y dentro de la región se localiza la vereda Vijagual, lo anterior está ubicado en el Municipio de Bucaramanga, departamento de Santander. Geológicamente presenta Unidades litoestratigráficas de edades que varían desde el Precámbrico al Cuaternario, como el Neis de Bucaramanga del Precámbrico, la Cuarzomonzonita, -granito y pórfido del Triásico, La Formación Diamante del Carbonífero, La Formación Tiburón del Pérmico, La Formación Bocas del Triásico, La Formación Girón del Triásico - jurásico, El Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga del Pleistoceno Medio y finamente del Cuaternario los Depósitos de ladera y Aluviales.

Para caracterizar y definir las propiedades de los suelos presentes en el lote de aproximadamente 450 hectáreas del Municipio de Bucaramanga-Santander, se requiere llevar a cabo una campaña de exploración en campo, sumando a esto la compilación de la información pre existente, con el fin de adquirir los datos necesarios, y de esta manera acercar el modelo geológico a la realidad, realizando así la caracterización de la geología, geomorfología, unidades geológicas superficiales (UGS) y las unidades geológicas para ingeniería de un área cuya extensión es de aproximadamente 450 hectáreas, en las veredas de Vijagual y San Cayetano, esto empleando la interpretación de imágenes satelitales y por procesos de sistemas de información geográfica (SIG) con los software ArcGis y SAGA. Por medio de la fotointerpretación, el uso de la metodología del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y mapas topográficos suministrados por la empresa

Construsuelos de Colombia S.A.S, realizar la actualización y mejoramiento de las delimitaciones y cartografía de las unidades geológicas a escala 1:2.000, además de esto, generar los respectivos mapas de UGS, geomorfología, junto con los proceso morfodinámicos y las unidades geológicas para ingeniería, lo que finalmente tendrá una verificación de campo para comprobar las correcciones hechas previamente.

## **1. Objetivos.**

### **1.1 Objetivo General**

Caracterizar geológica y geomorfológicamente el área de 450 hectáreas en las Veredas Vijagual y San Cayetano del municipio de Bucaramanga, departamento de Santander, mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales y procesos SIG (QGIS y SAGA), definiéndose este trabajo como herramienta para el futuro estudio geotectónico de predios pertenecientes a la empresa Cemex.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Generar el mapa geológico a escala 1:2.000, en base a insumos servicio geológico colombiano (SGC), de la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S y por fotointerpretación de las imágenes satelitales obtenidas y procesos SIG.

- Generar el mapa de unidades geológicas de superficie (UGS) a escala 1:2.000.
- Generar mapa de unidades morfogénicas a escala 1:2.000 (metodología Servicio Geológico Colombiano).
- Generar la columna estratigráfica de la zona con las características de los materiales geológicos.

## **2. Justificación**

La actual práctica empresarial está enfocada al reconocimiento de las unidades geológicas superficiales (UGS), unidades geológicas para ingeniería (UGI), procesos morfodinámicos y unidades geomorfológicas; todo esto, como insumo para el desarrollo de uno de los proyectos de estudios geotécnicos elaborados por la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S, también con la finalidad de aportar a la realización de la actualización y mejoramiento de las delimitaciones cartográficas y mapas geológicos, geomorfológicos y de unidades geológicas superficiales, de mayor detalle (escala 1:2.000), por medio de procesos SIG, fotointerpretación de imágenes satelitales, descripción de suelos y roca extraídos a través de sondeos de perforación, junto con el trabajo correspondiente a campo, unificando así, los modelos cartográficos, mejorando contactos geológicos, trazos de fallas y pliegues de las planchas y cuadrángulos existentes.

### **3. Plan de Trabajo**

Para el desarrollo de este proyecto, en la modalidad de práctica empresarial se llevó a cabo el siguiente plan de trabajo:

#### **3.1 Fase de recopilación de información**

Tiene como objetivo la recolección de toda la información bibliográfica existente, para poder analizar la geología, geomorfología y unidades geológicas para ingeniería presentes en la zona de estudio.

#### **3.2 Fase de pre-procesamiento**

Al compilar la información existente junto con lo obtenido de las imágenes satelitales, se empiezan a modificar, y actualizar contactos geológicos, fallas y pliegues en las planchas; con fotointerpretación y procesos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como QGIS y SAGA, se mejora la salida cartográfica de Unidades Geológicas a escala 1:2000, junto con esto se realiza el mapa de geoformas a nivel de unidades y subunidades a escala 1:2000, y unidades geológicas superficiales, según la metodología del Servicio Geológico Colombiano y del INGEOMINAS respectivamente.

**3.2.1 Geomorfología** En el estudio de las formas del terreno, fue indispensable la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), las imágenes satelitales, y el Modelo Digital del Terreno (MDT) elaborados, con el que se calcularon otros factores como las pendientes del terreno, el modelo de sombras, entre otros; con el fin de determinar por medio de interpretación, los tipos de materiales involucrados, los procesos morfodinámicos, y las formas predominantes del terreno. Para su caracterización se consideró la metodología de trabajo que desarrolla la entidad del estado cuya misión es la evaluación de las amenazas naturales (Carvajal, 2011), cuyo marco de jerarquía difiere ligeramente en los niveles de categorización y conceptualización genérica. A continuación, se enlistan algunos de los insumos utilizados para la caracterización geomorfológica del área estudiada.

#### ***3.2.1.1 Software Utilizado.***

- QGIS y SAGA.

#### **3.2.2 Herramientas Utilizadas.**

- Planchas Geológicas (1:100.000): 109 - Rionegro (SGC).
- Planchas Cartográficas (IGAC), 1:25.000.
- Imágen Satelital: Lidar, Google.
- Modelo Digital del Terreno (MDT): (2.0 x 2.0 m por Pixel).
- Modelo de Sombras- Mapa de pendientes.

- Modelos SAGA GIS: Landforms, Vertical Distance Channel, Relative Slope Position, Flow Accumulation, Aspect, Relative Slope Position, entre otros.

### 3.3 Fase de revisión de campo

Se realiza la salida de campo para comprobar los datos de geología, geomorfología y unidades geológicas superficiales, esto se garantiza con una elaboración de un aproximado de 15 sondeos y 15 apiques para determinar las litologías correspondientes.

**3.3.1 Criterios de cartografía geológica.** Se consultaron informes de estudios anteriores realizados en el área con el fin de enriquecer la metodología y tener un marco geológico, geomorfológico y geotécnico de referencia. Adicionalmente algunos de estos resultados de los estudios fueron incluidos en las interpretaciones aquí presentadas. Para el desarrollo de los estudios se realizó una exploración de campo, la cual consiste en la observación a detalle del área de estudio, para analizar elementos representativos de la zona, a partir de las cuales se realizó el reconocimiento geológico, geomorfológico, uso de suelo e infraestructura.

La exploración se hizo primero con una observación general desde cierta proyección, donde pueda ser analizada en su totalidad; luego con un análisis detallado en campo, se enriquecen los datos obtenidos en la identificación general. La exploración de campo (observación a distancia y recorrido) fue el proceso necesario para la recolección de datos estructurales, descripciones geológicas, geomorfológicas de suelos, datos de GPS, toma de fotos a detalle y panorámicas.

Estos datos se ven reflejados en los productos entregados de cartografía de Unidades de Geología para Ingeniería (UGI) y Geomorfológicas; descritos en el presente informe. Las

principales actividades que se realizaron para el desarrollo de los estudios geológicos, geomorfológicos y geología para ingeniería son:

- a) Toma de datos por medio de una vista panorámica: Como primer paso de una exploración se hizo reconocimiento general de la zona por medio de una vista general, todo esto para establecer los puntos principales de estudio, zonas de mayor interés y establecer las posibles rutas a seguir.
- b) Reconocimiento y recorrido de campo: En esta etapa se recorrió la zona de estudio, localizando puntos de interés: geológicos, geomorfológicos, usos de suelo e infraestructuras; se hizo una descripción del sector y se toman varias fotografías, donde se muestren aspectos generales y puntuales de la zona, que ayudaron a demostrar lo descrito en el sector.
- c) Orientación de las fotografías tomadas en campo: Las fotografías fueron orientadas, y amarradas a un punto GPS, para una ubicación sencilla en el mapa, así poder tener una ubicación dimensional de la zona y ser punto de apoyo para construir el modelo geológico.
- d) Toma de datos estratigráficos. La información estratigráfica fue registrada y en esta se describió el tipo de roca con sus características tanto composicionales como texturales.
- e) Datos geomorfológicos. Se reconocieron geoformas en campo según Carvajal, 2011, georrefenciando los sectores con punto de GPS.
- f) Amarre de datos estructurales a puntos GPS: En caso de ser posible la toma de datos estructurales, éstos están amarrados a un punto GPS, para ubicados con mayor facilidad tanto en el mapa geológico como en el mapa geomorfológico, permitiendo un mejor modelamiento del terreno y mayor precisión.

**3.3.2 Unidades geológicas para ingeniería o Unidades Geológicas Superficiales.** La geología aplicada a la Ingeniería constituye una herramienta básica adecuada para compilar, interpretar y presentar la información temática de utilidad para los campos de mitigación, prevención y control de los riesgos geológicos, al igual que en los impactos ambientales resultantes del desarrollo de diferentes proyectos; así como otros aspectos de los proyectos como el planeamiento del uso del suelo para el desarrollo urbano, los planes de ordenamiento territorial y el desarrollo minero (Mendivelso, Domingo, 2009).

Tabla 1. Unidades geológicas para ingeniería (UGI) según su origen

Origen de la UGI	Tipo de UGI
Derivadas de roca In situ	Roca inalterada
	Saprolito
	Suelos residuales
Depósitos aluviales	Aluviones recientes o de lecho de río
	Llanuras aluviales
	Abanicos o conos aluviales
	Terrazas aluviales
	Depósitos torrenciales
	Depósitos fluviotorrenciales
Depósitos lacustres y paludales	Depósitos lacustres
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones
	Talus
	Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
Depósitos costeros	Derrubios de pendiente
	Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	Tefras
	Surges

Origen de la UGI	Tipo de UGI
Depósitos eólicos	Flujos piroclásticos
	Ignimbritas
	Flujos de lodos volcánicos
	Lahares
	Cenizas
	Coladas de lava
	Dunas
	Loess
	Cenizas volcánicas
	Depósitos glaciares
Fluvioglaciares	
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras
	Rellenos de excavaciones
	Escombreras o botaderos

Nota. Tomado y modificado de INGEOMINAS, 2009

**3.3.3 Factores Considerados para Caracterizar las Unidades de Roca.** En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos está basada en las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual, dependiendo de la combinación de factores como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y los procesos de meteorización, los cuales gobiernan el comportamiento mecánico de dichos materiales. Para la descripción y caracterización de las unidades geológicas superficiales, se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales: litología (composición y textura), dureza o resistencia, condición de las discontinuidades, grado de meteorización y rasgos estructurales. Estas características se obtienen mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, ensayos in situ y análisis de laboratorio.

International Association of Engineering Geology (IAEG) recomienda usar propiedades geológicas que de alguna manera indican las características geológicas de ingeniería, como las que se relacionan a continuación:

**Litología:** Características de textura y estructura tales como la distribución del tamaño de las partículas, su correlación con el peso unitario y la porosidad, contenido de humedad, consistencia, diaclasamiento, alteración y grado de meteorización. Composición mineralógica, la cual está estrechamente relacionada con el peso específico, los límites de Atterberg y el índice de plasticidad.

**Grado de Meteorización:** Es uno de los aspectos que juega un papel importante en la caracterización de las unidades superficiales, se define como la descomposición física y química *In situ* de los materiales cercanos a la superficie de la tierra. Influye en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico-mecánicas de las rocas tales como densidad, esfuerzo a la compresión confinada, esfuerzo a la tensión confinada, porosidad, permeabilidad, y consistencia. Para definir el grado de meteorización de las rocas se utilizaron los perfiles generalizados de Deere y Patton (1971) y Dearman (1974, 1991) (Tabla 2).

Tabla

2.

Comparación de perfiles de meteorización de un macizo rocoso

Deere y Patton (1971) (Todas las rocas)	Dearmann (1974, 1991) (todas las rocas)			Forero et al, (1999) (todas las rocas)	Descripción
	Zona	Grado	Unidad		Características de campo
I SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A (Capa Vegetal)	VI	SUELO	SUELO	Las capas superiores ricas en materia orgánica, contienen humus y restos de raíces de plantas; generalmente de color gris oscuro.
		SUELO RESIDUAL (Sr)			Todo el material rocoso es convertido a suelo.
IB HORIZONTE B	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SAPROLITO FINO SAPROLITO	La macrofábrica y la estructura original son destruidos.
					Característicamente arcillo-limoso. Suelo sin estructuras heredadas.
Ic horizonte c (saprolito) (roca descompuesta)	Roca completamente meteorizada (rcm)	V	SUELO	SUELO	Roca decolorada pasando generalmente a colores variados.
		Macizo rocoso completamente descompuesto y/o			

Deere y Patton (1971)	Dearmann (1974, 1991) (todas las rocas)			Forero et al, (1999)	Descripción
(Todas las rocas)	Zona	Grado	Unidad	(todas las rocas)	Características de campo
<p style="text-align: center;"><b>II ROCA METEORIZADA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>IA LA TRANSFORMACIÓN DESDE SAPROLITO HASTA ROCA ALTAMENTE METORIZADA (Ram)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>IV</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ROCA Y SUELO MATERIAL INTERMEDIO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>SAPROLITO GRUESO</b></p>					<p>desintegrado a suelo, pero aun conservando algo de la macrofábrica original.</p>
					<p>Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas, y fallas) se conservan.</p>
					<p>Presencia de fragmentos rocosos entre 10% y 35% fácilmente excavable y desmenuzable, aun sin ayuda del martillo. Ocasionalmente pueden recobrase núcleos. Suelos con estructuras heredadas.</p>
<p>Roca decolorada y altamente alterada, más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo.</p>					
<p>Fragmentos rocosos rompibles y</p>					

Deere y Patton (1971) (Todas las rocas)	Dearmann (1974, 1991) (todas las rocas)		Unidad	Forero et al, (1999) (todas las rocas)	Descripción
	Zona	Grado			Características de campo
IIB ROCA PRACTICAMENTE METEORIZADA ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rmm)		III		MACIZO ROCOSO METEORIZADO >50% ROCA	desmenuzables sin ayuda del martillo.
					Las estructuras (planos de estratificación, foliación, diaclasas y con fallas); se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Sapolito con fragmentos pequeños de roca.
		III			La meteorización esferoidal común.
					Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35% y 70%.
		III			La roca se presenta altamente decolorada con notable meteorización, en la cual menos del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo.

Deere y Patton (1971) (Todas las rocas)	Dearmann (1974, 1991) (todas las rocas)			Forero et al, (1999) (todas las rocas)	Descripción
	Zona	Grado	Unidad		Características de campo
					Material rocoso rompible y excavable con ayuda del martillo y otras herramientas.
					Las discontinuidades pueden estar oxidadas y abiertas, con o sin relleno. Bloques de roca que no encontraban.

Nota. Deere & Patton, 1971, Dearman, 1974, 1991, Forero et al, 1999.

Discontinuidades: Se definen como planos o discontinuidades de origen mecánico o sedimentario que independizan o separan bloques de roca. Para la caracterización de las discontinuidades también se tuvieron en cuenta otros parámetros geométricos como: Orientación, espaciamiento, persistencia, rugosidad, resistencia en la pared, abertura, relleno, presencia de agua, número de juegos de diaclasas y tamaño de los bloques.

### 3.4 Fase de procesamiento final y elaboración de informe final:

Con la información compilada de las fases anteriores se generan los productos finales necesarios, posterior a esto, se procede a la redacción de un informe final, donde se plasma todo lo realizado

en la práctica empresarial. La información obtenida en la fase de recopilación de información y de campo, se ubicaron en el mapa geológico, geomorfológico y el de unidades de geología para ingeniería permitiendo mayor precisión en el modelamiento del terreno.

Se realizó la interpretación de fotos aéreas del IGAC del vuelo 2596 a escala aproximada 1:10.000. Departamento del Santander, Municipio de Bucaramanga. Año 1996, imágenes Lidar de propiedad de la empresa y del servicio de Google Earth, el modelo digital del terreno (MDT) existente y se corroboró con controles de campo para la determinación de depósitos recientes de origen aluvial, coluvial, y antrópico, contactos geológicos, geomorfológicos y unidades de geología para ingeniería (UGI), los cuales se representaron en las salidas cartográficas de geología a escala 1:2000.

#### **4. Marco Geológico Regional.**

Según Royero y Clavijo (2001), el Departamento de Santander está localizado en la región nororiental de Colombia, y ocupa el costado occidental de la Cordillera Oriental, entre los 5° 42' y 8° 08' de Latitud norte y los 72° 26' y 74° 32' de Longitud al oeste de Greenwich; es decir, se encuentra en las zonas Intertropical y Ecuatorial. Santander posee una extensión superficial de 30.537 km<sup>2</sup> (IGAC, 1996) que corresponde aproximadamente al 3% de la superficie del país.

Santander es uno de los departamentos más montañosos del país y gran parte de su territorio corresponde a la Cordillera Oriental, donde el relieve es escarpado a moderado; sin embargo, en su extremo occidental posee una amplia zona baja y plana. El Departamento de Santander está

representado por dos grandes regiones naturales como son la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena (IGAC, 1992), cuyas características geomorfológicas muestran contrastes bien marcados (Figura 1).

**Cordillera Oriental:** La región montañosa de la Cordillera Oriental ocupa la mayor parte (65%) del área del departamento en dirección general suroccidente-nororiente, caracterizada por una variedad de climas que abarca desde los templados suaves hasta los fríos intensos y el típico clima de páramo (Royero & Clavijo, 2001).

**Valle del Medio Magdalena:** Es una región de topografía suave y ondulada, cuyas alturas en su mayor parte no sobrepasan 100 m.s.n.m., con excepción de algunas pequeñas serranías que no superan los 1.000 m de altura. En esta región se destaca una zona de valles aluviotorrenciales, que corresponde a las partes más bajas y fértiles de los principales ríos que desembocan en el Río Magdalena y que también está relacionado con su cauce actual (Royero & Clavijo, 2001).

#### **4.1 Tectónica**

El nororiente colombiano de Los Andes es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica. El área de Santander por encontrarse dentro de este dominio, despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica, ya que se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino en los trabajos de Kellogg (1984); Case, et al. (1984); Kellogg, et al. (1985); James (1985) y Boinet (1985), entre otros.

Para la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental.

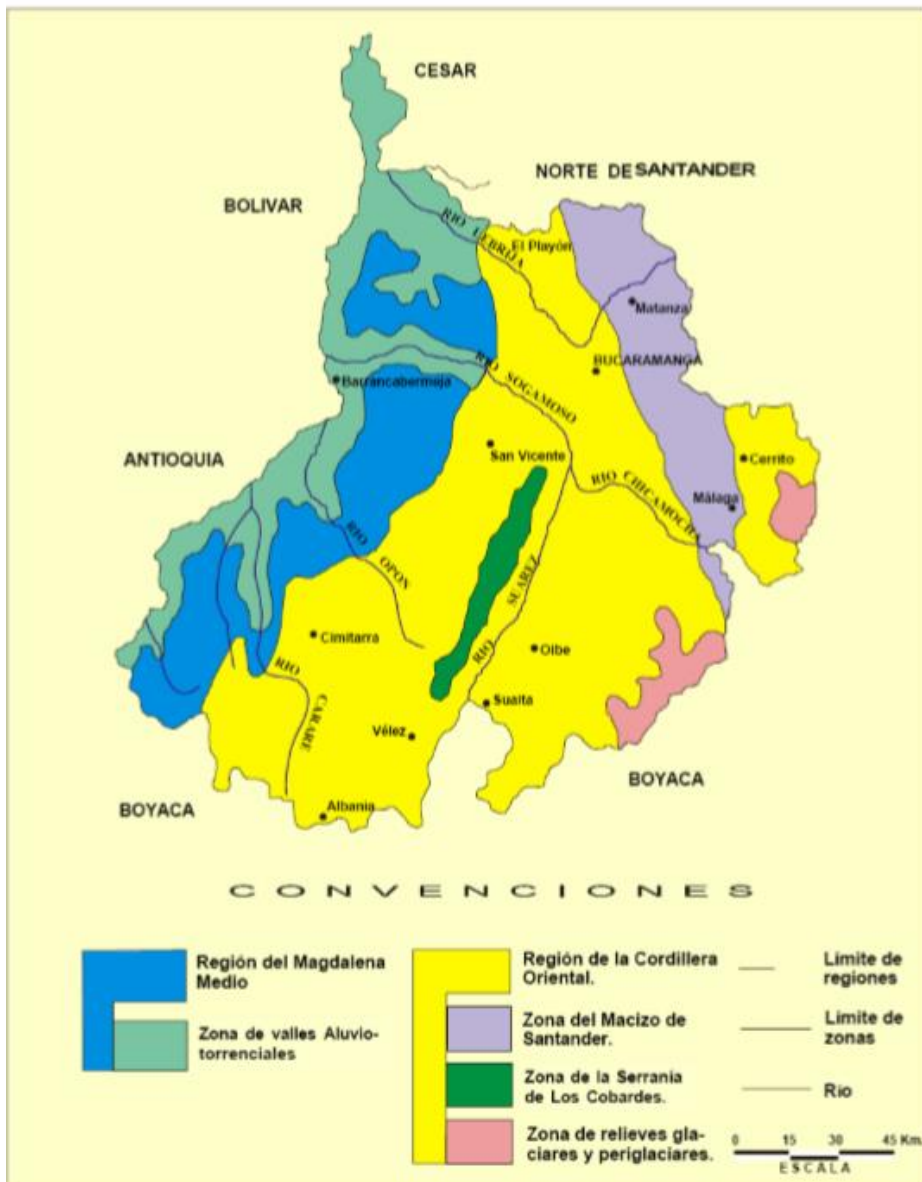


Figura 1. Regiones fisiográficas del Departamento de Santander. Nota. Tomado de Royero & Clavijo, (2001)

**4.1.1 Provincia Macizo de Santander** Esta provincia corresponde en buena parte a los macizos de Santander y de Floresta, y ocupan la región oriental estructural del territorio santandereano. La provincia del Macizo de Santander está subdividida en los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña.

**4.1.1.1 Bloque de Floresta** Está caracterizado tectónicamente por fallas inversas y de cabalgamiento e incluye pequeños pliegues de dirección predominante hacia el SWNE. Este bloque se encuentra localizado en el extremo nororiental del departamento; está constituido principalmente por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas, y rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas. El bloque está limitado al oriente por las fallas de Soápaga y Bucaramanga-Santa Marta y al occidente por la Falla de Riachuelo (Royero & Clavijo, 2001).

**4.1.1.2 Bloque de Cucutilla** Este bloque se caracteriza por un sistema de fallamiento en bloques pequeños, separados por fallas inversas con inclinación principalmente hacia el occidente y por anticlinales y sinclinales estrechos truncados por el fallamiento de dirección SE-NW. Se trata de un bloque hundido, ubicado en la región más oriental de Santander; se encuentra conformado por rocas sedimentarias paleozoicas, jurásicas, cretácicas y terciarias. El bloque se presenta limitado al oriente por el sistema de fallas de Chitagá, en territorio de Norte de Santander y al occidente por las fallas de Baraya y Servitá (Royero & Clavijo, 2001).

**4.1.1.3 Bloque de Ocaña** Se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE. Se presenta como un bloque levantado, que ocupa el sector nororiental del departamento;

está constituido esencialmente por rocas ígneas triásico-jurásicas y metamórficas precámbricas y paleozoicas. Este bloque está limitado al occidente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al suroriente por la Falla de Baraya (Royero & Clavijo, 2001).

**4.1.1.4 Bloque de Pamplona:** Es un bloque pequeño levantado, caracterizado por rocas metamórficas precámbricas y sedimentarias paleozoicas. Este bloque se encuentra localizado en el sector oriental del departamento (Royero & Clavijo, 2001).

**4.1.2 Provincia Valle Medio del Magdalena** Es una provincia caracterizada tectónicamente por un estilo estructural de plegamiento donde las estructuras anticlinales y sinclinales son amplias y suaves, limitadas por fallas inversas escalonadas, con inclinación preferencial hacia el oriente. Corresponde a la región occidental estructural del Departamento de Santander, hundida, moderadamente deformada. Se encuentra representada por rocas cretácicas, terciarias y está cubierta en un 65% por sedimentos recientes. Esta provincia se encuentra limitada al oriente por la Falla La Salina y al occidente (fuera del área del Departamento de Santander) por las fallas Mulatos y Morales (Royero & Clavijo, 2001).

**4.1.3 Provincia Cordillera Oriental** Esta provincia se caracteriza por pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE y NW, con inclinación predominante hacia el oriente. Constituye una cobertera sedimentaria con cubrimiento de una gran extensión de la Cordillera Oriental. En el Departamento de Santander, está restringida a dos bloques, el principal localizado en la región central estructural y el menor ubicado en la región oriental. Esta provincia está conformada por rocas sedimentarias

generalmente plegadas, de edades jurásicas y cretácicas; el bloque principal o central está limitado al oriente por las fallas Riachuelo y Bucaramanga-Santa Marta, y al occidente por la Falla La Salina, mientras el bloque oriental está limitado al oriente por la Falla de Servitá y al occidente por las fallas Bucaramanga-Santa Marta y de Baraya (Royero & Clavijo, 2001).

## 4.2 Estructuras.

El territorio santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciables, los cuales identifican tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento: uno de fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamientos en la región central, y el graben del Magdalena, en la región occidental (Royero & Clavijo, 2001).

**4.2.1 Región oriental** Esta región comprende el Macizo de Santander, en donde predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento. En esta región se destacan principalmente de noroccidente a suroriente las siguientes fallas geológicas (Royero & Clavijo, 2001).

**4.2.2 Falla de Bucaramanga-Santa Marta** Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo, et al., 1993; Clavijo, 1994a), con movimiento sinistral, cuyo

desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, et al. (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1958, 1961), Ward, et al. (1973), París y Sarria (1988), Royero (1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (Boinet, 1985).

La zona de estudio se encuentra localizada en la región oriental de Colombia, específicamente en la cordillera Oriental como se muestra en la figura anterior, dentro del departamento de Santander; por ésta pasa la Falla Bucaramanga, además de estar limitada por las veredas Vijagual y San Cayetano.

#### **4.3 Geomorfología (SGC).**

La zona de estudio se encuentra ubicada morfológicamente en la geomorfoestructura correspondiente al sistema Orogénico Andino, conformado a su vez por la provincia geomorfológica Cordillera Oriental (Carvajal, 2002, y Mendivelso 2009). En la Figura 2, se muestra el esquema de jerarquización geomorfológica propuesto para el estudio.



Figura 2. Esquema de Jerarquización geomorfológica Nota. Tomado y Modificado de Velásquez (1999), Carvajal (2002-2008).

**4.3.1 Geomorfoestructura:** La geomorfoestructura se refiere a grandes áreas geográficas o amplios espacios continentales o intra continentales caracterizados y definidos por estructuras geológicas y topográficas regionales que han tenido deformación o basculamiento y posiblemente metamorfismo o intrusión ígnea. Se consideran como geomorfoestructura: Los escudos, los bloques de origen continental (Plateaus Orogénicos o Epirogénicos), grandes cuencas de sedimentación, cuencas intracratónicas y rift valleys, plataformas y cinturones orogénicos. Corresponde según Velásquez (1999) a escalas de trabajo menores de  $1: 2.500.000$  (Figura 3).



Figura 3. Localización de la zona de estudio en el mapa Geomorfoestructural de Colombia. Nota. Tomado y Modificado de Mendivelso (2009).

**4.3.2 Provincia Geomorfológica** Corresponde a un conjunto de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente se relacionan con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia los cuales están delimitados por el trazo de mega fracturas y suturas definidas o inferidas (Ingeominas 1999,

Velásquez 1999, Irving 1971, Etayo et, al, 1986, Villota 1997). El área de estudio se encuentra localizada en la Cordillera Oriental. (Figura 4).

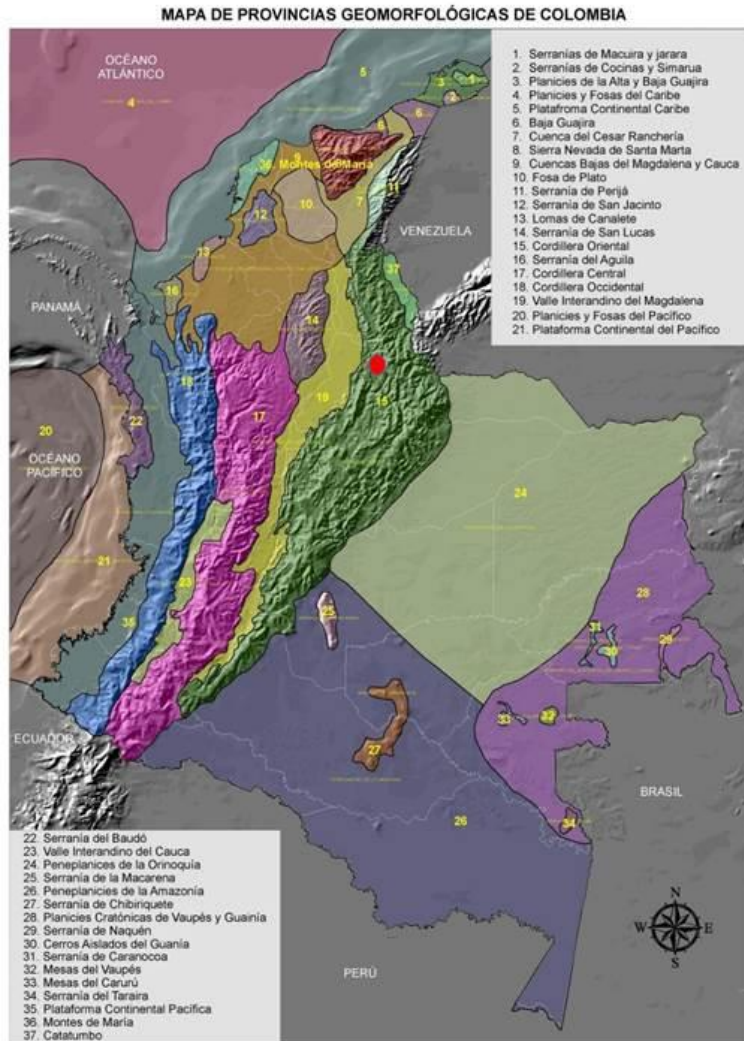


Figura 4. Localización del área de estudio en el mapa de Provincias de Colombia. Nota. Tomado y Modificado de Mendivelso (2009).

**4.3.3 Regiones** Las regiones hacen alusión a los ambientes morfogenético que predominan en el área de estudio, e involucra a las geformas relacionadas a la génesis de los paisajes, y definidas por un marco de ambiente morfogenético definido y afectados por procesos dinámicos parecidos.

Aquí se pueden agrupar áreas equivalentes a vertientes que estén contenidas dentro de una provincia geomorfológica y que representen un ambiente morfogenético particular con condiciones climáticas homogéneas: Eólico, lacustre, fluvial, volcánico, glaciario, denudativo, marino y costero, kárstico, estructural, estructural denudativo y antropogénico (Mendivelso, 2009). (Tabla 3).

Tabla 3.

*Clasificación de los ambientes morfogenéticos.*

Origen principal	Ejemplos de formas con un origen específico
<b>FLUVIAL</b> (Erosión Fluvial y Sedimentación)	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, y transicionales y erosionales.
<b>LACUSTRE</b> (Erosión Lagunar y Sedimentación)	Geoformas producto de niveles de agua alta (Terrazas), fondos de lagos. (Evaporitas/Playa, no Evaporitas)
<b>MARINO</b> (Erosión Marina y Sedimentación)	Geoformas de ambientes de alta energía, (materiales de grano grueso); de ambientes de baja energía (materiales de grano fino); y asociadas a complejos levantamientos.
<b>VOLCÁNICO</b> (Actividad Volcánica)	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos.
<b>DENUDACIONAL</b> (Meteorización, desgaste de masa, Erosión Linear)	Geoformas asociadas a desgaste, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear asociadas con procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
<b>ESTRUCTURAL</b> (Fallamiento)	Geoformas asociadas con las capas de roca estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamiento.
<b>ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL</b>	Asociaciones denudacionales y estructurales.

Origen principal	Ejemplos de formas con un origen específico
<b>KÁRSTICO</b> (Solución y Redeposición)	Geoformas positivas (Colinas), negativas (Depresiones), y estructurales y otras (Complejos).
<b>EÓLICO</b> (Erosión por el Viento y Sedimentación)	Geoformas de acumulación (Activas/No activas), y de deflación.
<b>GLACIAL</b> (Erosión y Sedimentación)	Geoformas erosionales dominamente de glaciación continental, glaciación de montañas y de acumulación (dominamente morrenas, hielo, y lomos)
<b>ANTROPOGÉNICO</b>	Aquellas formas del relieve que son el producto de modificaciones causadas por intervención del hombre.

La zona de estudio se encuentra caracterizada por cuatro regiones que representan los ambientes morfogenéticos, los cuales son: Ambiente denudacional, ambiente estructural, ambiente antrópico y ambiente fluvial.

### 5. Localización.

La zona de estudio, se encuentra localizada en el municipio de Bucaramanga, la cual es la capital del departamento de Santander, al nororiente del país sobre la Cordillera Oriental, rama de la Cordillera de los Andes, a orillas del Río de Oro. La cabecera municipal está localizada a los 07° 08'N 73° 08' O de latitud norte con respecto al Meridiano de Bogotá y de longitud al Occidente de Greenwich respectivamente.

La zona de estudio está ubicada al norte del área urbana del municipio de Bucaramanga, departamento de Santander, específicamente al sur occidente del de la Parcelación Suratá, sobre la vereda Vijagual y San Cayetano. A continuación, se muestra una tabla con los mayores límites ocupados por el polígono de la zona de estudio.

Tabla 4.

*Coordenadas que ubican los límites del polígono perteneciente a la zona de estudio.*

<b>Coordenadas de ubicación del polígono de estudio</b>		
<b>Límites</b>	<b>Coordenada en x</b>	<b>Coordenada en y</b>
NORTE	1105689	1286591
SUR	1106208	1282537
ESTE	1106039	1283826
OESTE	1104027	1283797

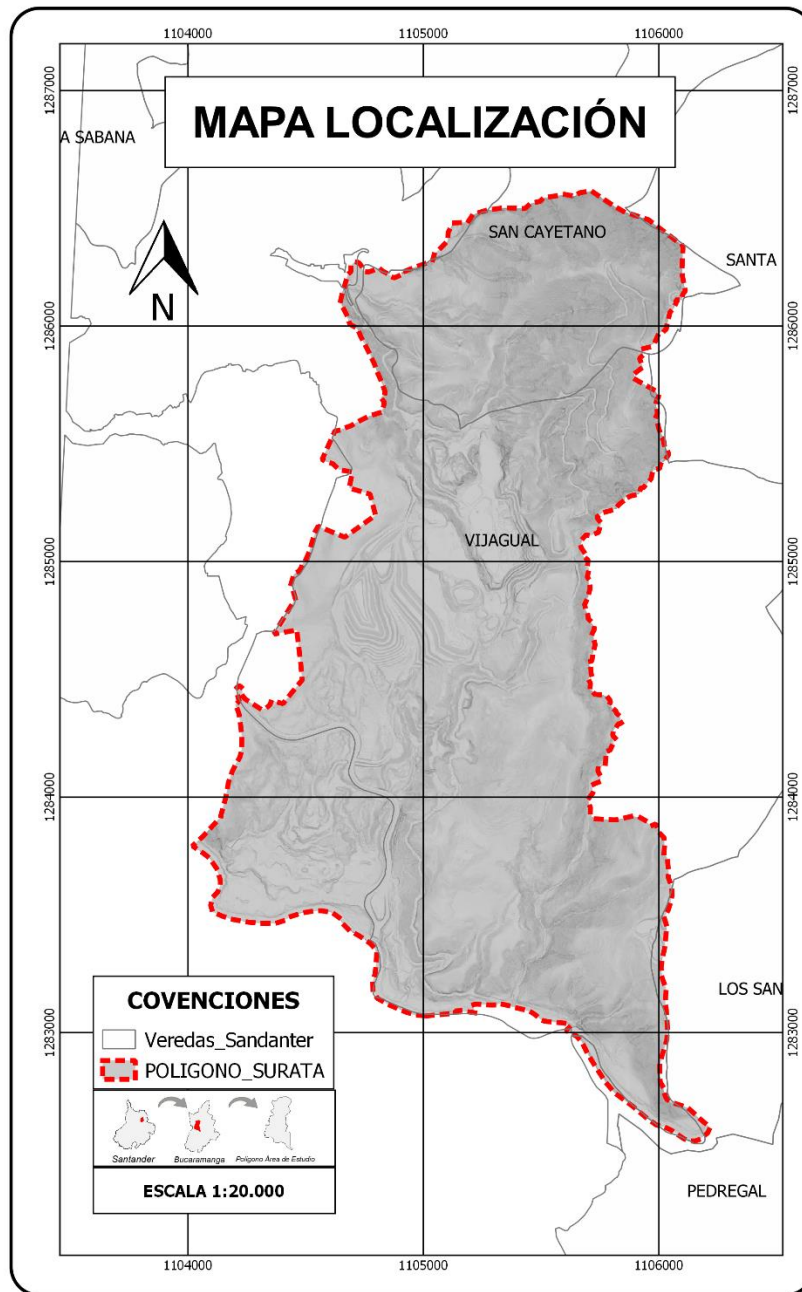


Figura 5. Localización área de estudio escala 1:20.000.

## 6. Caracterización de la zona de estudio.

### 6.1 Información secundaria.

**6.1.1 Zonificación sismogeotécnica.** De acuerdo al estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, (INGEOMINAS, 2001), el lote se encuentra ubicado en zona de rocas ígneas y metamórficas fracturadas afectadas por fallas geológicas, en el norte de Bucaramanga (Zona 2B) que presentan limitaciones geotécnicas no significativas (Figura 6).

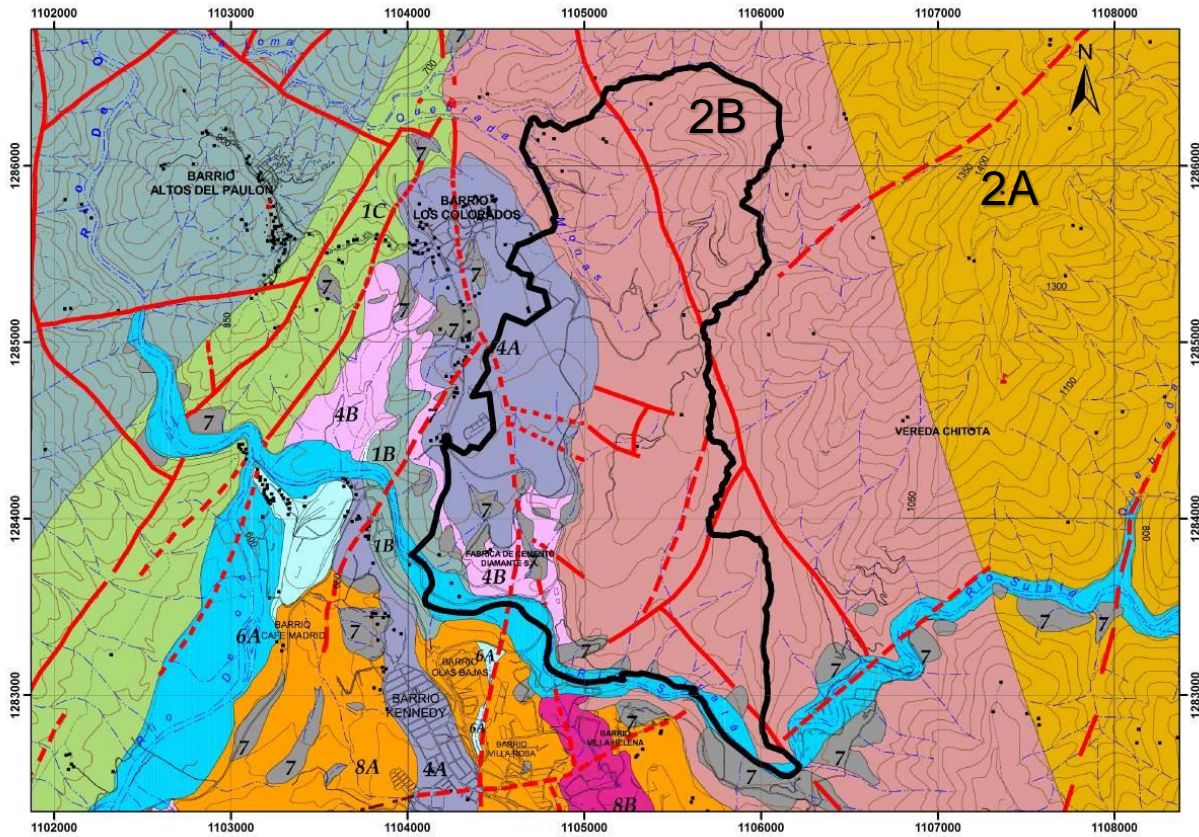


Figura 6. Mapa de Zonificación Sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Nota. Modificado de (INGEOMINAS, 2001). Para simbología y convenciones ver tabla 5.

Tabla 5.

*Leyenda Mapa de Zonificación Sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga*

<b>Zona</b>	<b>Caracterización geotécnica</b>	<b>Problemas geotécnicos</b>	<b>Observaciones especiales</b>
ZONA 2B Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas Geológicas.	Los suelos son residuales con perfil de meteorización profundo a muy profundo y gran cantidad de estructuras heredadas. Los suelos corresponden a arenas arcillosas y limosas de color claro en los sectores metamórficos, y arcillas arenosas y arenas arcillosas en los sectores ígneos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos masivos de los suelos residuales.</li> <li>• Formación de cárcavas profundas de erosión en el suelo residual.</li> <li>• Susceptibilidad a la denudación en eventos lluviosos de gran magnitud.</li> <li>• Agrietamiento cosísmico del terreno en el momento de eventos de gran magnitud.</li> <li>• Afectación sísmica de las construcciones. En algunos sectores existen procesos activos de deslizamiento o erosión, asociados al sistema de fallas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de estas áreas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano. Por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estará en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.</li> <li>• Se recomienda realizar un estudio detallado de zonificación de amenazas geotécnicas en los sectores actualmente ocupados por asentamientos humanos y obras de infraestructura urbana, con el objeto de diseñar e implementar proyectos de prevención y mitigación de riesgos, en especial en aquellos sectores poblados que se</li> </ul>

Zona	Caracterización geotécnica	Problemas geotécnicos	Observaciones especiales
		Bucaramanga-Santa Marta, los cuales en algunos casos, están siendo acelerados por la intervención antrópica.	encuentren en condición de grave peligro.
ZONA Miembros Organos Gravoso Afectados Procesos Erosivos.	4A Los suelos subsuperficiales y corresponden a gravas arenos arcillosas con gran cantidad de cantos redondeados, correspondientes a la formación Órganos. No aparecen niveles freáticos subsuperficiales, pero en la mayoría de los casos se presentan niveles freáticos profundos o acuíferos colgados sobre el basamento de los Miembros Órganos y Gravoso.	Las áreas centrales que conforman la zona 4A no presentan limitaciones geotécnicas importantes; Sin embargo, en las áreas perimetrales se pueden presentar los siguientes problemas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos de tierra de gran magnitud.</li> <li>• Cárcavas profundas de erosión.</li> <li>• Agrietamiento cosísmico de las coronas de los taludes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se deben localizar asentamientos humanos ni obras de infraestructura urbana en las zonas cercanas a los taludes perimetrales de las mesetas.</li> <li>• Se recomienda dejar una zona de amortiguación de mínimo 50 metros medidos desde la corona de los taludes y previo estudio detallado del sitio de interés.</li> </ul>

Zona	Caracterización geotécnica	Problemas geotécnicos	Observaciones especiales
ZONA 4B Miembro Organos Afectado por Procesos Erosivos.	Los suelos subsuperficiales corresponden a gravas arenos arcillosas, con gran cantidad de cantos redondeados, correspondientes a la formación Órganos. No aparecen niveles freáticos subsuperficiales, pero en la mayoría de los casos se presentan niveles freáticos profundos o acuíferos colgados sobre el basamento de la formación Órganos.	La zona 4B se encuentra amenazada por procesos muy intensos de erosión activa, lo cual no es posible controlar con obras normales de ingeniería.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de estas áreas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano. Por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, contribuiría a magnificar el proceso erosivo.</li> <li>Se recomienda diseñar e implementar un programa para el establecimiento de cobertura vegetal protectora en toda el área afectada por procesos de erosión.</li> </ul>
ZONA 6A Valles Aluviales Los Ríos y Quebradas Principales.	Los suelos subsuperficiales corresponden a arenas limpias, gravas y arenas limosas en mantos subhorizontales; a diferentes profundidades, según el sitio, aparecen suelos duros o rocas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presencia de mantos de suelos sueltos no consolidados, los cuales pueden asentarse.</li> <li>Baja capacidad de soporte de los depósitos aluviales recientes.</li> <li>Áreas de suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Previamente a la realización de proyectos de desarrollo urbano, se deben realizar estudios geotécnicos detallados que permitan determinar las limitaciones geotécnicas de cada sitio en particular y se deben construir las obras de control, estabilización y manejo.</li> </ul>

Zona	Caracterización geotécnica	Problemas geotécnicos	Observaciones especiales
	<p>Los niveles freáticos son poco profundos y están generalmente controlados por los niveles de agua en las cañadas, quebradas y ríos aledaños.</p>	<p>potencialmente licuables.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heterogeneidad en los materiales de fundación por presencia de paleocanales.</li> <li>• Erosión debida a la dinámica de los ríos y quebradas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas estas áreas son potencialmente inundables, además de los estudios de geotecnia, se debe determinar en detalle la amenaza por inundación, antes de cualquier construcción o desarrollo.</li> </ul>
<p>ZONA 7 Depósitos Coluvión.</p>	<p>Los coluviones tiene de una composición específica de matriz y clastos dependiendo del tipo de roca de la cual se originan. Algunos coluviones son clastos-soportados y otros matriz-soportados. La mayoría de los coluviones presentes en el Área Metropolitana de Bucaramanga poseen niveles freáticos poco profundos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslizamientos de tierra por saturación en épocas de lluvias.</li> <li>• Erosión en cárcavas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las características geológicas, geotécnicas y morfológicas de estas áreas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano. Por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estará en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.</li> <li>• Se recomienda realizar programas de establecimiento de cobertura vegetal con raíz profunda.</li> </ul>

Nota. Modificado de (INGEOMINAS, 2001).

## 7. Geología

### 7.1 Geología local.

**7.1.1 Neis de Bucaramanga (PEb)** Autor: Es definida por Ward et, al, (1973) como secuencia estratigráfica de rocas metasedimentarias de alto grado que consiste principalmente en paraneis pelíticos y arenáceos, esquistos y cantidades subordinadas de neises calcáreos, mármoles, neises hornbléndicos y anfibolitas.

Distribución: La formación se encuentra distribuida ocupando el 5.39 % del área total (Figura 14). Aflora al noreste de la zona de estudio (Figura 15).

Descripción litológica: Esta unidad se caracteriza por la presencia de una variedad de litologías conformada por esquistos, neises hornbléndicos y anfibolitas, color marrón rojizo, producto de la alteración y meteorización de los minerales constituyentes, debido a esto la roca se disgrega fácilmente (Figura 7).

Contacto: En la zona de estudio, el Neis de Bucaramanga se encuentra en contacto definido con la Cuarzomonzonita.

Edad: El Neis de Bucaramanga fue establecido por Ward et al. (1973) como Precámbrica en base a análisis radiométricos (K/Ar) en hornblenda de una muestra de neis hornbléndico.



*Figura 7.* Exposición de roca perteneciente al Neis de Bucaramanga, ubicado por la vía a la verdea Los Magueyes, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 35.

**7.1.2 Cuarzomonzonita, Granito y Pórfido Cuarzoso (JRcg).** Autor: Descrita por Ward et, al, (1973). como intrusiones pequeñas de Cuarzomonzonita, granito, pórfido cuarzoso y escasa de granodiorita.

Distribución: La formación se encuentra distribuida ocupando el 12.68% del área total (Figura 14). Aflora en el norte de la zona de estudio (Figura 15).

Descripción litológica: Esta unidad se caracteriza por tener rocas holocristalinas de grano medio a grueso, de textura hipidiomórfica, de color grisáceo a rosado y con evidencia de óxidos producto de la alteración y alto grado de meteorización de sus minerales constituyentes, compuesta por feldespato potásico rosado, plagioclasas blancas, cuarzo gris y en menor proporción biotita (Figura 8).

Contacto: la Cuarzomonzonita, Granito y Pórfido Cuarzoso está en contacto fallado con la Formación Diamante y en contacto intrusivo con el Neis de Bucaramanga.

Edad: La Cuarzomonzonita, el granito y el pórfido son de edad Triásico o de una edad más antigua, posiblemente del Pérmico (Ward et, al, 1973).



*Figura 8.* Exposición de cuarzomonzonita, ubicado por la vía a la verdea Los Magueyes, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 40.

**7.1.3 Formación Diamante (PCd).** Autor: En Ward et, al, (1973) es descrita brevemente por Dickey (1941) e incluye la parte inferior de la sección que fue medida y descrita por Navas (1962). El nombre se deriva de las canteras de Cementos Diamante S.A., que obtiene caliza para la fabricación de cemento de las capas superiores de esta formación, a unos pocos kilómetros al norte de Bucaramanga. (Ingeominas, 1973).

**Distribución:** La formación se encuentra distribuida ocupando el 21.79% del área total (Figura 14) aflora al centro y noroeste del sector estudiado. (Figura 15).

**Descripción litológica:** Esta unidad consiste principalmente de caliza tipo mudstone de grano fino a medio ligeramente arcillosa color gris oscuro, con pequeñas cantidades de arcillolita limosa, areniscas de grano fino a medio color púrpura oscuro a gris de dureza variable con intercalaciones de arcillolita de color semejante, Limolitas de color pardo rojizo, compactas, ligeramente meteorizada (Figura 9).

**Contacto:** La Formación Diamante se encuentra en contacto erosivo con el miembro órganos de la Formación Bucaramanga.

**Edad:** La edad de esta unidad fue calibrada con fósiles principalmente braquipodos, los cuales fueron estudiados por JS Williams y mencionados por Trumpy (1964) determinando la edad como del Misisipiano o del Pensilvaniano Inferior.



*Figura 9.* Exposición de roca caliza perteneciente a la Formación Diamante (PCd), ubicado en el sector de la mina de Cemex, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 178.

**7.1.4 Formación Tiburón (TRPt).** Autor: El nombre se deriva del antiguo Club Tiburones, que dista a unos 2 Km al norte de Bucaramanga, descrito por Navas (1962).

*Distribución:* La formación se encuentra distribuida ocupando el 16.60% del área total (Figura 14), aflorando al sureste de la zona de estudio (Figura 15).

*Descripción litológica:* Esta unidad consta de capas masivas de conglomerados con guijos de caliza, matriz calcárea, gris rojizo de grano fino. con fragmentos de guijos y gujarros (2-10 cm) de calizas predominantemente, subredondeados a subangulares y en menor proporción fragmentos de areniscas, cherts, dentro de una matriz arenoso-calcárea, de color gris y de grano fino, provenientes de la infrayacente Formación Diamante (Royero & Clavijo, 2001) (Figura 10).

*Contacto:* La Formación Tiburón se encuentra en contacto discontinuo con la Formación Bocas (Fm suprayacente) y la Formación Diamante (Fm infrayacente), y en contacto erosivo con el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga.

*Edad:* La edad de la formación dada por Ward et al. (1973), está comprendida entre el Carbonífero Superior - Pérmico Medio y Triásico.



*Figura 10.* Exposición de roca perteneciente a la Formación Tiburón, ubicado sobre la carretera que conduce a la estación de policía, fotografía perteneciente al archivo del proyecto.

**7.1.5 Formación Bocas (TRb).** Autor: Definida por Dickey (1941), como la Serie Bocas; Ward et al. (1973), le dan el nombre de formación Bocas.

**Distribución:** La formación se encuentra distribuida ocupando el 0.37% del área total (Figura 14) aflorando al este de la delimitación de la zona de estudio. (Figura 15).

**Descripción litológica:** Se caracterizan las limolitas calcáreas de color amarillento a marrón anaranjado, fracturadas y areniscas marrón rojiza y gris verdosa dura de grano muy fino a limosa ligeramente calcárea, conglomerados gris verdoso, duro masiva con guijos subangulares de caliza gris, shale gris oscura y cuarzo en matriz arenosa, calcárea (Figura 11).

**Contacto:** La Formación Bocas se encuentra en contacto discordante con la Formación Tiburón (formación infrayacente).

Edad: Según Ward et al, (1973) por criterios estratigráficos le asignan una edad Triásico, la cual la correlacionan con la Formación Los Indios para establecer su edad.



*Figura 11.* Limolita calcárea, fracturada, perteneciente a la Formación Bocas. Ubicada en la carretera que se llega a los tanques del acueducto de Bucaramanga, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 335.

**7.1.6 Formación Girón (Jg).** Autor: Según Ward et, al, (1973) fue usado inicialmente por Hettner (1892), seguido por Schuchert (1935), Oppenheim (1940), Dickey (1941), pero el estudio de campo más detallado lo realizó Julivert (1958) seguido de Navas (1962) quien designó los afloramientos del cañón del río Lebrija como la sección tipo.

Distribución: La formación se encuentra distribuida ocupando el 0.64% del área total (Figura 14), aflorando en las laderas del sur oeste de la zona de estudio. (Figura 15).

*Descripción litológica:* Se caracteriza las limolitas de color rojo pardo y areniscas de grano grueso a conglomeráticas, color gris verdoso, contiene guijos de cuarzo hasta de 4 cm de diámetro. Los afloramientos de área de estudio se encuentran con alto grado de meteorización.

*Contacto:* En el sector se encuentra en contacto erosivo al este con el Miembro Órganos de Formación Bucaramanga.

*Edad:* La edad la Formación Girón ha sido motivo de discusión. Cediél (1968), le asigna edad Triásico – Jurásico. Ward et al (1973) la considera Jurásico Media a Superior y Rabe (1974), da una edad Jurásico Superior.

**7.1.7 Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga (Qbo).** *Autor:* Definido por Hubach (1951) el cual dividió la Formación Bucaramanga de base a techo en los siguientes miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr).

*Distribución:* La formación se encuentra distribuida ocupando el 34.37% del área total (Figura 14), aflorando en las laderas del centro este, al oeste y sur de la zona de estudio. (Figura 15).

*Descripción litológica:* Se caracteriza por ser arenosos a areno gravoso, clasto soportados y granosoportados en forma de capas muy gruesas que varían de espesor, de color café oscuro compuesto principalmente por arena de tamaño de grano muy fino a muy grueso con geometría angulares a subredondeadas de hasta 54 cm de longitud proveniente de diferentes tipos litológicos, los segmentos lucen homogéneos, plasticidad nula y pobremente seleccionado, Se caracteriza por erosionarse fácilmente, formando surcos y cárcavas.

Los niveles finos corresponden a material lodo-arenoso y areno-limoso de color pardo rojizo, compactos, presencia de micas y trazas de materia orgánica. Los depósitos se encuentran medianamente meteorizados, presentando poca compactación de éstos, con alta permeabilidad y

son fácilmente erodables, lo que facilita el desprendimiento de bloques y cantos en las épocas de fuertes precipitaciones (Figura 12).

*Contacto:* En el sector se encuentra en contacto erosivo con la Formación Diamante y Tiburón.

*Edad:* La edad del Miembro Órganos podría abarcar el Pleistoceno medio.



*Figura 12.* Conglomerados subredondeados en matriz limo arcillosa perteneciente al miembro órganos de la Formación Bucaramanga, fotografía perteneciente al archivo del proyecto. Azimut: 35.

**7.1.8 Depósitos de ladera (Ql).** Autor: Los depósitos coluviales o de ladera corresponden a los depósitos acumulados en la base de los escarpes provenientes del desprendimiento de material de las laderas adyacentes por la acción de las precipitaciones y/o gravedad.

*Distribución:* Los depósitos se encuentran distribuidos a lo largo de la zona de estudio (Figura 14) ocupando el 4.42% del área total (Figura 15).

Descripción litológica: En general estos depósitos están conformados por acumulación de fragmentos de rocas formados por la caída de bloques y escombros de formaciones preexistentes, son depósitos de color amarillo claro y rojizo, en el que los cantos y bloques son principalmente de calizas, areniscas y conglomerados, la matriz en general es areno arcillosa, el tamaño y espesor de los coluviones es variable (Figura 13).

Contactos: Se encuentra en contacto suprayacente con las Formación Tiburón y Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga. La edad para esta unidad es del rango desde el Carbonífero hasta el reciente.



*Figura 13.* Depósitos coluviales sobre el miembro órganos de la Formación Bucaramanga, ubicado por la carretera que conduce de la vía nacional a Los Magueyes, fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut: 74.

**7.1.9 Depósitos Aluviales (Qal).** Autor: Se ha denominado así a los depósitos recientes que se encuentran en los valles intra-montañosos de los ríos mayores y sus afluentes, formados por acumulación de depósitos aluviales y en menor proporción por procesos coluviales. Son moderadamente profundos a profundos, forman valles y están limitados por el nivel freático.

**Distribución:** Los depósitos se encuentra distribuidos ocupando el 3.69% del área total (Figura 14), aflorando en el sector sur limitando con el Río Suratá (Figura 15).

**Descripción litológica:** Están compuestos principalmente por material limo gravoso de color café gris, suelto, matriz soportado compuesto de gravas de tamaño desde granulo a guijón de litología variable, forma subredondeadas, baja plasticidad (Figura 14).

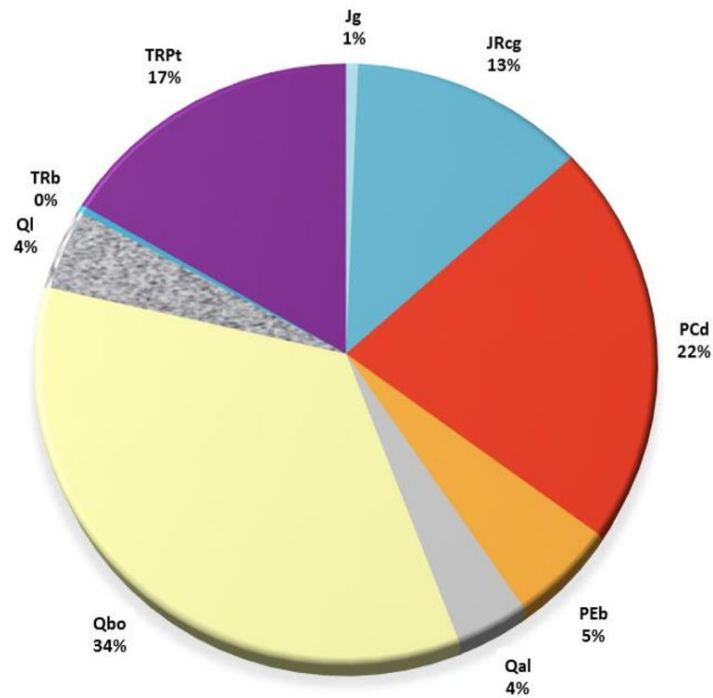
**Contactos:** El contacto de los depósitos aluviales es discordantes con la Formación Tiburón y miembro órganos de la Formación Bucaramanga.

**Edad:** Son acumulaciones jóvenes, relacionadas con la actividad de las corrientes fluviales.



*Figura 14.* Depósitos aluviales del Río Suratá ubicado sobre el puente que conduce hacia la estación de policía, fotografía perteneciente al archivo del proyecto. Azimut: 170.

**7.1.10 Mapa de Geología Local.** A partir de la información secundaria y de lo observado en campo y descrito anteriormente, se presenta a continuación las unidades geológicas presentes en el área en estudio y su distribución porcentual en el área estudiada



*Figura 15.* Distribución porcentual de las unidades geológicas en la zona de estudio.

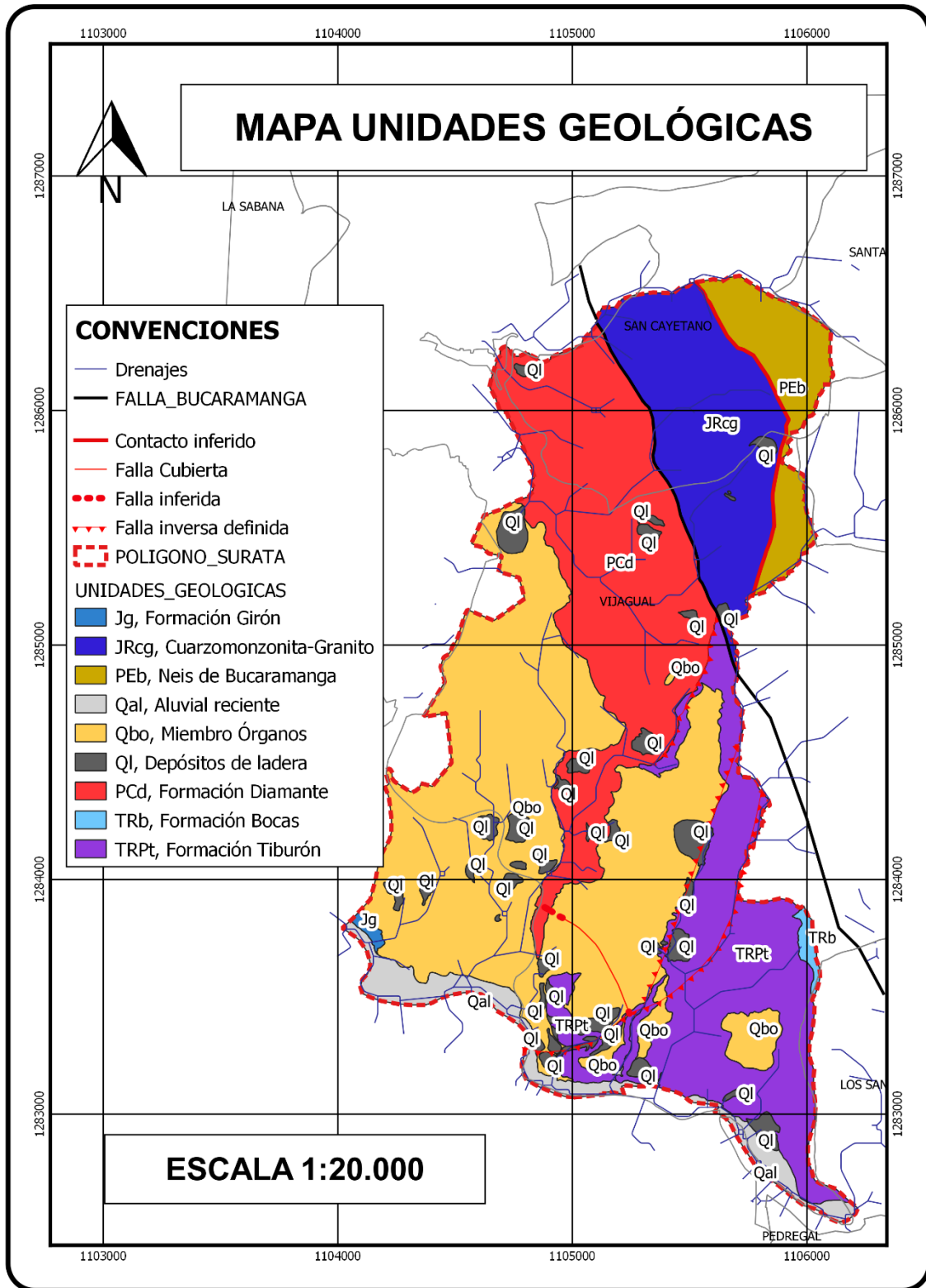


Figura 16. Mapa de Unidades Geológicas de la zona de estudio.

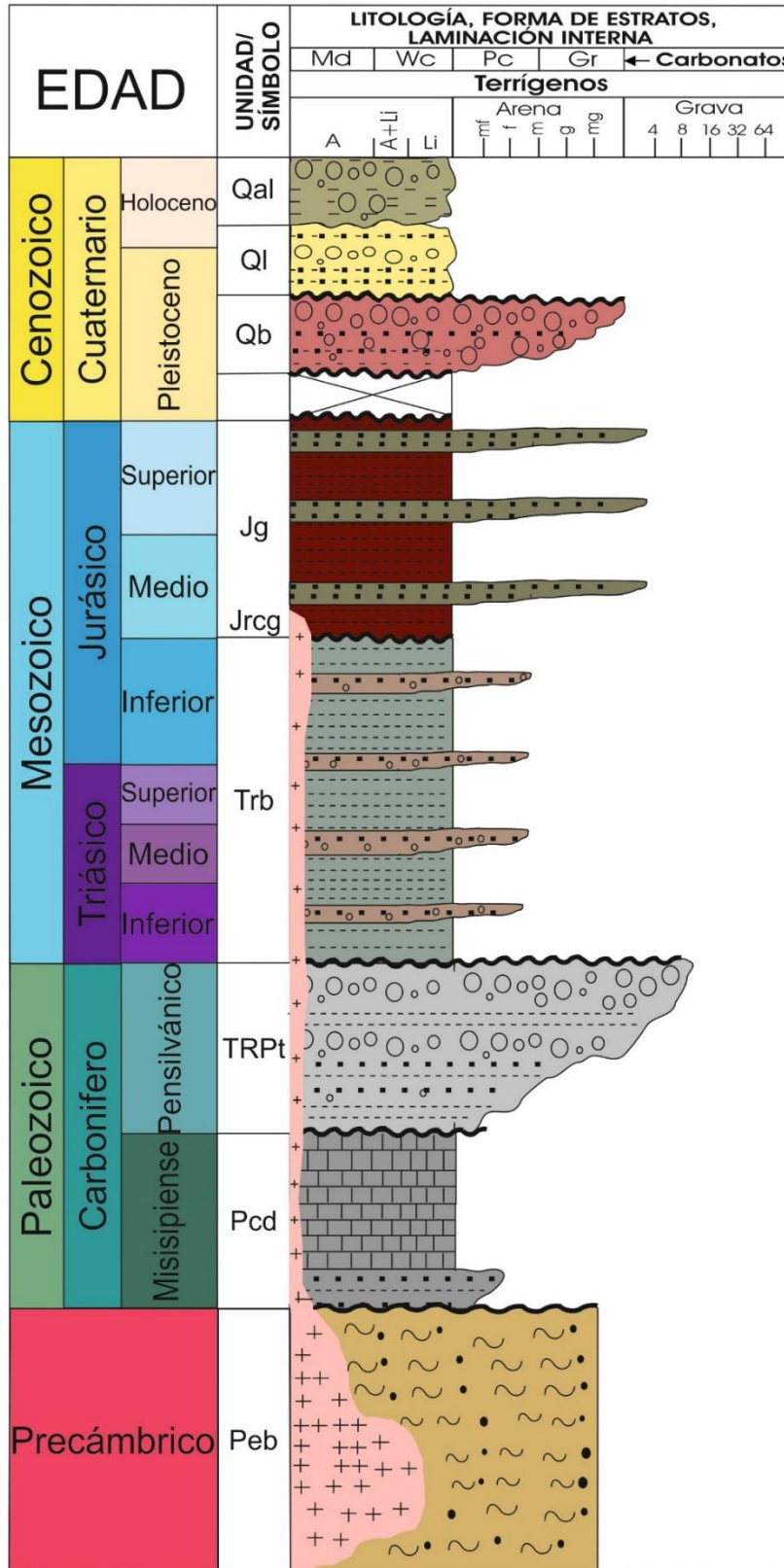


Figura 17. Columna esquemática generalizada de las unidades geológicas.

**7.1.11 Geología Estructural.** Para la descripción de la geología estructural se tomó como referencia la descripción en la memoria explicativa del mapa geológico generalizado del departamento de Santander (Ingeominas, 2001).

De acuerdo a lo que se puede observar en la Figura 18, el área de estudio se encuentra cerca de la Falla de Bucaramanga.

La Falla Bucaramanga es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (Campbell, 1965; León, 1991; Vargas y Niño 1992; Clavijo, et al., 1993), con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, et al. (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1968), Ward, et al. (1973), París y Sarria (1988), Royero (1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (Boinet, 1985). La Falla Bucaramanga en el área de estudio cruza desde el este en las coordenadas Xi:1105705, Yi:1284781 terminando en el noroeste en la coordenada Xf:1105104 y Yf:1286372. Esta falla coloca en contacto la Formación Diamante con la Cuarzomonzonita – Granito.

De acuerdo a los datos estructurales tomados en campo, obtenidos de información existente y visto en las imágenes satelitales, se interpretan cuatro fallas satélites de tipo inverso, tres fallas son perpendiculares a la Falla Bucaramanga; la primera se localizada en el centro del área de estudio, entre la coordenada Xi:1105344 Yi:1284498 hasta la Falla Bucaramanga en el punto Xf: 1105617 y Yf: 1285136, paralela a esta hacia el sur, se encuentra otra falla satélite entre las coordenadas: Xi:1104797 Yi:1283280 y Xf:1105806 Yf:1284375. La tercera falla satélite cruza el área de

trabajo en el sur esta comienza al sureste en la coordenada Xi: 1105299 Yi: 1283448 finalizando en el punto Xf: 1105704 Yf: 1284560. Estas fallas en su mayoría atraviesan la Formación Tiburón (Figura 16).

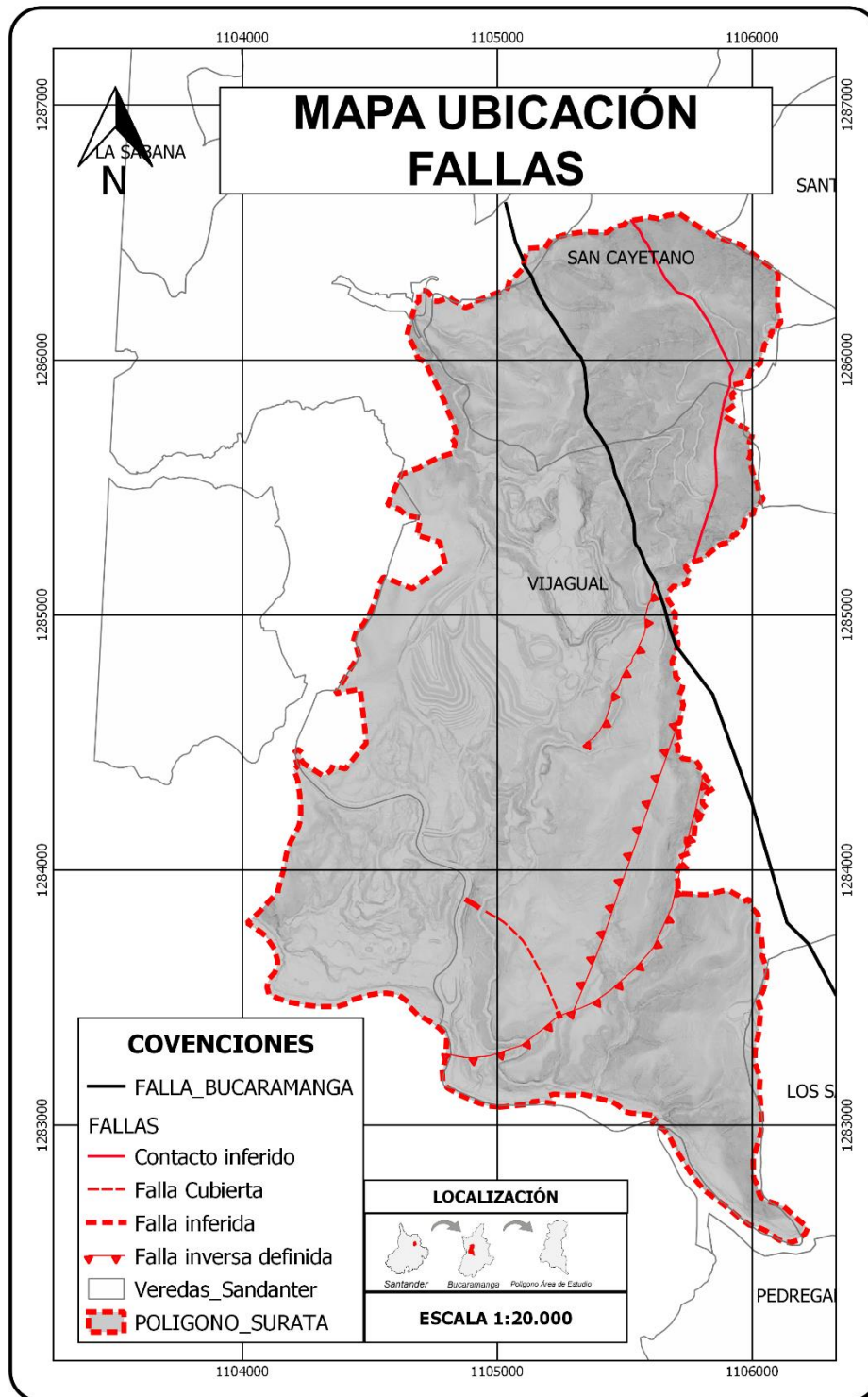


Figura 18. Mapa de localización de trazos aproximado de las fallas presentes en la zona de estudio.

## **7.2 Unidades geológicas para ingeniería o Unidades Geológicas Superficiales.**

Según Hermelin (1987), se denomina formación superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados según su origen (Tabla 1).

Las UGI, se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, son unidades cartografiadas y uno de los productos básicos de la geología aplicada a la Ingeniería.

**7.2.1 Descripción de las Unidades Geológicas para Ingeniería.** A partir de la exploración de campo y de la fotointerpretación geológica se generó el mapa (Figura 19). Las UGI cartografiadas se clasificarán en unidades básicas de rocas, depósitos y suelos de acuerdo a los aspectos establecidos por los alcances técnicos.

Las unidades geológicas superficiales fueron definidas usando la nomenclatura para materiales superficiales (UGI) utilizada por el Servicio Geológico Colombiano (Figura 19).

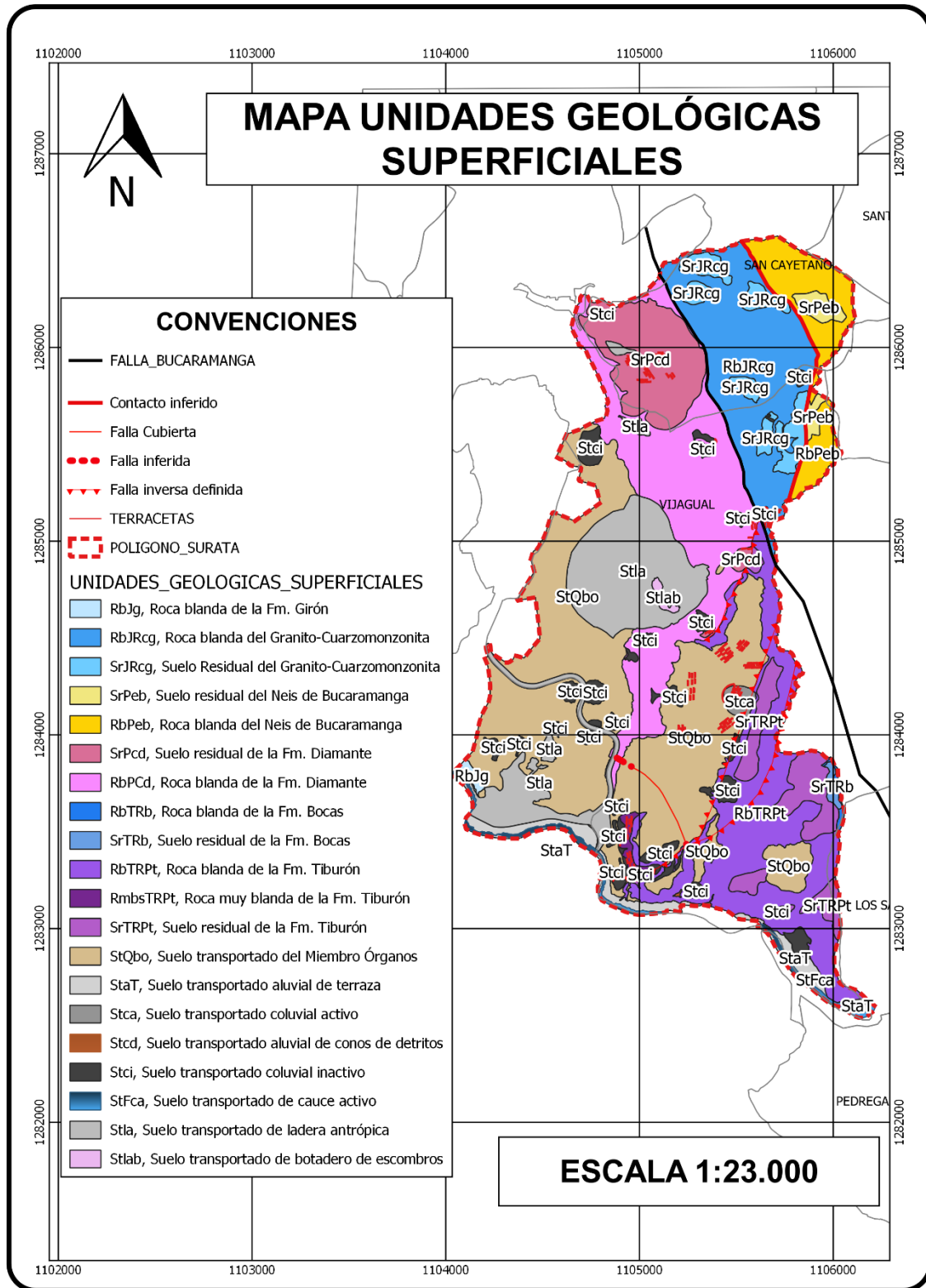


Figura 19. Unidades Geológicas Superficiales.

La nomenclatura descrita se define en tipo de material (suelo), unidades geológicas de roca de acuerdo a su dureza (roca blanda y roca intermedia), clasificación genética de las unidades de suelo (residual, fluvial, aluvial, antrópico).

De esta manera se definieron las siguientes unidades geológicas superficiales para el estudio de exploración del área de estudio (Tabla 6).

Tabla 6.

*Unidades Geológicas para Ingeniería del estudio de exploración.*

Litología	Proveniencia de la ugi	Nomenclatura	Descripción
<b>Depósito</b>	Transportado Antrópico	Stla	Suelo transportado, antrópico
	Transportado Aluvial-Fluviotorrencial	StQbo	Suelo Transportado del Miembro Órganos
		Stcd	Suelo Transportado aluvial de cono de detritos
		StaT	Suelo transportado Aluvial de terrazas
		StFca	Suelo transportado de cauce activo
	Transportado Coluvial	Stca	Suelo transportado coluvial activo
		Stci	Suelo transportado coluvial inactivo
<b>Residual</b>	In-situ	SrTRpt	Suelo residual, Formación Tiburón
<b>Roca Sedimentaria</b>	Roca Blanda	RbTRpt	Roca blanda, Formación Tiburón
		RbTrb	Roca blanda, Formación Bocas
		RbPcd	Roca blanda, Formación Diamante
	Roca Intermedia	RiTRpt	Roca intermedia, Formación Tiburón

**7.2.1.1 Suelos transportados antrópicos.** Estos depósitos corresponden a material que ha sufrido algún tipo de transporte, en este caso se refiere a materiales transportados por efectos de la actividad antrópica. Los suelos transportados están conformados por clastos de diferente composición litológica, se pueden hallar embebidos en una matriz limosa a limo-arenosa, varían de compactos a moderadamente compactos. Los suelos transportados antrópicos se clasifican a continuación:

Suelo transportado, antrópico de laderas (Stla).

Corresponden a cortes y rellenos heterogéneos asociados al casco urbano de Bucaramanga, y se encuentra dentro de la zona de exploración.

Estos suelos se encuentran en la vía que comunica con el barrio colorados, municipio de Bucaramanga. Estos suelos transportados se encuentran asociados a depósitos cuaternarios, estos materiales provienen de la acción de explanación de la ladera con el fin de adecuarla para la construcción, y tramos de adecuación de vías, Figura 20.



Figura 20. Suelo transportado de ladera antrópico (Stla). Punto de control Panorámico. E: 1104849 m, N: 1283513 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 30°.

**7.2.1.2 Suelos transportados aluvial-fluviotorrencial.** Esta unidad corresponde a material que ha sufrido algún tipo de transporte, en este caso se refiere a materiales transportados por efectos de la gravedad, movimientos en masa, corrientes de agua y principalmente la lluvia, los suelos transportados están conformados por clastos de diferente composición litológica, se pueden hallar embebidos en una matriz limosa a limo-arenosa, varían de compactos a moderadamente compactos. Los suelos transportados se clasifican a continuación:

Suelo transportado del Miembro Órganos (StQbo).

Son depósitos matriz soportados conformados por bloques y cantos redondeados de arenisca cuarzosas de grano fino, micáceo, con grado de alteración moderada, friables, dentro de estos depósitos se presentan algunos lentes con espesores variables entre 1 y 3 m de espesor, con extensiones laterales. Estos lentes se componen de arcillas limo-arenosas que lateralmente varían

a arenas gravosas, con evidencia de líticas de plagioclasas, micas esporádicas y restos de materia orgánica.

En la zona de exploración los suelos transportados del miembro órganos (StQbo) son: de morfología variable desde laderas suaves a abruptas, en algunos sectores se aprecia en vista de perfil y se hallan formando escarpes, compuesta por un suelo matriz soportado, limo-arenoso de color amarillento con presencia de gravas de diferente composición litológica, que varían de tamaño y van desde cantos a bloques, el material se aprecia suelto, de baja humedad, de alto grado de meteorización, evidencia de oxidación en sus paredes, las gravas son redondeadas esféricas, heterogéneas (Figura 21).



*Figura 21.* Suelo transportado del Miembro Órganos. Estación CX-JR-E30. E: 1104808 m, N: 1283454 m. fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 140°.

Suelo transportado Aluvial de Conos de detritos (Stcd).

Son 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.

Suelo transportado aluvial de terrazas (StaT).

Corresponden a depósitos aluviales, acumulados en forma de escalones en las márgenes de los ríos y arroyos, con tamaño de grano arena, grava, cantos y bloques, redondeados a subredondeados, con alta esfericidad, cuya composición varía según la litología de las zonas atravesadas por las corrientes. La matriz es principalmente areno-arcillosa, de consistencia baja a media, generalmente son matriz soportados, sueltos y permeables, con humedad baja, siendo fácilmente disgregables o erosionables.

En la zona de exploración se tienen depósitos aluviales de terraza, los cuales son originados por el transporte del río, ubicado al este de la vega del río Suratá, compuesto por cantos de diversas litologías, se hallan de forma subredondeada a subangular, terraza matriz soportada (Figura 22).



*Figura 22.* Depósito de suelo transportado aluvial de terraza (StaT). CX-LP-05. Punto de control E: 1105795 m, N: 1282743 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 10°.

Suelo transportado de Cauce activo (StFca).

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas, conformando cauces activos, abandonados y llanuras de inundación. Están conformados por bloques, cantos, grava, arena y finos, compuestos por cuarzo, cuarcitas y líticos de composición variada, con forma subredondeada a redondeada, por lo general clasto soportados, con tamaños y granulometría heterogénea, en condición suelta, embebidos en matriz areno-limosa. Con espesor promedio entre 0.5 y 1.0 m. Se localizan en el valle de los ríos de Oro, Frío y Suratá, así como en quebradas mayores entre las que están La Iglesia, La Rosita y La Quebrada Seca, entre otras.

Ubicado sobre el puente que conduce a colorados, se tiene panorámica de la unidad geológica que corresponde a suelo transportado de cauce activo (StFca), del Río Suratá (Figura 23).



Figura 23. Vista panorámica de suelo transportado de cauce activo (StFca). Estación CX-JR-29. E: 1104785 m, N: 1283394 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 111°.

**7.2.1.3 Suelo transportado coluvial.** Esta unidad corresponde a material que ha sufrido algún tipo de transporte, en este caso se refiere a materiales transportados por efectos de la gravedad, movimientos en masa, actividad antrópica y principalmente la lluvia, conocidos como depósitos coluviales, estos se hallan presente de forma puntual a lo largo del área de estudio.

Suelo transportado coluvial inactivo (Stci).

Los suelos coluviales inactivos no han presentado movimientos recientes y se caracterizan por su consistencia moderada. Son masas de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a sub-angulares, depositados por la gravedad, lavados de la lluvia o movimientos en masa.

Estos suelos se observan dispersos en toda la zona de estudio y se asocian a corrientes de agua (pequeñas quebradas) o micro-cuencas donde se facilita la acumulación de humedad, generando una morfología más suave a la que predomina en la zona. Son en su mayor parte depósitos matriz

soportados, la matriz es areno-arcillosa, limo-arenosa, arcillo-arenosa, y limo-arcillosa, depósitos medianamente compactos a sueltos, permeables, lo que los hace susceptibles a ser inestables, conteniendo clastos (gravas, bloques), sub-angulares a sub-redondeados, de diversas litologías y provenientes principalmente del miembro órganos de la Formación Bucaramanga (Figura 24).



*Figura 24.* Vista panorámica de suelo transportado coluvial inactivo (Stci). Punto control. E: 1105327 m, N: 1283136 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 20°.

Suelo transportado coluvial activo (Stca).

Son depósitos de coluvión que provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad y las precipitaciones.

En la zona de exploración se observan depósitos coluviales de masas materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a subangulares. Los cuales han sido depositados por la gravedad, lavado de la lluvia o movimientos en masa.

Estos materiales son matriz-soportados con clastos de tamaño de grano gravas a bloques subredondeados a subangulares, formando espesores desde 0,3 cm a 1 m. Presentan consistencia muy baja a nula en los recientes. Meteorización intermedia a alta, acumulados por lo general, en el costado de una ladera en la zona NE del área de estudio. La mayoría se originan por movimientos en masa de tipo caída de rocas formando unos taludes y movimientos de terracetos (Figura 25a), los cuales se asocian en parte a desprendimiento o movimiento de material perteneciente a suelos del miembro órganos de la formación Bucaramanga.

Hacia el costado de la vía hacia la vivienda del lote se observa pequeños movimientos en masa evidenciado por la corona de deslizamiento (Figura 25), procesos erosivos y flujos de agua, observándose la plasticidad del material.



Figura 25. Suelo transportado coluvial activo (Stca). Estación LN-012. E: 1105529 m, N: 1284174 m. fotografía perteneciente al archivo del proyecto. Azimut 45°.

**7.2.1.4 Suelos residuales.** Los suelos residuales son un material proveniente del proceso de meteorización de la roca in situ y que no ha sido transportado de su lugar de origen. Estos suelos son principalmente asociados con rocas blandas donde los fenómenos de meteorización son más

intensos, los perfiles de meteorización pueden alcanzar hasta 8 metros, y pueden poseer características geotécnicas completamente distintas a aquellas observadas en suelos transportados.

Suelo residual de la Formación Tiburón (SrTRpt).

Material lodo-arenoso, completamente meteorizado a residual, de color marrón amarillento claro, denso y seco, en general el segmento luce parcialmente homogéneo, este material se considera un suelo residual y es producto de la completa meteorización de rocas provenientes de la Formación Tiburón (SrTRpt).

Estos suelos se encuentran hacia la parte noroeste de la zona de exploración (Figura 26).



Figura 26. Suelo residual de la Formación Tiburón (SrTRpt). Punto Control. E: 1105890 m, N: 1284009 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 320°.

**7.2.15 Rocas.** En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos está basada en las propiedades físicas de dichos materiales y en su estado actual dependiendo de la combinación de factores como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y

los procesos de meteorización, los cuales rigen el comportamiento mecánico de los materiales (resistencia, deformabilidad, durabilidad, y permeabilidad, entre otros).

De acuerdo con los factores considerados, las unidades de Roca son:

- Roca blanda de la Formación Tiburón (RbTRpt).

Se tiene afloramiento de roca, en ladera de morfología escarpada. Las dimensiones del afloramiento son 7m de alto y aproximadamente 80m de ancho, de color gris, el segmento se observa leve a moderadamente meteorizado, dispuesto en capas gruesas, en general la roca se clasifica como un conglomerado masivo, compacto, conformado principalmente por guijos de calizas subangulares a subredondeados, también se reconocen guijas de areniscas de grano fino, y algunos fragmentos de cuarzo. Evidencia de reacción al HCl (Figura 27).



*Figura 27.* Roca perteneciente a la Formación Tiburón (RbTRpt). CX-LP-01. E: 1105003 m, N: 1283243 m. fotografía perteneciente al archivo del proyecto. Azimut 75°.

Roca Blanda de la Formación Diamante (RbPcd).

Se tiene afloramiento de roca de aproximadamente 2m de alto, de color rojizo, fuertemente meteorizado, compuesto de areniscas de grano muy fino, dispuesto en capas medianas a gruesas, fracturadas de estratificación plano paralelas inclinadas (casi verticalizadas), evidencia de óxidos de color marrón oscuro, en general el segmento se parte en bloques grandes, esta unidad hace parte de la Formación Diamante (Pcd).

Esta unidad se encuentra ubicada en la vía que comunica con la vereda los magueyes (Figura 28).



*Figura 28.* Azimut 203°. Roca blanda de la Formación Diamante (RbPcd). Estación CX-JR-E28. E: 1105215 m, N: 1284497 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto.

Roca Blanda de la Formación Bocas (RbTrb).

Se tiene afloramiento de roca, en zona excavada hasta 1m de profundidad, en donde se tiene roca, de color rojizo, segmento se observa moderadamente meteorizado, y altamente fracturado,

se parte en bloques muy pequeños por lo cual se considera una roca blanda, evidencia de reacción al HCl, en general la roca se clasifica como una limolita calcárea que hace parte de la Formación Bocas. Roca blanda de la Formación Bocas (RbTrb), (Figura 29).



*Figura 29.* Roca blanda de la Formación Bocas (RbTRb). Estación Apique 8. E: 1105970 m, N: 1283866 m. fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 3°.

Roca intermedia de la Formación Tiburón (RiTRpt).

Se encuentra aflorando una serie de bloques alineados en dirección NE-SW a un costado de la quebrada que atraviesa la zona de estudio, este tipo de roca está constituida por una serie de conglomerados muy compactos, conformados por guijos de caliza, dolomita, arenisca y chert negro con diámetro de sus conglomerados que oscila entre 1 -10 cm de color gris oscuro y varicoloreados (Figura 30), incluidos en una matriz calcárea, gris claro, de grano fino. Presentan una dureza media a alta, grado de meteorización bajo a moderado y alto hacia la zona noreste.



Figura 30. Roca intermedia de la Formación Tiburón (RiTRpt). Estación LN-05. E: 1105593 m, N: 1283891 m. Fotografía perteneciente al archivo del proyecto.

### 7.3 Geomorfología.

La zona de estudio se encuentra caracterizada por cuatro regiones que representan los ambientes morfogenéticos, los cuales son: Ambiente denudacional, ambiente estructural, ambiente antrópico y ambiente fluvial (Tabla 7).

Tabla 7.

Unidades geomorfológicas de la zona de estudio (según Carvajal 2011).

GEOMORFOESTRUCTURA	REGION	UNIDAD	SUBUNIDAD	ID_UN_GEOM	
Orógeno Andino	Ambiente Fluvial	Depósitos Aluviales	Abanicos aluviales	Faa	
			Cauce activo	Fca	
			Planicie de Inundación	Fpi	
			Terrazas Aluviales	Ft	
	Ambiente Denudacional	Cima	Cimas amplias suavemente inclinadas		Dcas
				Crestas	Crestas inclinadas
		Ladera denudadas	Corona de movimiento en masa	Dcmm	
			Laderas suaves a moderadas	Dlsm	
			Ladera moderada irregular	Dlmi	
			Laderas moderadas a escarpadas	Dlme	
		Lóbulos	Lóbulos coluviales	Dco	
			Lóbulo de Movimiento en Masa	Dimm	
		Flujos	Flujo de escombros y detritos	Dfed	
		Lomos	Lomo denudado bajo	Dldb	
		Montículos	Montículos remanentes	Dmre	
	Planicie denudacional	Planicie	Dp		
	Ambiente Estructural	Cerros	Cerro estructural	Sce	
		Lomo	Lomo de falla	Slf	
		Falla	Faceta estructural	Sft	
	Ambiente Antropogénico	Canales	Canal Artificial	Aca	
		Embalses o Lagos artificiales	Lago artificial	Ael	
		Explanación	Superficies de Explanación	Asp	
		Laderas antrópicas	Ladera terraceda	Alt	
		Rellenos	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Arb	
		Zonas industriales	Superficie de Excavacion para uso industrial	Aei	
		Zonas mineras	Zona minera administrativa	Azma	
			Zona minera de Explotación	Azme	
		Zonas urbanas	Zona urbana sobre miembro organos	AzuQbo	
Zonas urbanas			Azu		

**7.3.1 Pendientes de la Zona** Se define pendiente como la inclinación natural del terreno con respecto al eje horizontal y es considerada un factor importante en la caracterización física de un

territorio. La inclinación del terreno resulta ser una propiedad básica a estimar y espacializar en el área de estudio. Con el fin de predecir el comportamiento geológico, dinámico y productivo.

#### Análisis de Pendientes

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1999). Para el área de estudio, se cuenta con un MDE presentado en formato ráster con resolución horizontal de 2\*2 metros (Figura 31). Este insumo permitió la caracterización y espacialización de las formas del relieve en las unidades de medida requeridas.

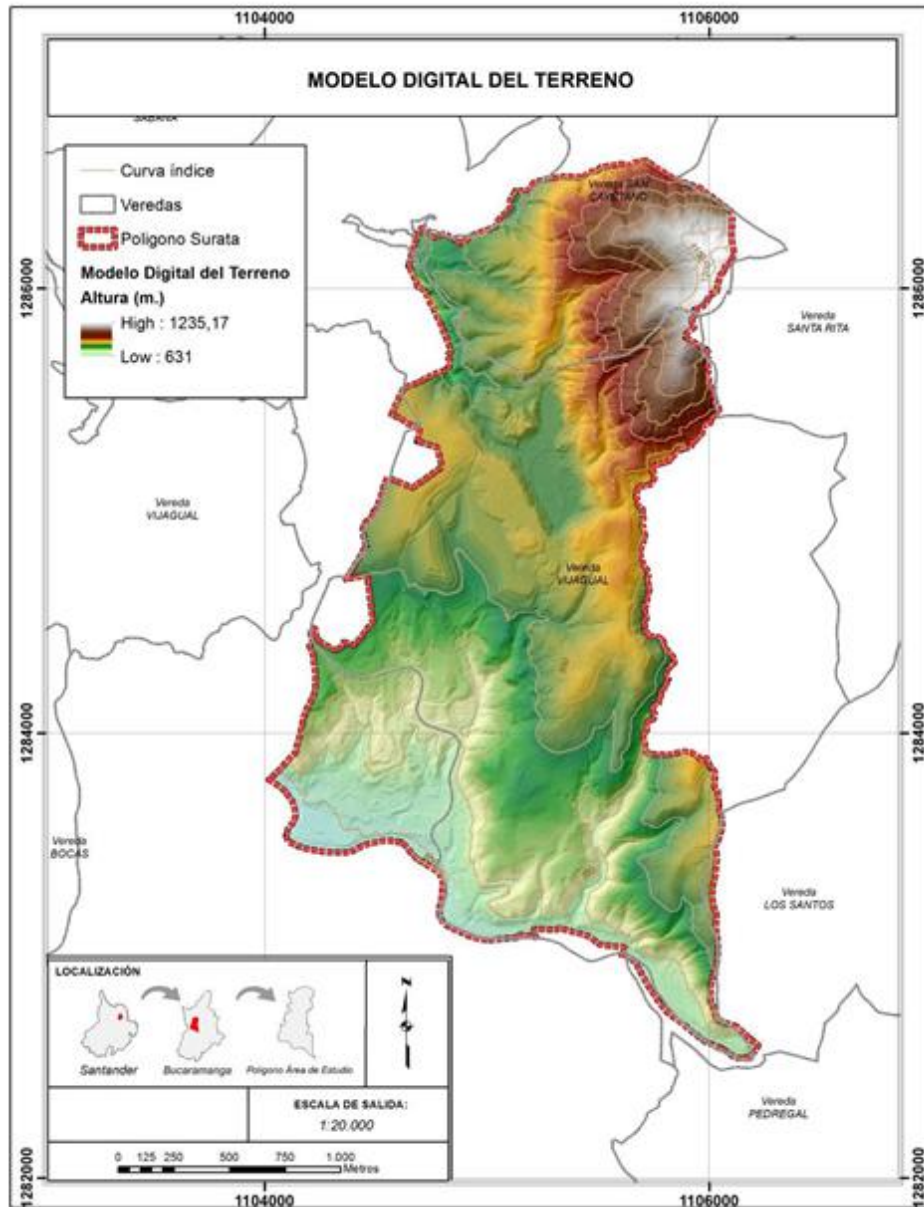


Figura 31. Modelo digital de elevación.

Categorización de las Pendientes del área de estudio.

En la cartografía temática de pendientes se exponen rangos propuestos por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga (Tabla 8) para unidades de medida en metros.

Tabla 8.

*Descripción de rangos de pendientes.*

PENDIENTE EN %	DESCRIPCIÓN
0 – 10	Plano a Ligeramente inclinado
11 - 57	Fuertemente inclinado a ligeramente escarpado
57 - 100	Moderadamente escarpado
>100	Fuertemente escarpado

Como resultado final de la descripción del relieve y su respectiva espacialización en el área (Figura 32) se presenta el mapa de pendientes.

El área de estudio aproximadamente en un 52% de su territorio está conformada por pendientes Fuertemente inclinado a ligeramente escarpado. En la Tabla 8 se presentan la distribución del área en hectáreas y dentro del área para cada uno de los rangos de pendientes estipulados por la CDMB.

Tabla 9.

*Distribución de las áreas en hectáreas de la zona de estudio para los diferentes rangos de pendientes.*

PENDIENTES	ÁREA (Ha)
0-10	63,2
21125	248,5
57-100	134,81
>100	32,49

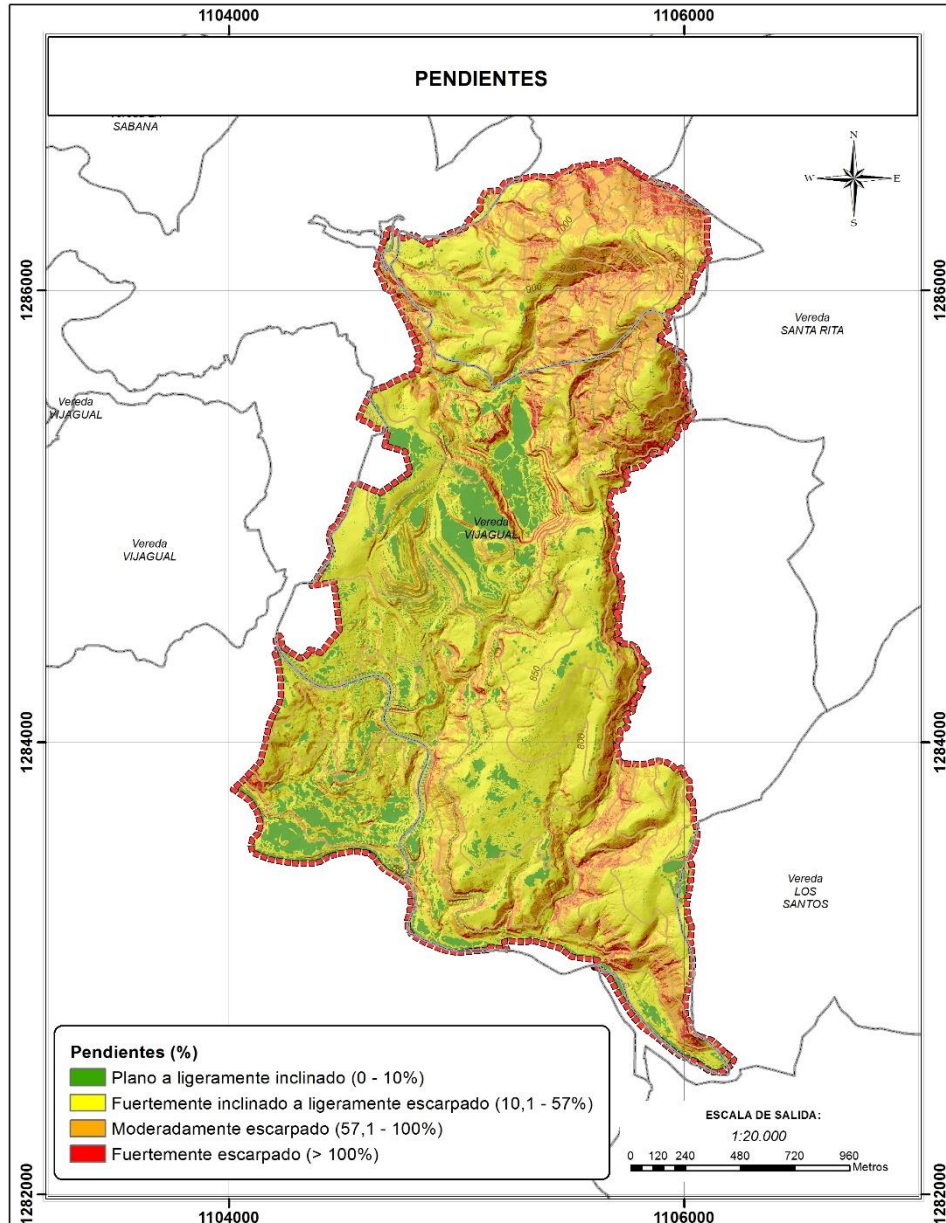


Figura 32. Mapa de pendientes del área.

#### 7.4 Unidades y subunidades del área.

De la zona de estudio se identificaron unidades y subunidades de los ambientes antropogénico, fluvial, denudacional y estructural. Estas Unidades se definieron con base en criterios genéticos,

morfológico, geométrico, y en función de los procesos geomorfológicos específicos, ya sea de carácter erosivo o de acumulación. Para la delimitación de las geoformas se utilizaron imágenes satelitales y el modelo digital del terreno, las cuales evidenciaban todos los parámetros previamente mencionados junto a procesos dinámicos activos.

**7.4.1 Geoformas de Origen Estructural (S).** Corresponde a las geoformas generadas por la dinámica interna de la tierra, especialmente las asociadas a plegamientos y fallamientos, cuya expresión morfológica está definida por la litología y la disposición estructural de las rocas aflorantes en la zona de estudio, en donde predominan los, Cerros estructurales (Sce) y lomos de fallas (Slf), todos están afectadas por procesos erosivos, y se caracterizan por su relieve debido a la fuerte actividad tectónica que ha presentado la zona de estudio, de pendientes variables desde suavemente inclinadas hasta escarpadas. Debido a los fuertes procesos tectónicos sufridos por la zona, y su litología principalmente sedimentaria.

- Lomo de Falla (Slf).

Prominencia topográfica de morfología alomada a montañosa, con laderas cortas a muy cortas, forma convexa y pendiente abrupta a escarpada, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno, ver Figura 33 y Figura 34. Se caracteriza por su alto fracturamiento. Esta geoforma se encuentra distribuida al este de la zona de estudio.



*Figura 33.* Se aprecia lomo de falla. E: 1105610 m, N: 1285214 m. Fotografía parecida al archivo del proyecto. Azimut: 175.



*Figura 34.* Vista en 3D en donde se aprecia lomo de falla, al noreste de la zona de estudio. Fotografía parecida al archivo del proyecto.

- Cerro estructural (Sce).

Prominencia topográfica aislada de morfología montañosa, con laderas de longitud corta a moderadamente larga, convexa a irregulares, poco Disectadas. La unidad presenta pendientes muy abruptas a escarpadas, las cuales han sido parcialmente aisladas de las zonas montañosas por fallamiento. (Figura 34). Esta geoforma se encuentra distribuida en la zona de estudio en la parte central.

- Facetas triangulares (Sft).

Superficie abrupta, recta con una base amplia y angosta hacia arriba, cuyo origen se debe al truncamiento y desplazamiento de espolones estructurales por procesos de fallamiento. Se encuentran principalmente localizadas hacia la parte noreste de la zona de estudio (figura 35). Presentan una morfología recta y de pendiente moderada a abrupta, su origen está asociado a las fallas regionales y los procesos denudativos.



*Figura 35.* Se aprecian posibles facetas triangulares. Fotografía preciente al archivo del proyecto. Azimut 55.

**7.4.2 Geoformas de Origen Denudativo (D).** Dentro de las geoformas asociadas a los procesos denudativos exógenos se incluyen las geoformas que están definidas por la acción combinada de procesos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes y además crean nuevas geoformas por acumulación de sedimentos.

Dentro de la zona de estudio estas geoformas se distribuyen ampliamente casi por la totalidad de las formaciones, sin embargo, son características en las rocas sedimentarias de la Formación Tiburón y la Formación Diamante. Su origen obedece a los procesos de plegamiento y deformación intensa, durante la formación de las sierras homoclinales y la afectación posterior por procesos de meteorización y de denudación diferenciales que generaron la formación local de suelos residuales y lóbulos coluviales con los que generalmente se asocian. Morfológicamente presentan estas características generales:

- Cimas amplias suavemente inclinadas (Dcas).

Superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas, con pendientes planas a inclinadas con anchos entre 50 y 500 metros, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada (Figura 36).



*Figura 36.* Se aprecia geoforma en el barrio colorados, norte de Bucaramanga. Fotografía pereciente al archivo del proyecto. Azimut 130.

- Lóbulos Coluviales (Dco).

Geoforma en forma de cono o lóbulos de longitudes cortas a largas, de formas convexas e inclinaciones suaves a abruptas. Se originan respectivamente por acumulación de materiales sobre las laderas tanto por procesos de escorrentía superficial como por flujo lento y viscoso de suelo saturado y no saturado. Se constituyen de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebidos en material arcilloso-limoso (Figura 37).



*Figura 37.* Se aprecia lóbulo coluvial. E: 1104885 m, N: 1283468 m. Fotografía parecida al archivo del proyecto. Azimut 85.

- Corona de movimiento en masa (Dcmm).

Corresponden a taludes verticales a subverticales en forma de media luna, que forman parte de la superficie de rotura la cual coincide con la superficie del terreno, constituyendo un resalte geomorfológico labrados sobre rocas frescas, meteorizadas o depósitos de suelos. La altura de los escarpes puede alcanzar decenas de metros. (Figura 38)



*Figura 38.* localizada al suroeste de la zona de estudio Corona de movimiento en masa. Fotografía pereciente al archivo del proyecto.

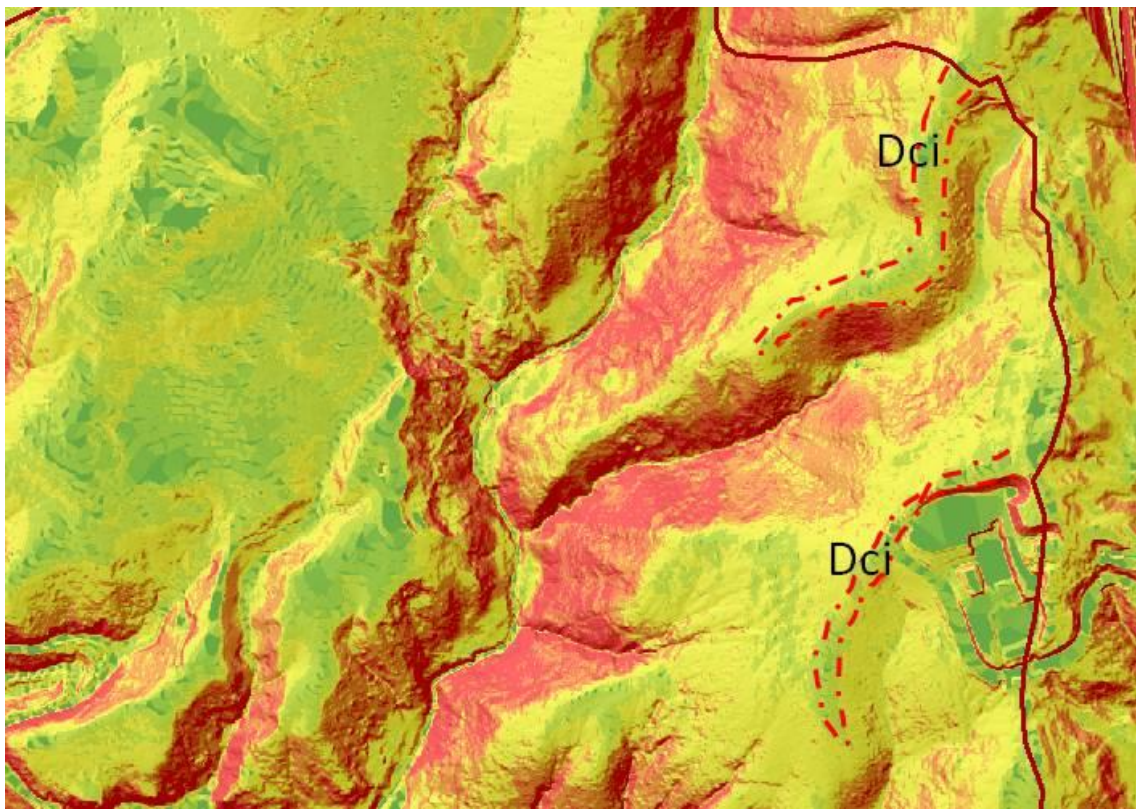
- Lóbulo de movimiento en masa (Dlmm).

La zona de estudio presenta laderas con fuerte pendientes, muchas de las cuales están asociadas a fallas o estructuras, sus principales características morfológicas son pendientes cóncavas y convexas, nichos semicirculares, pendientes escalonados, bloques inclinados, relieve irregular, formación de grietas y cambio súbito de pendiente. Generados por procesos de Movimientos en masa ladera abajo, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante. La mayoría de las laderas con movimiento en masa (Dlmm) de la zona de estudio presenta escarpe de corona de movimiento en masa (Dcmm), los cuales corresponden a taludes verticales a subverticales en forma de media luna, que forman parte de la superficie de rotura la cual coincide con la superficie del terreno, constituyendo un resalte geomorfológico labrados sobre rocas frescas,

meteorizadas o depósitos de suelos. La altura de los escarpes puede alcanzar decenas de metros (Figura 37).

- Crestas Inclinadas (Dci).

Se presentan como franjas alargadas asociadas a divisorias de aguas de las microcuencas, su morfología es alomada y alargadas, de pendientes planas a levemente inclinadas, que presentan terminación en forma de cimas semi redondeadas a convexa e incluso planas con anchos variables, limitadas por vertientes cuya inclinación puede ser moderada a escarpada (Figura 39)



*Figura 39.* Se aprecia crestas inclinadas en la parte sureste de la zona de estudio.

- Flujos de Escombros y Detritos (Dfed).

Lóbulos alomados de longitudes cortas, de formas cóncavas y suavemente inclinadas, constituidas de arcillas saturadas de agua con bloques de materiales heterogeneos, que se presentan siguiendo localmente las hondonadas y valles fluviales y cuyo origen es asociado a lluvias torrenciales (Figura 48). Esta geoforma se encuentra distribuida dentro de la zona de estudio al sureste del área delimitada.

- Lomos denudados bajos (Dldb).

Lomos con índice de relieve bajo, laderas convexas a rectas, pendiente abrupta a muy abrupta, con alturas entre 50-200m, sobre su nivel base local y longitud de laderas que pueden oscilar entre los 250-1000m (Figura 48).

- Planicie (Dp).

Porción de terreno extensa, plana, no confinada, de posición baja y pendiente plana a suave, generalmente menor a 5°. Se destaca por presentar un sistema fluvial complejo, donde son frecuentes las difluencias de las corrientes (Figura 48).

- Montículos remanentes (Dmre).

Conjunto de prominencias topográficas de morfología colinada aislada con una altura menor a 50m sobre su nivel base local, pendiente abrupta a escarpada. Estos montículos están asociados a remanentes de la Formación Diamante y al Miembro Órganos, principalmente de rocas blandas y suelos transportados, se observan hacia el noroeste y suroeste de la zona de estudio (Figura 40).



*Figura 40.* Se aprecian montículos remanentes. E: 1105539 m, N: 1285172 m. Azimut 305. Fotografía pereciente al archivo del proyecto.

- Laderas Denudadas (Dl).

Este tipo de geoformas están asociadas a los procesos denudativos como la erosión y meteorización de la roca en superficie, localizadas en toda el área de estudio, son de morfología alomada con la inclinación de los estratos en favor de la pendiente del terreno, son de longitud corta a larga, de forma cóncava y con pendientes suaves a escarpadas. El origen está asociado con procesos de disección en rocas blandas a intermedias con desarrollo de suelos residuales y coluviales gruesos. Dentro de las que se encuentran laderas suaves a moderadas (Dlsm), definidas por una inclinación suave ( $10^\circ$  y  $25^\circ$ ) de formas onduladas, moderadas irregulares (Dlmi), y moderadas a escarpadas (Dlme), laderas alargadas definidas por una inclinación fuertes a muy fuertes ( $>$  de  $35^\circ$ ). Figura 48.

- Laderas suaves a moderadas (Dlsm).

Son laderas denudadas, definidas por una inclinación suave a inclinada, de formas onduladas a planas, moderadamente erodadas (Figura 41).



*Figura 41.* Vista de ladera suave a moderada ubicada en la parte Oeste de la zona de estudio. Fotografía perteneciente al archivo del proyecto.

- Laderas moderadas irregulares (Dlmi).

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales (Figura 42).



*Figura 42.* Se aprecia ladera moderada irregular. Ubicada al E: 1105937 m, N: 1283891 m y una altura de 881 msnm. Fotografía parecida al archivo del proyecto.

- Laderas moderadas a escarpadas (Dlme).

Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y soliflucción, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura (Figura 43).



*Figura 43.* Se aprecia ladera moderada a escarpada, ubicada al E: 1106114 m, N: 1282457 m con una altura de 717 msnm. Fotografía perteneciente al archivo del proyecto.

**7.4.3 Geoformas de Origen Fluvial (F).** Las geoformas de origen fluvial, son el producto de la intensa erosión y depositación por acción de las corrientes, que a su vez son afluentes, del río Suratá, los cuales han modelado un gran cauce activo (Fca), con depósitos formando planicies y canales de inundación (Fpi), abanicos aluviales (Faa) y algunas terrazas de acumulación (Ft). Hacia la Zona más escarpada se encuentran abanicos aluviales (Faa), de morfología suave. A continuación, se hace una breve descripción de las unidades en la zona de estudio:

- Abanicos Aluviales (Faa).

Superficies en forma de cono, de laderas cóncavo convexas, de dimensiones de cientos de metros a kilómetros de morfología plana, aterrazada formados donde una corriente desemboca en una zona plana. Su origen está asociado a la acumulación torrencial y fluvial en forma radial. Los depósitos aluviales se depositan radialmente desde el ápice del abanico localizado en la salida de la corriente de las montañas. Los canales fluyen radialmente, cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice del abanico y más someros al alejarse de él. Esta geoforma se encuentra distribuida dentro de la zona de estudio al sur (Figura 48).

- Terrazas (Ft).

Son superficies planas a ligeramente inclinadas dejadas por la acumulación de material fluvial y fluviotorrencial depositado por un río o quebrada que indican los diferentes niveles de divagación del cauce a través de su evolución, localizándose a diferentes alturas a los lados de los valles y algunas quebradas, limitadas principalmente por laderas fuertemente inclinadas a escarpadas (Figura 44). Esta geoforma se encuentra distribuida dentro de la zona de estudio en la parte sur donde se observan las pendientes bajas.



Figura 44. Se aprecia posible terraza baja al sur de la zona de estudio.

- Planicies de Inundación (Fpi).

Geoformas con morfología baja y ondulada de pendientes levemente inclinadas a medias eventualmente inundables. En regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas que presentan una red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad y localmente pueden presentar control estructural. La composición granulométrica y mineralógica, así como las características estructurales y texturales varían ampliamente en función del régimen de los ríos, de las propiedades de las rocas, de la cuenca hidrológica y de las condiciones morfodinámicas generales. En las corrientes de alta gradiente se presentan materiales heterogéneos con predominio de gujarros de composición mineralógica variada, mientras que las de bajo

gradiente se caracterizan por una mejor distribución y disminución del tamaño y redondez de los materiales. Esta geoforma se encuentra distribuida al sur de la zona de estudio (Figura 48).

- Cauce activo (Fca).

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos (Figura 45).



Figura 45. Se aprecia cauce activo perteneciente al Río Surata, ubicado al E: 1104785 m, N: 1283394 m y con una altura de 657 msnm. Fotografía perteneciente al archivo del proyecto.

**7.4.4 Geoformas de Origen Antrópico (A).** Son formas del terreno cuyo origen está ligado a las actividades humanas de explotación de recursos del subsuelo y al acondicionamiento del terreno tanto para la construcción de obras civiles como para la disposición de desechos tanto orgánicos como inorgánicos. En la zona de estudio predominan las geoformas de origen antrópico asociado a Superficie de Excavación para uso industrial (Aei) y las zonas urbanas (Azu) (Figura 48). En general se evidencian las siguientes formas:

- Zonas Urbanas (Azu).

Son las zonas donde hay asentamientos urbanos dentro de la zona de estudio, dentro de las principales unidades, sobre depósitos aluviales y algunos sobre formaciones (Figura 46).



*Figura 46.* Se aprecia zonas urbanas, ubicadas al suroccidente de la zona de estudio. Fotografía pereciente al archivo del proyecto.

- Superficie de Excavación para uso industrial (Aei).

Superficies de excavación y depositación de agua (Figura 47). Como resultado de la interpretación de los diferentes modelos (Sombras, pendientes, modelos SAGA GIS, etc.) e imágenes satelitales, se presenta como resultado el mapa de unidades geomorfológicas de la Zona de estudio, (Carvajal, 2011).



*Figura 47.* Se evidencia plata de tratamiento de agua, ubicada al sur este de la zona de estudio. Fotografía pereciente al archivo del proyecto.

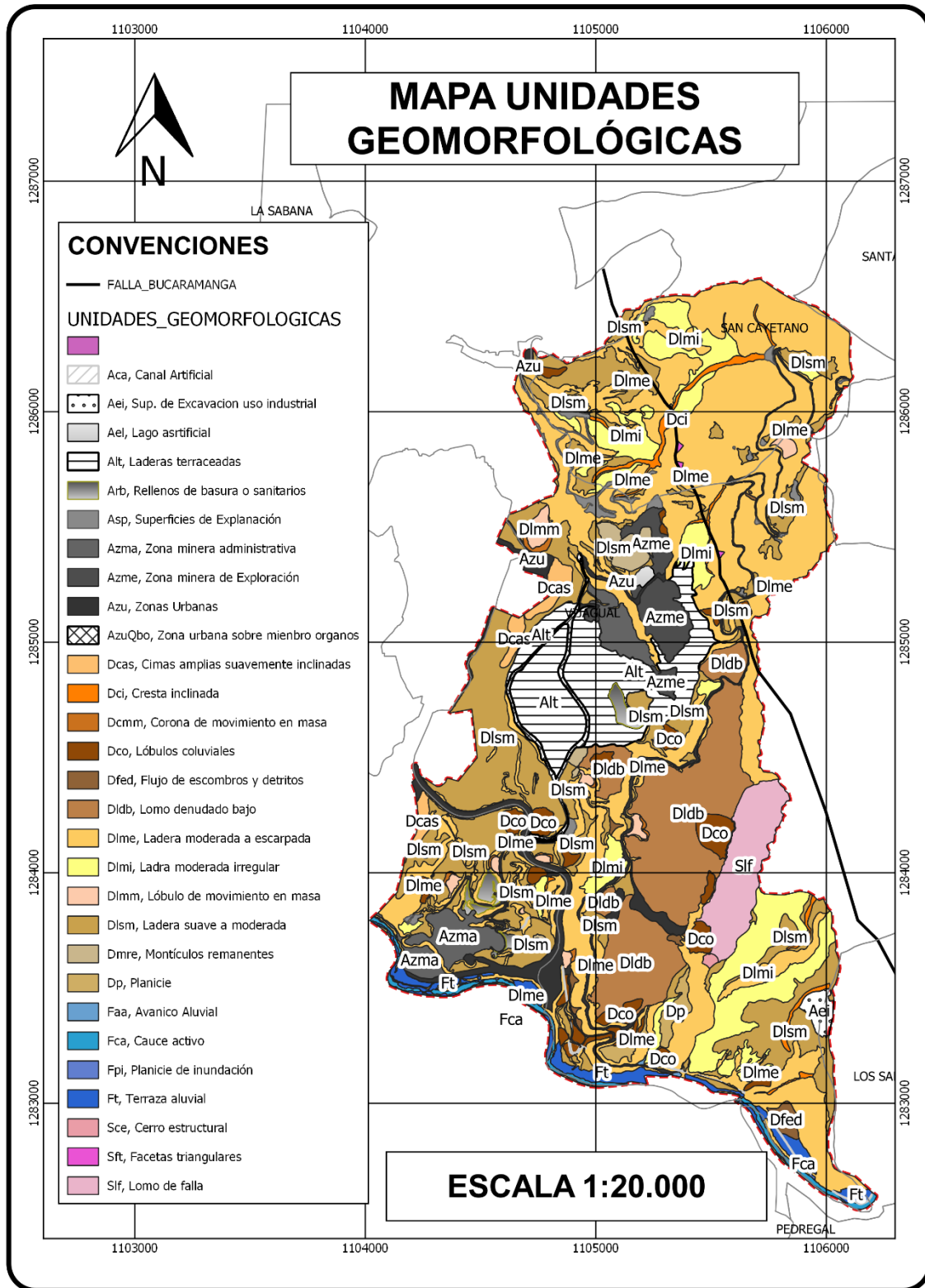


Figura 48. Unidades Geomorfológicas de la zona de estudio.

## 8. Conclusiones y recomendaciones.

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias pertenecientes a las Formaciones Diamante, Tiburón, Bocas que datan del carbonífero Pérmico y Triásico del Grupo Surata, y depósitos cuaternarios que corresponden al Miembro Órganos, los depósitos de ladera y depósitos aluviales. La Formación Tiburón representa el 49% del área, seguido de Miembro Órganos con el 36%, los depósitos de ladera el 7%, depósitos aluviales el 6%, depositándose en menor proporción la Formaciones Diamante y Bocas con el 1%.

Se diferenciaron 12 unidades geológicas superficiales divididas así: 7 unidades de suelos transportados, 1 de suelos residuales sedimentarios, 4 de rocas sedimentarias; Entre las unidades de suelos transportados se definió 1 unidad de origen antrópico que se encuentra ubicada en la parte plana, hace referencia a la vía nacional, 4 de origen aluvial-fluviotorrencial y 2 unidades de suelos coluviales.

Los suelos residuales se definieron según el origen del material parental y de acuerdo a eso se establecieron 5 unidades que son Suelo residual de la Fm. Diamante, Suelo residual de la unidad Cuarzomonzonita, Granito y Pórfido Cuarzoso, suelo residual de la Fm. Bocas y suelo residual del Neis de Bucaramanga.

Las unidades de rocas sedimentarias se definieron como blandas y pertenecen a las Formaciones Tiburón, Diamante y Bocas, esto se da principalmente al alto grado de fracturamiento presente en la zona de estudio, producto de diferentes sistemas de fallas locales presentes, asociadas a la Falla Bucaramanga.

El área se caracteriza por ser montañosa, el 61% presenta inclinaciones que van desde fuertemente inclinada a escarpado, 24% presenta inclinaciones moderadamente escarpadas, 6% presenta inclinaciones fuertemente escarpadas, el 9% del área tiene pendiente de plano a ligeramente inclinado.

La zona de estudio a nivel general presenta cuatro ambientes morfogenéticos predominantes que determinan las geoformas y evidencian los procesos a las cuales ha sido expuesta. Los ambientes son: ambiente denudacional, ambiente estructural, ambiente antropogénico y ambiente fluvial; Dentro de la geoforma de origen fluvial se encuentran las siguientes unidades y subunidades: abanicos aluviales (Faa), terrazas (Ft), cauce activo (Fca) y planicie de inundación (Fpi). Además, en la zona de estudio se encuentran geoformas de Ladera moderada a escarpada (Dlme), Ladera moderada irregular (Dlmi), Ladera suave a moderada (Dlsm), Cerros estructurales (Sce) y lomos de falla (Slf), las cuales están fuertemente erosionada asociada a fallas donde predomina un ambiente estructural y denudativo. Finalmente, en las inmediaciones del río Surata se encuentran geoformas de origen aluvial, en su gran mayoría abanicos aluviales (Faa) y terrazas (Ft), los cuales son de ambiente deposicional.

### Referencias Bibliográficas

- Boinet, T., (1985). La frontiere meridionale de la plaque Caraibe aux confins ColomboVenezueliens. Tesis Universite et Marie Curie. París.
- Boinet, T., Bourgois, J., y Mendoza, H. (1985). Tectónica de sobrecorrimiento y sus implicaciones estructurales en el área Pamplona-Cordillera Oriental de Colombia. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, UIS, 15 (29): 81-97.
- Campbell, C.J., (1965). The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. Fourth Caribbean Geological Conference. Memoir : 247-261. Trinidad.
- Carvajal, J. H. (2002). Caracterización de la metodología geomorfológica adaptada por Ingeominas. Documento interno Ingeominas sometido a discusión y modificaciones. 13p. Bogotá.
- Carvajal, J. H. (2011). Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Documento interno Ingeominas. 21-28p. Bogotá.
- Case, J., Holcombe, T. y Martín, R., (1984). Map of geologic provinces in the Caribbean region. Geological Society of America. Memoir 162, : 1-30. Colorado.
- Cediél, F., (1968). El Grupo Girón, una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional. Boletín Geológico, 16 (1-3) : 5-96. Bogotá.
- Clavijo, (1994a). Mapa Geológico Generalizado de Norte de Santander. Escala 1:250.000. Ingeominas. En proceso de publicación. Bucaramanga.
- Clavijo, J., et al. (1993). Contribución al Conocimiento de la Geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Documento interno No. 99. INGEOMINAS, Bucaramanga.

- Dearman, W. R. (1974). Weathering classification in the characterization of rock for engineering purposes in British practice. *International Association of Engineering Geology*, 9, 33-42.
- Dearman, W.R. (1991). *Engineering Geological Mapping*. Butterworth– Heinemann, Oxford.
- Deere, D. U., & Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. *4th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, págs. 87-170. San Juan de Puerto Rico.
- Dickey, P.A. (1941). Pre-Cretaceous sediments in Cordillera Oriental of Colombia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 29: 1789-1795. Tulsa.
- Etayo – Serna, F. et al. (1986). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. *Publicaciones especiales, Ingeominas*, 14, Bogotá, 235 P.
- Forero, C., Gálvez, P., & Fino y Ulloa. (1999). Estudios de la estructura de las cenizas volcánicas de Armania y su relación con el comportamiento geotécnico. (X. J. Colombia, Ed.) *Boletín Colombiano de Geotecnia*. Sociedad Colombiana de Geotecnia.
- Henríquez Daza, M., Saavedra Umba, H., Hurtado Moreno, G., Montealegre Bocanegra, J., González, O., & León Aristizábal, G. et al. (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM.
- Hermelín, M., (1987). *Bases de Geología Ambiental*. Universidad Nacional de Colombia (Seccional Medellín). Medellín.
- Hettner, A., (1892). Die Kordillere von Bogotá, Gotha, Patermans Mitteil; 22, 131 p. *Erganzungsheft*.
- Hubach, E. (1951). Mina de Carbón de “Chía” en el Páramo del Almorzadero (Santander). *Servicio Geológico Nacional. Informe 809*. Bogotá. 3 p.
- IGAC, (1992). *Atlas de Colombia*. Editolaser Ltda, 321 p. Santa Fe de Bogotá.
- IGAC, (1996). *Diccionario Geográfico de Colombia*. Horizontes Impresores Ltda., 3: 12451257. Santa Fe de Bogotá.

- INGEOMINAS, (1999). Evaluación del potencial ambiental de los recursos suelo, agua, mineral y bosques en el territorio de jurisdicción de CARDIQUE. Informe de Ingeominas para Cardique. Convenio ínter administrativo No 095/98. 285p. 1999.
- INGEOMINAS, (2001). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica.
- Irving, E.M. (1971). La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 19 (2): 1-89.
- James, M., (1985). Evidencia de colisión entre la miniplaca bloque Andino y la placa Norteamericana desde el Mioceno medio. VI Congreso Latinoamericano de Geología. Memorias, I : 58-75. Bogotá.
- Julivert, M. (1968). Lexique Stratigraphique International Amerique Latine Colombia (Premiere Partie). Centre National de la Recherche Scientifique.
- Julivert, M., (1958). La morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, (1) : 7-44. Bucaramanga.
- Julivert, M., (1961). Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, (6) : 33-52. Bucaramanga.
- Kellogg, J.N., (1984). Cenozoic tectonic history of the Sierra de Perijá, VenezuelaColombia, and adjacent basins, in Bonini, W. et al (ed). The caribbean South American Plate Boundary and regional tectonics. Bulletin Geological Society of America, Memoir 162. Colorado.
- Kellogg, J.N., Ogujiofor, I. y Kansakar, D., (1985). Cenozoic tectonics of the Panama and North Andes blocks. VI Congreso Latinoamericano de Geología. Memorias, I : 34-49. Bogotá.
- Lazar, R., & Eder, J. (2001) Estudio sobre el clima urbano en Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, UIS.
- León, L. A. (1991). Mapa Geológico del Departamento de Santander. Escala 1:800.000. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología. Vol 20(35). Bucaramanga: p.p: 53-63.

- Mendivelso, D. (2009). El sistema ITC para el levantamiento geomorfológico y análisis del terreno (tomado y adoptado como material de apoyo para el curso de movimientos en masa). Documento INGEOMINAS. Páginas 15 – 20. Bogotá.
- Navas, J (1962). Geología del carbonífero al N de Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (Colombia), Bol. De Geología no 11 p. 23-34.
- Oppenheim, V., (1940). Jurassic-Cretaceous (Girón) beds in Colombia and Venezuela. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 24 : 1611-1619. Tulsa.
- París, G., y Sarria, A. (1988). Proyecto Geofísico del Nordeste Colombiano. Cali. INGEOMINAS. Informe interno, 48p.
- Rabe, E., (1974). Die Prekretazische Mesozoische Anfolge Ost-Kordillere Nordlich von Bucaramanga, 37 p., disertacion Justus Liebig, Universidad Giessen.
- Royero, J., & Clavijo, J. (2001). Memoria Explicativa del Departamento de Santander (pp. 10-50). Bogotá: INGEOMINAS.
- Royero, J.M., (1994). Geología de la Plancha 65, Tamalameque (Departamentos del Cesar y Bolívar). Ingeominas. Memoria Explicativa. En proceso de publicación, 76 p. Bucaramanga.
- Trumpy, D.W and Salvador., (1964). Guidebook to geology FO western Tachira: Assoc. Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, 25 p.
- Tschanz, C., Jimeno, A., and Cruz, J., (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Informe interno 1829. INGEOMINAS. Bogotá. Preliminary report, 288p.
- Tschanz, C., Marvin, R., Cruz, J., and Mehnert, H. (1974). Geologic evolution of The Sierra Nevada de Santa Marta, North Eastern Colombia. Bulletin Geological Society of America, 85 (2): 273-284.
- Tschanz, CH., et al., (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area Colombia. Ingeominas. Informe 1829. Preliminary report, 288 p. Bogotá.

- Tschanz, CH., et al., (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, North Eastern Colombia. Bulletin Geological Society of America, (85) : 273-284. Colorado.
- Ulloa, C. y Rodríguez, E., (1979). Geología de las planchas 170, Vélez y 190, Chiquinquirá, Colombia. Ingeominas. Informe 1794, 45 p. Bogotá.
- Vargas, G. y Niño, A. (1992). Patrones de fracturamiento asociados a la Falla Bucaramanga. Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Vargas-Jiménez, C. A.; Pujades, L. G.; Ugalde, A.; Canas, J. A.; (2002) Estado de deformación y esfuerzos en el territorio colombiano; Rev. Academia Colombiana de Ciencia: volumen XXVI, número 100-septiembre
- Velasquez, E. (1999). Contribution méthodologique a la prise en compte du milieu physique dans la planification enviromentale du territoire en zone montagnense de Colombie. Tesis de PHD. Université de Grenoble, 310p. Francia.
- Villota, H., (1997). Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno. Revista IAF, volumen 15, N° 1. Pp 83 - 115. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.
- Ward, W., et al., (1973). Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander. Ingeominas. Boletín Geológico, 21 (13): 1-32. Bogotá.