

**Elaboración de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, del suelo urbano
del municipio de Santa Bárbara, Santander.**

César Augusto Rojas Ruíz

Trabajo de grado para optar al título de Geólogo

Director:

Álvaro Mauricio Solarte Vanegas

Magister en Administración de Empresas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2018

Dedicatoria

Dedico todo mi deseo y esfuerzo, a mi padre Gabriel Fernando Rojas Ortiz y el alma y recuerdo de mi madre María Ángela Ruíz Higuera, quienes me criaron, enseñaron, y educaron toda la vida, a quienes les debo todos mis valores y forma correcta de ser persona, y que estos últimos semestres siempre estuvieron pacientes a la espera de mi título profesional.

Agradecimientos

Mis más sinceros y gratos agradecimientos a Alianza & Ingeniería S.A.S. Quienes permitieron y dieron la oportunidad de aprender y aplicar mi conocimientos del área de Geología, además de financiar y hacer posible la realización del proyecto.

A todo el personal administrativo y profesores que hacen parte de la escuela de Geología y demás personal docente que hace parte de la formación académica de la Universidad Industrial de Santander, ya que ellos brindaron las bases y apoyo de lo que será mi vida profesional de aquí en adelante y de quienes me siento orgulloso de haber aprendido.

A mis calificadores, Ana Milena Cardozo Ortiz y Andrés Joaquín Valencia Ortiz, los cuales son excelentes personas, deseando lo mejor para ellos.

A mi director de proyecto Álvaro Mauricio Solarte Vanegas, quien fue paciente y determinante en como apoyo para poder desarrollar el trabajo de grado.

Finalmente agradezco a todos los compañeros, familiares, amigos y demás personas allegadas que siempre estuvieron pendientes y pacientes a la espera de mi gradación.

Todo bien la buena... Gracias.

Contenido

	Pág.
Introducción	21
1. Descripción de la práctica empresarial	22
1.1 Justificación	23
2. Objetivos.....	24
2.1 Objetivo general.....	24
2.2 Objetivos específicos	24
2.3 Alcances del proyecto.....	25
3. Metodología	26
3.1 Fase de aprestamiento.....	27
3.2 Fase de reconocimiento y caracterización del suelo urbano.....	28
3.3 Fase de oficina	29
4. Generalidades.....	30
4.1 Localización y vía de acceso.....	30
4.2 Fisiografía	32
4.3 Hidrografía.....	34
4.3.1 Área de la subcuenca del Río Umpalá en el municipio	34
4.3.1.1 Vereda Esparta.....	35
4.3.1.2 Vereda Salinas y Vereda El Tope.....	36

4.3.2 Principales características de la parte alta de la de la subcuenca del Río Umpalá	36
4.3.3 Patrón de drenaje de la parte alta del Río Umpalá.....	38
4.3.3.1 Subdendrítico.	38
4.3.3.2 Subparalelo.	38
4.4 Clima.....	39
4.5 Precipitación	39
4.5.1 Distribución temporal de la precipitación.....	39
4.5.2 Procesos de formación de la precipitación.....	41
4.6 Características sísmicas	41
4.6.1 Sismicidad histórica.....	43
4.6.2 Factores Pseudo-estáticos de la norma NSR-10	44
4.7 Características del sitio de acuerdo a la Norma NSR-10.....	47
4.7.1 Valores de Aa y Av.....	47
4.7.2 Perfil del suelo definido por Norma.....	47
4.7.3 Cálculo del espectro de diseño.....	51
5. Geología.....	52
5.1 Marco geológico regional	53
5.1.1 Localización geológica	56
5.1.2 Estratigrafía.....	57
5.1.2.1 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (JRcs).....	57
5.1.2.2 Depósito aluvial (Qal).....	60
5.1.2.3 Depósitos de terraza y cono de deyección (Qtf)	60
5.1.3 Rasgos estructurales de la zona de estudio	61

5.1.3.1 Falla de Umpalá	63
5.1.2.4 Falla de Bucaramanga – Santa Marta	64
5.2 Geología local del suelo urbano de Santa Bárbara	65
5.2.1 Identificación de unidades litoestratigráficas.....	66
5.2.2 Unidades de geología para ingeniería	67
5.2.2.1 Unidades de roca intermedia (Ri)	69
5.2.2.1.1 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Ricsb)	72
5.2.2.2 Unidades de suelo residual.....	76
5.2.2.2.1 Saprolito de cuarzomonzonita (Srqm)	77
5.2.2.3 Unidades de suelo transportado	83
5.2.2.3.1 Suelo Coluvial (Stco).....	83
5.2.2.3.2 Suelo fluvio-torrencial (Stft).....	86
5.2.2.3.3 Suelos aluviales recientes o lecho del río (Sar)	90
6. Rasgos estructurales locales.....	92
6.1 Estilos estructurales	93
6.1.1 Estructuras principales	98
6.1.1.1 Falla del río Umpalá.....	98
6.1.1.2 Lineamiento Santa Bárbara dirección NNE-SSW	100
6.1.1.3 Lineamiento Salina dirección E-W	101
7. Geomorfología	102
7.1 Morfología	103
7.2 Morfometría	103
7.2.1 Unidades Morfométricas.....	104

7.2.1.1 Pendientes Planas (PP).....	105
7.2.1.2 Pendientes ligeramente Inclinas (PLI).....	106
7.2.1.3 Pendientes moderadamente inclinadas (PMI).....	107
7.2.1.4 Pendientes inclinadas (PI).....	108
7.2.1.5 Pendientes empinadas (PE).....	108
7.2.1.6 Pendientes muy empinadas (PME).....	109
7.2.1.7 Pendientes escarpadas (PES).....	110
7.2.1.8 Pendientes muy escarpadas (PMES).....	111
7.3 Morfogénesis.....	112
7.3.1 Unidades de origen estructural.....	114
7.3.1.1 Lomo de presión (Slp).....	114
7.3.1.2 Espolón estructural (Spe).....	115
7.3.1.3 Espolones denudados (Sed).....	117
7.3.2 Unidades de origen denudacional.....	118
7.3.2.1 Depósitos Coluviales (Dco).....	118
7.3.3 Unidades de origen fluvial.....	119
7.3.3.1 Escarpe de terraza (Fet).....	119
7.3.3.2 Nivel de terraza alto (Fnta).....	121
7.3.3.3 Nivel de terraza medio (Fntm).....	122
7.3.3.4 Nivel de terraza bajo (Fntb).....	123
7.3.3.5 Cauce o lecho actual del río (Fcar).....	125
7.3.4 Unidades de origen antrópico.....	126
7.3.4.1 Laderas explanadas (Ale).....	126

7.3.4.2 Obras de ingeniería (Aoi).....	127
7.4 Morfodinámica.....	128
7.4.1 Movimientos en masa	129
7.4.1.1 Caída de roca y detritos vía Bucaramanga (1)	130
7.4.1.2 Deslizamiento traslacional de grandes dimensiones vía Bucaramanga (2)	131
7.4.1.3 Caída de detritos al Este del casco urbano (3)	133
7.4.1.4 Deslizamiento traslacional al Este del casco urbano “Sector Juaguil” (4)	134
7.4.1.5 Caída de escombros (debris fall) en bancada de vía (5)	135
7.4.2 Procesos erosivos	137
8. Evolución geológica.....	139
9. Exploración geotécnica general	140
8.1 Metodología de la exploración geotécnica general.....	141
8.2 Fase de campo.....	142
8.3 Investigación del subsuelo	142
8.3.1 Registros de perforación SPT (percusión)	145
8.3.2 Registro fotográfico de apiques	146
8.3 Niveles freáticos.....	147
8.4 Fase de ensayos de laboratorio	148
8.4.1 Clasificación de suelos (SUCS).....	148
8.4.2 Ensayos de corte directo en suelo.	150
8.4.3 Ensayo de carga puntual en rocas	151
8.4.4 Análisis del macizo rocoso según el criterio de falla de HOEK-BROWN.....	153
8.5 Correlaciones del ensayo SPT usando DINAMYC PROBING	155

8.6 Análisis geoestadístico de los parámetros geotécnicos.....	155
9. Evaluación del modelo geológico geotécnico.....	156
9.1 Parámetros geotécnicos empleados en la modelación	158
9.2 Distribución de los materiales a profundidad	160
9.2.1 Modelo geológico – geotécnico	161
10. Amenaza por movimientos en masa	162
10.1 Método de análisis “Equilibrio limite y factor de seguridad”	165
10.1.1 Factor de seguridad (F.S.).....	165
10.2 Categorización de la amenaza por Movimiento en masa método determinístico.....	166
10.3 Periodo de retorno de las amenazas	168
10.4 Evaluación de la probabilidad de falla.....	169
10.5 Resultados de los análisis de estabilidad ante deslizamiento.....	171
10.5.1 Resultados de la estabilidad (Perfil 1-Escenario1)	172
11. Conclusiones.....	177
Referencias Bibliográficas	182

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Metodología de trabajo.	26
<i>Figura 2.</i> Rutas y estaciones de control.....	29
<i>Figura 3.</i> Localización geográfica del casco urbano de Santa Bárbara.....	31
<i>Figura 4.</i> Fisiografía de municipio de Santa Bárbara.....	33
<i>Figura 5.</i> Parte alta de la subcuenca del río Umpalá.....	37
<i>Figura 6.</i> Nido sísmico de Bucaramanga.....	42
<i>Figura 7.</i> Zonas de amenaza sísmica.....	44
<i>Figura 8.</i> Mapa de valores Aa (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva).....	45
<i>Figura 9.</i> Mapa de valores Av. (coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva).....	46
<i>Figura 10.</i> Espectro de diseño.....	51
<i>Figura 11.</i> Espectro de diseño recomendado.....	51
<i>Figura 12.</i> Mapa de mega terrenos tectónicos de Colombia.....	54
<i>Figura 13.</i> Esquema estructural del departamento de Santander.....	55
<i>Figura 14.</i> Localización geológica del casco urbano del Municipio de Santa Bárbara.....	56
<i>Figura 15.</i> Falla de Umpalá.....	64
<i>Figura 16.</i> Mapa de unidades de geología para ingeniería.....	68

<i>Figura 17.</i> Cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada a borde de la Quebrada Salinas.	73
<i>Figura 18.</i> Tonalidades que toma la cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada.	74
<i>Figura 19.</i> Afloramiento de la cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada que expone el talud de la vía.....	75
<i>Figura 20.</i> Imagen detallada de la cuarzomonzonita al Sur del casco urbano.	75
<i>Figura 21.</i> Perfil de meteorización de Deere y Patton 1971.....	76
<i>Figura 22.</i> Suelo residual o saprolito de cuarzomonzonita.	77
<i>Figura 23.</i> Imagen detallada de la textura y composición del saprolito de cuarzomonzonita.....	78
<i>Figura 24.</i> Suelo residual granular.	79
<i>Figura 25.</i> Cuarzomonzonita observada al Suroeste del casco urbano.	80
<i>Figura 26.</i> Imagen a detalle de la cuarzomonzonita clara rica en plagioclasa, biotítica y de grano grueso.....	81
<i>Figura 27.</i> Diques aplíticos de Color Claro que intruyen la cuarzomonzonita al Oeste del Río Umpalá.....	82
<i>Figura 28.</i> Suelo residual saprolítico granular que desarrolla la cuarzomonzonita al Oeste del casco urbano.....	82
<i>Figura 29.</i> Suelos coluviales al Norte del casco urbano.....	84
<i>Figura 30.</i> Suelo coluvial observado al Norte del casco urbano.	84
<i>Figura 31.</i> Bloques que contiene el suelo coluvial al Norte.....	85
<i>Figura 32.</i> Suelo coluvial matriz-soportado.	86
<i>Figura 33.</i> Suelos fluvio-torrenciales observados saliendo del casco urbano.	87

<i>Figura 34.</i> Suelos transportados fluvio-torrenciales identificados en cercanías a la Quebrada Salinas.....	88
<i>Figura 35.</i> Suelos transportados fluvio-torrenciales vistos al margen Oeste de la Quebrada Esparta.....	89
<i>Figura 36.</i> Suelos aluviales recientes de la Quebrada Salinas.....	90
<i>Figura 37.</i> Suelos aluviales recientes de la Quebrada Esparta.....	91
<i>Figura 38.</i> Perfil estratigráfico tipo local.....	91
<i>Figura 39.</i> Fallas inferidas en el área de estudio del Casco Urbano.....	93
<i>Figura 40.</i> Estilos estructurales en la zona de estudio.....	95
<i>Figura 41.</i> Modelo estructural regional con cinemática de las principales fallas.....	96
<i>Figura 42.</i> Panorámica hacía el casco urbano de Santa Bárbara.....	97
<i>Figura 43.</i> Panorámica hacia Norte el Río Umpalá.....	98
<i>Figura 44.</i> Estrías de falla.....	99
<i>Figura 45.</i> Lineamiento Santa Bárbara visto desde el Noroeste del casco urbano.....	100
<i>Figura 46.</i> Afloramiento ubicado en cercanías al lineamiento Salinas y Santa Bárbara.....	101
<i>Figura 47.</i> Mapa de pendientes.....	105
<i>Figura 48.</i> Pendientes planas (PP).....	106
<i>Figura 49.</i> Pendientes ligeramente inclinadas (PLI).....	107
<i>Figura 50.</i> Pendientes moderadamente inclinadas (PMI).....	107
<i>Figura 51.</i> Pendientes inclinadas (PI).....	108
<i>Figura 52.</i> Pendientes empinadas (PE).....	109
<i>Figura 53.</i> Pendientes muy empinadas (PME).....	110
<i>Figura 54.</i> Pendientes escarpadas (PES).....	111

<i>Figura 55.</i> Pendientes muy escarpadas (PMES).....	112
<i>Figura 56.</i> Mapa de unidades geomorfológicas.	114
<i>Figura 57.</i> Espolón denudado y lomos de presión.	115
<i>Figura 58.</i> Espolón estructural.	117
<i>Figura 59.</i> Depósito coluvial.	119
<i>Figura 60.</i> Escarpe de terraza a borde de la Quebrada Salinas	120
<i>Figura 61.</i> Nivel de terraza alto.....	121
<i>Figura 62.</i> Nivel de terraza medio.....	123
<i>Figura 63.</i> Nivel de terraza bajo a borde de la Quebrada Esparta.....	124
<i>Figura 64.</i> Nivel de terraza bajo a borde de la quebrada Salinas.....	124
<i>Figura 65.</i> Lecho o cauce actual de la Quebrada Salinas.....	125
<i>Figura 66.</i> Lecho o cauce actual del Río Umpalá	126
<i>Figura 67.</i> Laderas explanadas.....	127
<i>Figura 68.</i> Edificaciones como obras de ingeniería.....	127
<i>Figura 69.</i> Vías como obras de ingeniería.....	128
<i>Figura 70.</i> Clasificación de fenómenos de remoción en masa.....	129
<i>Figura 71.</i> Caída de roca al Sur del casco urbano.....	131
<i>Figura 72.</i> Deslizamiento traslacional de grandes dimensiones en la vía Bucaramanga.....	132
<i>Figura 73.</i> Prolongación del deslizamiento hacia el margen Este del Río Umpalá.....	133
<i>Figura 74.</i> Caída de detritos sobre la vía que conduce hacia la vereda La Salina.....	134
<i>Figura 75.</i> Deslizamiento al Este del Casco urbano.....	135
<i>Figura 76.</i> Deslizamiento al margen Este de la Quebrada Esparta.....	136
<i>Figura 77.</i> Erosión en surcos.....	138

<i>Figura 78.</i> Erosión laminar y en surcos.....	138
<i>Figura 79.</i> Metodología de la exploración geotécnica.	142
<i>Figura 80.</i> Plano de exploración geotécnica (Ubicación sondeos SPT percusión).	144
<i>Figura 81.</i> Registro fotográfico sondeo 3 de percusión.	146
<i>Figura 82.</i> Registro de apique 2.	147
<i>Figura 83.</i> Grafica resumen de resultados de corte directo (AP1 al AP6).	151
<i>Figura 84.</i> Grafica resumen de resultados de corte directo (AP7 al AP11).	151
<i>Figura 85.</i> Resistencia a la compresión uniaxial.	153
<i>Figura 86.</i> Clasificación de Hoek-Brown. Software Roclab.	154
<i>Figura 87.</i> Perfiles del suelo obtenidos de las líneas sísmicas.	158
<i>Figura 88.</i> Distribución de los materiales en profundidad (Sección transversal 1-1').	160
<i>Figura 89.</i> Ubicación de las secciones transversales.	161
<i>Figura 90.</i> Modelo geológico geotécnico característico de la zona.	162
<i>Figura 91.</i> Enfoque general de la simulación de Monte Carlo.	170
<i>Figura 92.</i> Modelo de estabilidad (Perfil 1-Escenario 1).	172
<i>Figura 93.</i> Comportamiento del F.S. sobre la ladera (Perfil 1 Escenario 1).	173
<i>Figura 94.</i> Plano de amenaza (Escenario 1).	175
<i>Figura 95.</i> Categorización de la amenaza en función de la amenaza (Escenario 1)	176

Lista de Tablas

	Pág.
<i>Tabla 1.</i> Volumen de precipitación anual. Estación El Tope, 2002.	40
<i>Tabla 2.</i> Parámetros Pseudo-estáticos para el municipio de Santa Bárbara Santander.	47
<i>Tabla 3.</i> N promedio.	48
<i>Tabla 4.</i> Clasificación de los perfiles del suelo.	49
<i>Tabla 5.</i> Valores del coeficiente de amplificación de la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los afectos del sitio (Fa).	49
<i>Tabla 6.</i> Valores de coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios debida a los efectos de sitio (Fv).	50
<i>Tabla 7.</i> Valores del coeficiente de importancia.	50
<i>Tabla 8.</i> Resumen parámetros Pseudo-estáticos para el municipio de Santa Bárbara Santander.	52
<i>Tabla 9.</i> Unidades de geología para ingeniería según su origen.	67
<i>Tabla 10.</i> Unidades de geología para ingeniería definidas para el área de estudio.	69
<i>Tabla 11.</i> Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR	70
<i>Tabla 12.</i> Resumen clasificación de macizo rocoso 1.	71
<i>Tabla 13.</i> Unidades morfométricas.	104
<i>Tabla 14.</i> Unidades geomorfológicas	113
<i>Tabla 15.</i> Tabla de procesos morfodinámicos identificados.	130
<i>Tabla 16.</i> Ensayos de campo	143

<i>Tabla 17.</i> Ensayos de laboratorio.....	143
<i>Tabla 18.</i> Coordenadas de la exploración geotécnica.....	144
<i>Tabla 19.</i> Resumen registro N (Golpes/pie) SPT a percusión.....	146
<i>Tabla 20.</i> Resumen resultados de laboratorio clasificación de suelos, límites ATTERBERG y granulometría.....	149
<i>Tabla 21.</i> Resumen de resultados de apiques.....	150
<i>Tabla 22.</i> Resultados de ensayos de carga puntual.....	152
<i>Tabla 23.</i> Análisis de la resistencia del macizo usando Roclab.....	154
<i>Tabla 24.</i> Propiedades geotécnicas saprolito de cuarzomonzonita (Srqm).....	159
<i>Tabla 25.</i> Propiedades geotécnicas del depósito coluvial (Stco).....	159
<i>Tabla 26.</i> Propiedades geotécnicas del depósito fluvio-orrencial (Stft).....	159
<i>Tabla 27.</i> Propiedades geotécnicas de la cuarzomonzonita (Ricsb).....	160
<i>Tabla 28.</i> Factores de seguridad básicos mínimos directos.....	164
<i>Tabla 29.</i> Categorización de la amenaza por Movimientos en masa.....	167
<i>Tabla 30.</i> Categorización de la amenaza a partir del factor de seguridad F.S.....	168
<i>Tabla 31.</i> Resumen F.S. (Bigshop) y probabilidad de falla (Bishop) (Escenario 1).....	174
<i>Tabla 32.</i> Áreas de amenaza (Escenario 1).....	176
<i>Tabla 33.</i> Probabilidad de falla.....	177

Resumen

Título. Elaboración de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, del suelo urbano del municipio de Santa Bárbara, Santander *

Autor: César Augusto Rojas Ruíz**

Palabras Clave: Amenaza, unidades de geología para ingeniería, geomorfología, geotécnica.

El presente trabajo hace referencia a una consultoría por la empresa ALICON & ING S.A.S, para la realizar un estudio de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano del Municipio de Santa Bárbara.

Se enfocó en la redacción de un informe técnico donde se consignan resultados de geología de campo y oficina, realizados como apoyo técnico para el análisis y zonificación de la amenaza por movimientos en masa, cuyos objetivos fueron: hacer el reconocimiento de la geología realizando la cartografía de las unidades de geología para ingeniería (UGI); Caracterización y cartografía geomorfológica basada en la identificación de los elementos geomorfológicos (Morfología, Morfometría, Morfogénesis y Morfodinámica); reconocimiento de los principales rasgos estructurales locales y realizar un modelo geológico geotécnico junto con los diferentes parámetros.

Se definieron unidades de roca, suelo residual, suelo coluvial, suelos fluvio torrenciales y suelos aluviales recientes o del lecho de río. Geomorfológicamente se definieron unidades de origen estructural, fluvial, denudacional y antropogénico. Se considera que el área, tanto regional como ocalmente está controlada por el trazo de la Falla de Umpalá, y demás lineamientos, pero se recomienda hacer estudios más detallados para definir sus trazos y movimientos relativos. A partir de resultados de la exploración geológica y geotécnica se construyó un modelo geológico geotécnico, que reunió los parámetros mínimos para un modelo de amenaza determinístico, se obtuvieron factores de seguridad y la probabilidad de falla de las laderas, categorizando y zonificando la amenaza.

Los factores de seguridad críticos de amenaza media y alta se distribuyen a lo largo de los escarpes de terraza, cuya pendiente es empinada a muy escarpada, al igual que sobre laderas empinadas a muy escarpadas constituidas por los geoformas estructurales. Por esto el plano de amenaza, muestra fajas alargadas de color naranja y rojo sobre estas laderas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicquímicas. Escuela de Geología. Geología. Director: Álvaro Mauricio Solarte Vanegas.

Abstract

Title. Elaboration of the zoning of the threat by mass movements, of the urban land of the municipality of Santa Bárbara, Santander *

Author: César Augusto Rojas Ruíz**

Keywords: Threat, geology units for engineering, geomorphology, geotechnics.

The present work makes reference to a consultancy by ALICON & ING S.A.S Company, to carry out a threat study by mass movements in the urban land of Santa Bárbara Municipality.

They focused in the drafting of a technical report where results of the geology are recorded at the field and office, carried out as technical support for the analysis and zoning of the threat by mass movements, whose objectives were: make the recognition of geology by mapping geological units for engineering (UGI); Characterization and geomorphological cartography based on the identification of the geomorphological elements (Morphology, Morphometry, Morphogenesis and Morphodynamics); recognition of the main local structural features and perform a geotechnical geological model together with the different parameters.

Rock units, residual, colluvial, torrential fluvial and recent alluvial or riverbed soils were defined geomorphologically defined units of structural, fluvial, denudational and anthropogenic origin. It is considered that the area, both regionally and locally, is controlled by the Umpalá fault line, and other guidelines, but it is recommended to make more detailed studies to define their strokes and relative movements. Based on geological and geotechnical exploration results, a geotechnical geological model was constructed, which met the minimum parameters for a deterministic threat model, obtaining safety factors and the probability of slope failure, categorizing and zoning the threat.

The critical security factors of medium and high threat are spread along the terrace escarpments, whose slope is steep to very steep, as well as on steep slopes to very steep slopes constituted by structural geoforms. Because of this, the threat plane shows elongated orange and red bands on these slopes.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicquímicas. Escuela de Geología. Geología. Director: Álvaro Mauricio Solarte Vanegas.

Introducción

La manifestación de diferentes fenómenos geológicos que han actuado y afectado el territorio nacional, como lo son los movimientos en masa; están fuertemente influenciados por diversos factores naturales y antrópicos, que proporcionan al terreno características especiales en algunas regiones del territorio nacional, dándose una mayor eventualidad de dichos procesos, afectando a los municipios.

Por parte de la Alcaldía Municipal de Santa Bárbara y la Corporación autónoma regional de Santander CAS, se solicitó la prestación de servicios por parte de la empresa (ALICON & ING S.A.S.) para efectuar un estudio de amenaza por movimientos en masa que permitiera la identificación y caracterización de factores que diagnosticaran las posibles amenazas por movimientos en masa del suelo urbano del Municipio de Santa Bárbara. Por medio de este tipo de consultorías el municipio busca incorporar la gestión del riesgo y desastres a su esquema de ordenamiento territorial, como lo establece la Ley 1523 de 2012 en su artículo 39 y el decreto número 1807 del 19 septiembre de 2014 que reglamenta el artículo 189 del decreto Ley 019 de 2012, donde se dictamina que todos los municipios deben generar políticas y estrategias para la gestión del riesgo y ser integrados en los planes de ordenamiento municipales.

1. Descripción de la práctica empresarial

El presente trabajo consistió en el apoyo técnico para el reconocimiento y caracterización de los principales factores condicionantes que se requieren para la elaboración de un estudio detallado de amenaza por movimientos en masa. Dentro de estos están las unidades de geología para ingeniería, elementos geomorfológicos y principales rasgos estructurales.

Para tal efecto se realizó la respectiva jornada de campo junto con el acompañamiento del equipo de trabajo para realizar una capacitación en lo que consiste la exploración geotécnica del subsuelo y la posterior elaboración de ensayos de laboratorio e interpretación de los resultados.

Teniendo en cuenta la información adquirida, además del inventario de movimientos en masa activos, se procedió a generar un modelo geológico geotécnico a fin de definir las unidades de análisis, con espesores y propiedades mecánicas definidas; y taludes homogéneos en geometría estructuras, propiedades y mecanismos de falla.

Esta información fue entregada al ingeniero civil para que el efectuara un modelamiento con diferentes software de la firma *RocScience Inc*, a fin de obtener factores de seguridad y probabilidad de falla de los sectores más críticos, categorizando la amenaza del suelo urbano de Santa Bárbara.

1.1 Justificación

El departamento de Santander y en especial el área del Macizo de Santander donde se encuentra el casco urbano del Municipio de Santa Bárbara, presenta ambientes y condiciones fisiográficas críticas donde se pueden desarrollar un sinnúmero de eventos naturales que pueden afectar la vida de habitantes, o afectar construcciones y sectores importantes de la economía, dificultando la integración socio económica del municipio. Por ello de acuerdo al programa de gestión del riesgo y desastres (Ley 1523 de 2012), el municipio debe implementar a sus planes de desarrollo estudios de riesgos naturales y en especial sobre caso sobre el suelo urbano del Municipio de Santa Bárbara.

Con el presente estudio se busca actualizar los estudios aplicados a los planes de desarrollo del municipio, ya que desde el año 2001 no se le ha realizado la actualización a este tipo de la información cartográfica en el EOT. Respecto a esto se considera justificable la actualización de las metodologías, y escalas usadas e información cartográfica del suelo urbano del municipio, con el fin de completar información faltante en el EOT (2002), la cual también se encuentra reportada en su Expediente Municipal (EM, 2010).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar la geología de campo y demás trabajos de oficina, como apoyo técnico para el análisis y zonificación de la amenaza por movimientos en masa, proceso inicial para el estudio detallado de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del suelo urbano del Municipio de Santa Bárbara, Santander.

2.2 Objetivos específicos

- Reconocer la geología y realizar la caracterización cartográfica a escala 1:1000 de las Unidades de Geología Para Ingeniería (UGI) que pertenecen al suelo urbano del municipio.
- Caracterizar y cartografiar la geomorfología a escala 1:1000, con base en los elementos geomorfológicos (Morfogénesis, Morfología, Morfometría y Morfodinámica).
- Reconocer los principales rasgos estructurales locales.
- Realizar un modelo geológico-geotécnico acorde a especificaciones del ingeniero civil.

2.3 Alcances del proyecto

El trabajo de grado se enfocó en asumir las funciones y responsabilidades como cargo de geólogo auxiliar, a fin de facilitar al equipo de trabajo de ALICON & ING S.A.S. Información indispensable como insumos básicos para este tipo de consultoría.

Se brindó apoyo técnico en el reconocimiento y caracterización en campo de la geología, analizando e interpretando la información, corroborando la misma junto con los resultados de ensayos de campo y laboratorio.

ENTREGABLES:

- Plano cartografía base
- Plano cartografía base con imagen
- Plano exploración geotécnica
- Plano de Unidades de Geología para Ingeniería
- Perfiles geológicos-geotécnicos
- Plano de geomorfología (Morfogénesis)
- Plano de pendientes (Morfometría)
- Plano de amenaza por movimientos en masa Escenario 1

3. Metodología

La metodología en general del proyecto, se resume en tres fases básicas necesarias para un estudio de amenaza por movimientos en masa. Primero una fase de aprestamiento, luego de reconocimiento y caracterización, por último la fase de oficina. Cada una de estas fases presenta una serie de actividades que realiza el equipo de trabajo, para cumplir cada uno los objetivos de la consultoría. Dentro de estas actividades a realizar se encuentran cada uno de los objetivos del presente trabajo de grado. Para cumplir estos se usaron diversas metodologías y guías metodológicas adoptadas por parte de la empresa, las cuales se exponen dentro de cada capítulo.

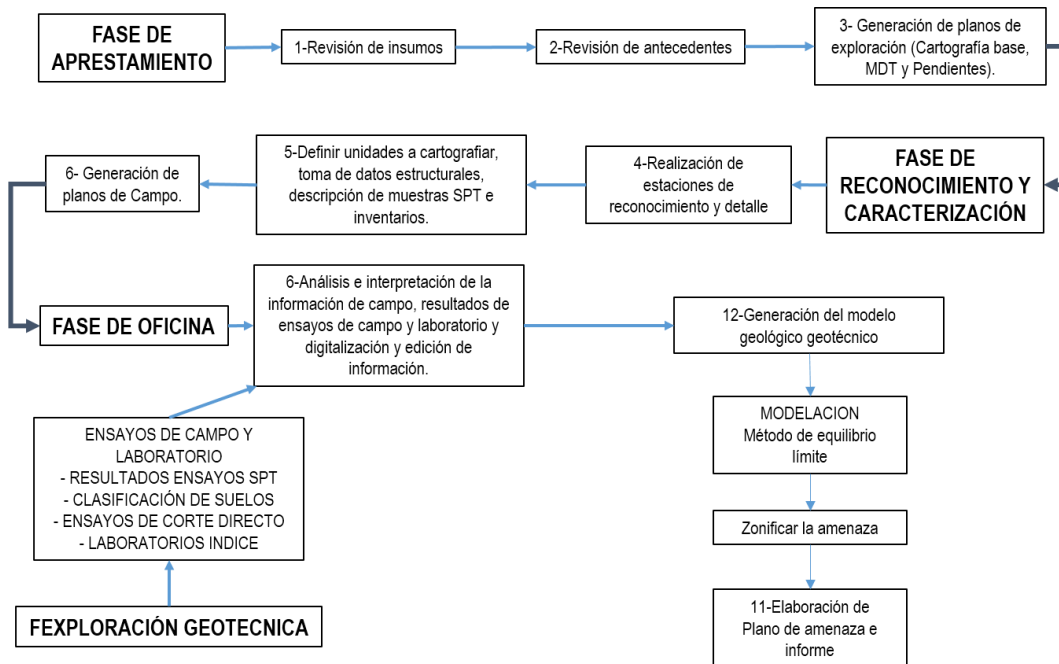


Figura 1. Metodología de trabajo.

3.1 Fase de aprestamiento

Primera fase del trabajo, donde se buscó información de estudios anteriores relacionados con el tema, eventos históricos de deslizamientos, sismos, inundaciones, inviernos intensos etc. Hechos que se hayan reportado para el lugar y estén registrados en alguna base de datos o en los habitantes de la región que de alguna y otra manera contribuyan al desarrollo del trabajo. También fueron revisados los insumos entregados por el cliente como lo son la cartografía básica con información catastral (IGAC) 1:2000, a partir del cual se generaran perfiles topográficos y el modelo digital de elevación (MDT). Además de la descarga de imágenes satelitales, y planos y en general, cualquier información relacionada a la zona.

La información previa consultada fue la siguiente:

- Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Santa Bárbara Santander. (EOT 2002). Alcaldía municipal de Santa Bárbara Santander.
- Expediente Municipal del municipio de Santa Bárbara Santander. (2010). Convenio CAS, Gobernación de Santander y Dirección de Desarrollo Territorial del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).
- Imágenes satelitales de Google Earth, (2014).
- Mapa Geológico de la plancha Cerrito INGEOMINAS (1977- versión digital 2010).
- Reseña explicativa del cuadrángulo H13 INGEOMINAS (1973).
- Cartografía base IGAC suministrada por el municipio (2008).

La anterior información fue analizada y evaluada, para tomarla como base en la elaboración del trabajo.

3.2 Fase de reconocimiento y caracterización del suelo urbano

El reconocimiento está enfocado en la realización de un recorrido y estaciones preliminares, para que posteriormente en la de caracterización se realicen estaciones detalladas, todo esto a fin de realizar la identificación de los principales factores condicionantes de la amenaza por movimientos en masa. Para ello se realizaron una serie de estaciones de control geológico y geomorfológico con el fin de establecer qué tipo de unidades de geología para ingeniería (UGI), además de la identificación de los elementos geomorfológicos (morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica).

La caracterización básicamente estuvo enfocada en la determinación metodológica de las unidades de geología para ingeniería y geomorfología, basándonos en el origen de la unidad, tipo de unidad y nombre de la misma, identificando para cada una de ellas sus principales propiedades con énfasis en la geología aplicada a la ingeniería, ya sean estas una masa rocosa o de suelo, material rocoso o de suelo. En esta fase también se realizó la caracterización de macizos rocosos y movimientos en masa con ayuda de los catálogos de inventario de movimientos en masa de la empresa.

Además, tanto en la fase de reconocimiento como de caracterización se realizó el acompañamiento del equipo de exploración geotécnica para la descripción de muestras extraídas en los ensayos de campo.

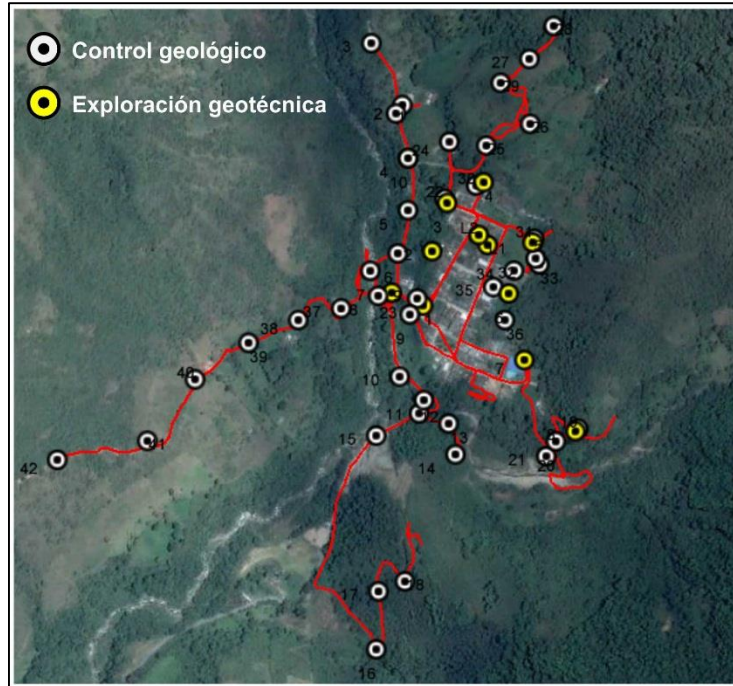


Figura 2. Rutas y estaciones de control.

Fuente. Tomado y modificado de Google Earth (2016).

La imagen anterior (Figura 2), indica con puntos blancos las estaciones de control geológico y los de color amarillo indican las estaciones de exploración geotécnica.

3.3 Fase de oficina

Con la combinación de la información recolectada y verificada en campo, la exploración detallada del subsuelo y los resultados de ensayos de laboratorio, se procedió al análisis de información junto con la digitalización de planos de unidades de geología para ingeniería, geomorfológico y elaboración del informe, el cual contiene la descripción de características geológicas, estratigráficas, sedimentológicas, geomorfológicas, morfodinámicas y estructurales observadas en el área urbana. Luego con esta información se construyó junto con el ingeniero civil un modelo

geológico-geotécnico a partir de perfiles geológicos-geotécnicos donde se establezcan en superficie y profundidad las propiedades mecánicas en de las diferentes unidades y materiales presentes, geometría interna, mecanismos de falla y demás propiedades que el ingeniero civil requería.

4. Generalidades

4.1 Localización y vía de acceso

El casco urbano del municipio de Santa Bárbara hace parte de la provincia de Soto del departamento de Santander, se encuentra localizado aproximadamente entre las coordenadas planas origen Bogotá: N: 1'264.500 m – 1'265.300 m; E: 1'128.900 m – 1'129.800 m; hacia la parte central de la Cordillera Oriental, sobre el macizo de Santander al Sureste de Bucaramanga.

La ruta de acceso desde Bucaramanga tiene una distancia aproximada de 70 Km, tomando la vía Nacional 45A que conduce hacia Santafé de Bogotá, se desvía a la altura de Los Curos a mano izquierda por la vía 55ST que comunica con el Municipio de Málaga, luego desviando a mano izquierda en un sitio conocido como El Tope.

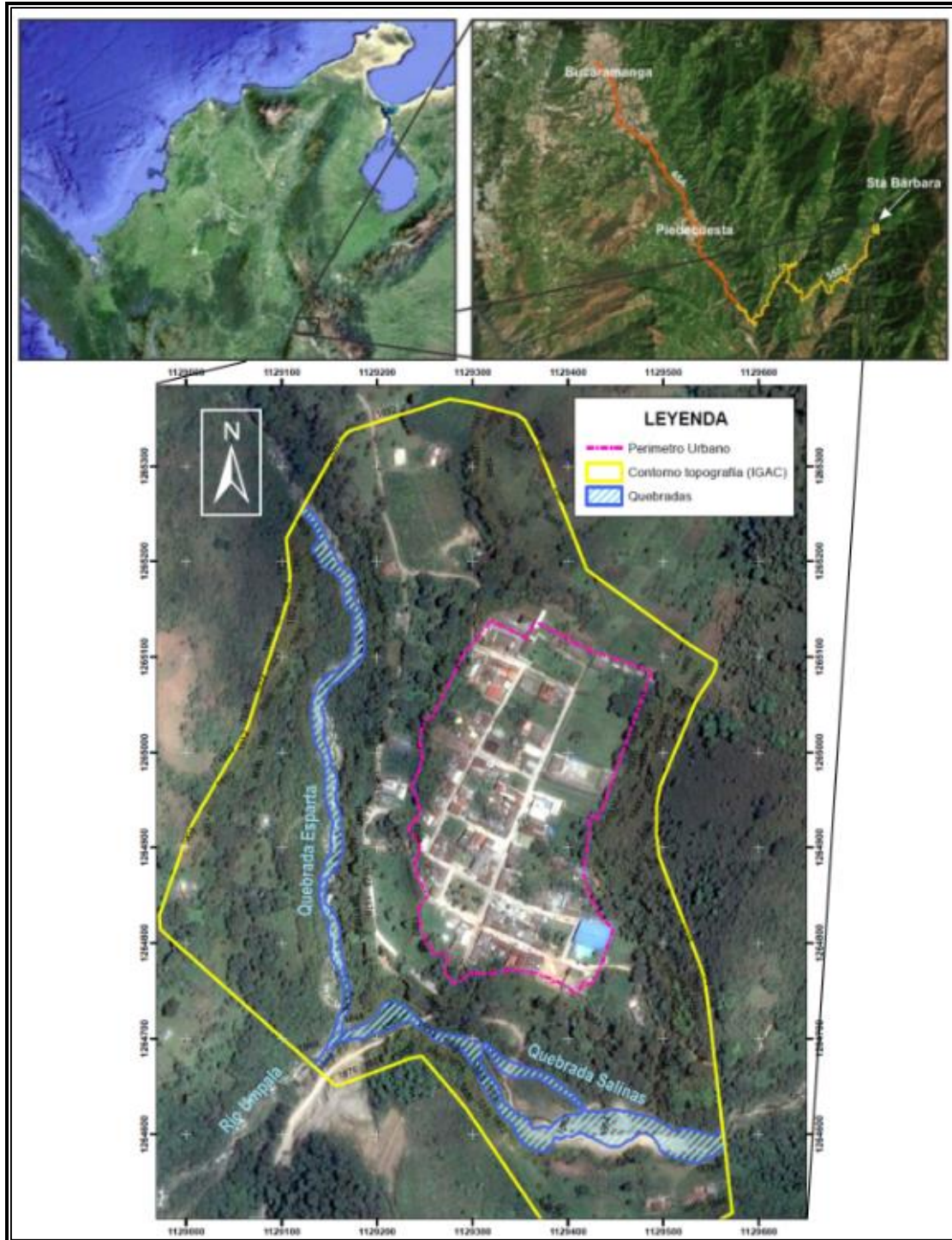


Figura 3. Localización geográfica del casco urbano de Santa Bárbara.

Fuente. Tomado y modificado de Google Earth (2016).

4.2 Fisiografía

El macizo de Santander se encuentra ubicado en la Cordillera Oriental, la cual se caracteriza por poseer un relieve montañoso, presentando un clima variado, con alturas que van desde aproximadamente los 500 msnm en cañones profundos, hasta alturas que superan los 4000 msnm en sub-páramos, paramos y altiplanos.

Localmente la fisiografía a los alrededores del casco urbano de Santa Bárbara está marcada por una región montañosa con alturas que varían desde los 1.838 msnm a los 1.960 msnm con clima frío, con una temperatura promedio de 18°C. La zona se caracteriza por ser drenada por la confluencia de dos drenajes permanentes importantes al SW del casco urbano (*Figura 3*).

El casco urbano se encuentra sobre un valle estrecho en forma de V perteneciente a la subcuenca del Río Umpalá, que a su vez hace parte de la cuenca del Río Chicamocha. Su curso principal presenta un trazo aproximado N15E, nace en el páramo de Berlín cerca al límite con el departamento de Norte de Santander; entrega sus aguas en el Río Chicamocha aproximadamente a la altura del corregimiento de Pescadero. Este valle es característico de un tramo alto de montaña con drenajes torrenciales separados por dos vertientes montañosas al NW y SE alineados en dirección N21°E con pendientes muy pronunciadas que se desprenden de lo alto del macizo.

La *Figura 4*, muestra una imagen esquemática donde se indica delimitado por líneas punteadas blancas, la subcuenca del Río Umpalá; en azul se muestra su cauce principal y el Río Chicamocha. Además un perfil topográfico idealizado A-B; que muestra el relieve del valle. Obsérvese que el casco urbano se encuentra en medio del valle que presenta alturas superiores a los 3000 msnm.

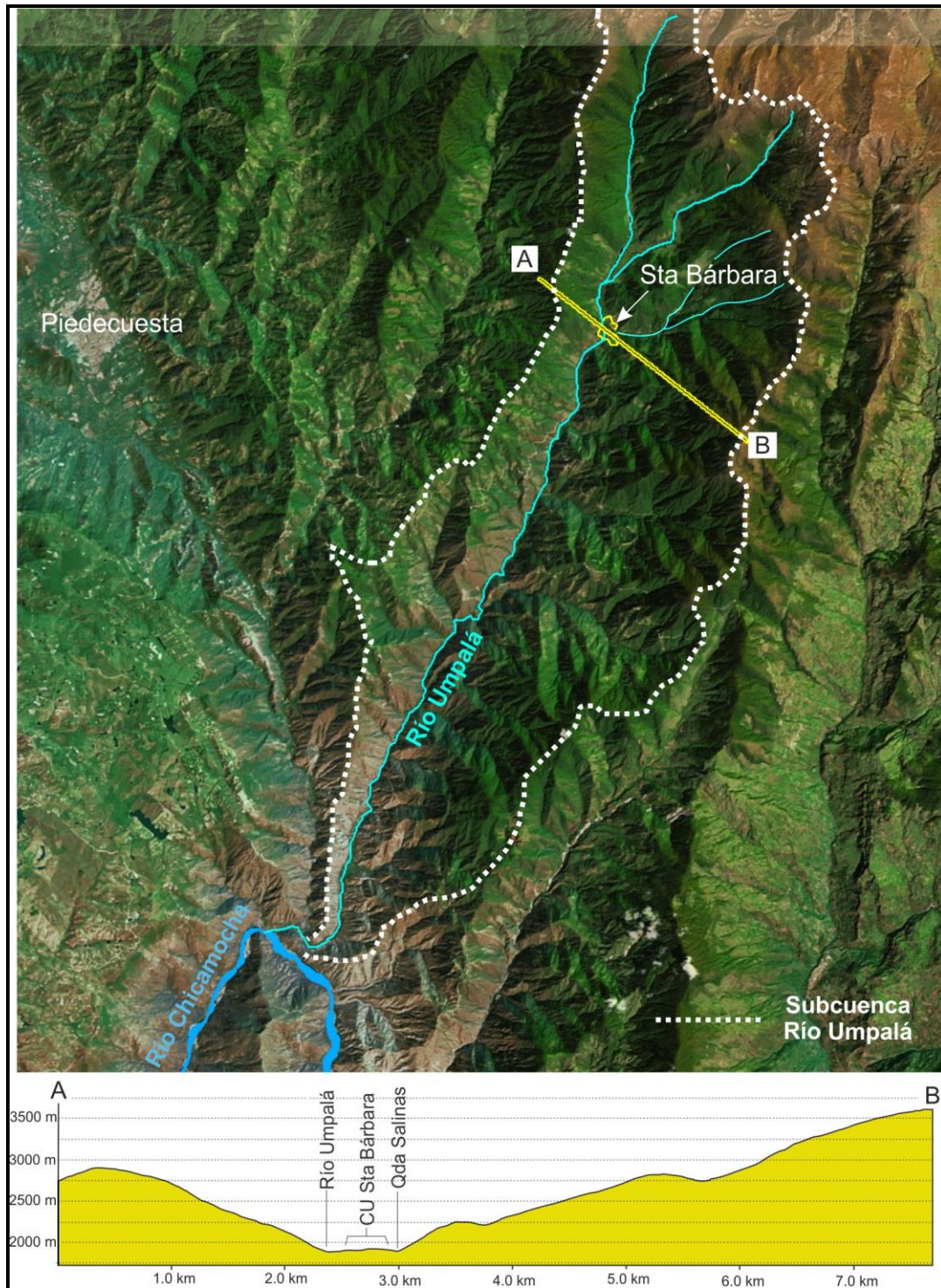


Figura 4. Fisiografía de municipio de Santa Bárbara.

Fuente. Tomado y modificado de Google Earth (2016).

4.3 Hidrografía

Es importante resaltar, que en el municipio de Santa Bárbara existe una alta capacidad hídrica originada principalmente por la condición de su ecosistema estratégico de paramo, sub-páramo junto con sus características de reserva forestal, dando origen a diversas quebradas. EOT municipio de Santa Bárbara (2001- 2003).

4.3.1 Área de la subcuenca del Río Umpalá en el municipio Comprende la mayor parte de las veredas del municipio, exceptuando la vereda Quebradas e incluyendo las veredas Esparta, Salinas, El Tope, La Tahona, Borbón, La Rayada, Chácara, Apure, Labradas, parte oriental de las vereda Ceba y Chingara, también incluye la parte del Sur de la vereda El Volcán.

El área total de la subcuenca limita al Norte desde el páramo de Morro Bravo (límites con el municipio de Tona) pasando por el morro de Las Cruces hasta el cerro Morro Bravo, límites con el Municipio de Guaca; Al Sur en límites con el Municipio de Piedecuesta desde el nacimiento de quebrada innominada afluente del Río Umpalá, y desde el límite con la vereda Quebradas, y la Quebrada Urgua; al Oriente en límites con el municipio de Guaca, desde el Morro Bravo hasta el límite de la Vereda Quebradas, al Occidente en límites con el municipio de Piedecuesta desde el Páramo de Morro Bravo sobre la Cuchilla La Chicara, Cuchilla Tasajo, El Morro de Las Tres Niñas hasta la parte media de las Veredas La Ceba y Chingara.

Esta subcuenca tiene una extensión territorial de 17.124,32 hectáreas, un Perímetro de 69.50 Km, con Rumbo Nororiente-Suroccidente, con una densidad de drenaje aprox. de 3.17Km/Km². La subcuenca del Río Umpalá en el municipio va desde la cota 3800m.s.n.m a la 1000 m.s.n.m.

con una pendiente aproximada del 8.75%, sin embargo sus afluentes tienen pendientes entre el 20% y el 30% (EOT Santa Bárbara 2001-2003).

Para llevar a cabo la descripción de hidrología de la subcuenca del Río Umpalá, solo se tuvo en cuenta la zona de influencia directa que esta presenta sobre el casco urbano del municipio. Por ello en la *Figura 5*, se delimitó solo la parte alta de la subcuenca que se encuentra aguas arriba del casco urbano. El área se subdivide en tres (3) microcuencas denominadas para el presente informe como I, II y III; delimitadas por líneas punteadas blancas, las cuales respectivamente generan los cauces principales de la Quebrada Salina, Quebrada El Azogue (El Azote IGAC 2007) y La Quebrada Esparta (Tasajo El Hueco, IGAC 2007). Sus nombres son distintos en diferentes documentos y mapas (Plan de desarrollo municipal, EOT y mapa de Santander IGAC 2007). Por ello se optó por unificar sus nombres como se describen a continuación, mencionando las quebradas que conforman la parte alta de la cuenca como aparece en el EOT del municipio, teniendo en cuenta las veredas que conforman la parte alta de la subcuenca del Río Umpalá.

4.3.1.1 Vereda Esparta. De esta vereda se desprenden: La Quebrada Esparta; la cual es denominada en su nacimiento Quebrada la Hondura y en la parte media quebrada Tasajo (Quebrada Tasajo El Hueco). La quebrada nace a 3.600 msnm, en su mayoría los afluentes se desprenden del Este a alturas entre los 3.600 a 3.800 msnm. Los afluentes al Oeste de la misma nacen entre los 3.000 y 3.450 msnm. La confluencia de la Quebrada Esparta (Quebrada Tasajo El Hueco) con la Quebrada Salinas da origen al Río Umpalá como se indica en la *Figura 5*.

La Quebrada Azoque o Azogue (Quebrada El Azote), afluente de la Quebrada Esparta, se desprende a 3800 msnm en la vereda Volcanes, Rumbo Noreste a Suroeste, algunos de sus afluentes al Este (innominados) se desprenden en la vereda Salinas sobre la Cuchilla Aguamala, a

igual altura. Otros drenajes como las quebradas Nogales, San Cayetano, El Peñón, Zitaquies y El Hueco y algunos innominados nacen entre la cota 2.800 a 3.000 msnm.

4.3.1.2 Vereda Salinas y Vereda El Tope. De este sitio se desprenden varios drenajes que vierten hacia la Quebrada Salinas. La parte más elevada se encuentra entre los 3.200 y 3.400 msnm. La Quebrada Salinas constituye el límite entre las veredas Salinas y El Tope, corre de Este a Oeste, y sus principales afluentes son las quebradas San Francisco, San Pablo y Carichal; nacen entre la cota 3.000 y 3.600 msnm., al Sur La Quebrada Gasolina que se desprende a los 3.200 msnm, y la quebrada Salado. Otros afluentes; nacen sobre la cota 2.600 msnm.

4.3.2 Principales características de la parte alta de la de la subcuenca del Río Umpalá

Como se mencionó anteriormente en la fisiografía, la subcuenca del Río Umpalá hace parte de un ambiente de vertiente montañoso, donde predominan los procesos de escorrentía y erosión, correspondiendo a una etapa básica de régimen torrencial. Sus principales características es la presencia de caudales pequeños a moderados con picos cuando hay crecientes en épocas de lluvia. Este presenta un perfil de longitud irregular, donde el crecimiento de los cauces se da por la unión de diferentes tributarios donde se caracterizan las altas pendientes con valles estrechos en forma de V o U, donde se desarrollan cascadas y rápidos. Cada corriente posee su área de drenaje o cuenca receptora, que por lo general es en forma de embudo que hace confluir en un punto central una alta concentración de agua (Rodríguez. 2010).



Figura 5. Parte alta de la subcuenca del río Umpalá.

Fuente. Software Global Mapper.

4.3.3 Patrón de drenaje de la parte alta del Río Umpalá El patrón de drenaje es una manera de clasificar los cauces fluviales, de acuerdo a la forma que toman los canales al aumentar la escorrentía y acción erosiva del agua. La clasificación de patrones de drenaje se hace a partir de la clasificación de Howard (1967). La parte alta de la subcuenca del Río Umpalá presenta un predominio de dos patrones de drenaje, subdendrítico y subparalelo que se describen a continuación.

4.3.3.1 Subdendrítico. Este patrón de drenaje se identifica para la zona Este y Noreste del área delimitada (microcuencas I y II (*Figura 5*)). Es el resultado de la evolución de la cuenca con formas ramificadas arborescentemente, la cual se desarrolla predominantemente sobre litologías homogéneas que ejercen un control estructural y topográfico. Como se puede observar los tributarios se unen a su corriente principal en ángulos agudos desarrollando tributarios mayores bien definidos formando los cauces principales de las quebradas Salinas y El Azogue respectivamente.

4.3.3.2 Subparalelo. Se encuentra predominantemente limitado hacia las partes más altas correspondiendo en su mayoría a los tributarios cortos que actúan como cuenca receptora donde la influencia de las altas pendientes al Este y Oeste, e imponen una dirección predominante a los cauces de forma paralela. Se puede evidenciar hacia los extremos Este y Oeste del cauce principal de la microcuenca III, la cual forma el cauce de la Quebrada Esparta.

4.4 Clima

El clima es un ente activo dentro de la organización de la naturaleza, que actúa como un grupo de asociaciones relacionadas entre sí a través de los efectos de la temperatura, la precipitación y la humedad, siendo cada uno de estos componentes necesarios para la caracterización de zonas específicas. En el caso del Municipio de Santa Bárbara, este se caracteriza por estar localizado entre los 1830 msnm – 1960 msnm, quedando ubicado dentro de un clima subtropical a templado cálido, teniendo en cuenta la clasificación de zonas de vida para Colombia propuesta por HOLDRIDGE, 1967, presentando en superficie una cobertura vegetal arbórea alta y temperaturas que varían entre los 16°C – 22°C.

4.5 Precipitación

La precipitación pluvial sigue siendo, dentro de los estudios climatológicos, un elemento fundamental de análisis por cuanto constituye un aspecto de vital importancia en las actividades biológicas y socioeconómicas del Municipio de Santa Bárbara. Para el estudio de precipitación del Municipio de Santa Bárbara se emplearon las estaciones meteorológicas del IDEAM localizadas en el municipio y las que se encuentran en la periferia. Tomado y modificado del Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Santa Bárbara, 2001 – 2003.

4.5.1 Distribución temporal de la precipitación En la región andina colombiana, la precipitación a lo largo del año no se distribuye uniformemente, conformándose un ciclo bimodal con dos periodos secos y dos húmedos, que en nuestro medio suelen denominarse invierno o

verano. La precipitación en el Municipio de Santa Bárbara se comporta de manera parecida a la mayor parte de la región andina, con un periodo seco que va desde el mes de diciembre hasta mediados del mes de marzo, los meses lluviosos del primer semestre son básicamente el mes de abril y el mes de mayo, a continuación las lluvias disminuyen ligeramente durante el mes junio y el mes de julio, y a mediados del mes de agosto comienza el segundo periodo lluvioso del año que se extiende hasta el mes de noviembre.

Los volúmenes de precipitación mensuales en porcentaje, tomando como base la estación EL TOPE (2403033), que tiene un valor medio de 1624 mm/año, son los siguientes:

Tabla 1.

Volumen de precipitación anual. Estación El Tope, 2002.

VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN ANUAL - ESTACIÓN EL TOPE												
M es	Ene ro	Febre ro	Mar zo	Abr il	Ma yo	Jun io	Juli o	Agos to	Septiem bre	Octub re	Noviem bre	Diciem bre
%	2,2	4,2	5,1	9,7	11,6	8,7	8,4	9,7	12,2	13,3	10,2	4,7

Fuente. IDEAM.

En el cuadro anterior (*Tabla 1*) se puede observar que la temporada lluviosa del segundo semestre registra un mayor volumen de agua precipitada.

En cuanto a la distribución temporal de la precipitación a lo largo del año en el Municipio de Santa Bárbara, se origina por fenómenos convectivos locales que tienen su origen en el valle del Magdalena medio, y por la influencia a escala nacional, de la zona de convergencia intertropical que es una franja donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios Norte y Sur, dando origen a la formación de grandes masas nubosas y abundantes precipitaciones.

El desplazamiento de la zona de convergencia intertropical, sigue el movimiento aparente del sol y lleva un retraso de uno o dos meses respecto a él; a comienzos del año se ubica cerca de los 6° de latitud Sur sobre el continente y en el mes de julio o el mes de agosto se halla ligeramente al Norte de las costas colombianas.

4.5.2 Procesos de formación de la precipitación En los procesos que determinan la precipitación en el Municipio de Santa Bárbara, influyen especialmente los sistemas convectivos de gran desarrollo vertical que se forman en el valle del Magdalena medio, como consecuencia de la acumulación de la humedad en el valle y su posterior ascenso del aire húmedo debido a las altas temperaturas en la región. Debido a la circulación atmosférica, una parte de la masa húmeda de estos sistemas del valle del Magdalena medio se desplazan hacia el este, en dirección al Municipio de Santa Bárbara, generando precipitaciones orográficas, las cuales se originan cuando las masas húmedas chocan contra el flanco Oeste de la cordillera oriental, enfriándose, condensándose y posteriormente depositando parte de la humedad sobre dicho flanco.

4.6 Características sísmicas

Las zonas dentro del área de Santander presentan una sismicidad fuerte con la mayoría de los eventos sísmicos, provenientes del nido sísmico de Bucaramanga (*Figura 6*).

Los nidos sísmicos son concentraciones de sismos muy profundos los cuales ocurren en forma muy frecuente. El nido sísmico de Bucaramanga es uno de los más conocidos del continente americano, los cuales registran un promedio diario de 85 sismos de baja magnitud en la escala de Richter e intensidades nulas; por ende, todos los municipios del Departamento de Santander se

encuentran constantemente amenazados por movimientos de origen telúricos, atribuidos a una tectónica por choques entre las placas de Nazca, Caribe y Continental. El centro del nido sísmico se encuentra aproximadamente a 50 kilómetros al Sur del municipio de Bucaramanga entre los centros poblados de Umpalá y Cepitá en el cañón del Chicamocha y cuentan con un epicentro ubicado a 150 Kilómetros de profundidad.

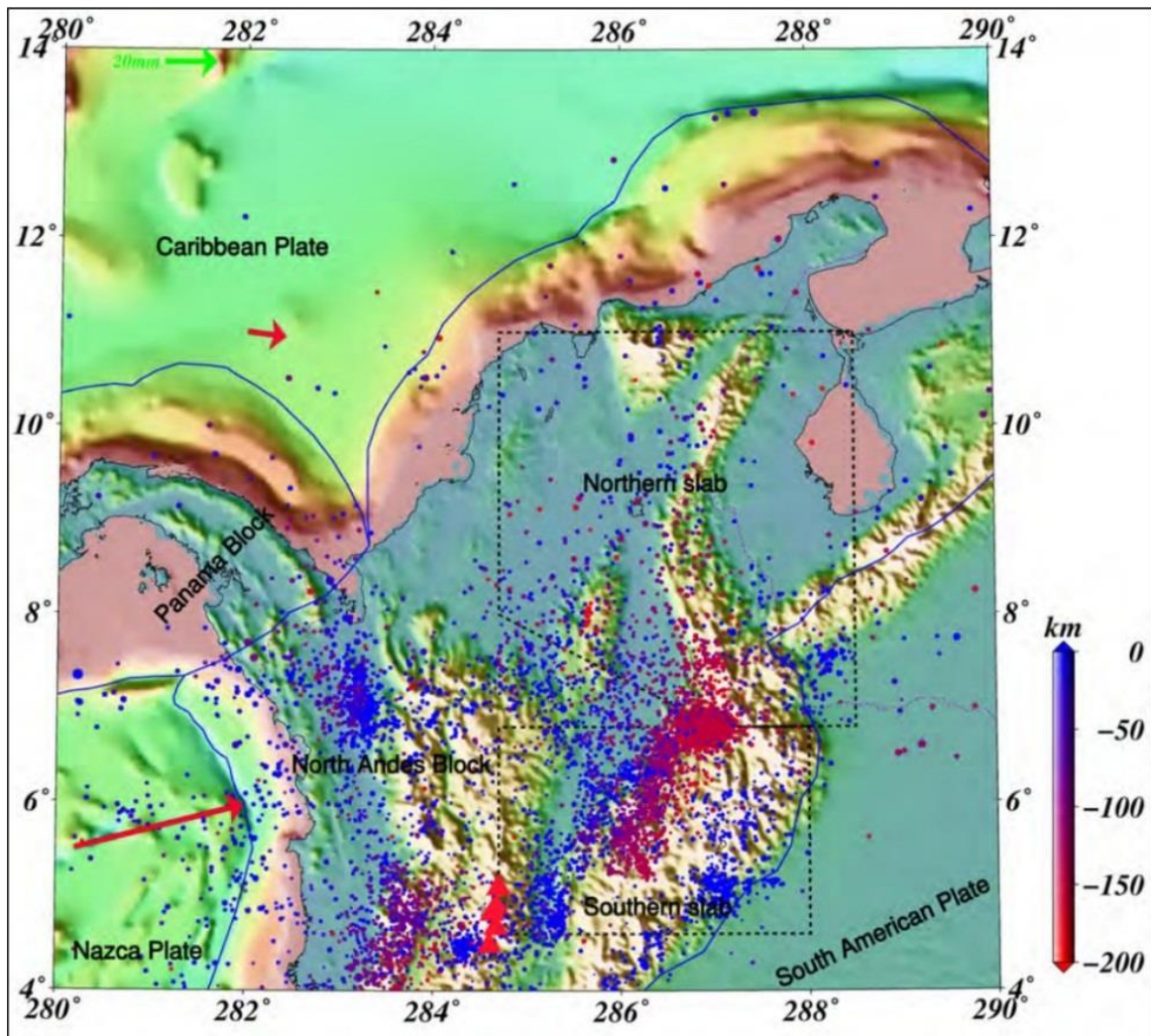


Figura 6. Nido sísmico de Bucaramanga.

Fuente. Tomado de Zarifi et al (2006).

4.6.1 Sismicidad histórica El inventario histórico del Padre Jesús Emilio Ramírez, denominada “Historia de los terremotos en Colombia” compila los principales datos sobre los sismos ocurridos en el país desde los tiempos de la conquista (siglo XVI) hasta el año de 1963. De los 597 sismos que reporta para todo el territorio nacional, 111 aparecen ubicados con epicentro en algún lugar del departamento de Santander.

La reedición de la obra del padre Ramírez, donde se publica un nuevo catálogo de sismos hasta 1974, muestra la constante actividad sísmica de la zona del Macizo de Santander, donde además de las localidades anteriores se destacan las de Umpalá, Pamplona y Los Curos, como zonas de alta frecuencia en la ocurrencia de sismos. A pesar de que no es significativo el reporte de daños que se tiene en la ciudad de Bucaramanga, por causa de estos dos sismos (Ramírez, 1975 a; Ramírez, 1953; Ramírez, 1975 b), éstos se incluyen ya que se informa que fueron sentidos y causaron pánico entre la ciudadanía. A continuación se presenta información sobre los efectos más relevantes que han dejado algunos sismos en la ciudad de Bucaramanga:

- El sismo de Abril 4 de 1952
- El sismo de Diciembre 14 de 1952
- El sismo de Abril 22 de 1956
- El sismo de septiembre 2 de 1964
- El sismo de julio 7 de 1967.

4.6.2 Factores Pseudo-estáticos de la norma NSR-10

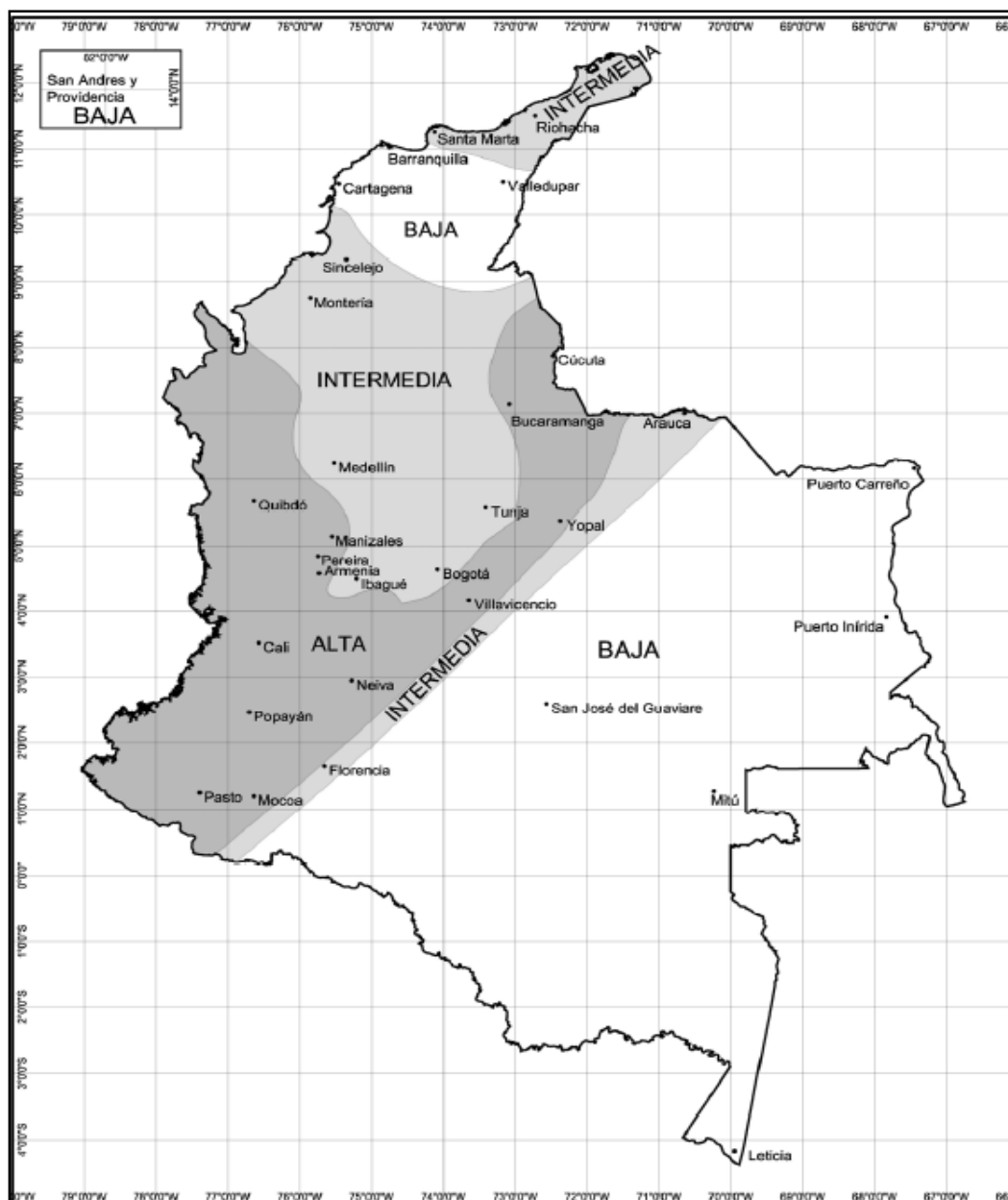


Figura 7. Zonas de amenaza sísmica.

Fuente. Norma NSR-10.

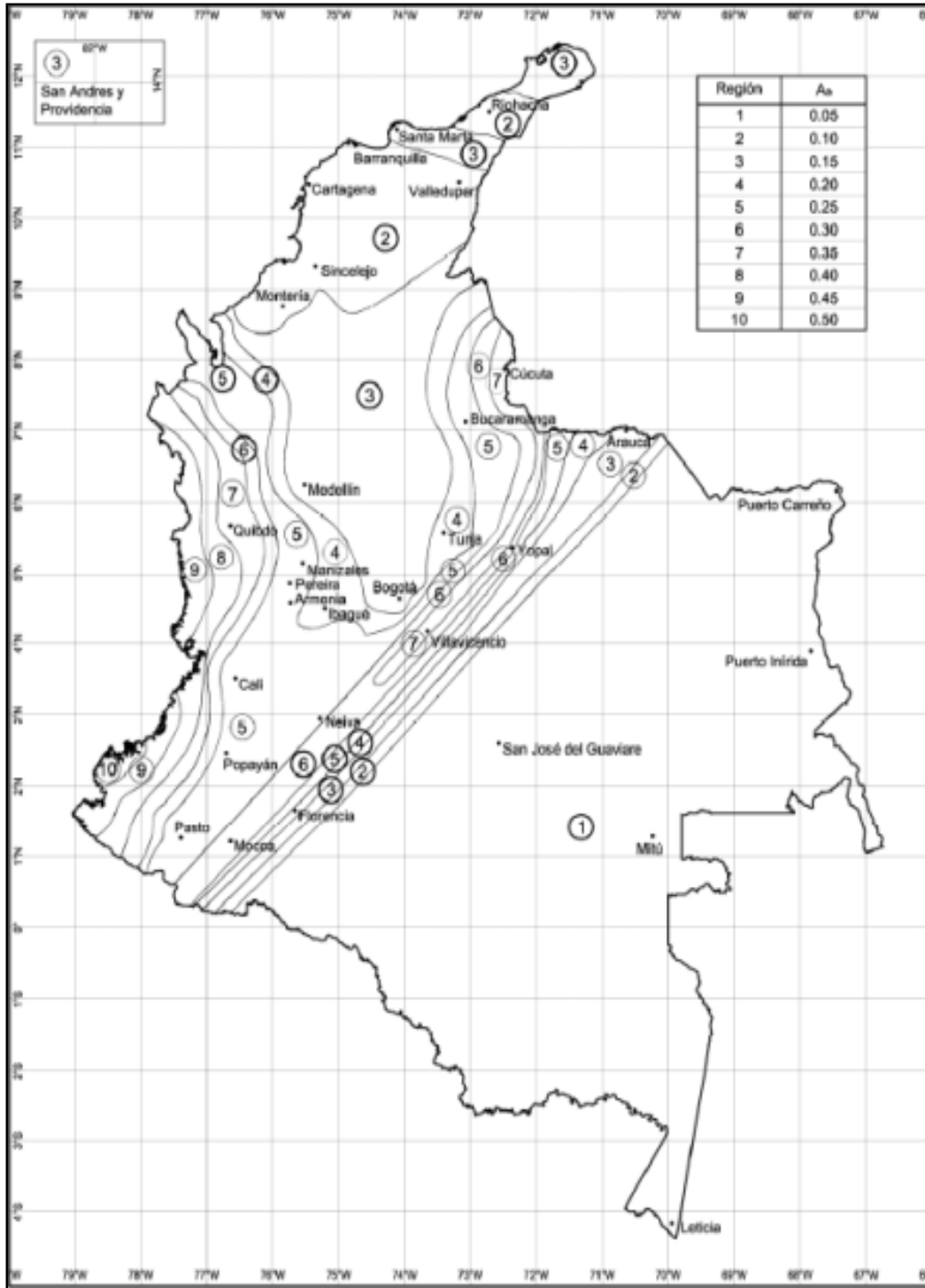


Figura 8. Mapa de valores Aa (coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva).

Fuente. Norma NSR-10.

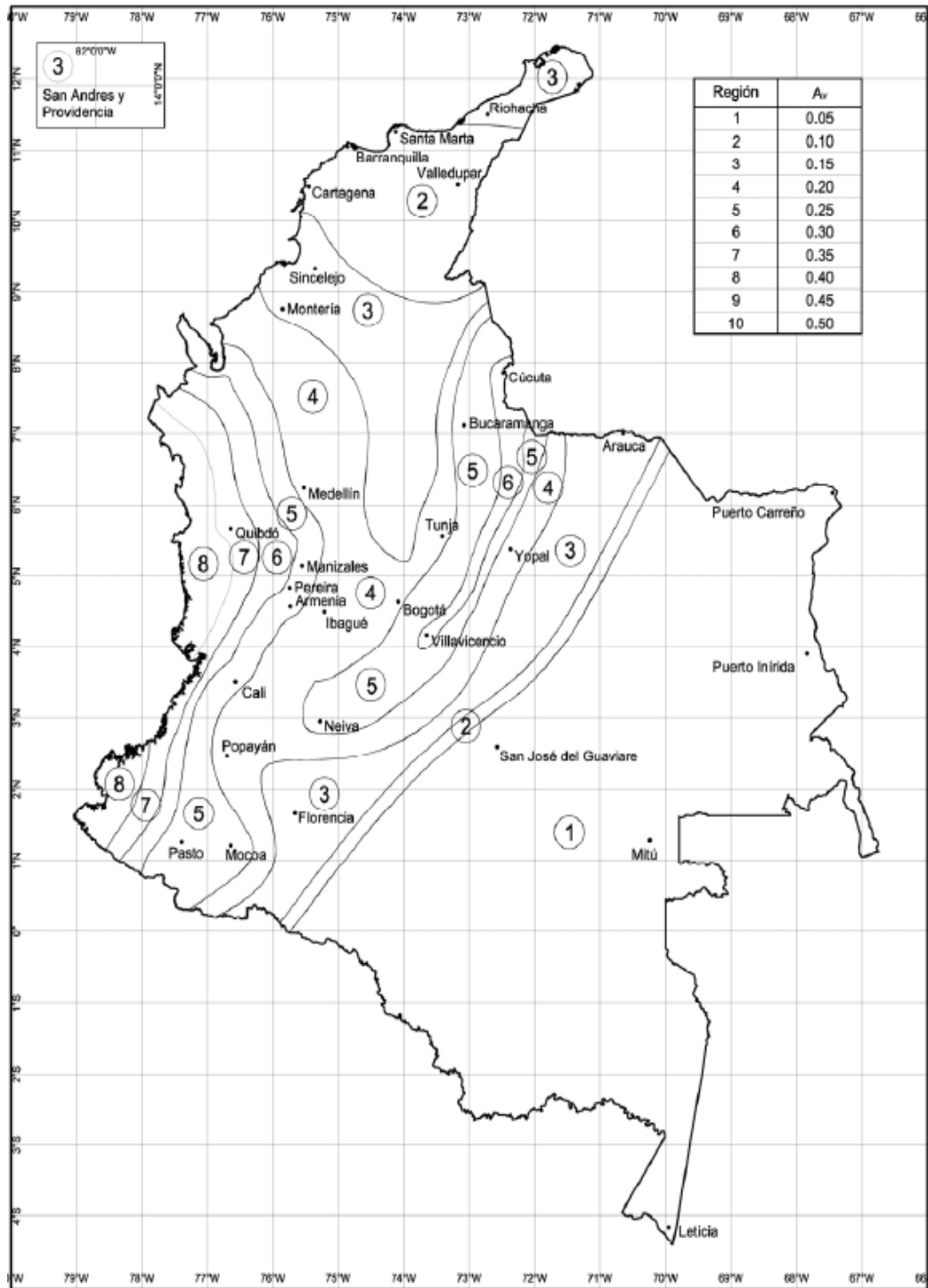


Figura 9. Mapa de valores Av. (coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva).

Fuente. Norma NSR-10.

4.7 Características del sitio de acuerdo a la Norma NSR-10

4.7.1 Valores de A_a y A_v De acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 los parámetros sísmicos de diseño para el municipio de Santa Bárbara son los siguientes:

Tabla 2.

Parámetros Pseudo-estáticos para el municipio de Santa Bárbara Santander.

Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Santa Bárbara	68705	0,25	0,25	Alta	0,09	0,05

Fuente. Norma NSR-10.

4.7.2 Perfil del suelo definido por Norma Para el cálculo de los parámetros que se pueden requerir para el diseño de cimentaciones y obras geotécnicas, se utilizan criterios generalmente empíricos con base en los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio ejecutados. En este caso se determinara el tipo de perfil de suelo mediante correlaciones con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N).

De acuerdo con la Normativa vigente (NSR -10) se calcula el N promedio para cualquier tipo de suelo (NSR 10- A-2-4-3-2), aplicando la formula A-2-4-2, que se puede utilizar indistintamente para cualquier tipo de suelo cohesivo y no cohesivo, ver anexo corrección N60 y Nprom

N promedio:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Tabla 3.

N promedio.

Prof	(N1)60 S1 rotación	(N1)60 S2 rotación	(N1)60 S3 rotación	(N1)60 S4 rotación	(N1)60 S5 rotación	(N1)60 S6 rotación	(N1)60 S7 rotación	(N1)60 S8 rotación	(N1)60 S9 rotación	(N1)60 S10 rotación
0.5	30.38	25.88	32.63	22.50	23.63	9.00	22.50	30.38	16.88	23.63
1	22.50	29.25	37.13	32.63	30.38	20.25	37.13	33.75	24.75	32.63
1.5	45.38	33.21	40.96	35.42	23.25	27.67	34.32	30.99	27.67	27.67
2	37.39	29.72	41.22	29.72	23.97	26.84	23.97	36.43	28.76	28.76
2.5	33.44	30.87	30.01	27.44	26.58	28.30	26.58	19.72	30.87	27.44
3	30.53	31.31	25.83	32.87	27.40	30.53	14.87	28.18	32.87	33.66
3.5	61.60	54.35	24.64	60.15	23.19	39.86	6.52	39.13	39.13	57.97
4			57.62		29.96			65.30	65.30	
4.5					29.70					
5					28.17					
5.5					54.38					
	34.1	31.9	33.9	31.8	27.63	21.40	17.48	32.09	29.17	30.80
	N Prom para	29.0								
	Perfil de suelo	D								

Con base en la siguiente tabla extraída de la NSR-10 clasificamos el perfil del suelo como PERFIL D: Perfil de suelo rígido ya que cumple la condición $50 > \bar{N} \geq 15$, donde el valor de \bar{N} para cualquier estrato es de 29.0.

Tabla 4.

Clasificación de los perfiles del suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\bar{V}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\bar{V}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{\sigma}_u \geq 100$ kPa (=1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{V}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (=1 kgf/cm ²) > $\bar{\sigma}_u \geq 50$ kPa (=0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > \bar{V}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (=0.50 kgf/cm ²) > $\bar{\sigma}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente. Tomado de la Norma NSR-10.

A partir de los coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva Pseudo-estática y velocidad horizontal pico efectiva (A_a y A_v) determinados por norma y con el tipo de perfil de suelo encontrado (D) podemos obtener los valores de los coeficientes F_a y F_v :

Tabla 5.

Valores del coeficiente de amplificación de la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los afectos del sitio (F_a).

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente. Norma NSR-10.

Tabla 6.

Valores de coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios debida a los efectos de sitio (F_v).

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_V \leq 0.1$	$A_V = 0.2$	$A_V = 0.3$	$A_V = 0.4$	$A_V \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente. Norma NSR-10.

Los valores de F_a y F_v encontrados a partir de las tablas fueron 1,3 y 1,9 respectivamente. A continuación se define el valor del coeficiente de importancia de acuerdo al uso que se le asignara a la estructura a construir:

Tabla 7.

Valores del coeficiente de importancia.

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente. Norma NSR-10.

A la vivienda a construir, le corresponde un coeficiente de importancia ($I=1$ estructuras de ocupación normal), donde éste modifica el espectro y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que se esté asignada la edificación.

4.7.3 Cálculo del espectro de diseño El siguiente espectro de diseño es el presentado en la norma y del cual vamos a recomendar uno nuevo a partir de los valores de A_a , A_v , F_a , F_v y coeficiente de importancia encontrados.

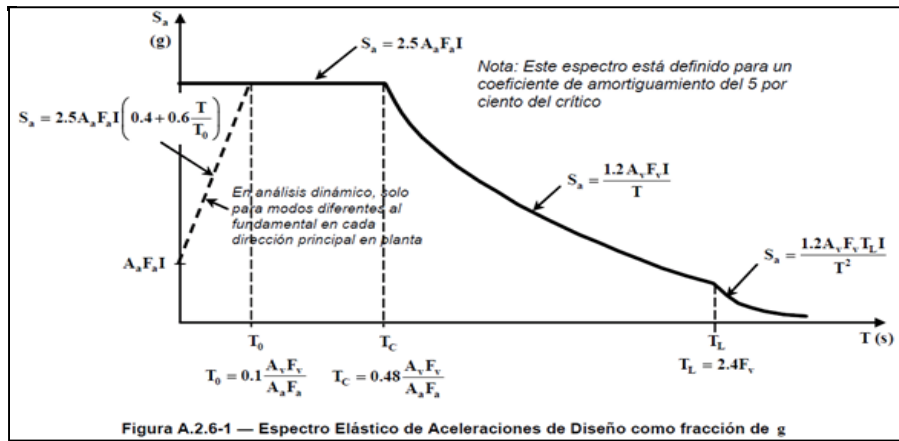


Figura 10. Espectro de diseño.

Fuente. Norma NSR-10.

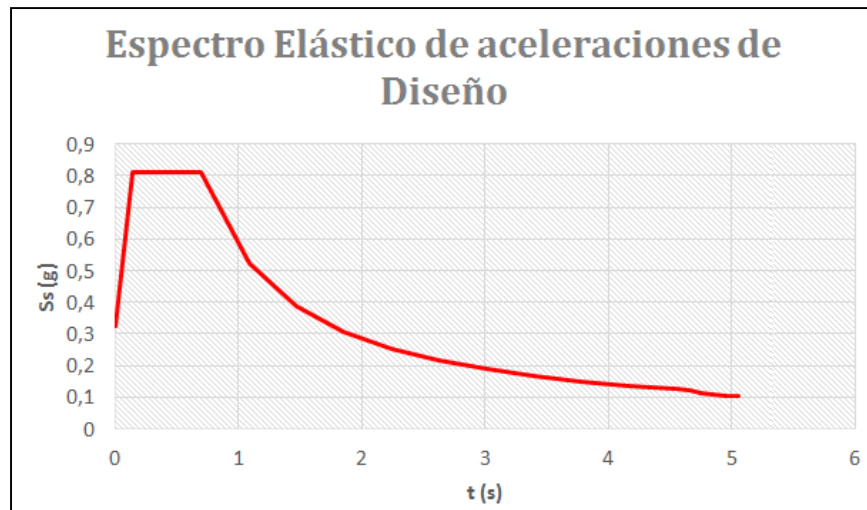


Figura 11. Espectro de diseño recomendado.

Fuente. Norma NSR-10.

Tabla 8.

Resumen parámetros Pseudo-estáticos para el municipio de Santa Bárbara Santander.

Aa	Av	Ae	Ad	Perfil de suelo	Grupo de uso	Coefficiente de Importancia	Fa	Fv
0.25	0.25	0.09	0.05	D	I	1	1.3	1.9

5. Geología

Santa Bárbara Santander está localizada sobre una región montañosa de las estribaciones occidentales del macizo de Santander, hacia la parte central de la Cordillera Oriental, al Sureste de Bucaramanga. En un profundo valle generado por la confluencia la quebrada Esparta (Q. El Tasajo El Hueco) y la quebrada Salinas, ambos afluentes del río Umpalá.

En el área predominan suelos transportados de origen fluvial fluvio-torrencial y depósitos de ladera de tipo coluvial, seguidos de suelos residuales tipo saprolito, producto de la meteorización de la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y unidades de roca intermedia también asociados a la Cuarzomonzonita.

Principalmente las geofórmulas son de origen fluvial, denudacional y estructural. Entre ellos están los cauces activos de los drenajes principales y niveles de terrazas alto, medio y bajo. Depósitos coluviales asociados a la denudación; lomos de presión, espolones estructurales y espolones denudados. Además unidades de origen antropogénico como laderas explanadas y obras de ingeniería.

El presente capítulo es la fase de exploración geológica básica para realizar la zonificación de la Amenaza, para la posterior evaluación de la Vulnerabilidad y Riesgo del casco urbano del

municipio de Santa Bárbara, principalmente se basa en la identificación, caracterizaron y cartografía de las principales unidades que en la ley 1523 de 2012; Decreto 1807 del 19 de Septiembre del 2014, con la resolución 1907 de 2013 se consideran a cartografiar, para la realización de este tipo de estudios específicos en las cabeceras municipales y centros poblados del territorio nacional y sus respectivas actualizaciones de esquemas o planes de ordenamiento territorial.

5.1 Marco geológico regional

El territorio Colombiano se encuentra en un sistema de régimen compresivo influenciado por el límite de placas convergentes que generan zonas de subducción asociadas a la confluencia entre la placa de Nazca, Caribe y Suramericana. El macizo de Santander se encuentra al extremo Suroccidental de la subplaca de Maracaibo la cual tiene una extensión al Nororiente (Caicedo et al., 2013). Los límites del macizo se han definido al Oeste por el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta y al Este por el cabalgamiento de Pamplona Cobugon-Las Mercedes (Osorio et al., 2008).

Por otra parte el mapa de terrenos tectonoestratigráficos de Colombia compilado por López (2003) (*Figura 12*), se observan 4 provincias megatectónicas para Colombia las cuales son: 1) Provincia de onshore y offshore, al Oeste de Colombia; 2) Provincia al Norte de Colombia; 3) Provincia de corteza continental deformada y 4) Provincia al Este de Colombia.

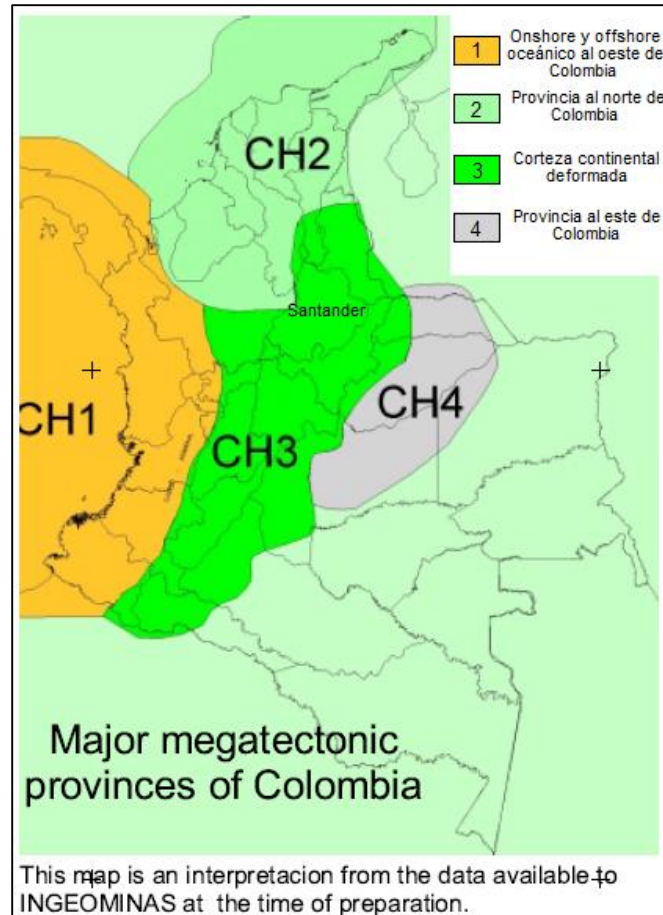


Figura 12. Mapa de mega terrenos tectónicos de Colombia.

Fuente. Tomado y modificado de INGEOMINAS (2003).

De acuerdo a esto el departamento de Santander está ubicado en la provincia megatectónica denominada corteza continental deformada. Además en el mapa preliminar de terrenos geológicos de Colombia (INGEOMINAS 1985) se encuentra en el Supraterreno denominado Cordillera Oriental. Este Supraterreno, al cual pertenece el municipio de Santa Bárbara está dominado por rocas del cretácico principalmente, que yacen sobre rocas del Jurásico y Paleozoico.

Regionalmente el municipio de Santa Bárbara se encuentra sobre la región estructural oriental del departamento de Santander (Figura 13), que abarca una buena parte del territorio Santandereano, limitada al Oeste por la Falla de Bucaramanga y al Este se prolonga hasta los

límites con Norte de Santander y Boyacá. Esta parte del territorio santandereano presenta un gran número de rasgos estructurales en sentido NNE y NNW asociados a la tectónica de la Cordillera Oriental, que dan como resultado diferentes áreas con características geomorfológicas y estructurales que hacen parte del flanco occidental del macizo de Santander y los rasgos estructurales al Este de la Falla de Bucaramanga.

Según el mapa tectónico del departamento de Santander (Clavijo, 1994) el municipio de santa bárbara hace parte del bloque Ocaña, el cual está limitado por la Falla de Bucaramanga al Oeste y la Falla de Beraya al Sureste, presenta un estilo estructural fallado en bloques menores separados por fallas inversas con direcciones NE-SW. Se considera un bloque levantado que ocupa el extremo Noroccidental del departamento, constituido principalmente por rocas ígneas del triásico-Jurásico y rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas (Royero y Clavijo., 2001).

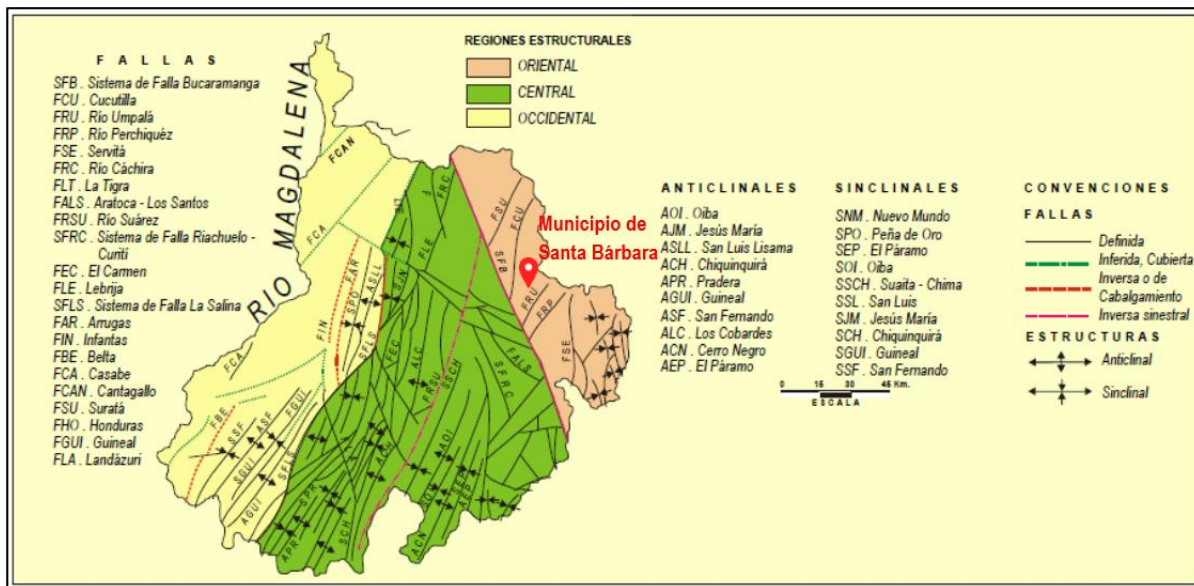


Figura 13. Esquema estructural del departamento de Santander.

Fuente. Tomado y Modificado de la Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander. Vargas (1979); León (1986,1991); Clavijo et; al. (1993).

5.1.1 Localización geológica El casco urbano del Municipio de Santa Bárbara geológicamente sobre el macizo de Santander, su geología como tal corresponde a la plancha geológica del INGEOMINAS 121, Cerrito a escala 1:100.000 ubicada al Sur del Cuadrángulo H13; exactamente en los límites entre las planchas 121-I-C-2 y 121-I-C-4 a escala 1:10.000 del IGAC.

Como se aprecia en la *Figura 14*, en las cercanías del casco urbano afloran principalmente unidades de rocas ígneas intrusivas descritas como Cuarzomonzonita de Santa Bárbara: biotítica, rosada, de grano grueso; adicionalmente se observan depósitos aluviales, de terrazas y conos de deyección.

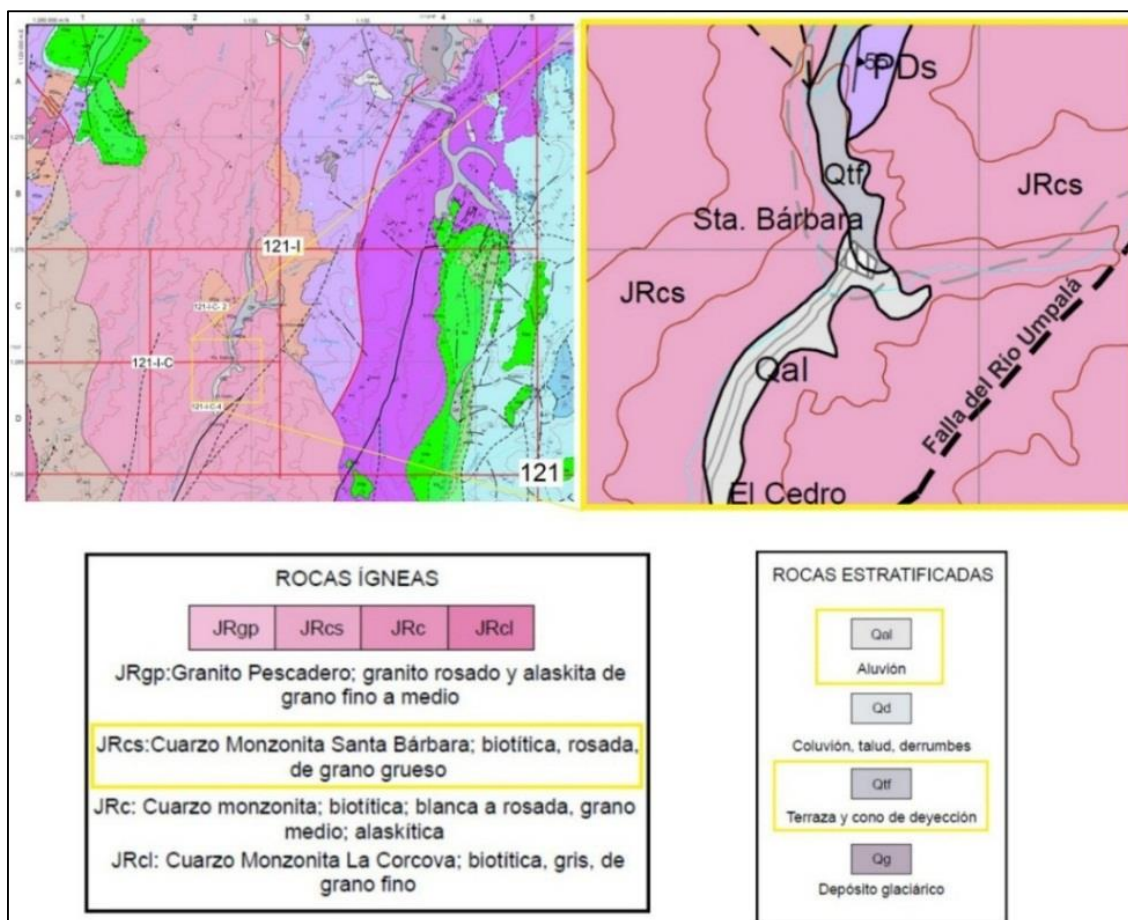


Figura 14. Localización geológica del casco urbano del Municipio de Santa Bárbara.

Fuente. Tomado y Modificado de INGEOMINAS (1977); Versión digital (2010).

5.1.2 Estratigrafía Con el propósito de abordar la geología a los alrededores del casco urbano, en esta sección se presenta la descripción de las características de las formaciones litoestratigráficas que afloran a los alrededores del casco urbano. Información que se encuentra consignada en la memoria explicativa de las planchas 109, 110, 120 y 121 (INGEOMINAS, 1973), como lo son la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, terrazas, conos de deyección y aluvión.

Se mencionan las características geológicas y litoestratigráficas más relevantes que sirvieron de guía de apoyo para caracterizar las diferentes unidades a cartografiar. Conocer el origen y litología nos permite dar una idea de las propiedades de cada material e identificar entre unidades de roca y suelo diferenciándolos, si son transportados, residuales o de origen antrópico.

5.1.2.1 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (JRcs) Descrita como cuarzomonzonita biotítica bastante uniforme inequigranular, que forma la masa principal del batolito de Santa Bárbara y que toma el nombre del caserío de Santa Bárbara que está cerca del centro de la masa.

La cuarzomonzonita del batolito de Santa Bárbara, se extiende desde cerca de Berlín en la parte Este-central del cuadrángulo H13, y hacia el Sur hasta la falla de Bucaramanga cerca de la confluencia de los ríos Chicamocha y Guaca. El batolito tiene cerca de 60 Km de longitud y su anchura varía entre los 5 y 12 Km. Su forma es lineal y sus bordes están fallados solamente en algunos sitios. Dos intrusiones pequeñas del granito de Pescadero, se encuentran cerca del extremo Norte cerca de Berlín.

Las rocas dentro del batolito se presentan de una manera muy uniforme como cuarzomonzonita rosada de grano grueso.

Aunque la cuarzomonzonita de Santa Bárbara esta principalmente localizada en el batolito del mismo nombre, la cuarzomonzonita aflora en áreas pequeñas al Este del Río Angosturas, en el Sur

de la parte Noreste del Cuadrángulo H13 y en un área cerca de la Laguna de Ortices al Sur de San Andrés, en el Cuadrángulo I13. La cuarzomonzonita ha sido reconocida en algunos sitios dentro del batolito, al Norte de Mogotes y cerca de San Joaquín.

La cuarzomonzonita de Santa Bárbara es macroscópicamente de grano grueso, algo inequigranular, rosado naranja a gris violáceo y contiene feldespatos de potasio rosado naranja a rojo grisáceo, plagioclasa blanca cuarzo gris y 2 a 3 % de biotita. En fases menos equigranulares, el feldespato de potasio forma fenocristales hasta de 20 mm de tamaño. En fases más equigranulares el feldespato de potasio alcanza hasta 15 mm de largo, plagioclasa 12 mm y el cuarzo 5mm. Los minerales máficos tienden a formar nidos pequeños en algunas partes, hasta de 5 mm. Los minerales máficos tienden a formar nidos pequeños en algunas partes hasta 5 mm de diámetro. El cuarzo, el feldespato de potasio y la plagioclasa están presentes en cantidades casi iguales, pero generalmente el feldespato de potasio es ligeramente más abundante que la plagioclasa.

Macroscópicamente, la cuarzomonzonita típica es inequigranular hipidiomórfica, oligoclasa y albita cálcica ligeramente zonadas, subtabulares a equidimensionales. Los centros por lo general están saussuritizados, mientras que los bordes permanecen frescos. El feldespato de potasio es microclina empolvada y pertita en forma de barras y cordones finos. La biotita es marrón verdosa y generalmente alterada a clorita y formando nidos con apatito, óxido de hierro, zircón y allanita. Los productos de alteración son clorita y epidota. Se observaron unos pocos granos de hornblenda en la cuarzomonzonita del área de Berlín. Las cantidades relativas de los minerales accesorios son más o menos semejantes a la cuarzomonzonita del batolito de Mogotes, con excepción de un número mayor de muestras con esfeno.

En la fase más máfica, con colores más oscuros, la plagioclasa es tabular y bien zonada. La plagioclasa cálcica es oligoclasa y la hornblenda accesoria puede estar presente con biotita. La plagioclasa es más abundante que el feldespato de potasio.

La cuarzomonzonita meteoriza produciendo fragmentos que forman un suelo poroso y en consecuencia, con nivel hidrostático bajo. Las pendientes en el saprolito en un sitio cercano a Santa Bárbara, midieron 40° .

La roca está bien expuesta aunque muy meteorizada en la carretera de los cueros a Guaca, que cruza el batolito a lo ancho. Accesibles afloramientos meteorizados se encuentran al Sureste de Berlín en la carretera de esta localidad a Baraya y Guaca.

Una fase de color más oscuro, de grano medio con 5 a 10 % de biotita y trazas de hornblenda aflora en algunos sitios. Esta roca está expuesta en la roca Cueros-Guaca, al Este de la quebrada El Retiro y al Oeste del Río Umpalá (Cuadrángulos H13, 12-I-C, J-5). En algunos lugares se encuentran diques de aplita rosada en la cuarzomonzonita. Estos son más resistentes a la meteorización y forman resaltos lo cual puede verse en la carretera Los Cueros-Guaca al Oeste de la vuelta hacia Santa Bárbara (Cuadrángulos H13, 121-I-C, J-6, J-7, J-8).

El conglomerado y la arcosa de la formación Girón, del Jurásico contienen detritos de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara; el dismantelamiento y la erosión de Santa Bárbara deben haber tenido tiempo antes del tiempo de Girón. Dos datos radiométricos K/Ar en biotita de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara dieron edades 192 ± 7 y 194 ± 7 m.a. Estas edades están en armonía con una edad radiométrica en una fase biotítica (similar a la cuarzomonzonita del batolito de Mogotes) del granito de pescadero situado al Oeste. Además, una determinación K /Ar en una roca total de muestra de filita tomada al Sur de Berlín, 1 Km horizontal y probablemente menos de 1 Km vertical del contacto con el batolito dio una edad de 198 ± 7 m.a. Estas edades están

aproximadamente en las cercanías del límite Triásico-Jurásico. Considerando las probables tasas de enfriamiento lento de un batolito de este tamaño (Winkler, 1969, p.83; Hamilton, 1965, p.71) es probable que la edad real del emplazamiento sea Triásico Superior, en vez de Jurásico Inferior, sin embargo, la designación de edad aquí adoptada es Jura-Triásico.

5.1.2.2 Depósito aluvial (Qal) El aluvión como su definición lo indica son depósitos no consolidados de origen detrítico o sedimentos que han sido transportados y depositados por el efecto de las aguas en valles fluviales y deltas.

En las áreas montañosas los depósitos aluviales son escasos. Algunos de estos cartografiados como aluviones en el páramo alto, posiblemente son en parte o enteramente correlativos, con los depósitos de terraza y de cono y pertenecen posiblemente al Pleistoceno.

5.1.2.3 Depósitos de terraza y cono de deyección (Qtf) Compuesta por depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas de edad Pleistoceno. Estos depósitos están ampliamente distribuidos en la mitad Sur del área de estudio (Plancha 121). Muchos de los valles mayores tienen terrazas o remanentes de terraza con superficies más arriba de la actual superficie de inundación. Estas tienden a ser más anchas más extensas y menos disectadas en los tramos superiores de los valles. Pueden verse ejemplos en Mogotes, en el páramo cerca de Berlín y en los valles de los ríos Guaca y Perchiquez. Aguas abajo, particularmente en los cañones más profundos, los depósitos de terraza están disectados y son completamente fragmentarios, parecen ser remanentes de depósitos aluviales más extensos que anteriormente pudieron haber rellenado la mayor parte de los grandes valles de la zona, pero que ahora están sufriendo erosión. En algunos

sitios se encuentran una o dos terrazas fragmentarias más pequeñas y más bajas, con superficies no muy arriba del actual plano de inundación.

5.1.3 Rasgos estructurales de la zona de estudio A continuación se describen los principales rasgos estructurales que presentan los cuerpos plutónicos de Santander extraídos de la memoria explicativa de la plancha 121 Cerrito (INGEOMINAS 1973).

Los batolitos y plutones de la mitad Sur de la Zona, tienen un alineamiento pronunciado Norte-Sur. Los más notables a este respecto son el batolito de Santa Bárbara y el Plutón de La Corcova. El batolito de Mogotes tiene un borde Occidental notablemente recto y el de Rionegro muestra segmentos bastante rectos a lo largo de su borde Oriental. Las irregularidades en sus contactos Orientales y Occidentales del Plutón de la Corcova y el Batolito de Santa Bárbara, se deben en gran parte al desplazamiento lateral sobre fallas de rumbo Noreste. El Plutón de Pamplona y algunas de las intrusiones más pequeñas tienen un alineamiento Norte-Sur.

Los contactos Orientales y Occidentales de los batolitos y plutones son relativamente definidos, con pocas apófisis. Son excepciones la cuarzomonzonita de la Corcova y el granito de Durania. La primera, esta aparentemente rodeada por un enjambre de diques y el segundo, tiene muchos diques de pegmatita en una ancha zona de contacto. Lo rectilíneo de los contactos Norte-Sur sugiere que estos son bastante empinados.

Algunos de los contactos son fallas. La Falla de Bucaramanga corta los batolitos de Rionegro en el Oeste, el de Mogotes en el Este y también al extremo Sur de Santa Bárbara. Parte del contacto oriental de Plutón de La Corcova es una falla y lo largo de su contacto Occidental ocurre milonita en una distancia de unos 10 Km cerca de su extremo Sur. Al Este de Los Curos, sobre el río Manco también aflora milonita en su contacto Oriental.

Los extremos Norte y Sur de los batolitos, que no están cortados por fallas, son menos rectos. La ancha zona de contacto en la cual la granodiorita del batolito de Rionegro, ha intruído el Neis de Bucaramanga cerca de Santa Cruz (Cuadrángulo H12), está localizada en un lugar donde el contacto del batolito tiene un rumbo aproximadamente Este-Oeste. El extremo Norte de la cuarzomonzonita de La Corcova es de igual modo, completamente irregular. El contacto Sur del batolito de Mogotes tiene un patrón irregular, lo que sugiere que el contacto buza hacia el Sur con un ángulo bajo. Esta opinión se sustenta por la observación de que esta parte del batolito y las rocas meta-sedimentarias adyacentes, están colmadas de diques. Dicha zona de contacto con las rocas meta-sedimentarias, sin embargo, no tiene más de 1.500 m de ancho. El extremo Norte del batolito de Santa Bárbara se ensancha cerca de Berlín, donde un techo pendiente de rocas metamórficas parcialmente separa la masa principal de un área equidimensional de cuarzomonzonita al Sureste de esta localidad. La presencia de cuarzomonzonita unos 3 Km al Sureste de El Portillo (121-I-3, c-11, NW), en un pequeño afloramiento rodeado por acarreo de esta roca en la base de la formación Girón, sugiere que el granito está a una profundidad no muy grande debajo de gran parte de esta área Norte. El patrón general del extremo Norte del batolito de Santa Bárbara, indica que su superficie tiene forma de cuchara, cabecea hacia el Sur y está inclinada hacia el Este, de modo que su contacto Occidental es más fuerte que el Oriental. La forma del batolito en profundidad es desconocida. Posiblemente el contacto Norte buza hacia el Sur, siguiendo la estructura de las rocas metamórficas. Sin embargo, un pequeño “plug” de cuarzomonzonita litológicamente semejante a la del batolito de Santa Bárbara aflora unos 10 Km al Norte de Berlín, relación que sugiere un buzamiento hacia el Norte en vez de hacia el Sur.

El alineamiento de los batolitos indica un fuerte control estructural Norte-Sur del emplazamiento. Como el Grupo Plutónico de Santander es Jurásico hasta Triásico, este control

tiene que ser Triásico o más antiguo. Los sedimentos del Jurásico que contienen material derivado de los batolitos, fueron depositados en fosas alargadas de dirección Norte-Sur, posiblemente limitadas por fallas. El control estructural de estas fosas es posiblemente heredado de/o es una continuación del mismo que guio el emplazamiento del Grupo Plutónico de Santander. Estas relaciones implican la presencia de una dirección estructural fundamental Norte-Sur para esta parte de la cordillera oriental durante el Triásico. Tal dirección estructural parece haber prevalecido en el terciario y en el Cuaternario, como evidencia la posición de la cuenca del Magdalena.

Se dispone de poca información de los rasgos estructurales dentro de los batolitos. Los enjambres de diques en el extremo Sur del batolito de Mogotes generalmente tienen rumbo Este-Oeste, aunque unos con rumbo Norte se han observado. En el área de Pescadero, los diques están orientados aproximadamente Este-Oeste o Norte-Sur hasta Norte-Noreste-Sur-Sureste. Cerca del extremo Norte del batolito de Santa Bárbara, los diques se orientan Norte-Noreste y Noreste. Las bandas de flujo y otros rasgos estructurales primarios dentro de los batolitos no se cartografiaron.

5.1.3.1 Falla de Umpalá Falla de dirección Noreste que presenta un rumbo N30E, su trazo sigue el curso del Río Umpalá y se extiende unos 24 Km desde la Falla de Bucaramanga a través de las rocas ígneas y metamórficas de la parte Suroccidental del cuadrángulo H13; en la plancha cerrito su trazo se extiende aproximadamente 29.2 km siendo truncada por un patrón estructural de dirección NW-SE. Según Ward, et al. (1973) es una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho (dextral) que afecta la Falla Bucaramanga-Santa Marta. Su trazo es inferido como se muestra en la plancha 121 (*Figura 15*), está a aproximadamente 1 Km al Sureste del casco urbano.

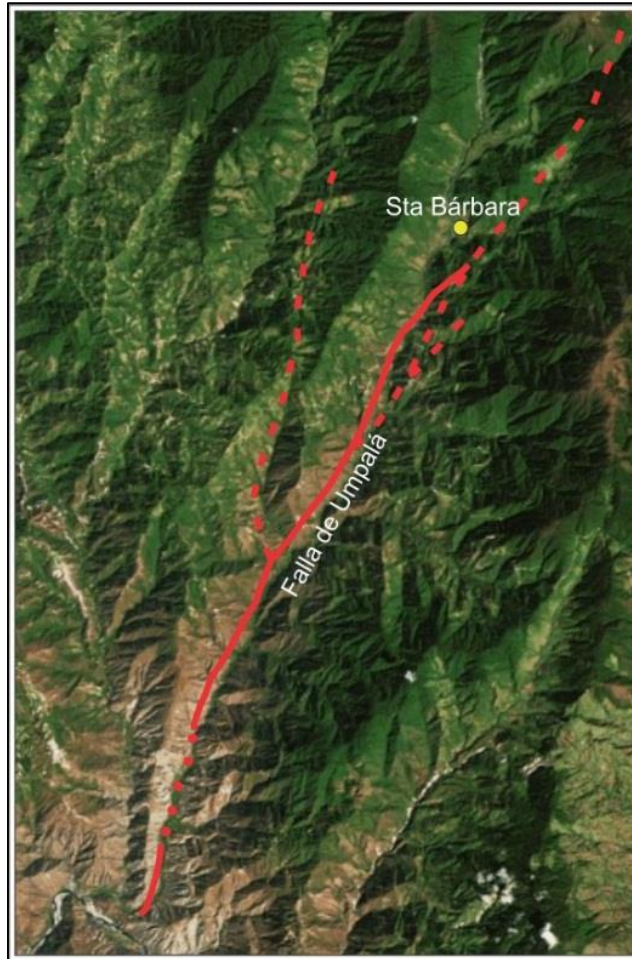


Figura 15. Falla de Umpalá.

Fuente. Tomado y modificado de Google Earth; Los trazos de las fallas fueron tomados de la Plancha 121 Cerrito.

5.1.2.4 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 $N20^{\circ}W$ y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (CAMPBELL, 1965; LEON, 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; ULLOA, 1990, Comunicación verbal).

La historia geológica de la Falla Bucaramanga - Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander) dentro de la Plancha 76, Ocaña (DACONTE y SALINAS, 1980). Boinet, et al. (1989) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

En el territorio del Departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la Meseta de Bucaramanga (donde afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica) de edad Plioceno-Pleistoceno, según Julivert (1963), París y Sarria (1988), León (1992), Vargas y Niño (1992), Reyes y Barbosa (1993).

5.2 Geología local del suelo urbano de Santa Bárbara

Para llevar a cabo la caracterización de las unidades Geológicas Superficiales (UGS) o Unidades Geológicas de Ingeniería (UGI); se considera de suma importancia reconocer el origen de donde provienen. Por ello se identificaron las unidades litoestratigráficas que se encontraban en el casco

urbano y sus alrededores. De acuerdo a su tipo y composición se puede saber qué tipo de características pueden presentar las unidades de roca y suelo, sean transportados o residuales.

Como se mencionó anteriormente en el marco geológico, en el sector afloran rocas de origen ígneo intrusivo y unidades de tipo fluvial. Además se encontraron también depósitos de ladera de tipo coluvial. Ahora se describe brevemente cada una de ellas y como fueron identificadas en campo.

5.2.1 Identificación de unidades litoestratigráficas La unidad que principalmente aflora en los alrededores del casco urbano del Municipio es la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, se identificó en tres sectores; al Sur, Este y Oeste del casco urbano con ligeras variaciones composicionales, en el tamaño de sus cristales y su nivel de fracturamiento también son distintos. Al Sur se observó una cuarzomonzonita rosada feldespática, biotítica de con cristales gruesos altamente fracturada, al Este una cuarzomonzonita rosada feldespática, biotítica ligeramente pegmatítica y también con un alto grado de fracturamiento. Finalmente al Oeste se identificó una cuarzomonzonita clara rica en plagioclasa, biotítica y de cristales gruesos con un fracturamiento menos marcado.

Además se observaron depósitos de origen aluvial de tipo fluvio-torrencial generalmente clasto-soportados, contienen fragmentos líticos hetero-métricos y hetero-líticos de formas redondeadas a subredondeadas, predominando los de tamaño grava con una matriz limo-arenosa. También depósitos de ladera coluviales matriz-soportados de fragmentos líticos hetero-líticos, hetero-métricos de formas angulares a subangulares en una matriz areno-limosa.

A partir de esta información se prosiguió a definir las Unidades Geológicas Superficiales o Unidades Geológicas de Ingeniería (*Figura 16*) como lo propone la guía metodológica del Servicio

Geológico (2015) Colombiano definiendo primero el origen y posteriormente el tipo de unidad que fue identificada y caracterizada en campo (*Tabla 9*).

Tabla 9.

Unidades de geología para ingeniería según su origen.

ORIGEN	TIPO
Roca <i>in situ</i>	Saprolito
Depósitos Aluviales	Suelo Residual
	Aluviones recientes o lecho del río
	Terrazas Aluviales
	Depósitos Fluvio-torrenciales
Depósitos de Ladera, de Vertiente o Coluviales	Coluviones

Fuente. Basado en la guía metodológica (SGC, 2015).

5.2.2 Unidades de geología para ingeniería Para llevar a cabo la caracterización de la geología local del proyecto, principalmente nos basamos en la identificación de las Unidades de Geología Para Ingeniería (UGI), las cuales corresponden a zonas delimitadas por polígonos sobre un plano, que representan un alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas del terreno. La manera de clasificarlo es basándonos en el origen del cual derivan (Hermelín, 1985 y Salazar 1995). La idea es determinar el origen de los mismos definiendo así si estos han sido producto de la meteorización química o física de la roca en el sitio (Residuales o saprolitos) o si son suelos derivados de materiales transportados no consolidados de manera natural o por el transporte y depositación por la acción del hombre (Suelos Antrópicos).

Siguiendo este orden de ideas se definieron cinco unidades las cuales se ilustran en la *Tabla 10*. La nomenclatura empleada indica con la primera letra en mayúscula si es suelo (S) o roca (R)

seguido de la letra minúscula que indica su origen, si es transportado (t) y si es residual (r); las demás letras indican algunas características particulares o el tipo de roca o depósito.

Según lo anterior se prosiguió a definir las Unidades de geología para Ingeniería. Cabe resaltar que, las terrazas aluviales es la disposición que tienen los depósitos fluvio-torrenciales y los aluviones; por ello se consideraron por separado los suelos fluvio-torrenciales y los aluviones recientes o de lecho de río.

A continuación se describen en qué consisten cada una de estas unidades y se explica bajo qué criterios se establecieron dichas unidades.

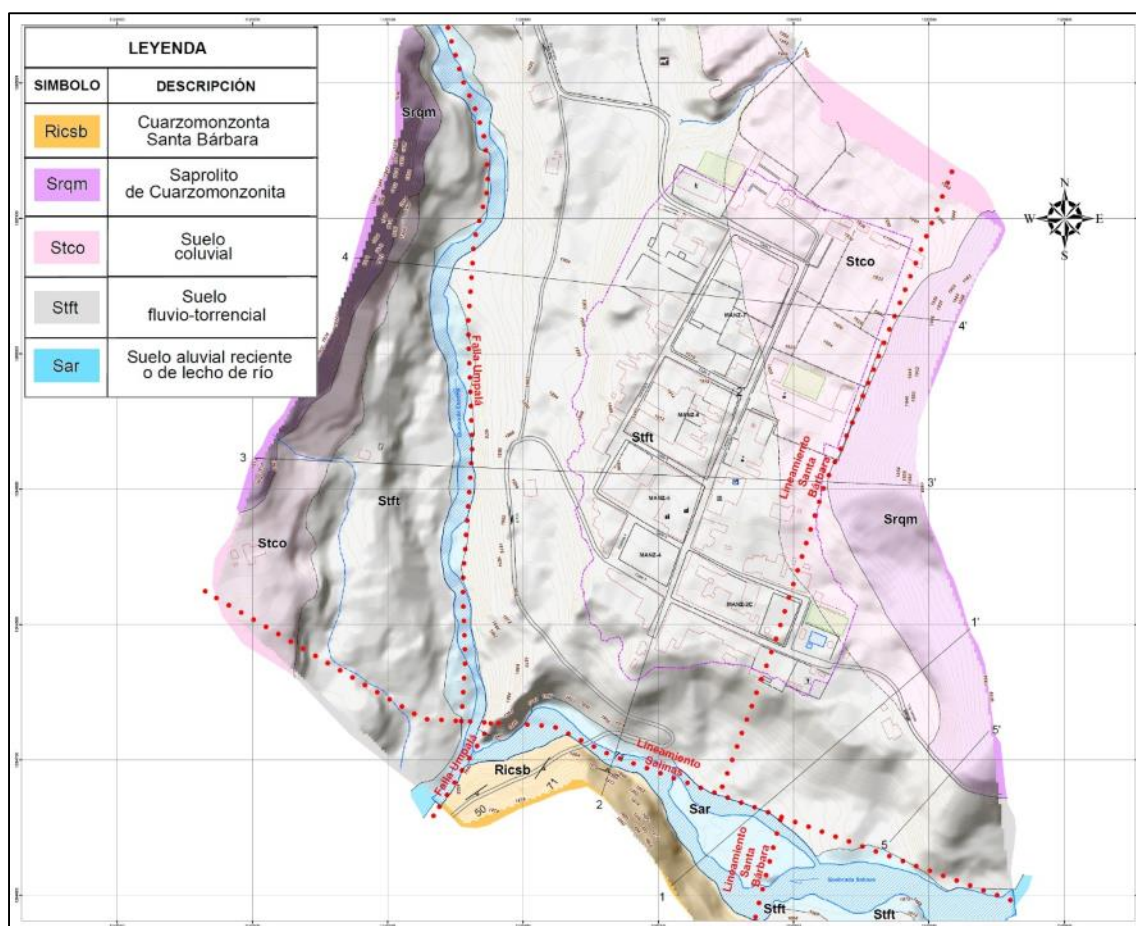


Figura 16. Mapa de unidades de geología para ingeniería.

Tabla 10.

Unidades de geología para ingeniería definidas para el área de estudio.

CLASE DE UNIDAD		UNIDAD	NOMENCLATURA
Unidades de Roca Intermedia		Cuarzomonzonita Santa Bárbara	Ricsb
Unidades de Suelo	Unidades de suelo residual	Saprolito de Cuarzomonzonita	Srqm
	Unidades de suelo transportado	Suelo Coluvial	Stco
		Suelo Fluvio-torrencial	Stft
		Suelo aluvial reciente o de lecho de río	Sar

Fuente. Clasificación basada en SGC (2015).

5.2.2.1 Unidades de roca intermedia (Ri) La caracterización de las unidades de roca se basó en los resultados obtenidos en la caracterización de los macizos rocosos, siguiendo la clasificación Geomecánica RMR Bieniawski, (1973, versión actualizada 1989). Esta metodología consiste en determinar los siguientes parámetros geomecánicos, asignándole a cada uno su peso o valoración con el objetivo de encontrar el índice de calidad del macizo rocoso. Dentro de los parámetros tenidos en cuenta están:

- Ensayo de carga puntual obteniendo el índice de carga puntual I_s (MPa); el cual se correlaciona con el valor de la resistencia a la compresión uniáxica.
- La designación de la calidad de la roca (RQD%) a partir de la estimación del J_v , que representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen del macizo rocoso (Juntas/m³) con ayuda de la correlación empírica de Palmstrom (1975).

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

- Separación entre diaclasas, a cual se halló como la media entre la separación entre las mismas.
- Longitud o continuidad de las diaclasas, para determinar su extensión superficial.

- Abertura de las discontinuidades, la cual se considera como la medida de la distancia perpendicular entre los dos planos de la discontinuidad.
- Medición de la rugosidad, comparando con perfiles gráficos estándar de rugosidad.
- Identificar el tipo de relleno dentro de las discontinuidades o la ausencia del mismo.
- El grado de meteorización de las paredes de la discontinuidad o la matriz rocosa
- Identificar filtraciones y estado de humedad.

A cada uno de estos parámetros se les asigna una puntuación que al sumar da un valor entre 0 y 100, en cuanto mayor sea este valor, mejor será la calidad del macizo.

Bieniawski define 5 clases de calidad del macizo rocoso, nombrándolas desde la clase I a la clase V; como muy mala, mala, media, buena y muy buena. En nuestro caso para las unidades de geología para ingeniería caracterizamos las unidades de roca como muy blanda, blanda, intermedia, dura y muy dura como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 11.

Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR

Clase	Calidad	Valoración RMR	UGI
I	Muy Buena	81-100	Muy Dura
II	Buena	61-80	Dura
III	Media	41-60	Intermedia
IV	Mala	21-40	Blanda
V	Muy mala	<20	Muy blanda

Fuente. Bieniawski, 1989. Tomado y modificado de Vallejo. G (2002).

De acuerdo a los resultados de la caracterización de los macizos rocosos dentro del perímetro urbano, dieron como resultado un índice RMR entre 41 y 60 considerándose esta como roca

intermedia (Ri). A seguir se presenta a manera de ejemplo el resumen la clasificación del macizo rocoso 1.

Tabla 12.

Resumen clasificación de macizo rocoso 1.

Parámetro	Unidad	Valor	Puntaje
Ensayo de carga puntual	IS (Mpa)	4.6	12
Compresión simple o uniáxica	UCS (Mpa)	No aplica	0
Designación de la calidad de la roca	RQD (%)	65.50%	17
Separación entre diaclasas	(m)	0.06-0.2	8
Continuidad o longitud de las diaclasas	(m)	10 a20	1
Abertura	(mm)	0.1-1	3
Rugosidad	Rugosa		5
Relleno	Ninguno		6
Meteorización	moderada		3
Estado general	Seco		15
Corrección por taludes	Media		-25
	Total		45
Calidad		Media	
Clase		III	
Cohesión (Kg/cm²)		2 y 3	
Angulo de rozamiento (°)		25°-35°	

Fuente. Basados en la clasificación de Bieniawsky. (1989).

5.2.2.1.1 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Ricsb) Esta unidad de roca intermedia fue identificada al Sur del casco urbano en el talud generado por el corte al extremo derecho de la vía que comunica con el municipio. Como su nombre lo indica se caracteriza por estar estructuralmente fracturada haciéndola susceptible a caída de roca, ya que tiene un gran número de planos de discontinuidad con diferente orientación.

Según el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971) se considera como roca parcialmente meteorizada II-B (*Figura 21*) presenta algo de decoloración por los planos de discontinuidad con poca resistencia, ya que sus granos se desprenden brevemente con la punta del martillo. Su alto grado de fracturamiento la hace porosa y permeable, la abertura de sus planos de discontinuidad aumentan con la erosión hídrica. Su génesis se deriva de una roca ígnea intrusiva de tipo cuarzomonzonita de color rosado rica en feldespatos potásicos, biotítica de grano grueso. Su textura por lo general es masiva con una fábrica que varía de equigranulares a inequigranular con cristales de cuarzo, feldespatos potásicos, biotita y plagioclasa observables a simple vista.

Se considera que esta unidad de roca es la más basal reconocida en campo; teniendo en cuenta que las demás unidades geológicas de tipo suelo residual y transportado supra-yacen o descansan secuencialmente sobre esta unidad.

En el borde Norte de la desembocadura o confluencia de la quebrada Salinas con la Quebrada Esparta, y siguiendo el margen izquierdo de la vía hacia el casco urbano, después del puente de la quebrada Salinas; se puede observar la evidencia de afloramientos rocosos correspondientes a la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, en contacto con los depósitos transportados fluvio-torrenciales que se describen más adelante, lo cual corrobora así sus posiciones estratigráficas.

La unidad de suelo transportado fluvio-torrencial supra-yace a la unidad de roca intermedia, proviene del transporte y depositación de material por flujos torrenciales aluviales de las

microcuencas de la Quebrada Esparta y la Salinas, son depósitos no consolidados de origen aluvial dispuestos a manera de terrazas o restos de las mismas que han sido modificadas con el tiempo y actualmente son erosionadas, el espesor de este material es de aproximadamente entre 20 y 30 metros de profundidad; sobre este se encuentra unidades de suelo coluvial (Stco), producto del transporte y depositación del material que proviene principalmente de los cerros montañosos aledaños al casco urbano de Santa Bárbara, con matriz de textura predominantemente granular, por ser el resultado del transporte del material de la cuarzomonzonita, el cual es de grano grueso a muy grueso. Su composición es producto de la alteración y meteorización parcial o total de los cristales de cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa. Este depósito coluvial es de aproximadamente 6 metros de profundidad; y a su vez estratigráficamente se ubica en la parte superior, supra-yaciendo el depósito fluvio-torrencial.

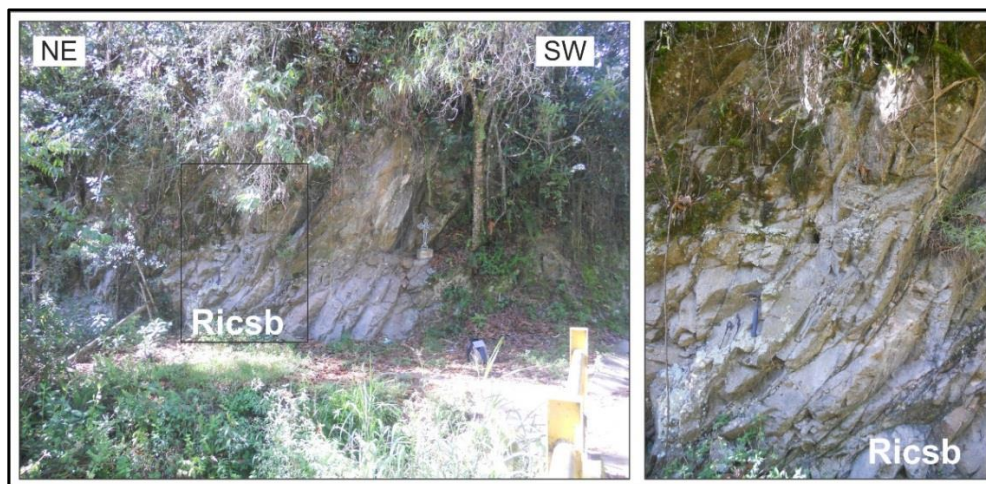


Figura 17. Cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada a borde de la Quebrada Salinas.

Nota. Afloramiento rocoso observado al margen izquierdo de la vía que conduce a Bucaramanga sobre el puente que cruza la quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264720 m; E: 1129245 m; Z: 1876 msnm).

La imagen anterior (*Figura 17*), muestra un afloramiento que forma un escarpe en el talud de la vía, al borde de la vía a Bucaramanga, a la altura del puente que cruza la Quebrada Salinas. En esta imagen se puede observar el alto fracturamiento y la predominancia que tiene una de estas fracturas orientadas NNE y NNW e inclinadas al Sureste y Noreste respectivamente.

La unidad de roca intermedia fue principalmente identificada bordeando el costado Sur de la quebrada Salinas (*Figura 18*). Se observaron afloramientos rocosos de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara, pero en este sector presentaba un grado de meteorización menor observándose la roca más fresca pero igualmente altamente fracturada haciendo que este borde escarpado genere la caída de roca y detritos a borde de la Quebrada Salinas.



Figura 18. Tonalidades que toma la cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada.

Nota. Imagen de un afloramiento de cuarzomonzonita al extremo Sur de la quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264701 m; E: 1129301 m; Z: 1854 msnm).

Todo el borde Este que conforma los taludes de la vía que conduce a Bucaramanga muestra afloramientos rocosos de la cuarzomonzonita mucho más alterados, desprovistos de cobertura vegetal y sin ningún tipo de obra de estabilización a pesar de su grado de meteorización, fracturamiento y forma del talud (*Figura 19*).

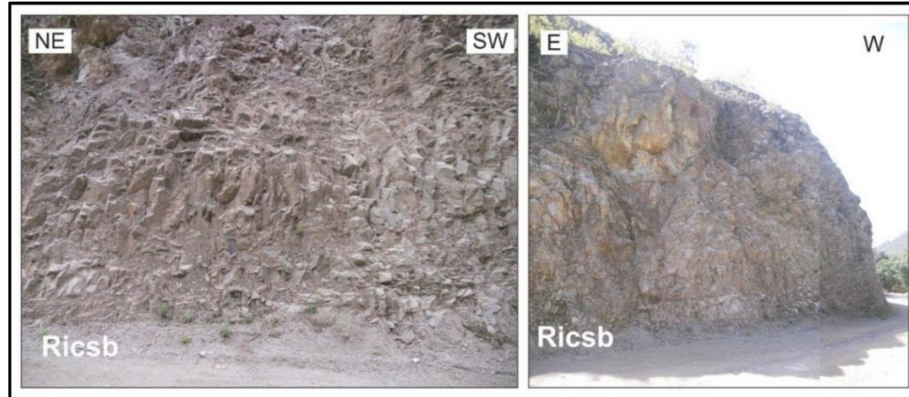


Figura 19. Afloramiento de la cuarzomonzonita fracturada, alterada y meteorizada que expone el talud de la vía.

Nota. Imágenes tomadas al extremo izquierdo de la vía que conduce a Bucaramanga unos aproximadamente a 100 m del puente de la quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264678 m; E: 1129164 m; Z: 1871 msnm).



Figura 20. Imagen detallada de la cuarzomonzonita al Sur del casco urbano.

Nota. Imagen que muestra a detalle del tipo de roca que aflora al margen izquierdo de la vía que conduce a Bucaramanga sobre el mismo sitio de la Figura 9. (Coordenadas N: 1264678 m; E: 1129164 m; Z: 1871 msnm).

La imagen de la *Figura 20*, muestra de manera detallada la textura y composición de la matriz rocosa fresca que presenta el afloramiento del talud mostrado en la imagen de la *Figura 19*.

5.2.2.2 Unidades de suelo residual Los suelos residuales son el resultado de procesos de desintegración y descomposición que las rocas sufren cuando son expuestas a las condiciones atmosféricas. Este fenómeno es conocido como meteorización y es el proceso responsable del origen de los suelos residuales. Los suelos residuales se caracterizan por presentarse in situ o no sufrir ningún tipo de transporte después de formado. Para esta clasificación de suelo residual se usó el perfil de meteorización para rocas plutónicas propuesto por Deere & Patton, 1971.

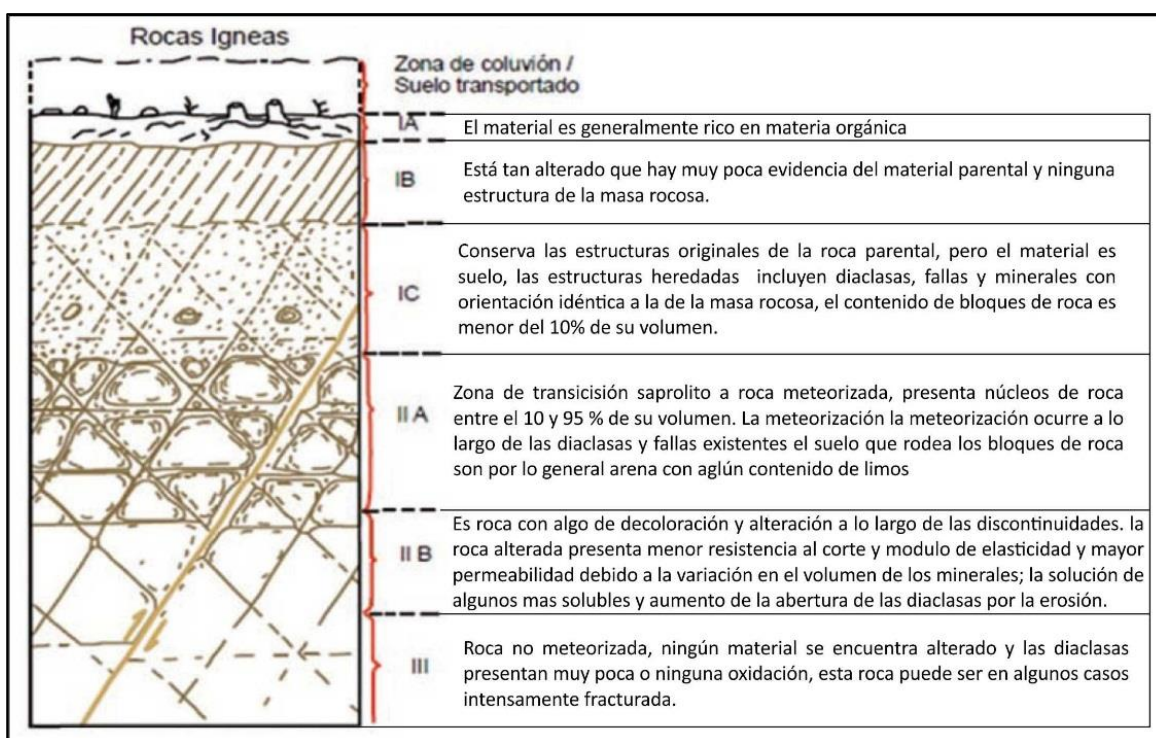


Figura 21. Perfil de meteorización de Deere y Patton 1971.

Fuente. Tomado y modificado de Boletín de Geología Universidad Industrial de Santander UIS. (2015).

5.2.2.2.1 Sapolito de cuarzomonzonita (Srqm) Esta unidad fue identificada principalmente hacia los alrededores del casco urbano al Este y Oeste del mismo, producto de la alteración y meteorización de una roca denominada cuarzomonzonita de grano grueso, a muy grueso, rosada, feldespática, ligeramente Biotítica y Pegmatítica. Granos de cuarzo feldespato potásico y plagioclasa observables a simple vista hasta de 1cm.

Según el perfil de meteorización de Deere y Patton (1971), la cuarzomonzonita desarrollo suelos residuales o sapolito a roca alterada (II-A) de textura granular, donde predomina la transición de sapolito a roca alterada con núcleos de roca que se aproximan al 90% del volumen. La meteorización se apreció más marcada sobre los planos de fracturas haciendo que esta se torne de un color amarillento a naranja claro. El alto fracturamiento y su naturaleza granular hacen que este suelo sea susceptible a caída de fragmentos de roca y detritos, además debido el aumento de la separación de diaclasas y alto fracturamiento, es permeable evidenciando un alto grado de humedad.

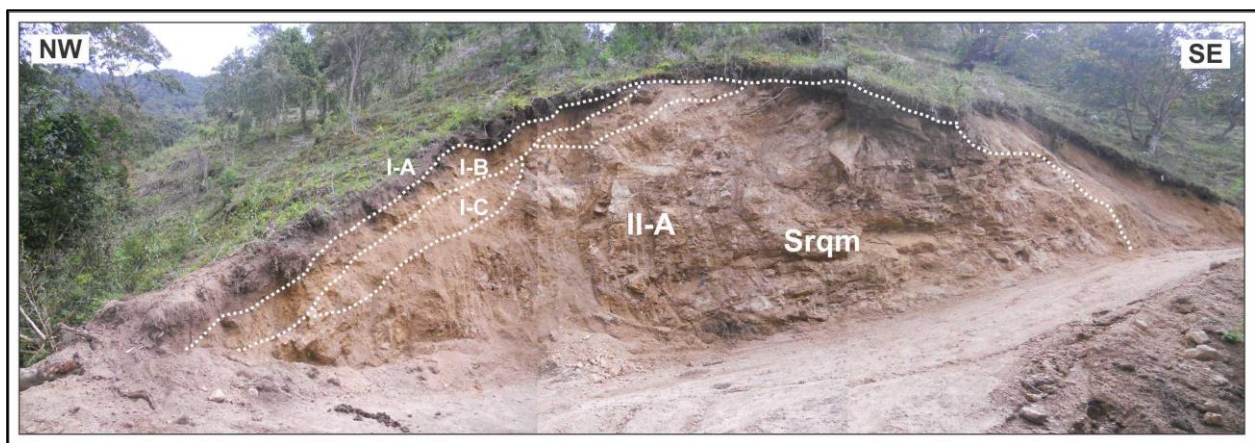


Figura 22. Suelo residual o sapolito de cuarzomonzonita.

Nota. Imagen de afloramiento sobre la ladera Este del casco urbano, vía que comunica al sector conocido como Jiagüil (Coordenadas N: 1265001 m; E: 1129472 m; Z: 1063 msnm).

Como se puede apreciar en la *Figura 22*, este suelo carece o tiene muy poco de los horizontes I-A, I-B, I-C del perfil de meteorización de Deere y Patton. Obsérvese que estos horizontes estarían representados por solo por superficies irregulares con tendencia paralela a la superficie topográfica de tan solo unos cm. La principal razón del porqué se consideró esta unidad como un saprolito, es que el espesor de este horizonte II-A, supera los 2 m y por ello como lo indica la guía metodología del servicio geológico (2015); se debe tener en cuenta la escala vertical de la unidad para saber cuál de los horizontes del suelo residual más representativo al momento de cartografiar la unidad.

La imagen a continuación (*Figura 23*). Muestra a detalle como es la textura de este saprolito, se pueden observar el tamaño de los cristales que la componen y las fracturas que presenta, heredadas de la roca.

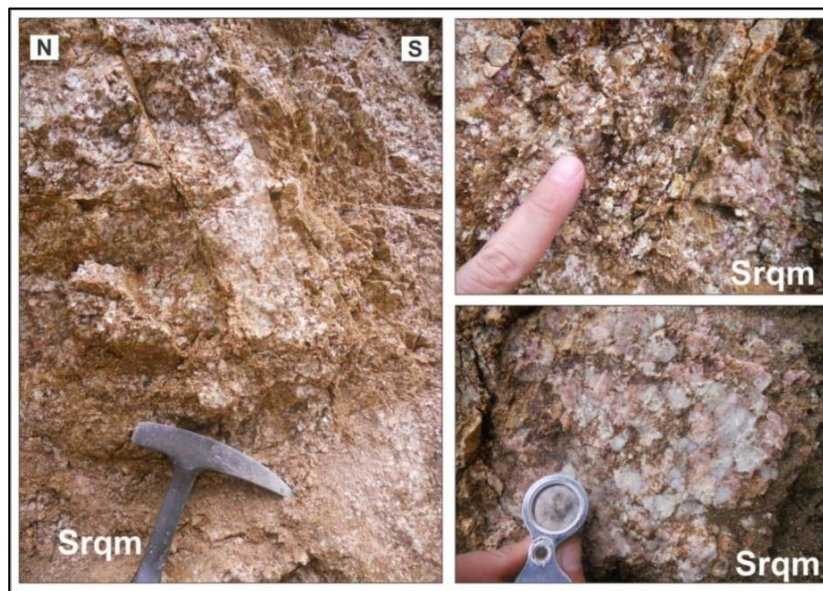


Figura 23. Imagen detallada de la textura y composición del saprolito de cuarzomonzonita.

Nota. Imagen detallada del afloramiento (Coordenadas N: 1265001 m; E: 1129472 m; Z: 1063 msnm).

Hacia la parte baja de la ladera Este del municipio, tras el Instituto Agrológico se observó sobre la superficie del terreno el tipo de suelo residual superficialmente. Este como se puede ver en la *Figura 24*, presenta una textura granular, principalmente contiene granos de tamaño arena gruesa a muy gruesa como residuos de los cristales que contiene la roca madre. La matriz de este suelo sería el producto de la meteorización de los feldespatos y plagioclasas principalmente.

De acuerdo a los resultados de laboratorio de clasificación de suelos (SUCS) dieron suelos arenolimosos SM de compacidad compacta a muy densa, se llevaron 2 muertas de fragmentos de roca para ensayo de carga puntual y estos dieron resistencia a la compresión simple de 1 y 5 Mpa indicando que estos fragmentos de roca poseen una resistencia de la matriz rocosa muy baja, puesto que los granos minerales se encuentran tan alterados que se desprenden fácilmente de la masa de roca.



Figura 24. Suelo residual granular.

Nota. Suelo residual observado bordeando la ladera Este sector conocido como el Jiagüil (Coordenadas N: 1265012 m; E: 1129465 m; Z: 1950 msnm).

La caracterización de campo de la parte Oeste del municipio, cruzando la Quebrada Esparta es una zona de alta pendiente y cubierta por una vegetación densa. La caracterización y cartografía se infirió ya que solo fue posible identificar afloramientos hacia la parte Suroeste de este sector por un camino veredal que conduce en esta dirección. A pesar de la escasez de afloramientos se evidenció este tipo de suelo residual de tipo saprolito, pero con variaciones debido a que las masas rocosas de la cuarzomonzonita a los alrededores de casco urbano varían en matriz y composicionalmente.

En el sector Oeste se encuentra la denominada Cuarzomonzonita clara, rica en plagioclasa, biotítica y de grano grueso con un fracturamiento menos marcado, desarrolla un perfil del suelo similar al descrito anteriormente, pero este es de color más claro. A diferencia del anterior es más resistente a la meteorización ubicándolo más exactamente en una transición roca parcialmente meteorizada a saprolito (II-B).

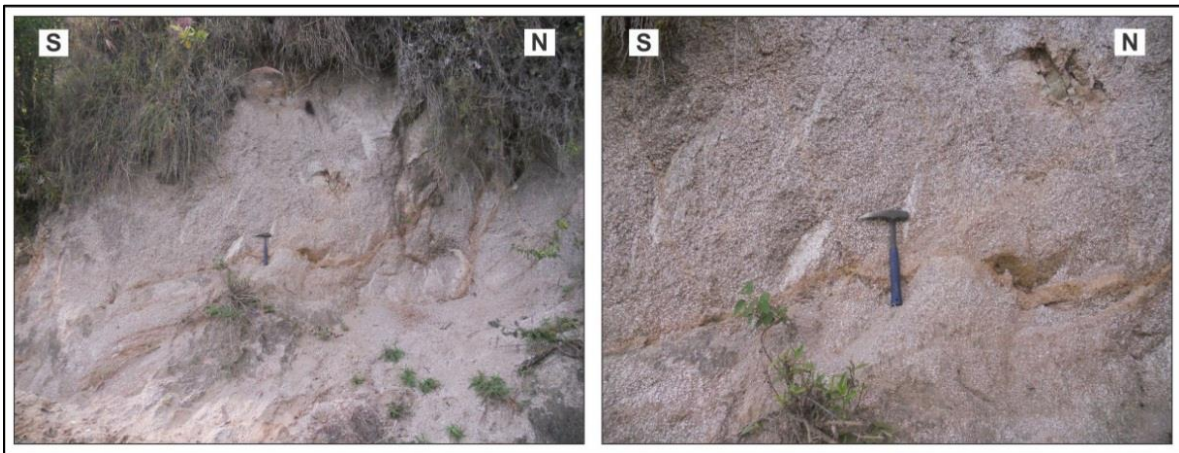


Figura 25. Cuarzomonzonita observada al Suroeste del casco urbano.

Nota. Afloramiento de roca observado sobre la ladera Oeste después de cruzar La Quebrada Esparta o el Río Umpalá (Coordenadas N: 1264667 m; E: 1128731 m; Z: 1926 msnm).

La *Figura 25* y *Figura 26*, muestran afloramientos sobre la ladera al Suroeste del casco urbano, después de cruzar la Quebrada Esparta. Obsérvese que este tipo de roca presenta un tono más claro, indicando una composición diferente. La matriz rocosa presenta una textura masiva con cristales tamaño arena gruesa que se desprenden fácilmente con la punta del martillo generando caída de granos y detritos sobre el camino. Es más homogénea y presenta menor fracturamiento.

En la imagen detallada *Figura 26* se puede apreciar fácilmente la textura diferente que presenta la cuarzomonzonita, en la parte Este del municipio que es inequigranular. En este los cristales son equigranulares conformados predominantemente de granos de plagioclasa, cuarzo y biotita, como se indica en el extremo inferior derecho de la imagen.



Figura 26. Imagen a detalle de la cuarzomonzonita clara rica en plagioclasa, biotítica y de grano grueso.

Nota. Imagen detallada de la matriz rocosa (Coordenadas N: 1264667 m; E: 1128731 m; Z: 1926 msnm).



Figura 27. Diques aplíticos de Color Claro que intruyen la cuarzomonzonita al Oeste del Río Umpalá.

Nota. Imagen sobre la ladera Oeste camino veredal hacia la vereda el Borbón (Coordenadas N: 1264667 m; E: 1128731 m; Z: 1926 msnm).

Junto a estos afloramientos se observaron también diques aplíticos orientados Este-Oeste, con buzamiento de 69° al Sur, de un tono más claro, compuestos de cuarzo predominante y de grano muy fino; los cuales son más resistentes a la meteorización y la erosión. Además sobresalen en el terreno como los que se observan en la *Figura 27*.

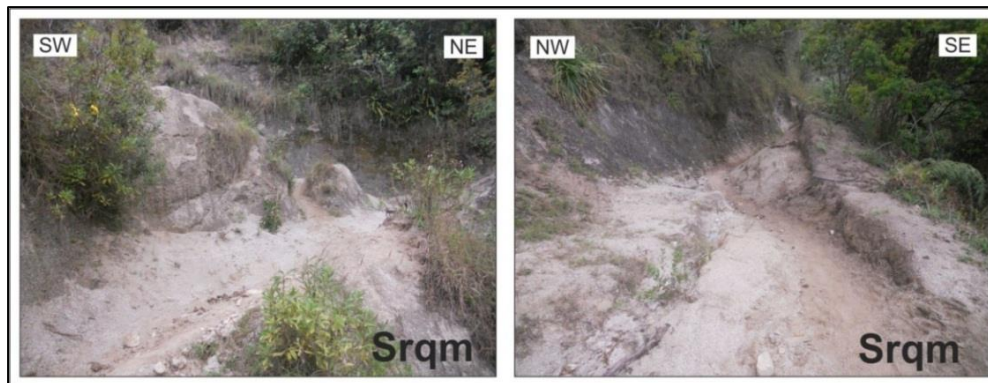


Figura 28. Suelo residual saprolítico granular que desarrolla la cuarzomonzonita al Oeste del casco urbano.

Nota. Suelo que se desarrolla sobre el camino que asciende la ladera al Oeste hacia la vereda El Borbón (Coordenadas N: 1264631 m; E: 1128561 m; Z: 1996 msnm).

En la imagen anterior *Figura 28*, se puede observar sobre la superficie del camino, que el suelo residual de este sector es muy poco desarrollado al igual que el mostrado anteriormente por ello se asignó este mismo tipo de unidad. Saproilito de Cuarzomonzonita pero que por su naturaleza y composición antes descrita podría presentar variaciones en las propiedades mecánicas comportándose como una roca parcialmente meteorizada.

5.2.2.3 Unidades de suelo transportado Estas unidades de suelo se caracterizan por sufrir un transporte después de formarse el suelo in situ. Estos suelos pueden ser transportados por agentes climáticos como vientos y corrientes de agua o por gravedad, produciendo flujos de detritos o masas incoherentes que serán depositados pendiente abajo del lugar donde se genere el flujo.

5.2.2.3.1 Suelo Coluvial (Stco) La génesis de esta unidad es producto del transporte y depositación del material que proviene principalmente de los cerros montañosos aledaños al casco urbano de Santa Bárbara. Su matriz es de textura predominantemente granular, por venir del transporte del material de la cuarzomonzonita, que es de grano grueso a muy grueso, su composición es producida por la alteración y meteorización parcial o total de los cristales de cuarzo, feldespato potásico, biotita y plagioclasa.

Hacia la parte Norte, a los extremos Este y Oeste de la vía que conduce a la vereda Esparta figuras (*Figura 29, Figura 30 y Figura 31*). Se observaron suelos coluviales matriz-soportados de color marrón claro, compuestos de una matriz areno-limosa con bloques de formas subangulares no redondeados y orientados aleatoriamente. El tamaño de los bloques supera el metro de diámetro y son predominantemente de rocas ígneas intrusivas y algunas metamórficas como se observa en las siguientes



Figura 29. Suelos coluviales al Norte del casco urbano.

Nota. Bloques observados de rocas ígneas observados en el suelo coluvial identificado hacia la parte Norte del casco urbano (Coordenadas N: 1265265 m; E: 1129454m; Z: 1978 msnm).

Hacia esta parte norte se observaron encharcamientos en la matriz del coluvión por pequeños drenajes que descienden de las partes altas de los cerros. Este suelo coluvial por ser de textura granular se considera que presenta una alta permeabilidad, ya que los drenajes se infiltran y además se observaron mangueras enterradas que transportan agua hacia el municipio.

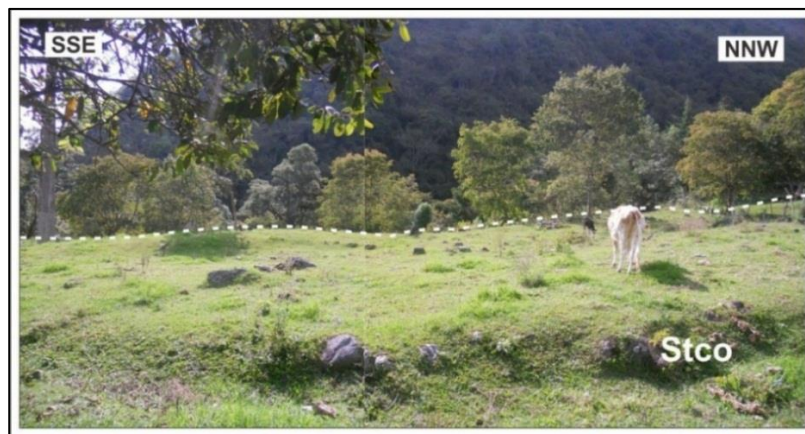


Figura 30. Suelo coluvial observado al Norte del casco urbano.

Nota. Suelo coluvial identificados en los potreros al Norte del casco urbano (Coordenadas N: 1265416 m; E: 1129153 m; Z: 1949 msnm).



Figura 31. Bloques que contiene el suelo coluvial al Norte.

Nota. Bloques observados que hacen parte del suelo Coluvial hacia el Norte del casco urbano (Coordenadas N: 1265300 m; E: 1129212 m; Z: 1939 msnm).

El coluvión en las áreas más cercanas al casco urbano se observó matriz-soportado (*Figura 32*), compuesto por una matriz areno-limosa de tono marrón claro, de textura granular, que contiene embebidos granos de fragmentos líticos de cuarzomonzonita, de tamaños arena muy fina a gránulos y guijos de formas subangulares y angulares. Además contiene clastos de roca de colores grises y rosado claro con tamaño superior a 70 cm como guijarros y cantos también de formas subangulares, angulares no redondeados con una orientación aleatoria.

Estratigráficamente se considera que este tipo de suelo Coluvial en ciertos sectores, los más cercanos a los cauces, reposan sobre los depósitos que desarrollan los suelos fluvio-torrenciales descritos más adelante. Su contacto se infiere como se muestra en el mapa de UGI (*Figura 16*), con una línea interlineada sinuosa que atraviesa de Noroeste a Sureste atravesando el casco urbano.



Figura 32. Suelo coluvial matriz-soportado.

Nota. Imagen tomada hacia la parte posterior de la cancha del colegio que queda al Norte saliendo hacia las instalaciones de gas natural (Coordenadas N: 1265149 m; E: 1129352 m; Z: 1945 msnm).

5.2.2.3.2 Suelo fluvio-torrencial (Stft) Esta unidad en principio viene del transporte y depositación de material por flujos torrenciales aluviales de la Quebrada Esparta y la Quebrada Salinas. Estos son depósitos no consolidados de origen aluvial dispuestos a manera de terrazas o restos de las mismas que han sido erosionadas.

Por lo general los afloramientos que hacen posible su identificación y caracterización fueron en los cortes antrópicos en el casco urbano, o escarpes de terraza naturales que se encuentran al borde de los drenajes. Además, se pueden ver en algunos taludes generados por la vía que entra al casco urbano desde Bucaramanga (*Figura 33*).



Figura 33. Suelos fluvio-torrenciales observados saliendo del casco urbano.

Nota. Fotografías tomadas al borde Norte de la vía, talud saliendo del casco urbano. (Coordenadas N: 1264906 m; E: 1129227 m; Z: 1910 msnm).

En campo los depósitos se observaron clasto-soportados, compuesto por bloques, cantos y predominantemente gravas de formas redondeadas, subredondeadas a subangulares (*Figura 34*). Orientados aleatoriamente, con fragmentos de rocas de diferentes orígenes; tanto ígneo, sedimentario, meta-sedimentario y metamórfico. Algunas meteorizadas a poco meteorizadas, las cuales están embebidas en una matriz de tono marrón a gris verdoso que varía en su granulometría, en algunas zonas es arena-limosa, limo-arenosa y en otras es limo-arcillosa o solo limosa, que predominantemente contienen embebidos granos de tamaño arena muy fina a gránulos y algunos guijos de restos de fragmentos líticos alterados de rocas ígneas sedimentarias y metamórficas, de formas angulares y subangulares no esféricos.

Los diferentes afloramientos muestran una predominancia de textura clasto-soportada, pero en sectores varía esta relación. Los materiales de mayor tamaño como se observa es predominantemente de tamaño grava con formas subredondeadas a subangulares de diferentes tipos de roca, algunos superan el metro de diámetro indicando que la energía de la corriente que los transporto fue alta.



Figura 34. Suelos transportados fluvio-torrenciales identificados en cercanías a la Quebrada Salinas.

Nota. Afloramiento del depósito al extremo Norte de la Quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264668 m; E: 1129504 m; Z: 1898 msnm).



Figura 35. Suelos transportados fluvio-torrenciales vistos al margen Oeste de la Quebrada Esparta.
Nota. Se identificaron depósitos fluvio-torrenciales a extremo Oeste del Río Umpalá (Coordenadas N: 1264917 m; E: 1129097 m; Z: 1894 msnm).

Como se puede ver en la *Figura 34* y *Figura 35*, tomadas en diferentes sectores. El tamaño y forma de los clastos también varían de un sector a otro. En la imagen de la *Figura 34* se aprecian relativamente más pequeños, predominando los de tamaño guijo. También se observan de formas más aplanados o discoidales con bordes redondeados y unos pocos son de bordes angulares.

Este tipo de suelo se considera como resultado del transporte y la acumulación de material que han transportado depositado los dos drenajes principales: La quebrada Esparta y la Quebrada Salinas de características de un tramo alto de montaña de flujo torrencial. Ellos a medida que evoluciona su cauce han divagado y erosionado sus propios depósitos incidiendo en el terreno y generando diferentes niveles de terraza, las cuales se describen en el capítulo de geomorfología.

5.2.2.3.3 Suelos aluviales recientes o lecho del río (Sar) Corresponde al cauce actual de la Quebrada Esparta, Quebrada Salinas y el Río Umpalá, los cuales se caracterizan por transportar bloques de grandes tamaños y de diferente composición. Se observaron bloques metamórficos bien redondeados lo cual indica que han tenido alto transporte, también se evidencian bloques mayores a un metro de longitud y ancho lo cual indica que estos dos drenajes tienen alta energía de arrastre.

La *Figura 36* y *Figura 37*, muestra los suelos aluviales recientes cercanos al cauce activo (Sar) de la Quebrada Salinas y Esparta respectivamente. Observe el tamaño de los bloques y la extensión de sus depósitos evidenciando alta energía en épocas de lluvias.



Figura 36. Suelos aluviales recientes de la Quebrada Salinas.

Nota. Depósitos recientes observados sobre el cauce de la Quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264941 m; E: 1129167 m; Z: 1885 msnm).



Figura 37. Suelos aluviales recientes de la Quebrada Esparta.

Dépósitos recientes observados en la Quebrada Esparta (Coordenadas N: 1264668 E: 1129504 Z: 1898 msnm).

Finalmente, para culminar este numeral se resume un perfil estratigráfico tipo local del suelo urbano de la siguiente manera. La unidad basal es la Roca intermedia Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Ricsb); a partir de la meteorización de esta se desarrolló el suelo residual de cuarzomonzonita (Srqm), sobre estos se les superpone una unidad de suelo transportado fluvio-torrencial (Stft). Por último se encuentra un suelo transportado coluvial (Stco) y los suelos aluviales recientes (Sar).

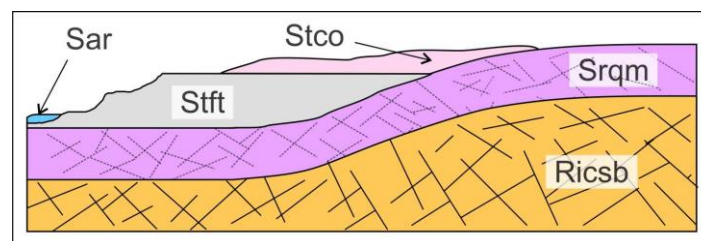


Figura 38. Perfil estratigráfico tipo local.

6. Rasgos estructurales locales

Para el reconocimiento de los rasgos estructurales locales se usó una metodología sencilla a partir de la identificación general de rasgos geomorfológicos, mirando desde una distancia que permitiera obtener panorámicas; además de la identificación de estos en imágenes de Google Earth para inferir posibles trazos de fallas y estructuras principales. Además de la toma de datos estructurales y descripción de algunos afloramientos rocosos.

Dentro de los rasgos estructurales observados por panorámicas e imágenes se identificaron geofomas de espolones estructurales alineados localmente y regionalmente, pequeños cambios de dirección de la Quebrada Esparta y el Río Umpalá. A nivel de afloramiento se observó un alto fracturamiento sobre la cuarzomonzonita de Santa Bárbara y estrías de falla observados a la altura del puente que cruza la Quebrada Salinas.

En la *Figura 39* se representa con una línea discontinua los posibles trazos de fallas presentes en el municipio de Santa Bárbara. La Falla de Umpalá va paralela al valle del Río Umpalá y continúa hacia arriba por la Quebrada Esparta. Se presenta como cubierta al Occidente del casco urbano, debido a los depósitos fluvio-torrenciales. Al Oeste del valle, se observa un lineamiento el cual genera una geofoma de espolón estructural en dirección NE transversal al macizo como una sierra alargada paralela al valle. Del margen Este, se aprecia una serie de espolones estructurales facetados controlados por dos estructuras que se truncan oblicua y perpendicularmente por el espolón del Oeste, los cuales son controlados por trazos de fallas.

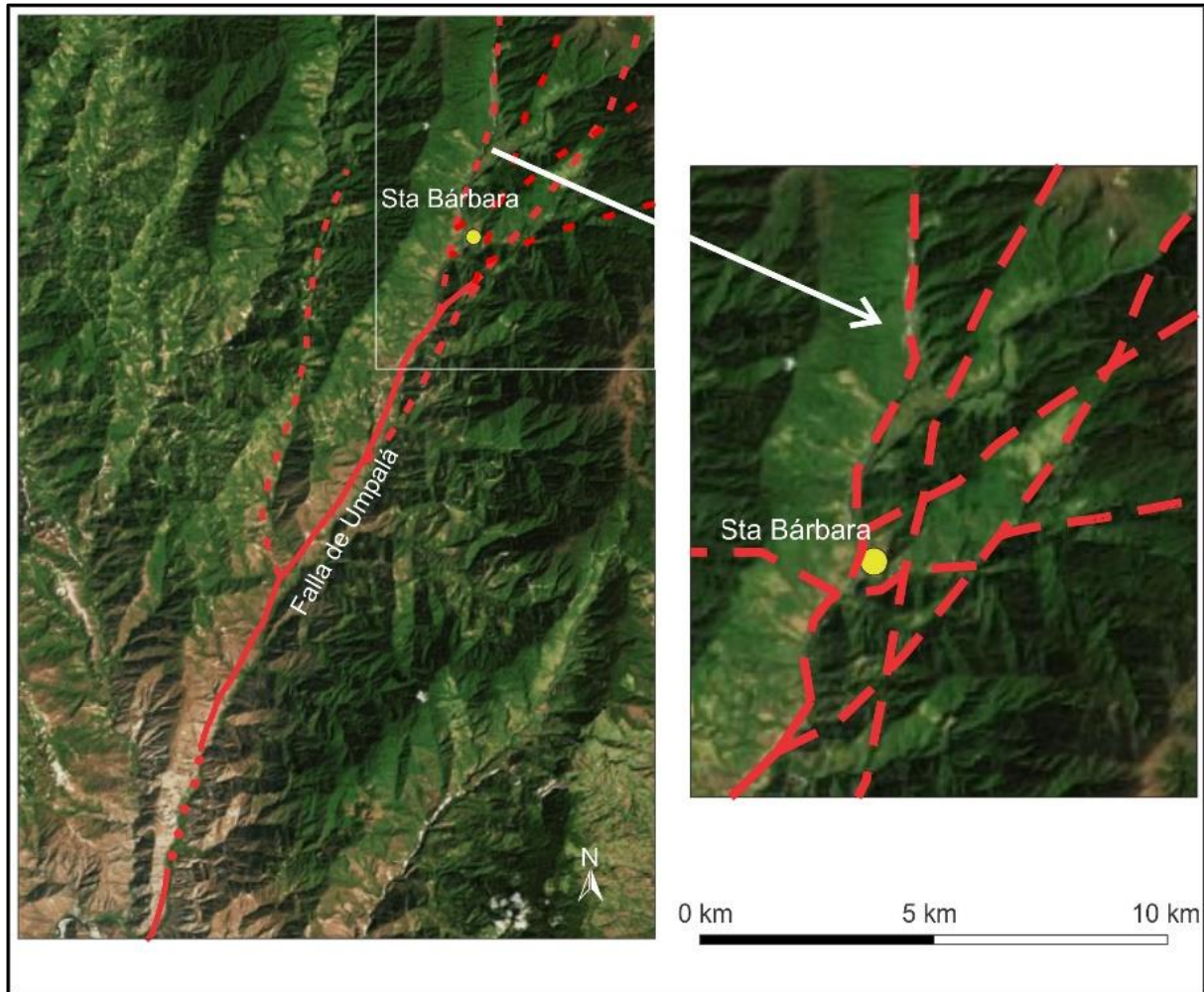


Figura 39. Fallas inferidas en el área de estudio del Casco Urbano.

Fuente. Tomado y modificado de Google Earth (2016) y Plancha 121 Cerrito INGEOMINAS (2010).

6.1 Estilos estructurales

A partir de los datos tomados sobre afloramientos se realizó un análisis, para la identificaron de estilos estructurales (Figura 40). Los estilos estructurales en el presente estudio se refieren a la relación de la tendencia o dirección preferencial de los datos con relación a los trazos de las principales estructuras a nivel local que a su vez presentan relación con las regionales.

Siguiendo este mismo orden de ideas se determinaron tres estilos estructurales; el primero relacionado a la Falla Umpalá con sentido NE-SW, el segundo más reciente y transversal a las primeras estructuras, en sentido E-W. El tercer estilo se presenta NW-SE. Durante la toma de datos se midieron más de 5 familias de diaclasas en los tres afloramientos donde se realizó la toma de datos estructurales.

- **Estilo estructural 1:** Se relaciona al comportamiento de las fallas geológicas a nivel más regional, en este caso para la Falla de Umpalá. Predomina la dirección NE-SW y NNW-SSE, de acuerdo a más de 120 datos de fracturas la dirección preferencial es de N60°E con una inclinación promedio de 70°.
- **Estilo estructural 2:** Con dirección preferencial E-W y NNE-SSW, se midieron 47 datos en estas direcciones de un total de 267 datos de fracturas; una inclinación aproximada de 68°. Este estilo, se considera que corresponde a estructuras más recientes que afectan o desplazan las más antiguas.
- **Estilo estructural 3:** Es el estilo con menor cantidad de datos (22), presenta datos de fracturas con dirección NWW-SSE (promedio de 320°) e inclinaciones promedio de 66°, se asocia regionalmente al trazo de la Falla Bucaramanga.

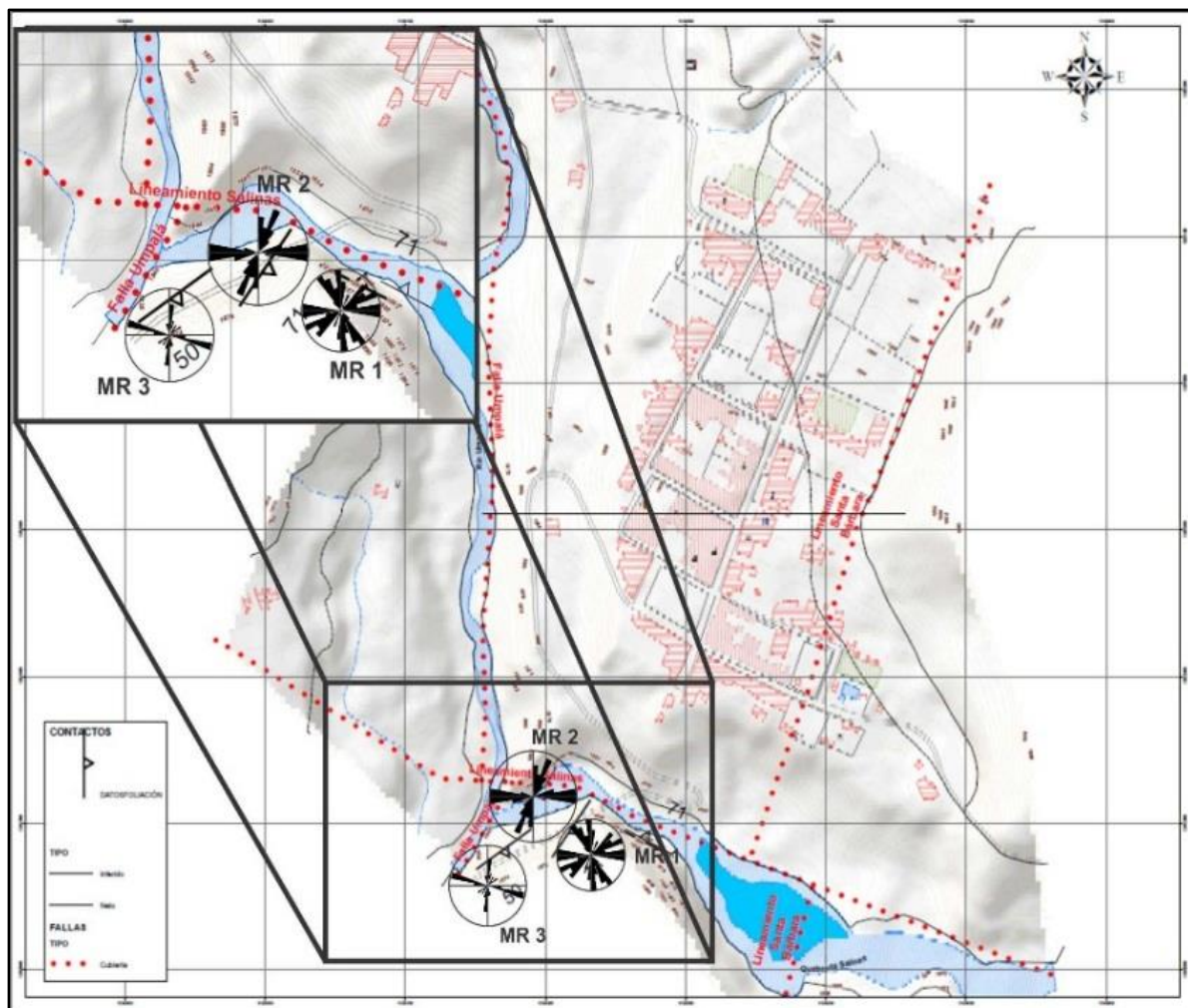


Figura 40. Estilos estructurales en la zona de estudio.

Nota. Se observan los afloramientos donde se tomaron los datos y se realizó análisis de macizos rocosos 1,2 y 3 (MR1, MR2 y MR3). Se observan diferentes familias de diaclasas en este material ígneo. Predominan los estilos estructurales NE-SW, E-W y NW-SE.

En resumen los estilos estructurales observados presentan un predominio de datos con dirección NNE-SSW y NNW-SSE. También sobresalen los datos con dirección E-W; el primero en relación con el patrón estructural NE que presenta la falla de Umpalá y demás fallas o lineamientos con esta dirección y que cortan el macizo; uno asociado al trazo de la falla de Bucaramanga; y el otro es concordante con los lineamientos que presentan dirección E-W.

Para complementar Según Velandia, 2005 en el documento denominado “*análisis de fracturas para exploración de aguas subterráneas en el centro de santander*”; dentro de su análisis estructural del centro del macizo y corredor de la falla de Bucaramanga, encontró posiciones de los esfuerzos que confirman un dominio de régimen transcurrente. El esfuerzo compresivo se manifiesta en dirección NNW-SSE asumido como el tensor local generado por el desplazamiento de rumbo de la falla de Bucaramanga. La relación entre el tamaño de las fuerzas indica una influencia de extensión en la deformación rumbo deslizante.

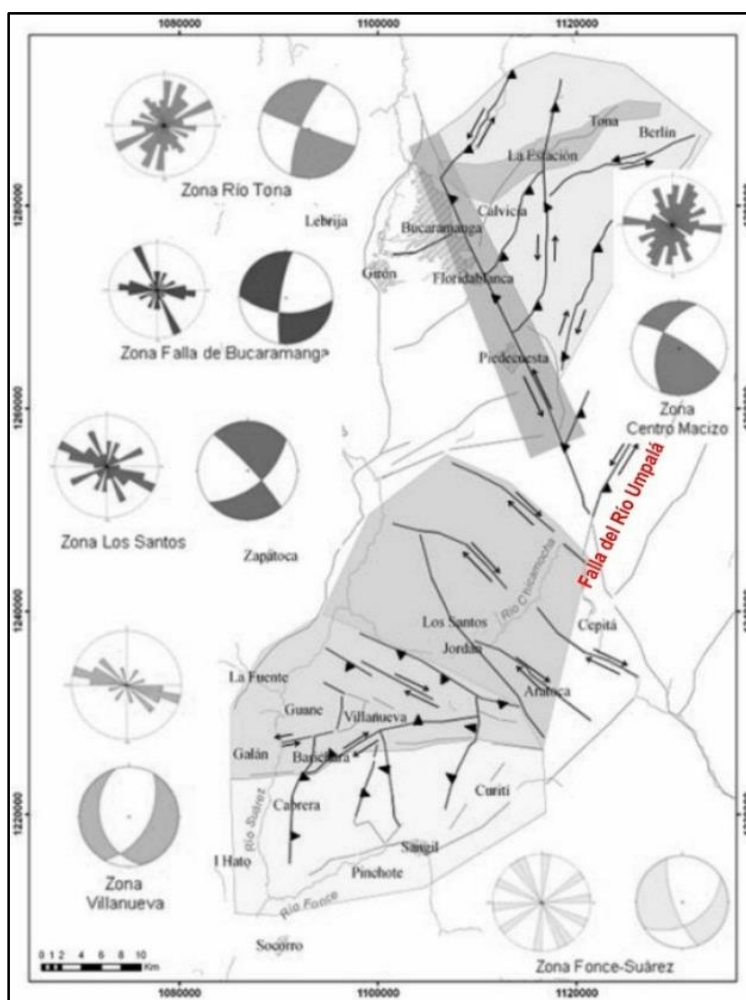


Figura 41. Modelo estructural regional con cinemática de las principales fallas.

Fuente. Tomado y modificado de Velandia, (2005).

Como se puede apreciar en la *Figura 41*, la falla del río Umpalá está representada como una falla con componente de rumbo sinistral e inversa. Obsérvese el diagrama de sombras de diedros rectos (beachball diagrams) de la zona centro macizo la cual muestra sombreado el régimen compresivo con dirección NNW SSE y en blanco el extensivo de dirección NE-SW asociadas a las fallas que atraviesan el macizo como la falla de Umpalá.

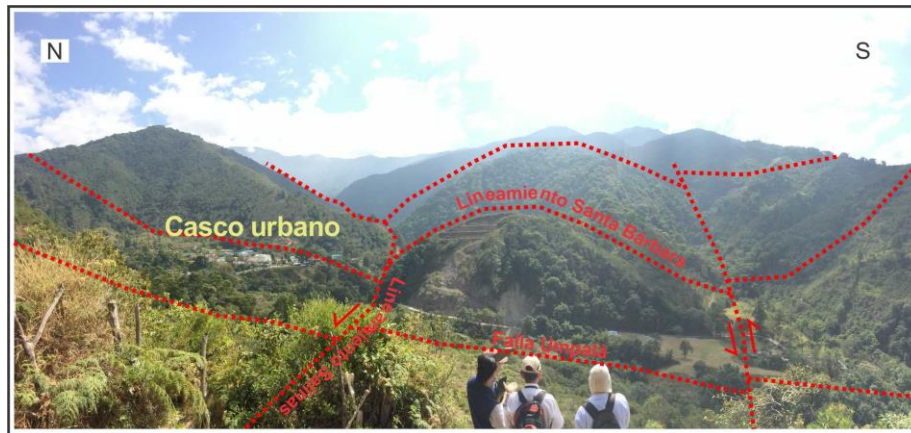


Figura 42. Panorámica hacía el casco urbano de Santa Bárbara.

Nota. Imagen donde se muestran en rojo las Fallas y lineamientos, (Coordenadas N: 1264673 E: 1128762 Z: 1918 msnm).

Entrando a un contexto más local se observaron a partir de panorámicas 5 lineamientos de los cuales se definieron tres por estar en el área de influencia directa del casco urbano; estos son: Falla Umpalá, Lineamiento Salinas y Lineamiento Santa Bárbara. Se proponen las estructuras evidenciadas como lineamientos pues la litología de la zona es de rocas ígneas y a pesar de la evidencia geomorfológica y del alto fracturamiento de las rocas, se recomiendan estudios a detalle para su correcta definición.

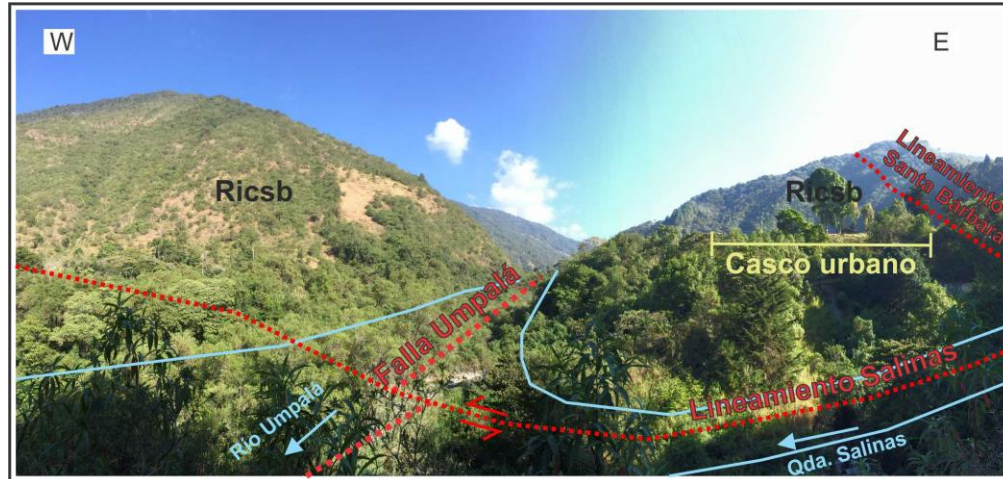


Figura 43. Panorámica hacia Norte el Río Umpalá.

Nota. Imagen donde se muestran los rasgos estructurales (rojo) (Coordenadas N: 1264672, E: 1129162 Z: 1893 msnm).

En la imagen anterior se observa una panorámica tomada sobre la carretera antes del puente previo al casco urbano. Se observa La Falla de Umpalá desplazada por el Lineamiento Salinas el cual se encuentra cubierto por los depósitos fluvio-torrenciales. Al oriente del casco urbano se muestra el trazo del lineamiento Santa Bárbara, a continuación se describen las estructuras anteriormente mencionadas.

6.1.1 Estructuras principales

6.1.1.1 Falla del río Umpalá La Falla del Río Umpalá descrita en la memoria de las planchas 109-110-120 y 121 se extiende unos 24 km en Santander con dirección Noreste a través de rocas ígneas y metamórficas de la parte Suroccidental del cuadrángulo H-13. Según el estudio “Diagnóstico Dimensión Biofísico Ambiental Territorial De Santander” de 2011 es una falla de rumbo con desplazamiento lateral derecho que afecta la falla Bucaramanga-Santa Marta.

En el puente que cruza la Qda. Salinas, se evidenciaron unas estrías de fallas las cuales son evidencia del desplazamiento relativo de las fallas. Estas estrías se consideraron de transcurrancia sinistral, con alto componente de rumbo asociado al trazo de la Falla de Umpalá ya que el ángulo formado entre las estrías y el rumbo del plano es bajo (*Figura 44*).

Ya que en algunos documentos su cinemática es dextral y otros sinistral se recomienda hacer un estudio más detallado para definir movimiento (cinética), buzamiento y desplazamiento de esta falla.

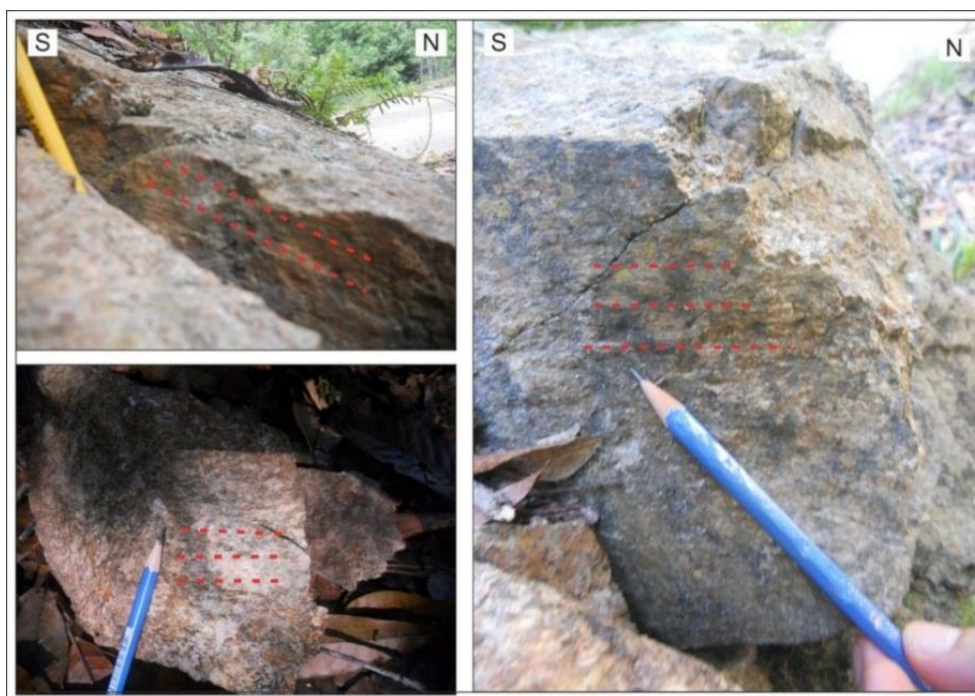


Figura 44. Estrías de falla.

Nota. Estrías de falla observadas sobre un plano de diaclasamiento orientado N-S al borde de la vía en las cercanías del puente de la Quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264942 m; E: 1129156 m; Z: 1869 msnm).

Las evidencias en campo que dan indicio de su trazo son: primero la diferencia composicional de la cuarzomonzonita al Este y Oeste del valle del Río Umpalá; El hallazgo de las estrías de falla

orientadas en dirección casi NNE; el alto fracturamiento de las rocas al Este del valle; y por último la forma rectilínea que presenta el valle en dirección Noreste, además de las geoformas de espolones estructurales y facetas triangulares controlados por dichas estructuras.

6.1.1.2 Lineamiento Santa Bárbara dirección NNE-SSW Este lineamiento se identifica paralelo a la Falla de Umpalá, pasando por el casco urbano y cubierto en esa zona por unos depósitos de ladera. Su trazo se infiere a partir de los rasgos litológicos y geomorfológicos observados en la zona (*Figura 45*). La roca se presenta altamente fracturada sobre la vía que conduce hacia la Vereda Salina. El sentido de movimiento es de Rumbo y se infiere una transcurrancia dextral.



Figura 45. Lineamiento Santa Bárbara visto desde el Noroeste del casco urbano.

Nota. Imagen donde se aprecian en rojo los lineamientos y la falla del Río Umpalá (Coordenadas N: 1265496 m; E: 1129208 m; Z: 11961 msnm).

6.1.1.3 Lineamiento Salina dirección E-W El trazo de este lineamiento se hace sobre la Quebrada Salinas. Se infiere su trazo pues en la zona predominan los depósitos fluvio-torrenciales que esta ha dejado. Este lineamiento presenta un sentido de movimiento de rumbo con transurrencia sinistral, desplazando la Falla de Umpalá y el lineamiento Santa Bárbara. Se define como lineamiento pues afecta litológicamente a las mismas rocas ígneas locales y no existen estudios detallados para definir su comportamiento, desplazamiento vertical o buzamiento.



Figura 46. Afloramiento ubicado en cercanías al lineamiento Salinas y Santa Bárbara.

Nota. Imagen tomada al talud que conduce hacia la vereda Salinas (Coordenadas N: 1264716 m; E: 1129516 m; Z: 1869 msnm).

En la *Figura 46* se observa un afloramiento de suelo residual de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Srqm) el cual todavía conserva evidencias de alto fracturamiento o diaclasamiento. Este afloramiento se puede observar sobre la vía que conduce desde el casco urbano hacia la vereda Salinas. Esta roca ígnea al quedar expuesta es susceptible a la meteorización generando pequeños deslizamientos de detritos al borde de la vía.

7. Geomorfología

La geomorfología es la ciencia de la tierra que estudia la relación entre las formas de la superficie terrestre, los materiales naturales su disposición estructural y los procesos que las originaron (Carvajal 2004). El elemento geomorfológico corresponde al máximo nivel de detalle de una unidad geomorfológica, definida por los rasgos de relieve, por la morfometría detallada del terreno y por los micro-relieves asociados con una característica litológica con base en análisis detallados (Carvajal, 2012).

Para llevar a cabo la caracterización Geomorfológica, elemento indispensable para poder interpretar y diagnosticar el comportamiento en relación con los diferentes procesos que le dan forma al relieve y modelado al paisaje se usó la metodología propuesta por Carvajal (2011); la guía metodológica del servicio geológico (SGC, 2015); la estandarización de unidades de ambiente estructural, fluvial y denudacional (SGC 2013); además del estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de algunas laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (Santander) desarrollado por el INGEOMINAS (2007). Todas estas se estudiaron para generar el mapa e informe de geomorfología con algunas modificaciones.

A continuación se describen cada uno de los parámetros que hacen parte de la caracterización de elementos geomorfológicos, los cuales son la Morfología, Morfometría, Morfogénesis y Morfodinámica.

7.1 Morfología

En toda el área de estudio se observaron laderas largas y cortas, con formas cóncavas, convexas y rectas. Además vertientes montañosas que se aproximan a cerros y colinas de formas redondeadas las cuales dan un indicio de la naturaleza de los materiales.

Durante la visita a la zona de estudio se observó una marcada morfología contrastante entre las formas de las laderas que desarrollan los suelos transportados y los suelos residuales identificados. Los suelos residuales por lo general, por ser de origen ígneo, de rocas duras resistentes a la erosión marcan una topografía montañosa que superan los 100 m de altura. Estos se observan claramente a los extremos Norte, Sur-Este y Oeste del casco urbano. A diferencia de los suelos transportados que no son consolidados y más erodables, marcan una topografía suave ondulada y terraceada característico de los mismos desarrollada a los bordes de los valles y bordeando los extremos Sur, Oeste del casco urbano.

7.2 Morfometría

Este parámetro presenta cuantitativamente las medidas de la pendiente o inclinación, longitud, área y forma de las laderas comparando sus relaciones geométricas y espaciales. Los documentos de soporte para establecer la descripción de unidades morfométricas y demás parámetros geomorfológicos son las Propuestas Metodológicas Para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica Para la Zonificación Geomecánica (INGEOMINAS Vol2. Diciembre 2001; Vol1. Diciembre 2004; Carvajal 2011).

7.2.1 Unidades Morfométricas. Para el mapa de unidades morfométricas se ajustaron 8 rangos a partir de los rangos de pendiente IDEAM, 2009. Los rangos van de plano a muy escarpado como se muestra en la *Tabla 13* y el mapa de pendientes (*Figura 47*). Si dividimos estos rangos en tres categorías pendientes bajas (0-12%); medias (12%-50%) y altas (>50%) se puede apreciar en el mapa existe una clara evidencia de que predominan las laderas con inclinaciones medias. Las laderas altas son confinadas generalmente a los escarpes de terraza y demás taludes y vertientes montañosas a los alrededores de la zona de estudio.

Tabla 13.

Unidades morfométricas

UNIDADES MORFOMÉTRICAS					
COLOR	RANGO	PORCENTAJES	GRADOS	DESCRIPCIÓN	ÁREA (m ²)
PP	1	0% - 3%	0° - 1.72°	Plano	18482.23
PLI	2	3% - 7%	1.72° - 4°	Ligeramente inclinado	11563.46
PMI	3	7% - 12%	4° - 6.84°	Moderadamente Inclinado	45395.48
PI	4	12% - 25%	6.84° - 14.04°	Inclinado	102858.8
PE	5	25% - 50%	14.4° - 26.57°	Empinado	63915.27
PME	6	50% - 57%	27.57° - 29.7°	Muy Empinado	14173.35
PES	7	57% - 75%	29.7° - 36.87°	Escarpado	32180.45
PMES	8	75% - 100%	>36.87°	Muy Escarpado	40648.26

Fuente. Tomado y modificado de IDEAM (2009).

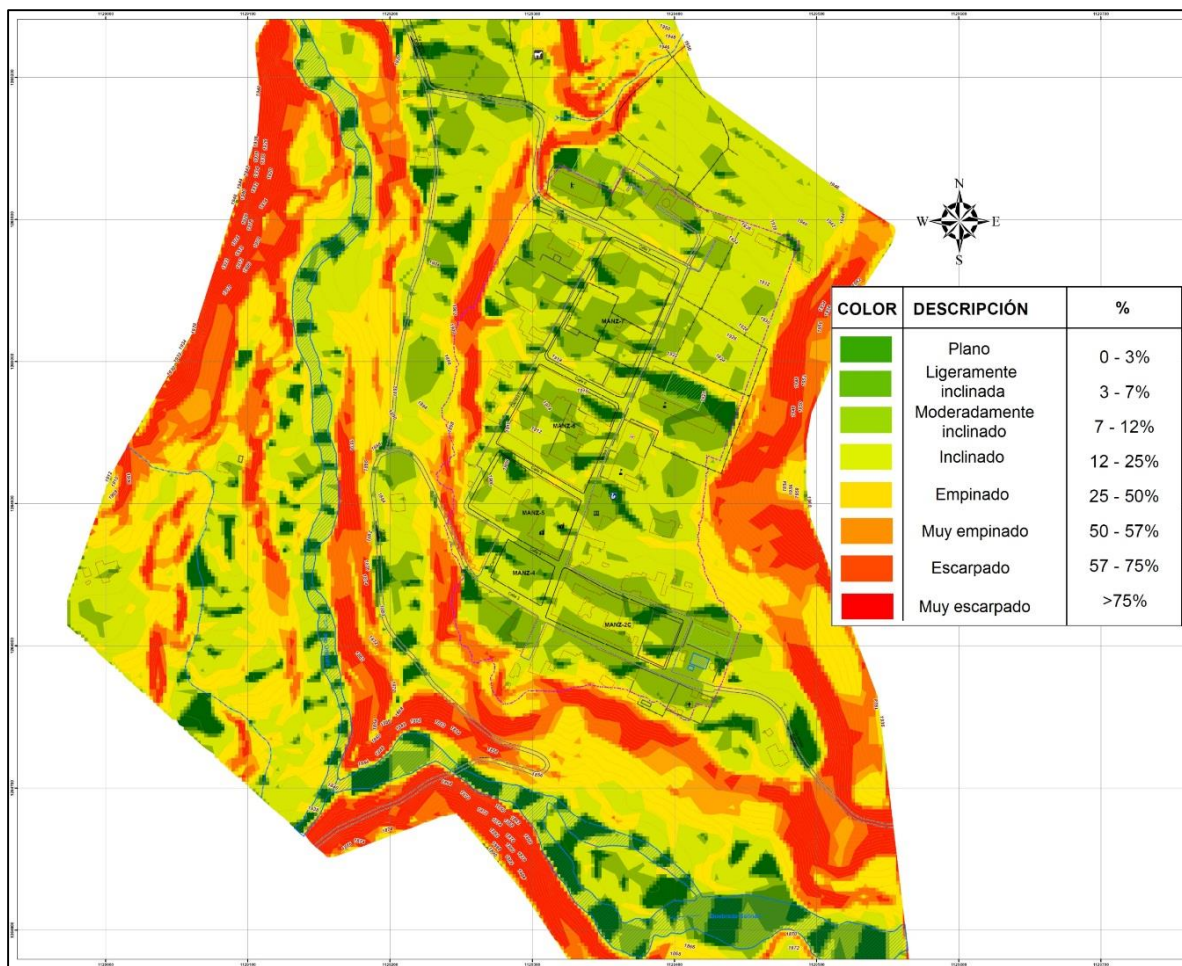


Figura 47. Mapa de pendientes.

En los siguientes párrafos se describen cada uno de los ocho rangos de pendiente con su respectivo ejemplo fotográfico.

7.2.1.1 Pendientes Planas (PP). Este tipo de pendiente presenta un grado de inclinación entre 0 y $1,72^\circ$ cubriendo aproximadamente un área de 18.482.23 m². Observado en pequeñas áreas distribuidas por toda la zona de estudio, entre ellas están algunos lotes o predios que presentan este tipo de pendiente, también las zonas recreativas urbanas como parques y canchas (Figura 48), además en algunas áreas aledañas a los cauces de los drenajes.

Generalmente este tipo de ladera es de tipo natural o antrópica de relieve muy bajo (<50m), de longitudes cortas (50-250m) y muy cortas (<50m), de formas rectas.

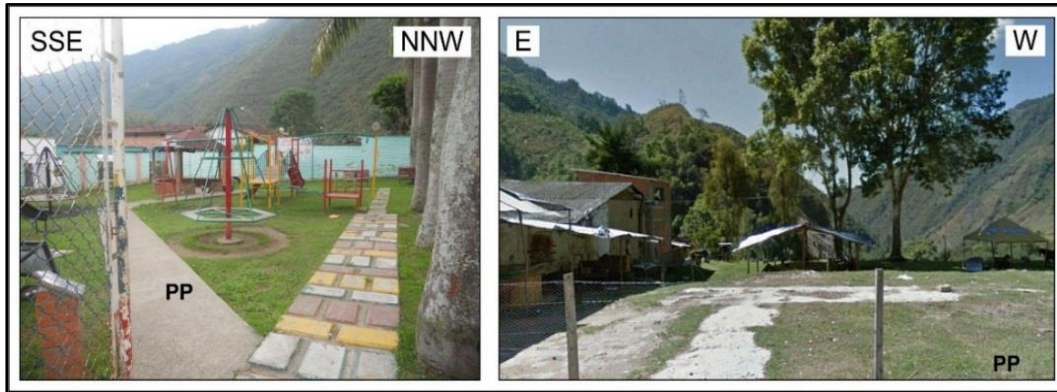


Figura 48. Pendientes planas (PP).

Nota. Imagen tomada al parque infantil y predio frente al parque central (Coordenadas Izq. N: 1264793 m; E: 1129394 m; Z: 1899 msnm; Der. N: 1264835 E: 1129270 Z: 1898 msnm).

7.2.1.2 Pendientes ligeramente Inclinas (PLI). Este tipo de unidad morfométrica ocupa un área aproximada de 11.563.46 m² y se distribuye al igual que las laderas de forma recta y relieve muy bajo (<50m), por toda la zona de estudio. Presenta un rango de pendiente entre 1.72° - 4° de inclinación distribuidos generalmente en la zona del casco urbano y a los extremos de los drenajes principales con laderas cortas (50-250m) a muy cortas (<50m) (Figura 49).



Figura 49. Pendientes ligeramente inclinadas (PLI).

Nota. Imágenes tomadas alrededor del coliseo y el parque central respectivamente (Coordenadas Izq. N: 1264821 m; E: 1129409 m; Z: 1902 msnm; Der. N: 1264852 E: 1129322 Z: 1902 msnm).

7.2.1.3 Pendientes moderadamente inclinadas (PMI). Al igual que las pendientes planas y ligeramente inclinadas esta unidad presenta un relieve muy bajo (<50m) de formas ligeramente cóncavas con pendientes entre 4° - 6.84° , ocupando una extensión de 45.395.48 m².

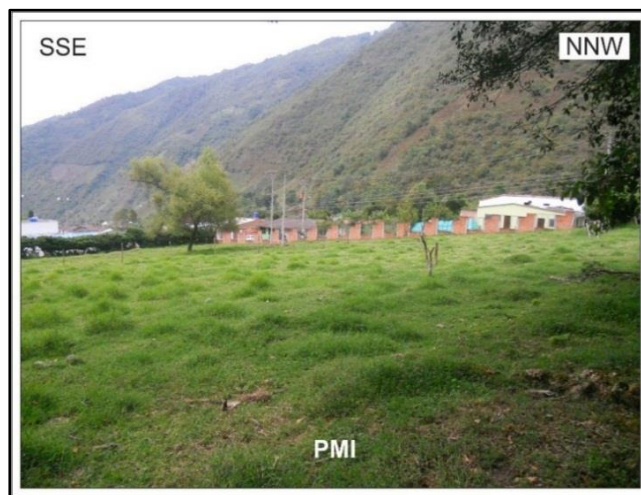


Figura 50. Pendientes moderadamente inclinadas (PMI).

Nota. Pendientes al Norte del Instituto Técnico Agrícola (Coordenadas N: 1265049 m; E: 1129462 m; Z: 1946 msnm).

Las pendientes moderadamente inclinadas se encuentran distribuidas por la zona urbana y áreas a los bordes de los drenajes principales, sus laderas son muy cortas y cortas que no superan los 50 m en relieve y de longitudes de 0 a 250 m respectivamente (*Figura 50*).

7.2.1.4 Pendientes inclinadas (PI) Este tipo de pendiente tiene un rango de inclinación de 6.84° - 14.04° es el que más predomina en toda el área ocupando $102.858.8 \text{ m}^2$, aproximadamente 31.24% de toda el área. Son por lo general laderas de formas poco convexas y rectas que se distribuyen por la zona urbana, sus alrededores y a borde de los drenajes principales estas también presentan un relieve muy bajo que no supera los 50 m, y sus longitudes son cortas y muy cortas menores a 250 m (*Figura 51*).

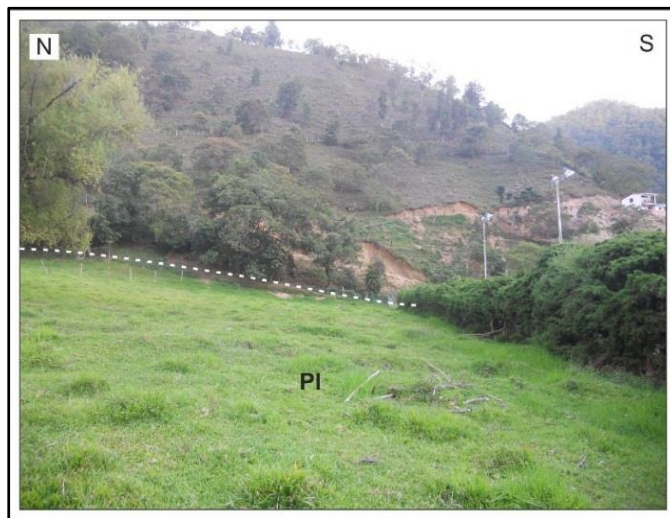


Figura 51. Pendientes inclinadas (PI).

Nota. Pendiente de la parte de posterior de la biblioteca Pública Municipal (Coordenadas N: 1264793 m; E: 1129394 m; Z: 1899 msnm).

7.2.1.5 Pendientes empinadas (PE) Esta unidad también se distribuye en buena parte de la zona cubriendo $63.915.27 \text{ m}^2$, presenta laderas entre 14.4° - 26.57° de formas cóncavas y convexas, de

longitudes inferiores a 250 m, o sea cortas y muy cortas con relieve inferior a 50 m. se puede observar bien este tipo de pendiente en las cercanías a la planta de tratamiento de aguas residuales y a los bordes de los drenajes donde la forma de la ladera donde contrastan las pendientes altas superiores a ella y bajas inferiores a la misma (*Figura 52*).

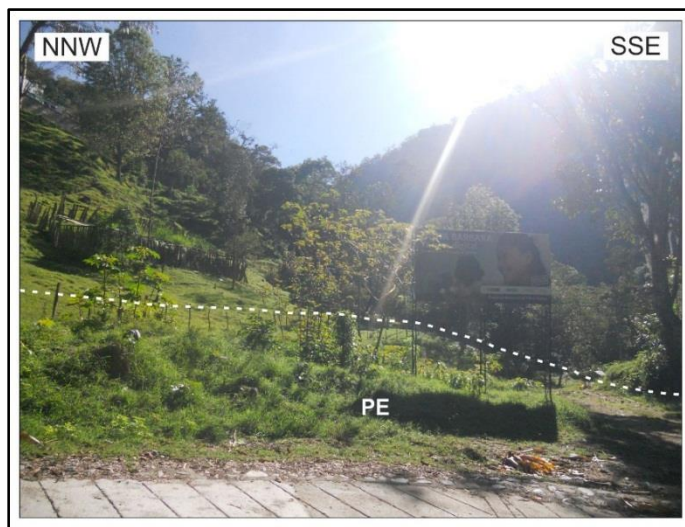


Figura 52. Pendientes empinadas (PE).

Nota. Pendientes observadas en cercanía a las instalaciones de planta de tratamiento de aguas residuales (Coordenadas N: 1264731 m; E: 1129262 m; Z: 1852 msnm).

7.2.1.6 Pendientes muy empinadas (PME) Son pendientes que presentan una inclinación entre 26.57° - 29.7° y cubriendo un área de 14173.35 m². Las formas de sus laderas son tanto convexas como cóncavas y otras de formas rectas con longitudes muy cortas y relieves muy bajos. Se distribuyen en la zona de estudio como franjas alargadas como se puede observar en el mapa de pendientes, y están asociados a las laderas de alta pendiente, escarpada y muy escarpada de colores naranjas y rojos (*Figura 53*).

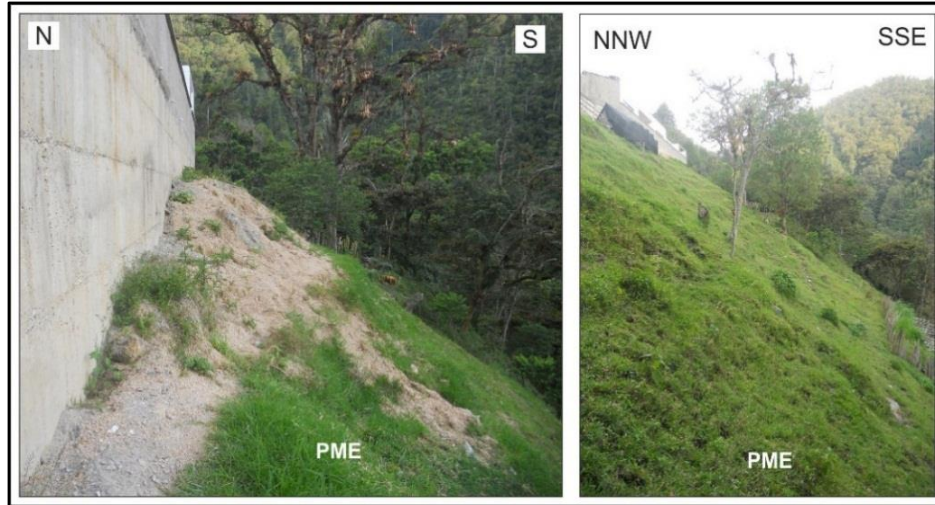


Figura 53. Pendientes muy empinadas (PME).

Nota. Pendientes observadas en la parte de atrás del Ancianato y del hostel Juaguil (Coordenadas Izq. N: 1264375 m; E: 1129394 m; Z: 1888 msnm; Der. N: 1264756 E: 1129337 Z: 1880 msnm).

7.2.1.7 Pendientes escarpadas (PES) Las pendientes escarpadas se definieron para un rango de pendiente entre los 29.7° - 36.87° . Fueron observadas con formas rectas, convexas asociadas a los alrededores hacia la zona Este, Sur y Oeste del casco urbano donde empiezan las áreas de alta montaña. Además también se evidencian por los diferentes escarpes que ha generado la erosión en los diferentes niveles de depósitos fluvio-torrenciales (*Figura 54*).



Figura 54. Pendientes escarpadas (PES).

Nota. Sobre las laderas al Este del casco urbano (Coordenadas N: 1265001 m; E: 1129724 m; Z: 1063 msnm).

7.2.1.8 Pendientes muy escarpadas (PMES) De manera similar que las muy empinadas y escarpadas, este tipo de ladera de inclinaciones superiores a los 36.87° , se encuentran también distribuidas a los alrededores del casco urbano, donde llegan las terminaciones montañosas aledañas a la zona. También asociada a los escarpes que genero la socavación de los drenajes principales a los depósitos fluvio-torrenciales y taludes en las Vías. Presentan unas laderas de longitud entre cortas a muy cortas, con formas convexas y esporádicamente se aprecian laderas con formas rectas y cóncavas (*Figura 55*)



Figura 55. Pendientes muy escarpadas (PMES).

Nota. Generadas en corte de la vía que conduce a la vereda salinas (Coordenadas N: 1264793 m; E: 1129394 m; Z: 1899 msnm).

7.3 Morfogénesis

La metodología para establecer las unidades morfogenéticas o geomorfológicas fue la propuesta en la estandarización de unidades estructurales denudacionales y fluviales del Servicio Geológico Colombiano (SGC 2013) y la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de Algunas Laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (INGEOMINAS 2007). Su nomenclatura y definición también fue apoyada de la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (2015).

Como se puede observar en la *Tabla 14*. Unidades geomorfológicas y el mapa (*Figura 56*) se definieron once unidades geomorfológicas: tres de origen estructural, una de origen denudacional, cinco de origen fluvial y dos de origen antropogénico. En los siguientes párrafos se describen cada una de estas.

Tabla 14.

Unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS		
ORIGEN	GEOFORMA	NOMENCLATURA
Estructural	Lomos de presión	Slp
	Espolón Estructural	Spe
	Espolones denudados	Sed
Denudacional	Depósitos coluviales	Dco
Fluvial	Escarpe de terraza	Fet
	Nivel de terraza alto	Fnta
	Nivel de terraza medio	Fntm
	Nivel de terraza bajo	Fntb
	Cauce o lecho actual del río	Fcar
Antropogénico	Laderas explanadas	Ale
	Obras de ingeniería	Aoi

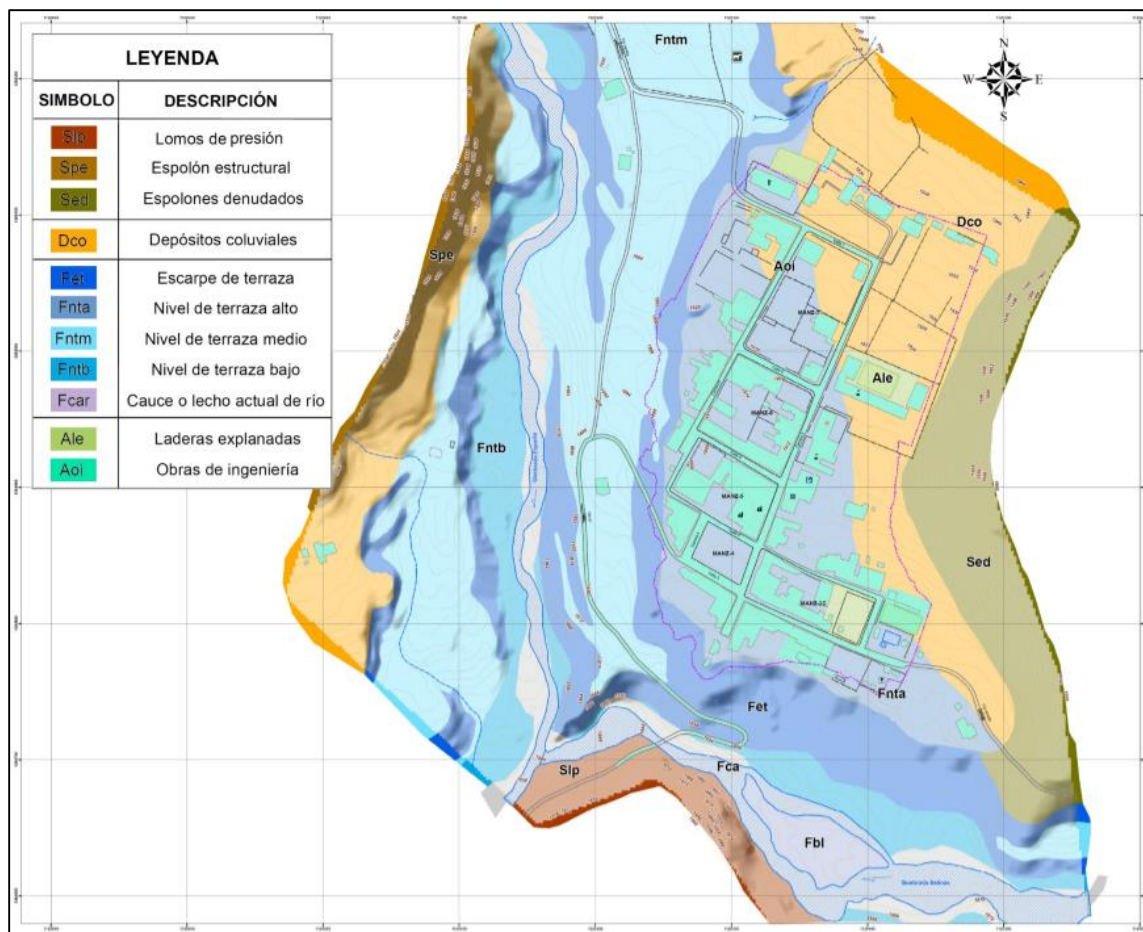


Figura 56. Mapa de unidades geomorfológicas.

7.3.1 Unidades de origen estructural Son 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 al plegamiento de las rocas superiores de la corteza terrestre y que aún conservan rasgos reconocibles de las estructuras originales a pesar de haber sido afectadas en diverso grado por los procesos de denudación (SGC, 2013).

7.3.1.1 Lomo de presión (Slp) Según la definición son prominencias topográficas montañosas o alomadas localmente curvas, formadas por plegamiento intenso, verticalización de secuencias

sedimentarias, asociados a fallamiento inverso, generados en una zona de traspresión de una falla de rumbo o transcurrente (SGC, 2013).

Esta unidad se encuentra al Sur de la cabecera municipal, principalmente está conformada por la roca intermedia de la cuarzomonzonita de santabárbara descrita en el capítulo de Unidades de geología para ingeniería y estructuralmente dicha unidad está controlada por la Falla Umpalá, y los lineamientos de Santa Bárbara y la Salina.

La fotografía siguiente muestra el lomo de presión (Slp) cartografiado en la zona de estudio. Regionalmente se observan espolones denudados, estos controlados por fallas paralelas (*Figura 57*) a la colina alargada y una perpendicular a esta (Falla Umpalá).

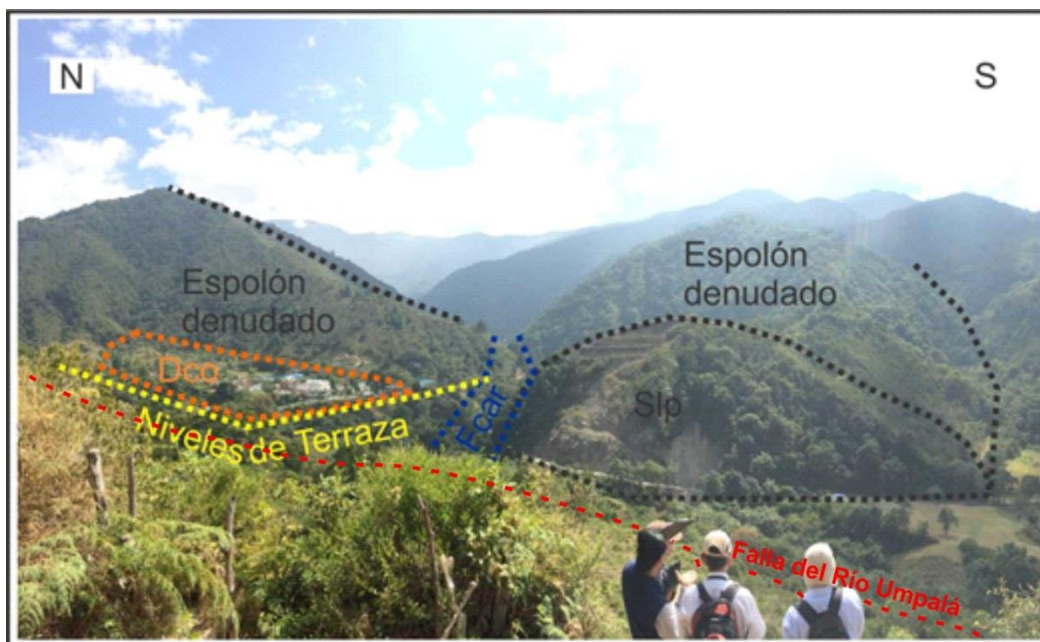


Figura 57. Espolón denudado y lomos de presión.

Nota. Imagen donde se muestra las geoformas estructurales.

7.3.1.2 Espolón estructural (Spe) Geoforma principalmente de morfología montañosa, presenta una forma de saliente alargada con pendientes escarpadas a muy escarpadas, está

dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general del macizo de Santander, y está constituida por rocas ígneas y metamórficas estructuralmente controlada por fallas. A nivel regional esta geoforma representa una vertiente montañosa alargada que se extiende aproximadamente unos 30km. La unidad está representada en el mapa tan solo por una pequeña franja al Oeste del municipio, haciendo parte las laderas escarpadas al Oeste de la Quebrada Esparta.

Debido a que en realidad esta geoforma abarca un área más grande a nivel regional, se representó en el mapa la ladera Este de que dicha geoforma abarca en la cartografía base utilizada. La figura siguiente (*Figura 58*), ilustra con una imagen en planta (Izquierda) la extensión real del espolón estructural. Las imágenes superior derecha e inferior derecha muestra dos panorámicas donde se puede observar las dimensiones que presenta la geoforma junto con el trazo de la Falla de Umpalá paralelo a la geoforma.

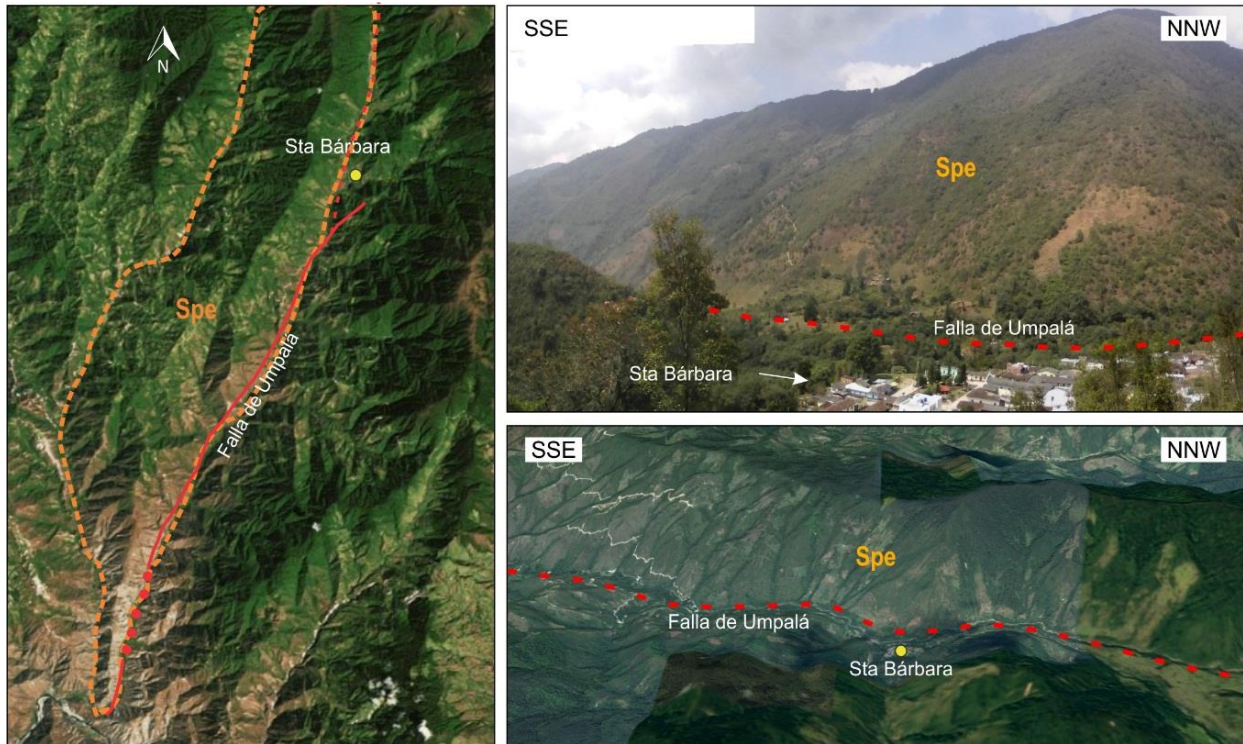


Figura 58. Espolón estructural.

Nota. Imágenes donde se aprecia el espolón estructural al Oeste del casco urbano.

7.3.1.3 Espolones desnudados (Sed) Salientes de morfología alomada, dispuestas perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región y limitadas por drenajes paralelos a subparalelos. Están constituidas de una alternancia de capas duras y blandas con predominio de estas últimas, las cuales se disponen perpendicularmente a la estructura mayor. Desarrollan laderas festoneadas de longitudes cortas a muy cortas con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos. Se observan estos espolones de morfología alomada y alargada en los alrededores del casco urbano, controlado por los lineamientos Santa Bárbara y Salinas, y por la Falla Umpalá.

De igual forma que el espolón estructural estos abarcan un área mayor, pero en el plano solo se representa como una pequeña área al Este del municipio. Los espolones desnudados están

constituidos predominantemente por suelos residuales de tipo saprolítico de la cuarzomonzonita de santa bárbara (Srqm).

7.3.2 Unidades de origen denudacional Estas geofórmulas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en zonas de clima tropical; caracterizadas por erosión, depositación y movimientos en masa. Determinada por la actividad dominante de procesos erosivos y de fenómenos de transposición o de remoción en masa sobre geofórmulas pre-existentes (INGEOMINAS, 2007).

7.3.2.1 Depósitos Coluviales (Dco) Los depósitos coluviales son el producto de la acumulación de material, ya sean suelo residual o fragmentos de roca, transportados por la acción de la gravedad en zonas puntuales ligeramente más elevadas, presentan formas irregulares con pendientes leves a moderadas (INGEOMINAS 2007).

Se identificaron depósitos coluviales sobre la parte Norte, Este y Oeste del casco urbano, los cuales constan de materiales provenientes de las laderas o vertientes montañosas aledañas al casco urbano (geofórmulas de origen estructural antes mencionadas). Dichos materiales han sido transportados y depositados sobre sectores bajos de las laderas, cambiando la forma del relieve marcando un fuerte contraste entre las unidades de origen estructural y denudacional.

El depósito o unidad en la parte Norte del casco urbano es de forma alargada (*Figura 59*) a manera de lengua, y continúa bordeando la ladera al borde Este del municipio. Presenta un relieve suave ondulado, o relieve de montículos, con pendientes que varían de planas a inclinadas. Mientras que al Oeste esta presenta una manera irregular con todo tipo de pendientes de planas a muy escarpadas.

Principalmente estos depósitos se componen de bloques de cuarzomonzonita de formas subangulares y angulares, embebidos en una matriz areno-limosa, la proporción matriz y clastos es similar y como se mencionó en el capítulo de unidades geológicas de ingeniería, los fragmentos de roca son de cuarzomonzonita están embebidos en una matriz areno-limosa lo cual confirma su procedencia.



Figura 59. Depósito coluvial.

Nota. Imagen que muestra el deposito coluvial en forma de lóbulo alargado que se extiende al Norte del pueblo (Coordenadas N: 1265387 E: 1129452 Z: 2022 msnm).

7.3.3 Unidades de origen fluvial Son geofórmulas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de las corrientes o procesos de origen fluvial. Incluyen cauces actuales de las corrientes y niveles de terrazas dejadas por sedimentación de cauces, incisión y eventos fluvio-torrenciales (INGEOMINAS 2007).

7.3.3.1 Escarpe de terraza (Fet) Unidad que se le atribuye a las caras frontales de las terrazas por ello se presenta como franjas alargadas paralelas a los cauces (*Figura 60*). Presentan una

inclinación aproximadamente vertical entre 80 y 90 grados por la actividad erosiva de las corrientes fluviales de las quebradas Esparta, Salinas y el Río Umpalá. Estos escarpes de formas rectas y cóncavo-convexas se distribuyen en forma de franjas alargadas marcando el límite entre los niveles de terraza altos y bajos que se describen a continuación.



Figura 60. Escarpe de terraza a borde de la Quebrada Salinas

Nota. Imagen tomada a borde de la quebrada Salinas donde se aprecia el escarpe que genera la erosión a borde de los niveles de terraza (Coordenadas N: 1264577 E: 1129502 Z: 1868 msnm).

Estas áreas de escarpes de terraza están conformadas por los materiales inconsolidados clasto-soportados o intermedicamente soportados que conforman las terrazas, los cuales son bloques hetero-líticos polimícticos y hetero-métricos conformados por rocas de todo tipo de origen sedimentario ígneo y metamórfico, embebidos en una matriz areno-limosa. Se resalta de que estos materiales son susceptibles a deslizamientos ya que la naturaleza de los depósitos fluvio-torrenciales es ser no consolidados con altas porosidades, permeabilidades y posiblemente sean remodelados por la acción erosiva de los cauces principales u otros eventos hídrico-gravitacionales.

7.3.3.2 Nivel de terraza alto (Fnta) Son niveles de terraza planos a ligeramente inclinados adyacentes a los cursos actuales, con alturas superiores a los 8 m. Esta unidad se estableció en la parte del área urbana que se encuentra a una altura de aproximadamente 55 m respecto a la altura del Río.

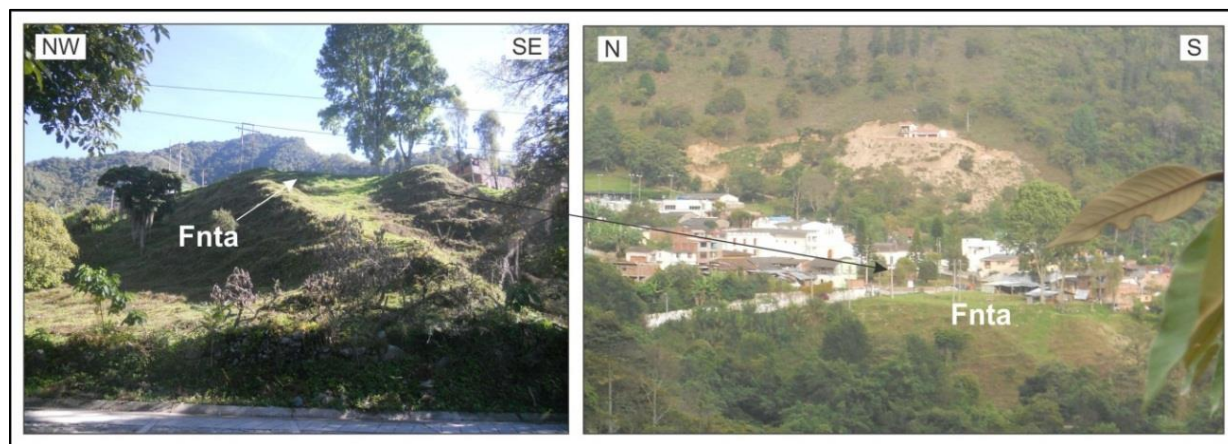


Figura 61. Nivel de terraza alto.

Nota. Imágenes tomadas saliendo del casco urbano y una panorámica desde los cerros al Suroeste respectivamente (Coordenadas Izq. N: 1264789 m; E: 1129208 m; Z: 1885 msnm; Der. N: 1264631 m; E: 1128561 m; Z: 1996 msnm).

Este nivel de terraza se le designó a la parte alta donde está construido gran parte del casco urbano como se muestra en el mapa de unidades geomorfológicas. De igual manera este nivel de terraza alto (*Figura 61*) está constituido por los materiales clasto-soportados a intermedia (relación clastos matriz similar) que conforman la unidad (UGI) denominada suelos fluviales fluvio-torrenciales, los cuales están conformados por bloques de diferentes tamaños predominando gravas. Y estas son de diferente tipo de litología sedimentaria, ígnea y metamórfica, embebidos en una matriz areno-limosa, los bloques son por lo general redondeados a subredondeados

observándose también otros de formas angulares y subangulares con tamaños que superan el metro de longitud.

7.3.3.3 Nivel de terraza medio (Fntm) Son niveles de terraza planos a ligeramente inclinados adyacentes a los cursos actuales de los drenajes principales. Para la zona de estudio, por sus características del relieve este tipo de unidad se considera que presentan elevaciones entre los 2 y 22 m respecto a la del Río (*Figura 62*).

Esta unidad es clasto-soportada a intermedia, conforma por bloques de diferentes litologías de formas variadas de redondeadas a subangulares con tamaños también variados de los cuales predominan gravas. Todos estos depósitos o geoformas con materiales inconsolidados son susceptibles a la erosión, socavación regímenes cambiantes de los cursos principales de la quebrada Salinas y el río Umpalá.

Cabe resaltar que estos diferentes niveles de terraza fueron determinados a partir de la disposición escalonada que estas presentaban respecto del nivel del río, los rangos de alturas fueron adaptados a la zona de estudio puesto que la metodología de la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de algunas laderas de los Municipios de Bucaramanga (2007) las definen con otro tipo de alturas respecto a nivel del río. Por ello se considera que estas dimensiones son propias de la evolución que tiene particularmente el área de estudio.



Figura 62. Nivel de terraza medio.

Nota. Imágenes tomadas al Este del Río Umpalá y al Norte de la Quebrada Salinas (Coordenadas Izq. N: 1265021 m; E: 1129204 m; Z: 1912 msnm; Der. N: 1264640 m; E: 1129486 m; Z: 1890 msnm).

7.3.3.4 Nivel de terraza bajo (Fntb) Unidad morfo genética con una morfología plana a ligeramente inclinada, limitada por un talud o escarpe adyacente a los cursos actuales de ríos y quebradas, se forman por acumulación de material mediante procesos fluviales o fluvio-torrenciales dejando diferentes niveles inferiores a los 2 m. Esta geoforma fue identificada principalmente a los alrededores del Río Umpalá y la Quebrada Salinas con alturas inferiores al metro haciendo que esta geoforma pueda comportarse como una llanura de inundación ya que se pueden presentar inundaciones y avenidas torrenciales y el curso de la quebrada puede divagar dentro de sus propios depósitos recientes (Figura 63 y Figura 64).

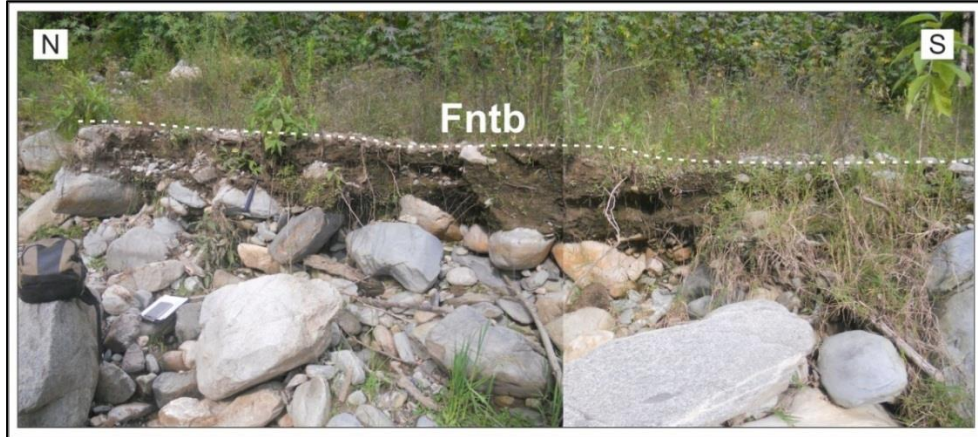


Figura 63. Nivel de terraza bajo a borde de la Quebrada Esparta.

Nota. Niveles de terraza bajos se observaron a borde del cauce activo de los drenajes principales (Coordenadas N: 1264988 m; E: 1129152 m; Z: 1887 msnm).



Figura 64. Nivel de terraza bajo a borde de la quebrada Salinas.

Nota. Imagen a sobre el cauce de la quebrada Salinas al Sureste del casco urbano (Coordenadas N: 1264577 m; E: 1129502 m; Z: 1867 msnm).

Los niveles de terraza bajos también son clasto-soportados a intermedios, conformados de igual forma por fragmentos y bloques de diferentes orígenes los cuales están embebidos en una matriz areno-limosa. Sus formas son variadas de redondeadas a angulares predominando las primeras. Al

igual que los otros niveles son muy permeables y porosos y similarmente a los otros niveles de terraza son susceptibles a la erosión y mucho más cambiante por la divagación del cauce.

7.3.3.5 Cauce o lecho actual del río (Fcar) Conforman el dominio del curso actual de las corrientes de agua incluyendo vegas más recientes y barras torrenciales. Esta se le designo a los cauces actuales de los drenajes principales por donde divagan sus aguas a medida que evolucionan con el tiempo (*Figura 65 y Figura 66*).

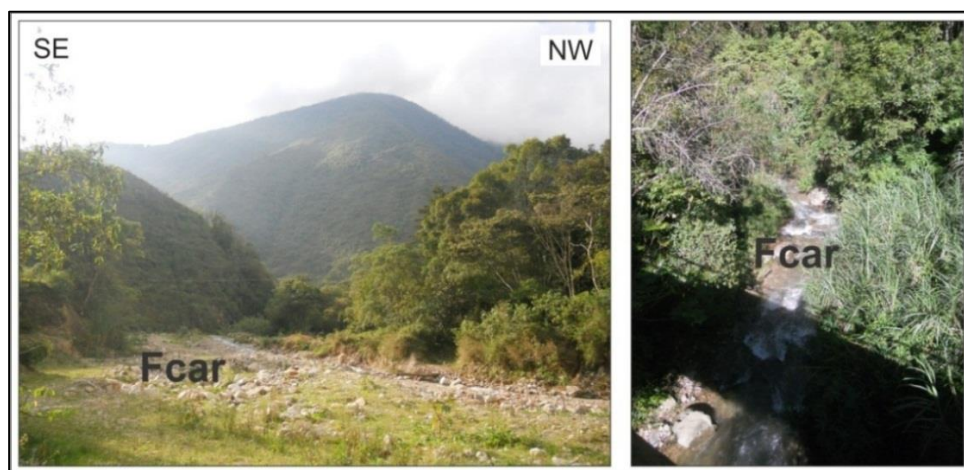


Figura 65. Lecho o cauce actual de la Quebrada Salinas.

Nota. Izquierda: imagen a la quebrada Salina. Derecha fotografía desde el puente vehicular que la cruza (Coordenadas Izq. N: 1264942 m; E: 1129156 m; Z: 1869 msnm; Der. N: 1264942 m; E: 1129156 m; Z: 1869 msnm).

Esta unidad la conforman los depósitos clasto-soportados más recientes que traen el río y la quebrada, que por su acción hidrodinámica hace cambiar los mismos. Los materiales que transporta son bloques de rocas de diferentes tamaños, origen y composiciones; por lo que han sido transportados de las partes altas de los diferentes sectores que conforman la subcuenca del río Umpalá. A diferencia estos depósitos recientes superficialmente carecen de matriz areno limosa

ya que por la alta energía del cauce las partículas de menos tamaño como arena y arcillas no precipitan en su lecho.



Figura 66. Lecho o cauce actual del Río Umpalá

Nota. Imágenes tomadas al Norte y Sur sobre el puente peatonal que cruza el Río Umpalá (Coordenadas N: 1264942 m; E: 1129156 m; Z: 1869 msnm).

7.3.4 Unidades de origen antrópico Estas geofórmulas son originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno; en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar obras de ingeniería, explotación de recursos o adaptar el terreno para reducir su pendiente.

7.3.4.1 Laderas explanadas (Ale) Se identificaron como cortes en laderas para disminuir su pendiente, con el fin de adecuar el terreno para la construcción de vivienda u obras de infraestructura, como lo son algunos lotes vacíos y las explanaciones para la construcción de zonas recreativas (*Figura 67*).



Figura 67. Laderas explanadas.

Nota. Diferentes laderas explanadas realizadas para la construcción de zonas urbanas por ejemplo las áreas recreativas del municipio (Coordenadas Izq. N: 1264970 m; E: 1129428 m; Z: 1921 msnm; Der. N: 1265001 m; E: 1129472 m; Z: 1063 msnm).

7.3.4.2 Obras de ingeniería (Aoi) Corresponde a obras de Ingeniería Civil desarrolladas para vivienda, para recreación, o para mitigación de movimientos en masa. Para esta unidad se consideraron las vías y diferentes edificaciones observadas en su mayoría sobre la zona urbana del municipio.



Figura 68. Edificaciones como obras de ingeniería.

Nota. Obras asociadas a las construcciones de edificaciones (Coordenadas Izq. N: 1264846 m; E: 1129339 m; Z: 1903 msnm; Der. N: 1264802 m; E: 1129402 m; Z: 1898 msnm).

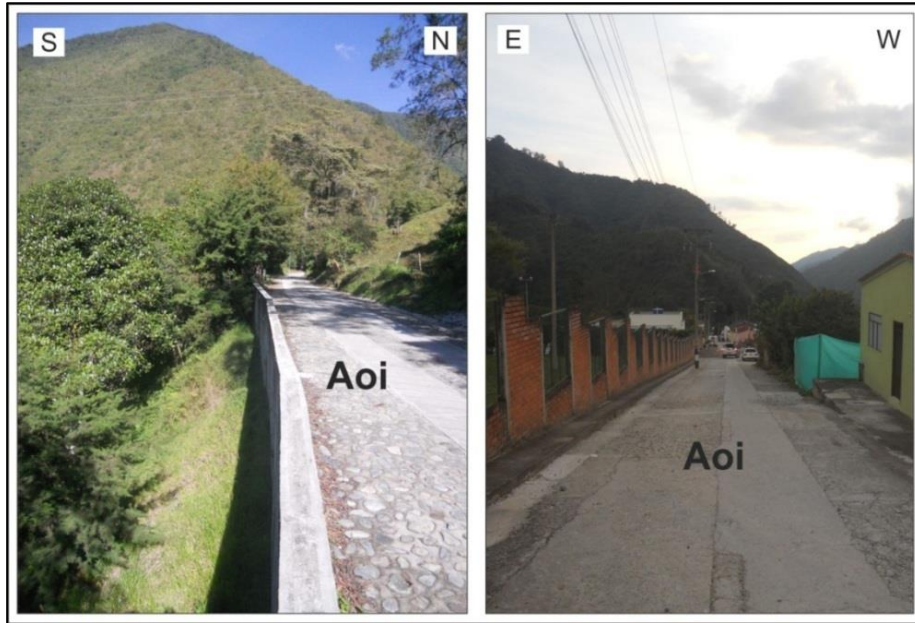


Figura 69. Vías como obras de ingeniería.

Nota. Obras observadas saliendo del casco urbano y las principales vías dentro del mismo (Coordenadas Izq. N: 1264745 m; E: 1129254 m; Z: 1881 msnm; Der. N: 1265053 m; E: 1129401 m; Z: 1928 msnm).

Este tipo de unidad se encuentra en su mayoría dentro del casco urbano y se desarrolló sobre suelos coluviales y fluvio-torrenciales (*Figura 69* y *Figura 68*).

7.4 Morfodinámica

La metodología empleada para la caracterización de la Morfodinámica en la zona de estudio se basa en la clasificación de fenómenos de remoción en masa (Varnes, 1978).

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL ASOCIADO		
			ROCA	SUELO DE INGENIERIA	
				PREDOMINANTEMENTE GRUESO	PREDOMINANTEMENTE FINO
Caidas			Rocas resistente fracturada	Detritos	Tierra
Volcamientos			Rocas muy inclinadas	Detritos	tierra
DESGLIZAMIENTOS	ROTACIONAL	Pocas Unidades	Hundimiento de roca	Hundimiento de detritos	Hundimiento de tierra
			deslizamiento de bloques de roca	Deslizamiento de bloques de detritos	deslizamiento de bloques de tierra
	TRASLACIONAL	Muchas Unidades	deslizamiento de roca	Deslizamiento de detritos	deslizamiento de tierra
PROPAGACION LATERAL			Roca	Detritos	Tierra
FLUJOS			Flujo de roca (Creep profundo)	de detritos	de tierra
REPTAMIENTO (Crepp) (Areas de gran extensión)			(Creep profundo)	(Crepp de suelo)	
COMPUESTOS O MULTIPLES: Combinación de dos o más de los tipos anteriores					

Figura 70. Clasificación de fenómenos de remoción en masa.

Fuente. Varnes 1978; Tomado de Carvajal, (2011).

7.4.1 Movimientos en masa Se identificaron cinco (5) movimientos (*Tabla 15*) en masa recientes que se consideraron importantes para el estudio, entre ellos están: 1) Caída de roca y detritos vía Bucaramanga; 2) Deslizamiento traslacional de grandes dimensiones vía Bucaramanga; 3) Caída de detritos al Este del casco urbano (Vía Vereda Salinas); 4) Deslizamientos traslacional al Este del casco urbano (sector Juagüil); y 5) Caída de escombros (debris fall) en bancada de vía. A continuación se describen cada uno de ellos y además se mencionan los procesos erosivos que se identificaron en la zona.

Los deslizamientos que predominan en el suelo urbano afectan las laderas de alta pendiente constituidas por suelos residuales de la cuarzomonzonita y estos generalmente son traslacionales como los deslizamientos 2 y 4 y en menor grado caída de escombros que afectan los suelos transportados fluviotorrenciales en los escarpes de terraza (deslizamiento 5).

Tabla 15.

Tabla de procesos morfodinámicos identificados.

PROCESOS MORFODINÁMICOS						
#	TIPO DE MOVIMIENTO	COORDENADAS		UGI AFECTADA	GEOFORMA AFECTADA	ACTIVIDAD
		N:	E:			
1	Caída de Roca y Detritos	1'264.678	1'129.164	Rbcsb	Slp	Activo
2	Deslizamiento Traslacional de roca y detritos	1'264.572	1'129.094	Rbcsb	Slp	Activo intermitente
3	Caída de Roca y Detritos	1'264.692	1'129.546	Srqm	Sed	Activo
4	Deslizamiento Traslacional de detritos	1'265.001	1'129.472	Stco	Sed	Activo
5	Flujos de detritos	1265'.021	1'129.204	Stft	Fet-Fntm	Activo

7.4.1.1 Caída de roca y detritos vía Bucaramanga (I) Sobre el margen izquierdo de la vía que conduce desde el casco urbano de Santa Bárbara a Bucaramanga, a 100 m aproximadamente del Puente de la Quebrada Salinas, existe un talud casi vertical con muy poca cobertura vegetal, el cual presenta afloramientos rocosos con un alto grado de fracturamiento y debilitamiento de la masa rocosa y estructura del talud. Haciéndolo susceptible a la caída de roca y detritos por la pérdida del soporte lateral. La forma de la ladera es convexa en la parte superior y recta en la parte inferior con una longitud inferior a los 50 m, e inclinación mayor a 70° (*Figura 71*).

El material que se desprende fue removido para despejar la vía, y se encuentra sobre el costado derecho a borde de la bancada. Fragmentos de roca como granos tamaño arena, cantos, guijos y bloques de formas angulares y subangulares de roca ígnea cuarzomonzonita caen por diferentes planos de discontinuidades (diaclasas o juntas) con un mecanismo de ruptura en cuña gracias a su alto fracturamiento.

Se considera que la causa es el corte inadecuado y sus factores intrínsecos contribuyentes son la litología, fracturamiento y pendiente. Como factores detonantes podrían considerarse los sismos o infiltración de aguas lluvia.

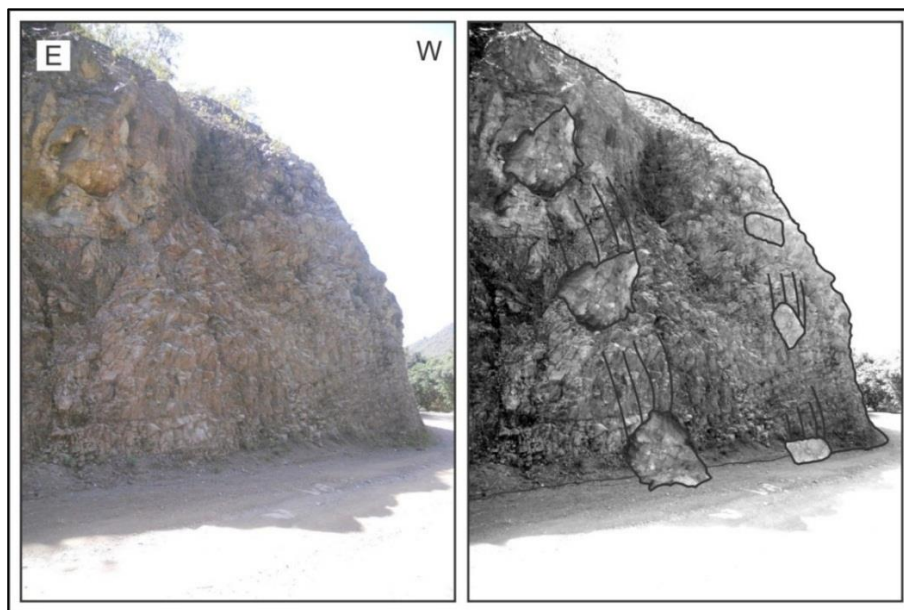


Figura 71. Caída de roca al Sur del casco urbano.

Nota. Imagen tomada al borde de la carretera que conduce a Bucaramanga a 100 m aproximadamente del puente de la quebrada Salinas (Coordenadas N: 1264678 m; E: 1129164 m; Z: 1871 msnm).

7.4.1.2 Deslizamiento traslacional de grandes dimensiones vía Bucaramanga (2) El talud de la vía a Bucaramanga, aproximadamente unos 150 m después del puente que cruza la Quebrada Salinas, es muy escarpado, de forma convexa, longitud corta (50-250 m); su inclinación con pendientes mayores a 45 grados (*Figura 72 Der*). Sobre el mismo se aprecia un deslizamiento de gran dimensión; con un desplazamiento máximo aproximado de 50 m, y un ancho de 40 m, su altitud relativa máxima de unos 70 m. Su espesor se considera de 5 metros actualmente, pero momentos después de haber sucedido fenómeno el espesor tuvo que ser mayor, ya que se observa

evidencia de que el deslizamiento cubrió la vía. Se aprecia material desplazado al otro extremo de la vía llegando a borde del Río Umpalá como se puede observar en la *Figura 73*.

El material desplazado consta de fragmentos líticos tamaño cantos, guijos y bloques de formas angulares y subangulares de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara. También hay evidencia de que desplazó árboles y arbustos.

La ladera presenta múltiples planos de fractura y esta medianamente meteorizada indicando un posible plano de falla entre la roca meteorizada y la roca fresca y por ello como factores detonantes se consideran estos y además la morfología, Pendiente y la erosión. La forma del depósito a pesar de que el material fue removido en su mayoría como se pudo apreciar desde la ladera Este (*Figura 73 Izq.*) tuvo que ser en forma de cono ya que se puede apreciar todavía donde se desarrolló sus flancos derecho e izquierdo. Además también se puede ver su corona y su escarpe principal.



Figura 72. Deslizamiento traslacional de grandes dimensiones en la vía Bucaramanga.

Nota. Deslizamiento observado a sobre el talud de la vía que conduce a Bucaramanga. La imagen de la izquierda muestra una panorámica del mismo desde el cerro occidental. La imagen a la derecha tomada en el punto A sobre la vía observa una parte indicando el movimiento del deslizamiento (Coordenadas Izq. N: 1264631 m; E: 1128561 m; Z: 1996 msnm; Der. N: 1264572 m E: 1129094 m Z: 1852 msnm).



Figura 73. Prolongación del deslizamiento hacia el margen Este del Río Umpalá.

Nota. Imagen que muestra como el deslizamiento cruzó la vía tumbando árboles y las señales de tránsito (Coordenadas N: 1264572 m E: 1129094 m Z: 1852 msnm).

7.4.1.3 Caída de detritos al Este del casco urbano (3) En el talud izquierdo de la vía veredal que conduce al Este del casco urbano (*Figura 74*), presenta caída de detritos y fragmentos de roca. Este tiene una longitud muy corta (<50m) y es muy escarpada (>45°); su altura aproximadamente es de 12m, con 20m de ancho, su desplazamiento máximo es de 12 m pero casi no es evidente debido a que no hay mucho material depositado a borde de la vía. Se considera que este se generó al momento de remover un deslizamiento anterior que expuso este talud susceptible a este tipo de fenómeno.

El material desplazado son generalmente granos o cristales tamaño arena gruesa y muy gruesa y algunos fragmentos líticos alterados de roca ígnea cuarzomonzonita de formas angulares a subangulares. También restos vegetales y suelo. Se considera que el plano de falla es la roca fresca con la roca meteorizada.

Como factores contribuyentes están todos, la litología, meteorización, fracturamiento, morfología, pendiente y erosión. Como factor detonante lluvias, sismo e infiltración de aguas por el corte inadecuado a la ladera.



Figura 74. Caída de detritos sobre la vía que conduce hacia la vereda La Salina.

Nota. Se muestra un talud con un deslizamiento activo sobre la vía al Este del casco urbano (Coordenadas N: 1264692 m E: 1129546 m Z: 1944 msnm).

7.4.1.4 Deslizamiento traslacional al Este del casco urbano “Sector Juaguil” (4) Sobre los taludes generados por la vía privada que conduce a una vivienda construida sobre la ladera Este del casco urbano (sector Juaguil, *Figura 75*) se evidenciaron varios deslizamientos pequeños, entre ellos se caracterizó uno que presenta una longitud de la ladera corta (<50m) con pendientes escarpadas a escarpadas (31-45°); Las dimensiones de este son 1.5m de desplazamiento máximo, 6m de ancho, 4m de altitud relativa y 0,7m de espesor.

Como material desplazado hay suelo residual de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara y fragmentos de roca ígnea muy alterados, como granos de arena gruesa a muy gruesa como residuos de la roca que género este tipo de suelo residual.

Como factores intrínsecos contribuyentes se encuentra la meteorización, fracturamiento, morfología, pendiente y erosión; como detonante: la infiltración de aguas lluvias debido a cortes inadecuados al realizar el urbanismo.



Figura 75. Deslizamiento al Este del Casco urbano.

Nota. Deslizamiento sobre la vía que conduce a una vivienda sobre la ladera Oeste del casco urbano en el sector Juagüil (Coordenadas N: 1265001 m; E: 1129472 m; Z: 1063 msnm).

7.4.1.5 Caída de escombros (*debris fall*) en bancada de vía (5) Caída de bancada de la vía a manera de caída de escombros provocado por falta de canalización de la vía, ya que en épocas de lluvia se genera un drenaje de escorrentía que genera movimientos en masa de este tipo con dinámica hacia el río Umpalá.

Los factores intrínsecos de este serían tanto la naturaleza propia del depósito, su morfología, pendiente y erosión; factores detonantes como lluvias e infiltración de aguas.

La vía en este punto bordea la parte superior el escarpe de terraza media establecida en las unidades morfogénicas. Este escarpe con pendientes escarpadas a muy escarpadas (entre 31 y

45°) presenta forma recta y cóncava de longitudes muy cortas (<50m) con cobertura de bosque ripario y arbustos. Presenta algo de humedad. Las dimensiones del fenómeno son: 5 de desplazamiento máximo, 1.5m de ancho, 4 de altitud relativa y 1.4 m de espesor aproximado.

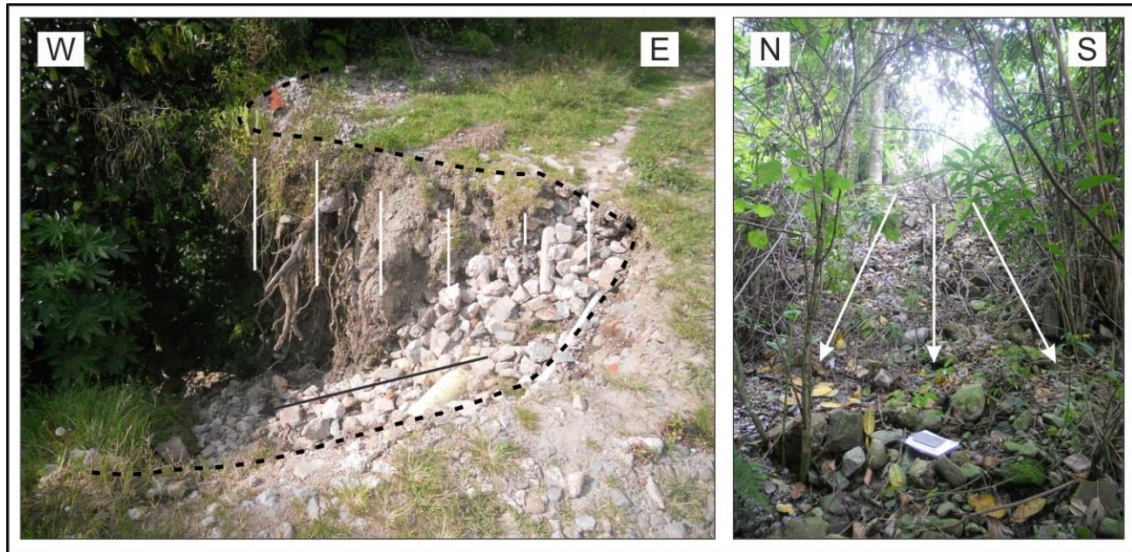


Figura 76. Deslizamiento al margen Este de la Quebrada Esparta.

Nota. Imagen tomada a borde de una vía que queda a de la Quebrada Esparta (Coordenadas: 1265021 m; E: 1129204 m; Z: 1912 msnm).

El material desplazado son fragmentos de roca que constituyen este suelo transportado fluvio-torrencial, como limos arenas y gravas con algunos cantos y guijos, ya que presenta una matriz lodosa predominantemente limosa y embebidos en ella bloques de diferentes tamaños predominando tamaño grava de formas subredondeadas de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas.

En la Figura 67 a la izquierda se puede observar la corona principal y el escarpe principal; a la derecha el material desplazado depositado en forma de cono afectando el escarpe de terraza.

7.4.2 Procesos erosivos La metodología para caracterizar los diferentes procesos erosivos es la descrita en la clasificación de procesos erosivos y de remoción en masa, rangos utilizados con propósitos de análisis de ingeniería. Fuentes: Van Zuidam (1985), Varnes (1978 y 1998) y tomados de Carvajal y otros (2002). Obtenidos de la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia (Carvajal H. 2011).

Los principales procesos erosivos fueron erosión laminar y en surcos, identificados sobre zonas desprovistas de vegetación como lo son los deslizamientos anteriormente descritos y hacia la parte Este del municipio a borde de la vía que conduce hacia la casa que queda en la ladera Este. Estos se desarrollan predominantemente sobre el suelo residual de la cuarzomonzonita, además estos procesos erosivos son producto también de la actividad de urbanización ya que los materiales sueltos que extraen de la ladera para hacer las construcciones los dejaron sobre la misma ladera haciendo que estos procesos erosivos aparezcan y puedan acelerar los procesos de remoción en masa

En las imágenes (*Figura 77* y *Figura 78*) se observan ejemplos de estos dos tipos de erosión observados en campo.

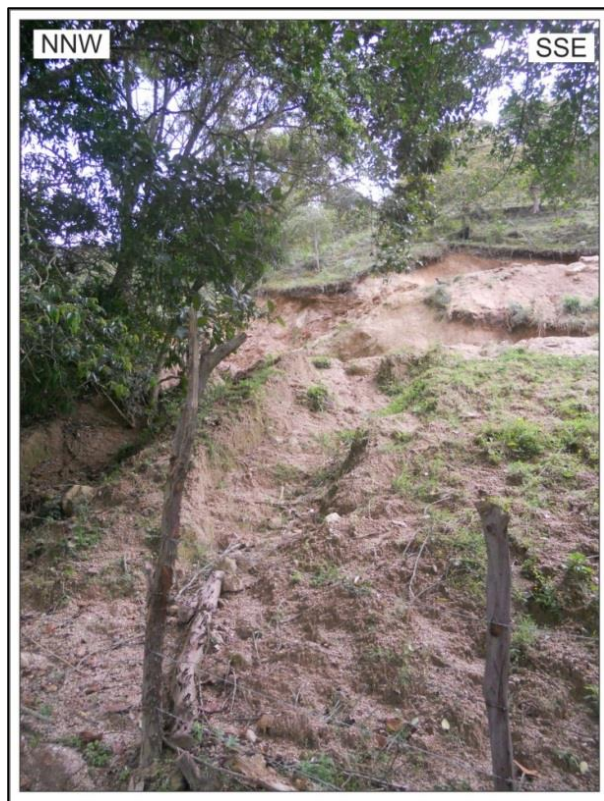


Figura 77. Erosión en surcos.

Nota. Imagen tomada a borde de la ladera Este del municipio (Coordenadas N: 1265012 m; E: 1129465 m; Z: 1950 msnm).

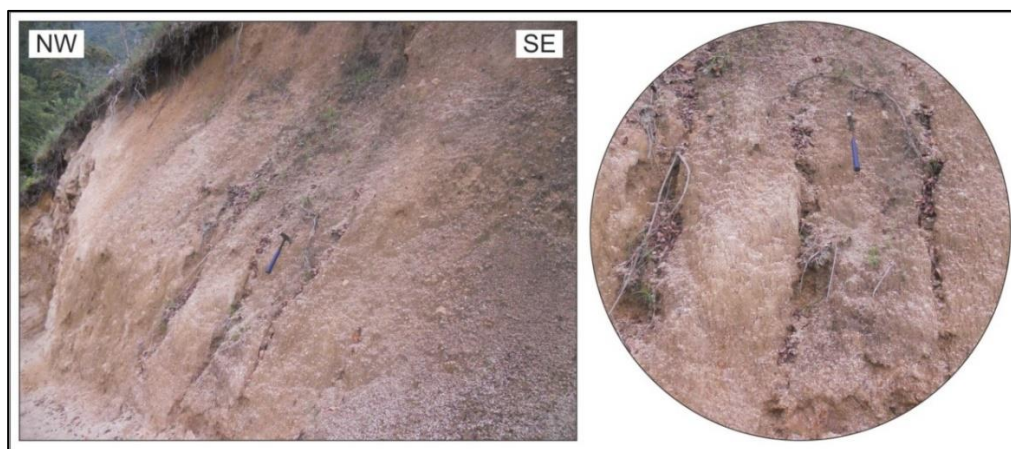


Figura 78. Erosión laminar y en surcos.

Nota. Imagen a borde de la carretera que conduce a la vivienda sobre la ladera Este sector conocido como el Juaguil (Coordenadas N: 1265001 m; E: 1129472 m; Z: 1063 msnm).

8. Evolución geológica

A manera resumida la evolución geológica del municipio de Santa Bárbara se puede abordar desde la misma época en que se emplazó la cuarzomonzonita o batolito de Santa Bárbara; remontándonos al Triásico-Jurásico (145.5 – 245ma) teniendo en cuenta que anterior a esta existían paleo-relieves asociados a rocas del Proterozoico y Paleozoico.

Durante el Jurásico tardío hubo un sistema de graben intra-placa desarrollado en la mitad Norte de Colombia con un fallamiento normal de rumbo que permite el emplazamiento de estos cuerpos plutonismo félsicos y vulcanismo bimodal (Cediel et al. 1997). La edad de la cuarzomonzonita se calcula de 192 y 197ma con un error de 7ma; esta edad se calculó gracias a dataciones radiométricas en biotitas encontradas como restos detríticos encontrados en la formación Girón la cual se depositó a finales del Jurásico (INGEOMINAS 1973). Posteriormente la interacción entre agentes internos y externos como la tectónica y la denudación han actuado desde esta época al presente.

Entre los periodos Cretácico a Paleógeno hubo un periodo de transición donde se depositaron grandes extensiones de rocas sedimentarias de origen marino a continental. Aproximadamente a finales del paleógeno se empieza la orogenia pre-andina y andina, gracias a fuerzas tectónicas que actúan aun en el presente. Todo este material rocoso ha venido denudándose desde el Jurásico con los diferentes eventos orogénicos que han sucedido. Por ello los profundos valles socavados en los cuerpos plutónicos del macizo de Santander, dan lugar a depósitos de sedimentos continentales de edad cuaternaria (Pleistoceno) y de diferente composición provenientes del macizo; los cuales se

dispusieron a manera de terraza y de cono de deyección. Estos depósitos en los cañones profundos, están disectados y son completamente fragmentarios, son remanentes de depósitos aluviales más extensos que anteriormente rellenaron los valles de los diferentes afluentes del Río Umpalá y el Río Umpalá, al igual que la mayoría de los grandes valles de la zona que ahora están siendo erosionados.

La naturaleza torrencial de los drenajes principales inciden en el terreno haciendo que se dispongan los depósitos en una o dos terrazas con superficies más arriba del actual curso de las aguas como se puede apreciar en el municipio de Santa Bárbara.

9. Exploración geotécnica general

Con el fin de determinar la distribución de los materiales de suelo en profundidad que se ajuste a lo más posible a la realidad, es necesario contar con la mayor información posible de la estructura del suelo, mediante el desarrollo de cada uno de los siguientes puntos del programa de exploración geotécnica:

- Definir las condiciones geotécnicas y geológicas del área de estudio.
- Obtener muestras y datos geotécnicos de campo.
- Determinar la distribución de los materiales en profundidad.
- Identificar las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados.
- Identificar los afloramientos de depósitos o macizos rocosos si existen.
- Determinar del modelo geológico en sub-superficie.

- Obtención de propiedades físicas y parámetros de análisis para modelamiento geotécnico.

8.1 Metodología de la exploración geotécnica general

La metodología utilizada para la realización del estudio técnico, se describe a continuación:

- Ubicación en planos de la exploración geotécnica: La exploración geotécnica, se efectuó en puntos estratégicos, ubicando los sondeos dentro de la zona de estudio, con el fin de caracterizar los suelos encontrados sobre el área de influencia directa del municipio de Santa Bárbara. En esta actividad se registraron las coordenadas planas de la ubicación de los sondeos y el apique propuestos.
- Ubicación en campo de la exploración geotécnica: Una vez ubicados los sondeos en planta, se tomaron las coordenadas cartesianas de la exploración geotécnica para su ubicación en el terreno, utilizando un GPS de precisión Sub métrica.
- Ejecución de ensayos de campo: Una vez definidos los puntos de la exploración geotécnica, se efectuaron los ensayos de campo, compuestos por ensayos SPT ha percusión y apiques manuales a una profundidad de 1.5 metros.
- Realización de ensayos de laboratorio: A las muestras obtenidas en campo, se les realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Humedad natural, peso específico, granulometría, límites de Atterberg, corte directo y carga puntual en roca, realizado a las muestras extraídas.
- Realización del informe técnico: Una vez determinadas las características de los suelos se realiza los cálculos de capacidad de carga y asentamientos inmediatos esperados bajo las cargas de las viviendas del municipio.

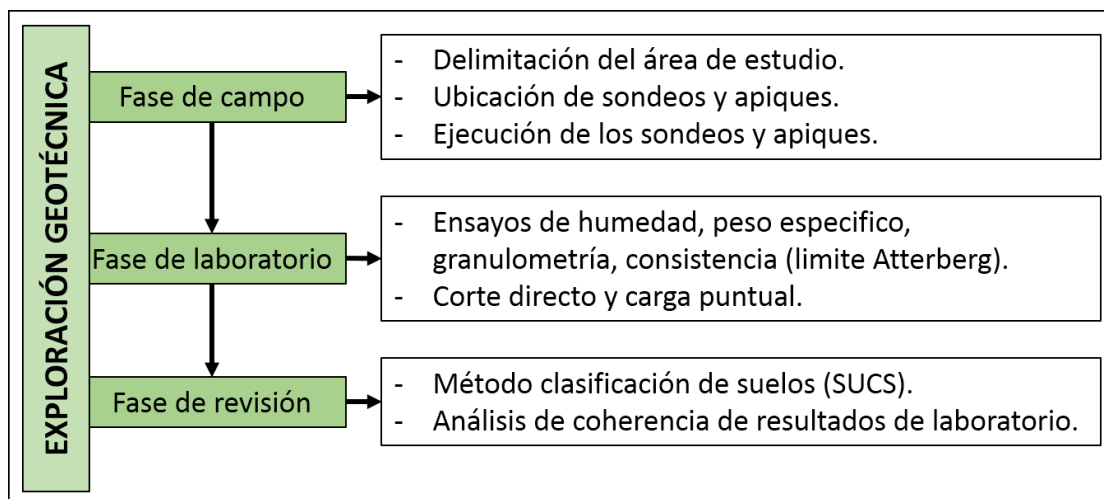


Figura 79. Metodología de la exploración geotécnica.

8.2 Fase de campo

La primera etapa del estudio geotécnico corresponde al reconocimiento del terreno, que se realizó por parte del grupo técnico de ALICON & ING. S.A.S. con la presencia de un Ingeniero Civil, un Geólogo Msc en Geotecnia y el grupo técnico que opera el equipo para los sondeos de percusión para la extracción de muestras de apiques (1 oficial 3 auxiliares). En esta visita se determinó la ubicación en campo del programa de exploración geotécnica propuesta, con base al área de influencia del proyecto a construir.

8.3 Investigación del subsuelo

El plan de exploración geotécnica consistió en dos fases (Campo y Laboratorio). A continuación se mencionan las cantidades y los tipos de ensayos de campo y de laboratorio utilizados para el estudio.

Tabla 16.

Ensayos de campo

No.	Tipo de ensayo	Cant	Profundidad (m)	Norma
1	Sondeos percusión	12	Entre 6.5 y 13.5	ASTM D 1586, INVE 111-07
2	Apiques	11	Entre 1.0 y 1.5	I.N.V. E – 105 – 07
3	Refracción Sísmica	2	30	ASTM D5777

Tabla 17.

Ensayos de laboratorio.

No	Tipo de Ensayo	Cant	Norma
1	Análisis granulométrico por tamizado	28	NORMAS INV-E 123, ASTM D422, AASHTO T88, NLT 104
2	Determinación del Límite Líquido, Límite plástico e índice plasticidad de los suelos	28	NORMAS INV-E 122, ASTM D 2216, NTC 1495
3	Humedad natural	28	NORMAS INV-E 122 ASTM D 2216, NTC 1495
4	Peso Específico	4	I.N.V. E - 128
5	Corte directo	11	INV E-154 - ASTM D3080 AASHTO T236, NTC 1917
6	Clasificación de suelos	28	ASTM D 2487, NTC 1504
7	Carga Puntual en rocas	4	ASTM D5731-95

La ubicación de los puntos estratégicos para la realización de ensayos de campo, se realizó con un GPS de precisión Sub métrica (Mobile Mapper). Se realizaron 12 sondeos a percusión, 11 apiques y 4 tomas de muestra para ensayo de carga puntual. Para ver en detalle la numeración de la exploración geotécnica en campo, se remite a los planos anexos del presente documento. En la siguiente tabla se muestran las coordenadas de cada punto de exploración en campo.

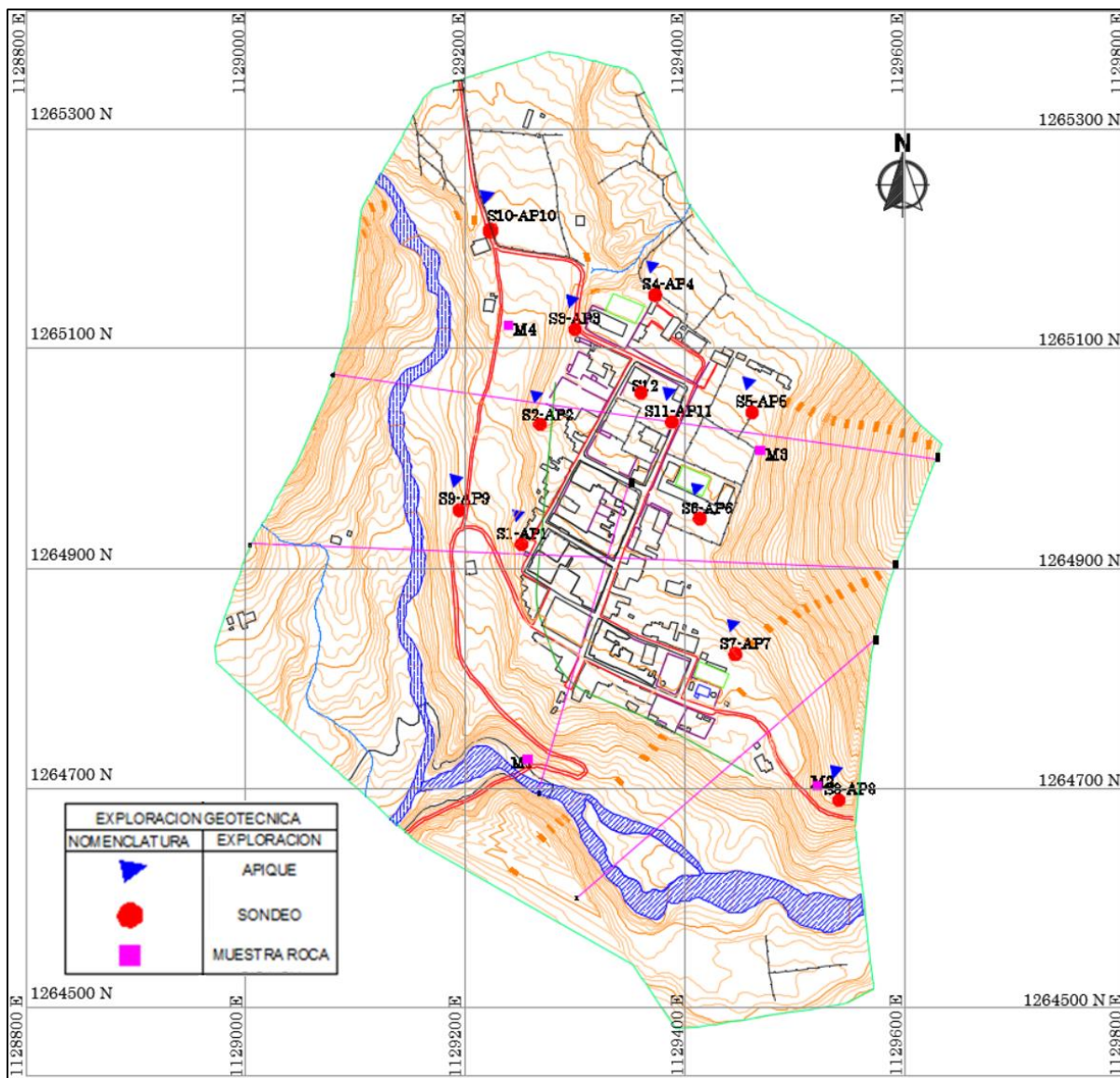


Figura 80. Plano de exploración geotécnica (Ubicación sondeos SPT percusión).

Tabla 18.

Coordenadas de la exploración geotécnica.

ESTUDIO AVR SANTA BÁRBARA		
SONDEO/APIQUE	COORDENADAS	
Nº	NORTE	ESTE
1	1264923	1129252
2	1265026	1129268

SONDEO/APIQUE		COORDENADAS	
N°	NORTE	ESTE	
3	1265117	1129297	
4	1265155	1129366	
5	1265042	1129459	
6	1264946	1129414	
7	1264821	1129444	
8	1264687	1129540	
9	1264946	1129192	
10	1265199	1129223	
11	1265036	1129373	
12 (no apique)	1265055	1129357	
MUESTRAS (roca)		COORDENADAS	
N°	NORTE	ESTE	
1	1264720	1129245	
2	1264692	1129546	
3	1265001	1129472	
4	1265116	1129247	

8.3.1 Registros de perforación SPT (percusión) La exploración de campo realizada consistió en la dispersión de doce (12) sondeos SPT a percusión a profundidades entre 4.5 y 5.5 metros, de acuerdo a los rechazos obtenidos en campo como consecuencia de la resistencia al punzonamiento.

El objetivo de la realización de los ensayos de perforación SPT, es determinar la resistencia a la penetración del suelo, correlacionar parámetros geotécnicos y examinar la localización espacial de los tipos de suelos identificados sobre el área de estudio y para obtener muestras semi-inalteradas en cada una de las perforaciones ejecutadas para realizar ensayos de clasificación granulométrica por cada material homogéneo.

A continuación se muestra el registro fotográfico del sondeo 3 a percusión. El registro fotográfico completo y los resultados de campo de SPT, se presenta en el anexo 1.1 Registro de sondeos SPT.



Figura 81. Registro fotográfico sondeo 3 de percusión.

Tabla 19.

Resumen registro N (Golpes/pie) SPT a percusión.

PROF.	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
(m)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
0.5	27	23	29	20	21	8	20	27	15	21	16	19
1	20	26	33	29	27	18	33	30	22	29	20	25
1.5	41	30	37	32	21	25	31	28	25	25	21	27
2	39	31	43	31	25	28	25	38	30	30	27	25
2.5	39	36	35	32	31	33	31	23	36	32	29	31
3	39	40	33	42	35	39	19	36	42	43	34	34
3.5	85	75	34	83	32	55	9	54	54	80	32	45
4			75		39	85	15	85	85		37	55
4.5					41		9				80	
5					41		25					
5.5					83		69					

8.3.2 Registro fotográfico de apiques Para la toma de muestras de suelo inalterada se realizaron once (11) apiques a una profundidad de 1.5 metros, para obtener parámetros geotécnicos sobre el área de estudio. A continuación se muestra el registro fotográfico del apique

2 y se remite al anexo 1.2 (Registro fotográfico de apiques) donde se encuentra el registro más detallado.



Figura 82. Registro de apique 2.

Este proceso se desarrolla con el fin de realizar los ensayos de corte directo y clasificación de suelos, obteniéndose parámetros geotécnicos del suelo (C_u , α , Θ), para posteriormente utilizarlos en los análisis de estabilidad, capacidad de carga y asentamientos inmediatos esperados para la realización de la obras de mitigación o contención pertinentes.

8.3 Niveles freáticos

Según el registro de campo no se evidencio niveles freáticos hasta la profundidad explorada.

8.4 Fase de ensayos de laboratorio

Durante la fase de campo se tomaron muestras alteradas e inalteradas extraídas, las cuales posteriormente se empaclaron en bolsas de polietileno debidamente referenciadas para su correcta identificación, con fin que no pierdan su humedad natural.

En el laboratorio se seleccionaron las muestras representativas del terreno y se les realizo ensayos de: clasificación de suelo (tamaño de los granos), humedad natural (contenido de agua), límites de Atterberg (límites de consistencia), peso específico y corte directo (ángulo de fricción y cohesión), los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados se presentan en un resumen, para mejor consulta ver el anexo 1 de resultados de laboratorio.

8.4.1 Clasificación de suelos (SUCS) Tomadas las muestras de los sondeos ejecutados dentro del área de análisis mediante ensayos de penetración estándar (SPT) a percusión, se realizaron los laboratorios de suelos para cada material homogéneo encontrado, con el fin de obtener el tipo de suelo mediante la clasificación unificada de suelos (SUCS) donde se corroboran las muestras encontradas en campo. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

De los resultados de granulometría y límites de consistencia, utilizando la carta de plasticidad de Casagrande, se puede observar que el tipo de suelo que predomina sobre al área en estudio, corresponde principalmente a arenas limosas (SM) hasta la profundidad explorada.

Tabla 20.

Resumen resultados de laboratorio clasificación de suelos, límites ATTERBERG y granulometría.

SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LÍMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S1 - M1	0-2	SM	21.31	27.69	25.02	2.67	9.96	55.72	34.32
S1 - M2	2-4	SM	12.34	NP	NP	NP	21.64	39.20	19.80
S2 - M1	0-2	SM	23.47	31.28	28.54	2.73	12.76	46.48	40.76
S2 - M2	2-5	SM	19.05	28.11	24.13	3.99	12.28	46.36	41.36
S3 - M1	0-2	SM-SC	13.07	27.05	21.05	5.99	8.68	48.64	33.24
S3 - M2	2-4	SM	9.63	NP	NP	NP	31.84	24.84	29.64
S4 - M1	0-1	SM	16.11	NP	NP	NP	11.90	65.95	22.15
S4 - M2	1-3	SM	14.93	NP	NP	NP	24.80	27.72	47.48
S4-M3	3-4	SM	4.48	NP	NP	NP	35.02	20.45	19.03
S5-M1	0-2	SM	16.13	25.645	23.07	2.57	9.96	60.80	29.24
S5-M2	2-4	SC	15.28	22.735	20.19	2.55	5.32	61.16	33.52
S5-M3	4-6	SM	7.79	NP	NP	NP	25.56	61.48	12.96
S6-M1	0-2	SM	17.15	28.443	24.80	3.64	8.52	57.68	33.80
S6-M2	2-4	SM	12.51	NP	NP	NP	27.48	60.32	12.20
S7-M1	0-1	SM	12.00	NP	NP	NP	9.75	52.30	37.95
S7-M2	1-3	SM	3.58	NP	NP	NP	8.52	82.40	9.08
S7-M3	3-6	SM	13.66	NP	NP	NP	4.68	71.96	23.36
S8-M1	0-2	SM	5.11	NP	NP	NP	13.88	72.92	13.20
S8-M2	2-4	SM	2.79	NP	NP	NP	14.76	69.52	15.72
S9-M1	0-2	SM	13.84	NP	NP	NP	23.40	50.40	26.20
S9-M2	2-4	SM	12.57	NP	NP	NP	14.32	30.32	26.16
S10-M1	0-2	SM	15.04	NP	NP	NP	17.76	47.96	20.84
S10-M2	2-4	SM	12.48	NP	NP	NP	21.68	37.40	18.88
S11 - M1	0-2	SM	13.90	25.042	23.34	1.70	24.72	52.84	22.44
S11 - M2	2-3	SC	17.12	23.401	20.70	2.70	6.24	59.72	34.04
S11 - M3	3-5	SM	16.34	NP	NP	NP	9.84	62.32	27.84
S12 - M1	0-2	SM	16.09	24.659	22.28	2.38	21.76	54.76	23.48
S12 - M2	2-4	SM	13.39	25.346	22.03	3.32	28.08	47.64	24.28
Valores Máximos			23.47	31.28	28.54	5.99	35.02	82.40	47.48
Valores Promedios			13.26	26.31	23.20	3.11	16.61	52.47	26.18
Valores Mínimos			2.79	22.73	20.19	1.70	4.68	20.45	9.08

De acuerdo a los valores promedios generales de las muestras totales analizadas de la exploración geotécnica, observamos que se identifican promedios de 26.18% de finos, con arenas del orden de 52.47%, correspondiente a materiales friccionantes con cohesiones medias

Se evidenciaron límites líquidos entre 22.73 y 31.28%, límites plásticos entre 20.19 y 28.54% e índices plásticos entre 2.55 y 5.99%, que representan materiales medianamente plásticos. Por otro lado, las humedades naturales del terreno oscilan entre 2.79 y 23.47%, representando categóricamente humedades bajas a medias.

8.4.2 Ensayos de corte directo en suelo. El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra colocada a velocidad controlada, donde generalmente se ensayan 3 o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento, junto a las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

Mediante esta prueba se pretende determinar los parámetros de resistencia al corte de una muestra de suelo (ángulo de fricción y cohesión), para identificar geotécnicamente los diferentes materiales en la zona. A continuación se muestran los resultados del ángulo de fricción y cohesión presentes en la zona de estudio, para una condición no consolidada no drenada de los apiques extraídos en campo.

Tabla 21.

Resumen de resultados de apiques.

APIQUE	COHESION (KN/m²)	FRICCIÓN (°)
1	23.7	34.0
2	24.7	27.3
3	6.3	34.5
4	13.9	38.5
5	16.1	37
6	29.5	40
7	10.4	42.1
8	26.3	40.5
9	16.6	34.5
10	11.6	35.3
11	13.2	35.1

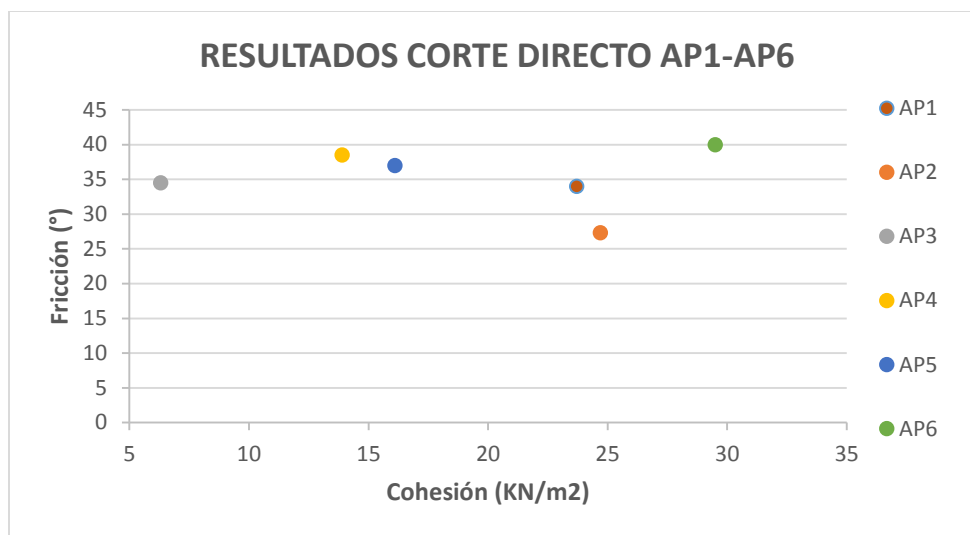


Figura 83. Grafica resumen de resultados de corte directo (AP1 al AP6).

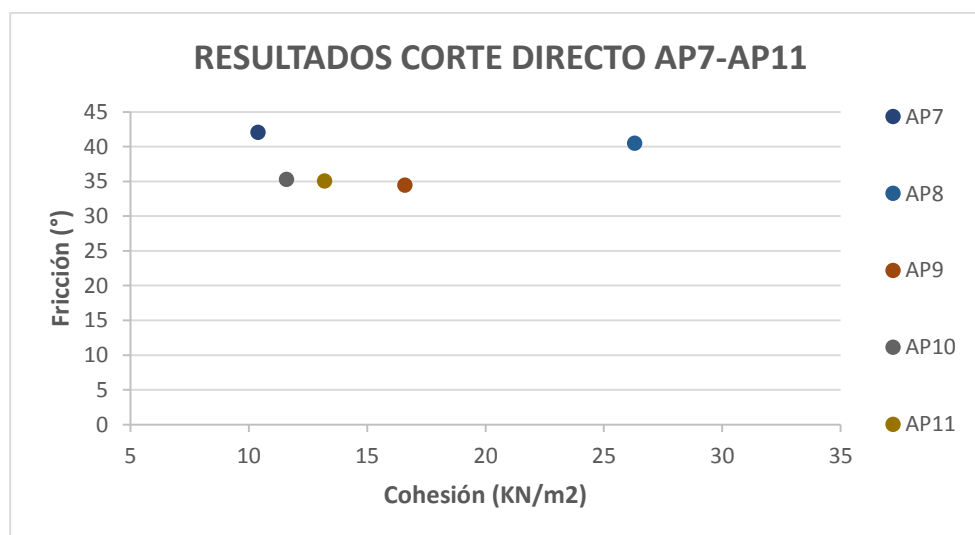


Figura 84. Grafica resumen de resultados de corte directo (AP7 al AP11).

8.4.3 Ensayo de carga puntual en rocas El ensayo de carga puntual se utiliza para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, testigos cilíndricos de sondaje o bloques, a partir del índice de resistencia a la carga puntual (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados de UCS, según el diámetro de la muestra. El

procedimiento consiste en romper una muestra entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa.

La ejecución del ensayo de carga puntual se les realizó a las muestras de rocas extraídas en campo, pertenecientes a muestras de roca de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \text{ MPa}$$

Donde:

P= carga de falla, N, (Debido a que la presión se realiza a través de puntas cónicas, es necesario realizar una corrección, la cual es: P= valor medido en la máquina*14.426 cm²)

D_e= Diámetro del núcleo equivalente= D para muestras diametrales

D_e²=D² para muestras diametrales, mm²

D_e= 4A/π para muestras irregulares, axiales o bloques, mm²

Tabla 22.

Resultados de ensayos de carga puntual.

Muestra #	DIMENSIONES		A (mm ²)	D _e ²	CARGA P [N]	INDICE DE RESIS	Q _{adm} (T/m ²)
	D (mm)	W (mm)				I _s [MPa]	
1	54.0	45.0	2430.0	3094.0	14350.0	4.6	254.3
2	52.0	70.0	3640.0	4634.6	15540.0	3.4	201.3
3	85.0	60.0	5100.0	6493.5	14860.0	2.3	148.2
4	80.0	62.0	4960.0	6315.3	15400.0	2.4	157.0

Posteriormente de haber obtenido el valor de la resistencia de la matriz rocosa se procedió al análisis del macizo rocoso empleando el criterio de falla de Hoek- Brown (1974).

8.4.4 Análisis del macizo rocoso según el criterio de falla de HOEK-BROWN La obtención de los parámetros de Hoek-Brown para las muestras de roca cuarzo-monzonita, se realizó con la ayuda del software RocLab de Rocscience Inc. y la determinación de las propiedades por métodos empíricos desarrollados durante la visita de campo en cada una de las zonas.

Los parámetros con los que se trabajó corresponden a las propiedades predominantes en macizo tomándose un valor promedio de los obtenidos en el ensayo de carga puntual en rocas:

- Resistencia de Compresión Intacta Uniaxial: 2.49 MPa

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci): MPa

Figura 85. Resistencia a la compresión uniaxial.

Fuente. Slide de la firma Rocscience.

Tabla 23.

Análisis de la resistencia del macizo usando Roclab.

Criterio de Hoek – Brown	Mohr – Coulomb Fit	Parámetros del Macizo Rocoso
<p>Mb 2.852</p> <p>s: 0.0017</p>	<p>Cohesión: 0.151 MPa</p> <p>Angulo de fricción: 35.09°</p>	<p>Resistencia a la tensión: -0.002 Mpa</p> <p>Resistencia a la compresión Uniaxial: 0.105 MPa</p>
<p>a: 0.504</p>		<p>Resistencia global: 0.583 MPa</p> <p>Módulo de deformación: 1480.47 MPa</p>

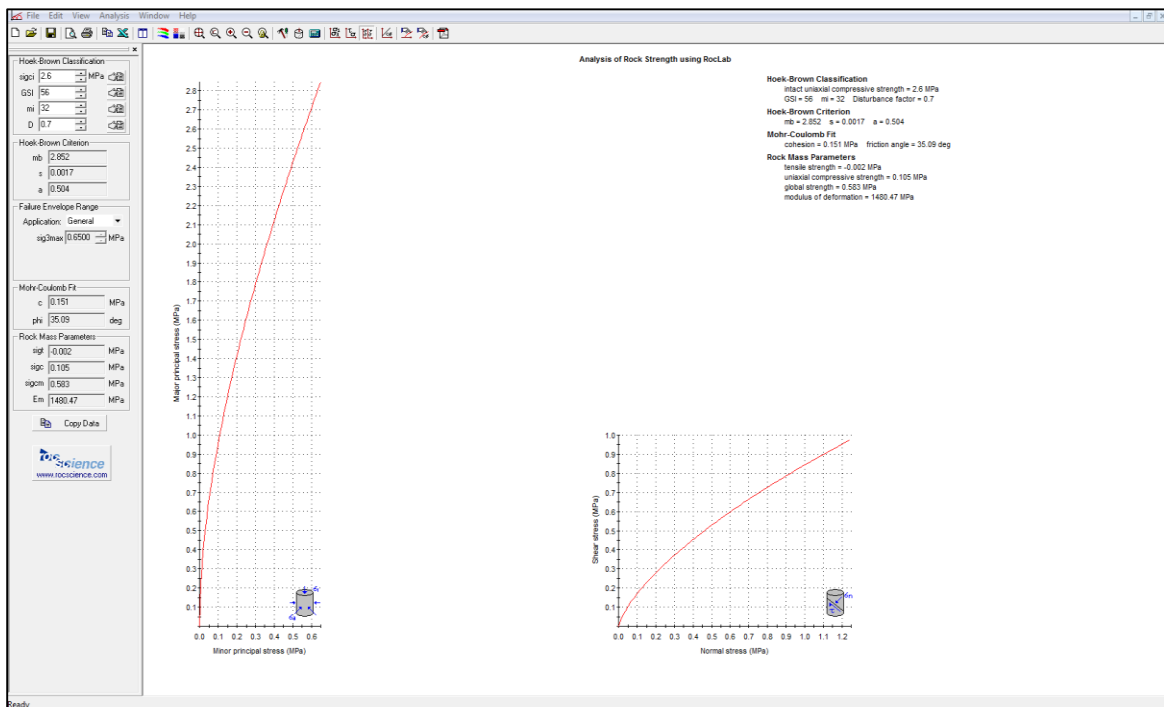


Figura 86. Clasificación de Hoek-Brown. Software Roclab.

Fuente. Slide de la firma Rocscience.

8.5 Correlaciones del ensayo SPT usando DINAMYC PROBING

Se efectuó una fase de correlación de los resultados del SPT con el fin de identificar las propiedades geotécnicas correlacionadas de los materiales encontrados, mediante el software Dynamic Probing.

8.6 Análisis geoestadístico de los parámetros geotécnicos

Con el fin de identificar las probabilidades de falla para la identificación del índice de riesgo, es necesario efectuar un análisis pseudo estadístico de las propiedades de los materiales, con el fin de conocer la dispersión de las magnitudes de sus propiedades y determinar la desviación estándar de las propiedades geotécnicas. El análisis efectuado se presenta en el Anexo Análisis pseudo estadístico de propiedades geotécnicas.

Con los valores de desviación estándar en los modelos de estabilidad, mediante el uso del software Slide de la firma Rocscience, se realizó el análisis probabilístico del modelo de estabilidad geotécnica por medio del método Monte Carlo, ya que asumir un modelo determinístico no permite la evaluación del riesgo específico.

9. Evaluación del modelo geológico geotécnico

Para efectuar la evaluación de un modelo geológico representativo de la zona en estudio se deben involucrar tanto aspectos geológicos (tipo de materiales y variación en profundidad de las diferentes unidades) como geotécnicos (caracterización geo-mecánica de los diferentes materiales presentes); donde de acuerdo a la topografía del terreno, geomorfología y la geología, se seleccionaron perfiles transversales tanto para la parte baja y para la parte alta de las laderas, para el análisis de estabilidad, con el fin de sectorizar las zonas de amenaza por movimientos en masa.

Cada una de las unidades de análisis en los perfiles fueron caracterizados a partir de sus parámetros geomecánicos partiendo de los ensayos de laboratorio realizados y las correlaciones con los ensayos SPT a percusión. También se tomó en cuenta que sean los perfiles de análisis que hacen parte de las zonas homogéneas más críticas ubicadas cerca de los puntos estratégicos donde se realizó exploración geotécnica.

El espesor de algunos materiales se ajustó con los resultados de dos refracciones sísmicas realizadas (Actividad paralela al presente trabajo de grado por parte de la empresa). Estas arrojaron como resultado 3 capas de diferentes velocidades en el espectro del subsuelo predominando las velocidades correlacionables a un suelo suelo fluvio-torrencial.

Las velocidades de onda P del terreno superficial obtenidas durante el post proceso y el análisis tomográfico de los primeros arribos (First Breaks) de la onda compresiva de cada golpe permitieron determinar las siguientes propiedades del suelo módulo de elasticidad (E), módulo

cortante ($G_{m\acute{a}x}$) y la velocidad de onda de corte (V_s). Estos valores permitieron establecer el tipo de perfil de acuerdo a la norma NSR 10.

Siguiendo este mismo orden de ideas se encontraron tres velocidades de onda P para la línea ST1; las dos primeras velocidades se correlación con un depósito fluvio-torrencial y la última con roca intermedia de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

La línea ST2 también registró tres grupos de velocidades, pero estos no superan los 1300 m/s, y de acuerdo a lo observado en campo se correlaciona con un suelo fluvio-torrencial de más de 30 m de profundidad.

Para las velocidades de la línea ST2 cada grupo de velocidades corresponde a un nivel de terraza depositado por el Río Umpala, y estas varían de acuerdo al contraste entre la matriz y los bloques dentro de ella. En la última capa o velocidad por ejemplo, se identificaron bloques de gran tamaño embebidos en una matriz arenosa, y para la primera capa predominaban bloques de menor tamaño.

De acuerdo a las velocidades de onda de corte obtenidas, el perfil del suelo según la norma NSR-10 lo clasifica como un suelo tipo D como se indica en la figura siguiente.

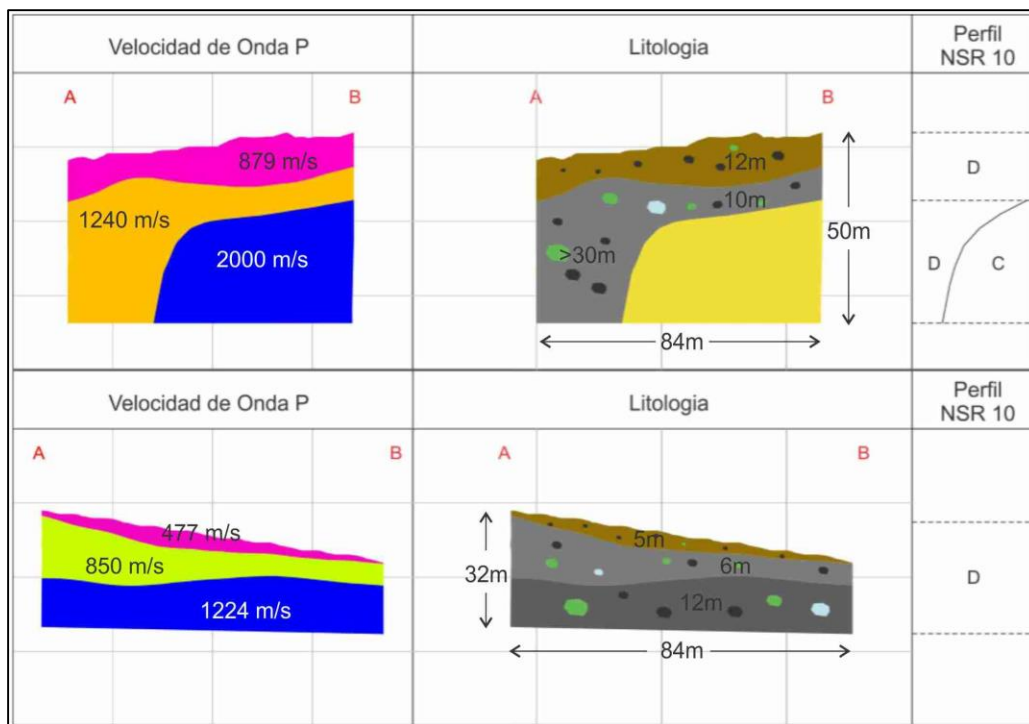


Figura 87. Perfiles del suelo obtenidos de las líneas sísmicas.

Fuente. ALICON & ING S.A.S.

9.1 Parámetros geotécnicos empleados en la modelación

Los parámetros de resistencia asignados se obtuvieron a partir de los resultados de los ensayos de campo por medio de los SPT a percusión, de laboratorio por medio del ensayo corte directo efectuado a las muestras extraídas de los apiques y correlaciones con el ensayo SPT en el software Dynamic Probing.

A continuación se presenta los parámetros utilizados en el modelamiento de estabilidad de taludes empleando un método probabilístico en función de un Factor de Seguridad al deslizamiento, con las respectivas desviaciones estándar asumidas:

Tabla 24.

Propiedades geotécnicas saprolito de cuarzomonzonita (Srqm).

PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	APIQUE
ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	37	10	5
COHESIÓN	(KN/m2)	16.1	6	
PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17	5	

Tabla 25.

Propiedades geotécnicas del depósito coluvial (Stco).

PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	APIQUE
ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	35.1	10	11
COHESIÓN	(KN/m2)	13.2	6	
PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17	5	

Tabla 26.

Propiedades geotécnicas del depósito fluvio-orrencial (Stft).

PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	APIQUE
ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	34.5	10	9
COHESIÓN	(KN/m2)	16.6	6	
PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	15	5	

Tabla 27.

Propiedades geotécnicas de la cuarzomonzonita (Ricsb).

PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD
ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	35.1
COHESIÓN	(KN/m ²)	170
PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m ³)	27

9.2 Distribución de los materiales a profundidad

De acuerdo a la información obtenida de los resultados de campo, laboratorio, ensayos geo-físicos y la geología del sector, se procedió a definir tipos y espesores de los materiales agrupándolos por su similitud de acuerdo a características geo-mecánicas y resistencia a la penetración. A continuación se presenta los perfiles ubicados en planta topográfica y una de las secciones transversales modeladas geotécnicamente:

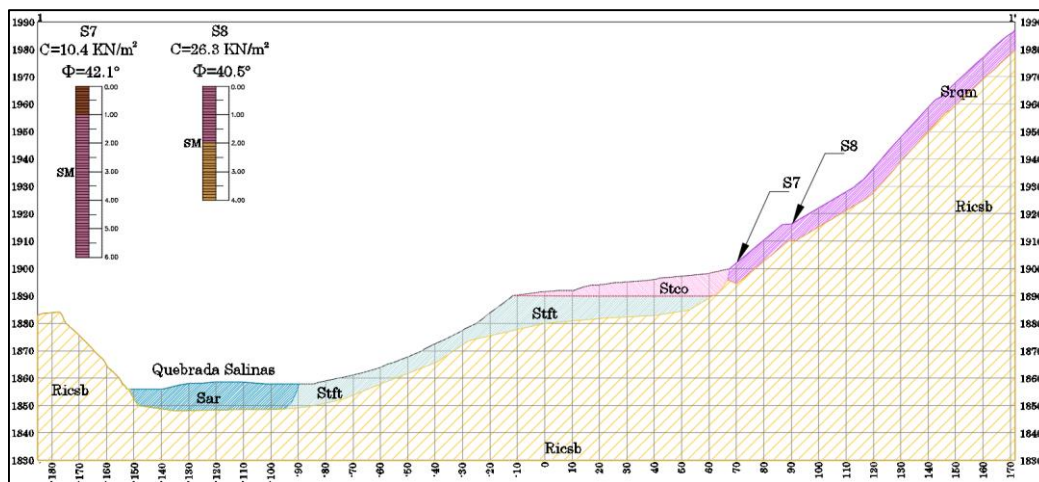


Figura 88. Distribución de los materiales en profundidad (Sección transversal 1-1).

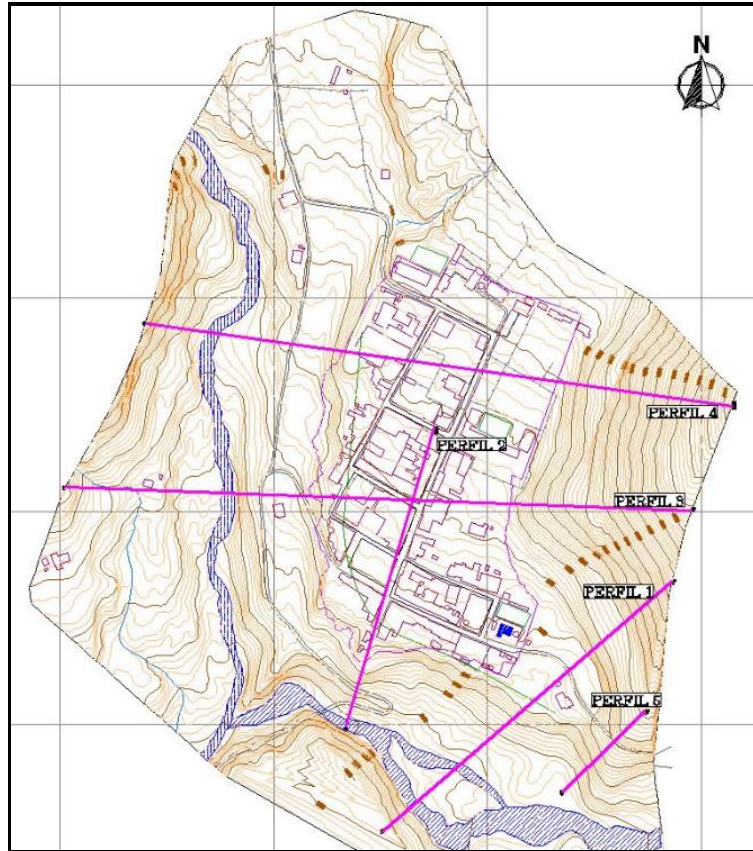


Figura 89. Ubicación de las secciones transversales.

9.2.1 Modelo geológico – geotécnico La unidad basal es la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Ricsb); sobre esta roca se presenta unidades de suelo transportado fluvio-torrencial; sobre este se encuentra unidades de suelo coluvial (Stco); a su vez en ciertos sectores del área urbana se presenta en la parte superior un suelo residual denominado Sapolito de Cuarzomonzonita (Srqm), unidad que fue identificada principalmente hacia los alrededores del casco urbano al Este y Oeste del mismo.

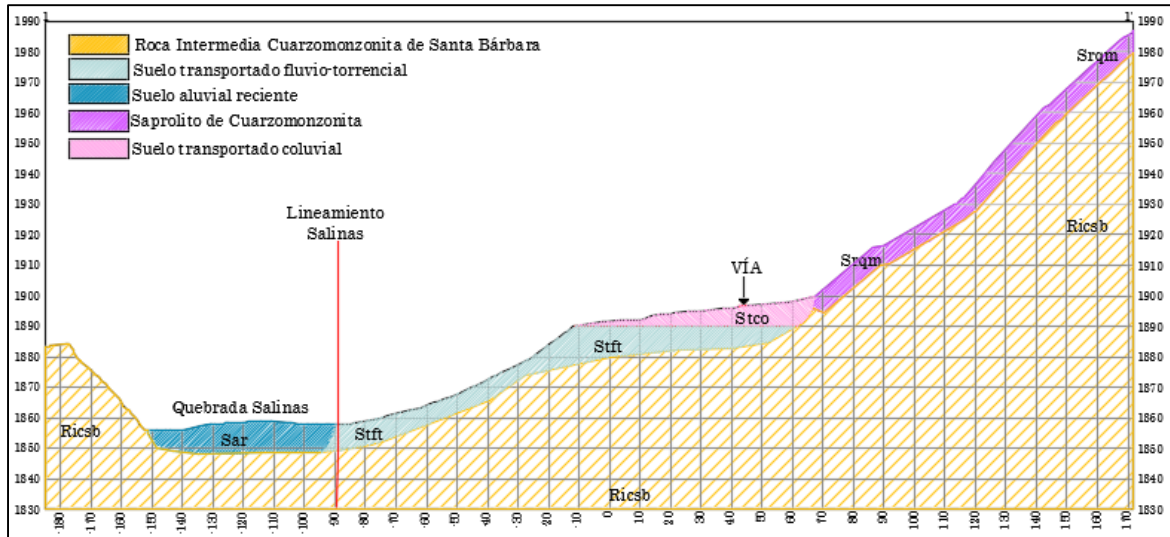


Figura 90. Modelo geológico geotécnico característico de la zona.

La figura anterior muestra a manera de ejemplo el perfil geológico característico que predomina en el área perimetral del casco urbano del municipio de Santa Barbara, para desarrollar los modelos de estabilidad se generó cinco perfiles geológicos eligiendo los sectores más críticos con respecto a su morfometría y morfodinámica evidenciado durante la fase de campo.

10. Amenaza por movimientos en masa

En este capítulo se presentan los trabajos realizados para determinar la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Santa Bárbara, implementándose metodologías determinísticas y probabilísticas para la obtención de las probabilidades de falla, con estas se efectúa un tratamiento estadístico para la determinación del riesgo específico.

Las metodologías determinísticas, consisten en la modelación geológica geotécnica de la zona de estudio con parámetros únicos obtenidos de los ensayos de laboratorio, para la determinación de la amenaza, se sectorizan los factores de seguridad obtenidos y de acuerdo a la categorización de la amenaza. En las metodologías probabilísticas, se tiene en cuenta la posible variación de las propiedades de los materiales, debido a la heterogeneidad de estos y las condiciones puntuales, por medio de desviaciones estándar de cada material, el modelo probabilístico utilizado pertenece al modelo de Monte Carlo, este método toma en cuenta la dispersión de las propiedades del suelo y se realiza iteraciones variando las propiedades geotécnicas de acuerdo a la desviación estándar de estos datos. Para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Calculo de factores de seguridad determinísticos y probabilísticos, con su respectiva probabilidad de falla, utilizando el software SLIDE de la firma ROCSCIENCE, para diferentes escenarios.
- Como criterios para clasificar los niveles de amenaza, se determinan intervalos para los diferentes factores de seguridad obtenidos en los análisis de estabilidad del talud para movimientos en masa, adoptándose los factores de seguridad especificados en el título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10.

En este título se encuentra la tabla H.2.4-1 a continuación que muestra los factores de seguridad mínimos directos para garantizar la estabilidad del terreno.

Tabla 28.

Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Fuente. Norma NSR-10.

- De acuerdo a la tabla anterior se asume la condición de taludes – condición Pseudo estática-agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño, para los cuales se recomienda un factor de seguridad mínimo de diseño de 1.05 para garantizar la estabilidad del talud; y para la condición estática y agua subterráneas normal, se deben garantizar factores de seguridad superiores a 1.5.
- Identificación de la inestabilidad de la zona en estudio para los diferentes escenarios planteados.
- Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite que analiza la superficie de falla circular, esta superficie de falla es característica del movimiento analizado, ya que se evidencia las fallas circulares puntuales sobre la ladera, también se utilizara la teoría de Bishop para la definición de los factores de seguridad.
- Para la determinación de los modelos, se asumen escenarios críticos, que contemplan el ascenso del nivel freático y una carga sísmica Pseudo-Estática que se encuentra definida por la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 para el municipio de Santa Bárbara dentro del departamento de Santander. Los escenarios se definen a continuación:

Tipos de Escenarios para Análisis de estabilidad.

Escenario 1. Terreno en condiciones actuales. + Cargas existentes+ condiciones Pseudo-estático (0.16g) y aumento nivel freático, sin obras de mitigación y estabilización.

10.1 Método de análisis “Equilibrio límite y factor de seguridad”

Los métodos de equilibrio límite están basados en asumir una superficie de falla en la cual se presentan condiciones críticas de estabilidad que pueden clasificarse mediante el factor de seguridad. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no requieren en general información sobre la relación esfuerzo –deformación.

La teoría de equilibrio límite supone que en el caso de generarse un movimiento en masa, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de toda la superficie de falla, y equivalentes a un factor de seguridad 1.0. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Generalmente, los métodos son iterativos y cada uno ofrece diferente grados de precisión.

Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite, asumiendo superficies de falla circular, esta superficie de falla es característica de los movimientos analizados sobre los cuatro perfiles geológicos seleccionados del área urbana del municipio de Santa Bárbara, establecidos como zonas críticas, en los modelos de análisis de estabilidad de taludes se aplicaron metodologías conocidas.

10.1.1 Factor de seguridad (F.S.) El factor de seguridad se emplea para conocer cuál es el factor de amenaza frente a una posible superficie de falla del talud, este factor se puede presentar

como la relación calculada entre la resistencia al corte real del material en el talud, y los esfuerzos cortantes críticos que tratan de producir la ruptura, a lo largo de una supuesta superficie de falla.

F.S. = Resistencia al corte / Esfuerzo cortante

En superficies circulares, en donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes, la expresión es la siguiente:

$$\text{F.S.} = \text{Momento actuante} / \text{Momento resistente}$$

De esta manera se procede a estudiar un cuerpo libre, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para establecer el equilibrio. Al calcular la fuerza resistente, se compara con la fuerza disponible o resistente proporcionada por el suelo o la roca y se obtiene con esto un Factor de Seguridad.

10.2 Categorización de la amenaza por Movimiento en masa método determinístico

De acuerdo a la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10. Se define en el capítulo H los factores de seguridad mínimos para garantizar la estabilidad de laderas, que son función del tipo de modelamiento y las cargas asumidas. En el presente documento se puede observar que se asume un escenario crítico de ascenso máximo de nivel freático y carga Pseudo estática, que se asume como 2/3 de la aceleración pico horizontal que se encuentra sectorizada en esta misma norma en el título A. Con este escenario crítico modelado y según el capítulo H.2, se realiza la zonificación de la amenaza de la siguiente forma:

Tabla 29.

Categorización de la amenaza por Movimientos en masa.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	Fs. Pseudo Estático	Estático
AMENAZA BAJA	Son terrenos geológicamente y geotécnicamente estables, donde las amenazas por movimientos en masa presentan factores de seguridad mayores a los escenarios establecidos en la norma NSR-10.	FS>1,2	FS>1,5
AMENAZA MEDIA	Pertenece a terrenos clasificados como relativamente inestables de acuerdo a los tipos de materiales y parámetros geotécnicos, donde se pueden implantar obras urbanísticas, sin embargo se debe adelantar previamente las obras de prevención, mitigación y estabilización.	1.05<FS<1,2	1,2<FS<1,5
AMENAZA ALTA	Esta clasificación pertenece a terrenos clasificados como inestables, sobre los cuales no se debe adelantar implantaciones urbanísticas.	FS<1.05	FS<1,2

Fuente. Norma NSR-10.

Con el fin de discriminar las amenazas, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia, se realizaron tratamientos estadísticos, de los resultados de estabilidad y probabilidad de falla, determinados mediante el software Slide de la forma Rocscience, por medio del método Monte Carlo, que se presenta en el siguiente capítulo. Debido a que la masa de suelo presenta un comportamiento homogéneo, se efectuó una gráfica de función de probabilidad de los datos obtenidos, encontrando el comportamiento de la probabilidad de falla en función del factor de seguridad, con el fin de sectorizar esta amenaza por probabilidades de falla.

Tabla 30.

Categorización de la amenaza a partir del factor de seguridad F.S.

CATEGORÍA DE AMENAZA	CONDICIÓN EXTREMA
AMENAZA ALTA	F.S. < 1.05
AMENAZA MEDIA	1.05 < F.S. < 1.2
AMENAZA BAJA	>1.2

Fuente. NSR-10.

10.3 Periodo de retorno de las amenazas

Con el fin de realizar un análisis probabilístico de las superficies de falla, se consultó el método de Monte Carlo, donde se determina la probabilidad de falla de la ladera. La probabilidad de que ocurra una amenaza de determinada magnitud en un determinado tiempo, está dada por la expresión:

Probabilidad de retorno

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

Fuente. Leone F. (1999)

Dónde: p = probabilidad T = período de retorno t = tiempo considerado.

El período de retorno T de las amenazas a deslizamientos, depende principalmente de los períodos de retorno de los eventos lluviosos extraordinarios y de los sismos de gran magnitud. Las evaluaciones de amenaza se deben realizar para tiempos considerados (t) dentro de la vida útil de las estructuras.

Para una vida útil de las estructuras de 50 años, se considera apropiado utilizar un Período de retorno de 100 años para las lluvias y los sismos que pueden activar deslizamientos.

10.4 Evaluación de la probabilidad de falla

Arthur Casagrande, en la Conferencia de Terzaghi de 1964, presentó la definición del cálculo del riesgo para los usos dentro de la ingeniería geotécnica (Whitman, 1984). Él hizo hincapié en que las incertidumbres son inherentes a cualquier proyecto y los niveles de incertidumbre deben ser reconocidos. Afirmó que el riesgo calculado debe ser reconocido y tratado en dos pasos:

- El uso del conocimiento imperfecto, guiados por el juicio y la experiencia, estimación de los rangos probables de todas las cantidades pertinentes que afectan a la solución del problema.
- La decisión sobre un nivel adecuado de seguridad, o el grado de riesgo, teniendo en cuenta factores económicos y la magnitud de las pérdidas que se derivarían de la falla.

En comparación con un análisis determinista, el análisis probabilístico tiene en cuenta la variabilidad inherente y las incertidumbres en los parámetros de análisis.

Un análisis probabilístico se cuantifica mediante la producción de una distribución de resultados en lugar de un valor fijo único. Por lo tanto, un análisis probabilístico produce una estimación directa de la distribución de cualquiera de los factores de la seguridad o la altura crítica asociada a un diseño o análisis de la situación.

Hay varias técnicas probabilísticas que se pueden utilizar para evaluar situaciones geotécnicas. Específicamente, para el análisis geotécnico, los investigadores han llevado a cabo análisis probabilísticos utilizando: simulaciones de Monte Carlo y Estimativos puntuales. En la siguiente figura se ilustra un esquema general de una simulación de Monte Carlo (Hutchinson Y Bandalos, 1997).

1. El primer paso de una simulación de Monte Carlo es identificar un modelo determinista en el que múltiples variables de entrada se utilizan para estimar un resultado único valor.
2. En el paso dos se requiere que todas las variables o parámetros sean identificados. A continuación, mediante una función la distribución de probabilidad para cada variable independiente se establece para el modelo de simulación (es decir, normal, beta, Log-normal, etc.).
3. Para el paso tres, se inicia un proceso de iteraciones para establecer una función de distribución de probabilidad de la situación determinista que está siendo modelado. Durante cada paso, un valor aleatorio de la función de distribución para cada parámetro se selecciona los datos entrada para el cálculo. Numerosas soluciones se obtienen al hacer varias iteraciones través del programa para obtener una solución para cada paso.
4. El número adecuado de iteraciones para un análisis es una función del número de parámetros de entrada, la complejidad del modelo situación, y la precisión deseada de la salida. El resultado final de la simulación de Monte Carlo es una distribución de probabilidad del parámetro de salida.

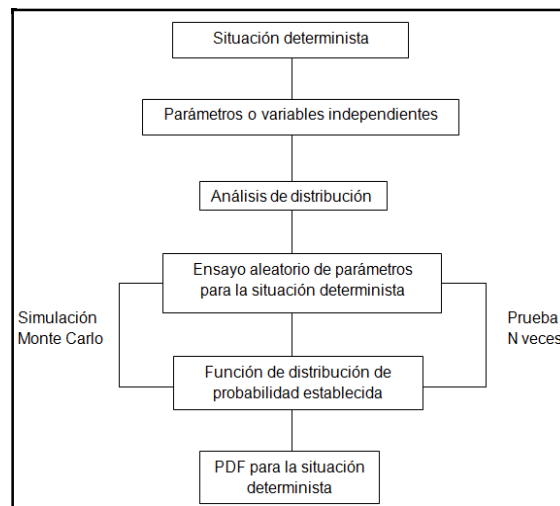


Figura 91. Enfoque general de la simulación de Monte Carlo.

Fuente: Tomado de Hutchinson & Bandalos (1997).

Comúnmente, las distribuciones: normal, log-normal, y beta han representado las funciones de los parámetros de la función de comportamiento (Función del factor de seguridad en términos de las variables o parámetros). El número de repeticiones para cada modelo de simulación para producir resultados adecuados varía.

Para el presente modelo, los parámetros aleatorios de entrada son: la cohesión (c), el ángulo de fricción (ϕ) y el peso específico γ y fueron tratados como normalmente distribuidos, e independientes. El uso de la simulación de Monte Carlo para evaluar esta zona proporciona una metodología práctica y lógica para evaluar la probabilidad de estabilidad del talud.

10.5 Resultados de los análisis de estabilidad ante deslizamiento

Por medio del análisis de estabilidad de los taludes, se realizó el modelamiento de las secciones transversales donde se tomaron en cuenta los perfiles más críticos, que se ubicaron cerca a las exploraciones geotécnicas y donde se encuentran principalmente las viviendas del municipio, con el fin de simular el caso más extremo y así garantizar la estabilidad de todo el predio analizado. En el software SLIDE de la firma ROSCIENCE. Se analizó la estabilidad general por medio del equilibrio límite, determinando los factores de seguridad de falla.

Para la determinación de estos factores de seguridad se asumió el método de equilibrio límite por la teoría de Bishop y Morgenstern, ya que este método es adecuado para el análisis de fallas circulares, las cuales son representativas dentro del área de influencia del proyecto. En las siguientes figuras se muestra los resultados de estabilidad para los perfiles modelados.

10.5.1 Resultados de la estabilidad (Perfil 1-Escenario1) En este escenario natural se evalúa el análisis de estabilidad a movimientos en masa el cual contempla las condiciones de ascenso del nivel freático y aceleración Pseudo-estática (0.16g). En la siguiente figura se muestra el resultado del perfil 1, y en los anexos del presente documento encontramos el análisis detallado para cada uno de las cuatro secciones transversales modeladas.

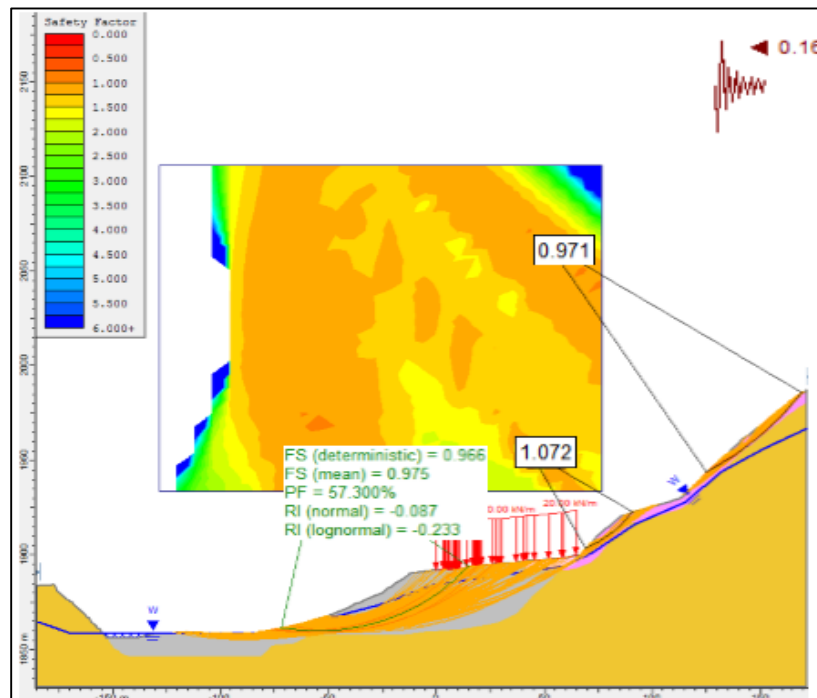


Figura 92. Modelo de estabilidad (Perfil 1-Escenario 1).

Fuente. Slide de la firma Rocscience.

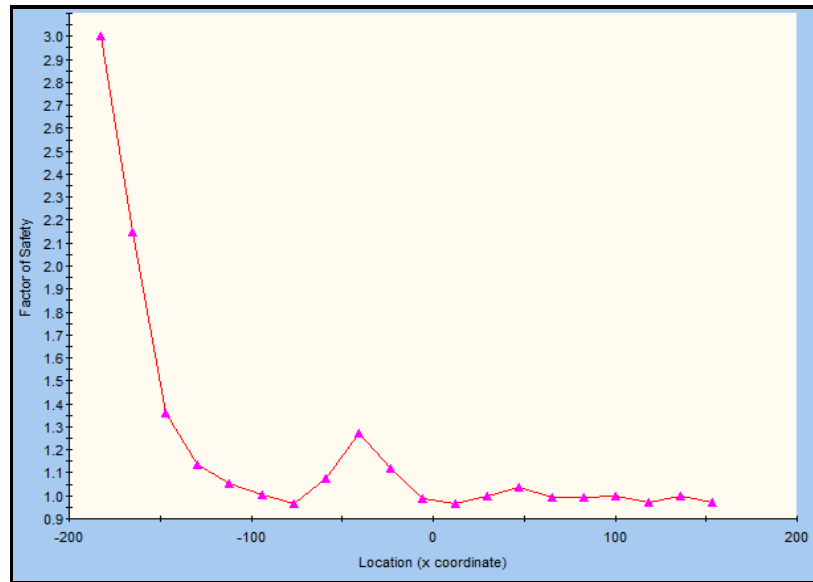


Figura 93. Comportamiento del F.S. sobre la ladera (Perfil 1 Escenario 1).

Fuente: Slide de la firma Rocscience.

En las figuras anteriores se presentan los resultados del análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite y aplicando la teoría de Bishop:

- Las superficies de fallas presentadas corresponden a aquellas cuyo factor de seguridad son inferiores a 1.05 (inestables), encontrándose valores críticos de F.S. 0.966
- Se identifica la inestabilidad del modelo geológico geotécnico tipo en el perfil analizado, observando superficies de fallas que comprometen la parte alta debido principalmente a las pendientes que presenta la geomorfología del terreno. En los otros perfiles se presentan amenazas medias debido a que las pendientes ya no son tan pronunciadas.

A continuación se presenta la tabla resumen de los factores de seguridad, teniendo en cuenta que los factores arrojados por los modelos se encuentran en amenaza alta y media ante fenómenos de remoción en masa, ya que están por debajo de 1.2 según la norma NSR-10, seguida del plano se amenaza escenario 1:

Tabla 31.

Resumen F.S. (Bishop) y probabilidad de falla (Bishop) (Escenario 1).

MÉTODO	Perfil 1				Perfil 2			
	FS Determ	Fs Prob	P.F. %	Amenaza	FS Determ	Fs Prob	P.F. %	Amenaza
BISHOP	0,966	0,975	57,3	ALTA	1,05	1,088	41,1	MEDIA
JANBU	0,895	0,899	66,2	ALTA	0,98	1,013	51,1	ALTA
SPENCER	0,969	0,988	43	ALTA	1,06	1,101	39,1	MEDIA
GLE-MORGENSTERN-PRICE	0,97	0,996	43,6	ALTA	1,06	1,100	39,5	MEDIA
MÉTODO	Perfil 3				Perfil 4			
	FS Determ	Fs Prob	P.F. %	Amenaza	FS Determ	Fs Prob	P.F. %	Amenaza
BISHOP	1,06	1,126	37,3	MEDIA	0,85	1,102	67,8	ALTA
JANBU	1052	1,11	38,9	MEDIA	0,835	1,084	71	ALTA
SPENCER	1066	1,125	37,4	MEDIA	0,85	1,103	67,6	ALTA
GLE-MORGENSTERN-PRICE	1065	1,126	37,5	MEDIA	0,85	1,102	67,6	ALTA




Fuente. Herramienta Slide de la firma Rocscience.



Figura 94. Plano de amenaza (Escenario 1).

Tabla 32.

Áreas de amenaza (Escenario 1)

AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA ESCENARIO 1			
NOMENCLATURA	CATEGORIZACIÓN	INTERVALO FACTOR DE SEGURIDAD	ÁREAS
 Ama	ALTA	$FS < 1.05$	32797
 Amm	MEDIA	$1.05 < FS < 1.2$	75480
 Amb	BAJA	$FS > 1.2$	251158

A partir de los resultados de factores de estabilidad geotécnica, se generó una gráfica en función de la probabilidad obtenida, que relaciona la probabilidad de ocurrencia con un factor de seguridad determinístico de acuerdo a la categorización de la amenaza, pudiendo determinar el intervalo de la probabilidad de ocurrencia para los diferentes tipos de amenaza alta, media o baja.

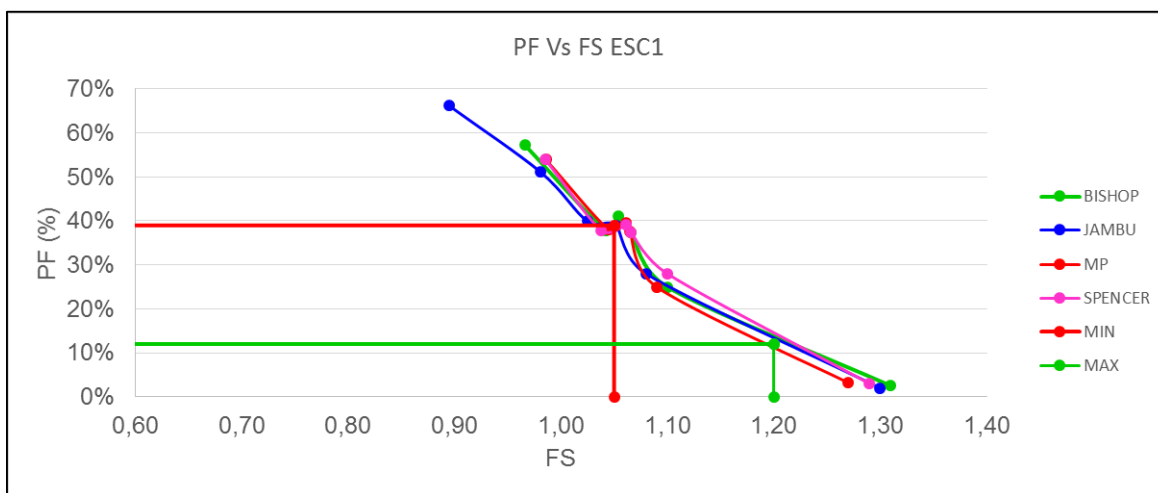


Figura 95. Categorización de la amenaza en función de la amenaza (Escenario 1)

Fuente. Herramienta Slide de la firma Rocscience.

Tabla 33.

Probabilidad de falla

AMENAZA ESCENARIO 1	
CLASIFICACION	PROBABILIDAD (%)
BAJO	<0.12
MEDIO	$0.12 \leq IR \leq 0.39$
ALTO	>0.39

11. Conclusiones

- De acuerdo al reconocimiento de la geología y caracterización cartográfica de las unidades de geología para ingeniería (UGI), el terreno urbano del municipio de Santa Bárbara está constituido por unidades de roca intermedia de la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara y suelos residuales de tipo saprolito derivados de la misma. También una buena parte del suelo urbano del casco urbano se encuentra asentado sobre depósitos no consolidados de origen transportado de tipo coluvial, y suelos transportados fluvio torrenciales.
- De los resultados de la caracterización geomorfológica basada a los elementos geomorfológicos se obtuvieron un total de once (11) unidades. Tres (3) de origen estructural (Lomos de presión; Espolón estructural y espolones denudados) los cuales están directamente asociados a las unidades de geología para ingeniería (roca intermedia cuarzomonzonita de Santa Bárbara y el saprolito de cuarzomonzonita). Cinco unidades de origen fluvial (Escarpe de terraza, Nivel de terraza alto, Nivel de terraza medio, y nivel de terraza bajo y el lecho o cauce actual del río), asociados a los suelos fluvio-torrenciales y a

los suelos aluviales recientes o del lecho del río. Una de origen denudacional (Depósitos coluviales) asociados directamente con los suelos coluviales. Finalmente dos unidades de origen antropogénico que se desarrollaron tanto en suelos coluviales, como en suelos fluvio torrenciales.

- Geomorfológicamente existe una relación de los elementos geomorfológicos con las unidades morfométricas. Es decir, las geofórmulas estructurales están asociadas a un predominio de pendientes empinadas a muy escarpadas, al igual que los escarpes de terraza. de manera contraria los niveles de terraza y cauce o lecho actual del río presentan un predominio de pendientes planas a empinadas. Por otro lado los depósitos coluviales son particulares; el que se encuentra representado sobre el casco urbano tiene pendientes planas a empinadas, pero en algunos sectores presenta pendientes empinadas a muy escarpadas ya que se encuentra colgado sobre las laderas de alta pendiente del espolón estructural al Oeste del casco urbano.
- En cuanto a los procesos de movimientos en masa presentes en el suelo urbano y a sus alrededores, estos se encuentran afectando principalmente la red vial que comunica al este casco urbano con las Vereda Salinas y principalmente la vía que conduce a Bucaramanga. Estos procesos principalmente son deslizamientos traslacionales de roca y detritos o caídas de roca y detritos. Estos movimientos de diferente tipo se debe a la configuración geomorfológica de las unidades estructurales y el comportamiento del saprolito y roca intermedia de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara.
- Del reconocimiento de los principales rasgos estructurales locales se concluye que el área está controlada estructuralmente tanto regional como localmente por el trazo de la Falla de

Umpalá, y demás lineamientos (lineamiento salinas y lineamiento Santa Bárbara). Las evidencias encontradas en campo de este control estructural son:

1- A nivel regional se tiene geoformas de espolones estructurales y espolones facetados que se truncan oblicua y perpendicularmente por estructuras.

2- Sobre los afloramientos de la cuarzomonzonita de Santa Bárbara se encontró un alto fracturamiento, cuyos estilos o direcciones presentan similitud a las fallas regionales (Falla de Bucaramanga y Umpala) y lineamientos locales (Lineamiento Salinas y Santa Barbara).

3- Se observaron estrías de falla casi horizontales que me podrían dar un indicio del desplazamiento relativo de la falla de Umpalá. Cuya transurrencia para el presente informe se consideró sinistral, de acuerdo a los antecedentes o estudios previos (Velandia, 2015); Actualmente este movimiento relativo aún es incierto puesto que no existen datos suficientes para determinar la cinemática de esta falla. Además algunos documentos mencionan una transurrencia dextral y otros una sinistral, por ello queda por hacer un estudio más detallado a lo largo del valle del río Umpalá para definir movimiento (cinética), buzamiento y desplazamiento de esta falla.

4- Respecto a los lineamientos Salinas y Santa Bárbara se consideran como evidencia de su trazo el alto fracturamiento y el control de los espolones estructurales. Pero existe también carencia de datos que me confirmen un real trazo y movimiento relativo, por ello en el presente informe se recalca que su trazo es inferido al igual que su cinemática. Por lo que también se deben hacer estudios más detallados.

- En la elaboración del modelo geológico geotécnico se concluye:

1- Las áreas más críticas que pueden presentar movimientos en masa dentro del suelo urbano son las laderas de alta pendiente que hacen parte de los escarpes de terraza y los

espolones y espolones denudados, los escarpes de terraza constituidos por suelos fluvio-torrenciales y los segundos por el saprolito de cuarzomonzonita. Por ello los perfiles de análisis se trazaron cortando dichas áreas críticas.

2- La mayoría de muestras de suelo extraídas independientemente de la UGI perforada en la exploración geotécnica arrojan en su clasificación SUCS suelos de tipo areno limosos (Sm), confirmando los materiales arenosos y granulares como residuo de los granos minerales que hacen parte del saprolito y la matriz de los suelos coluviales provenientes de las laderas constituidas por cuarzomonzonita, también los materiales arenolimosos hacen parte de la matriz de los suelos transportados fluviotorrenciales, es decir, predominan materiales friccionantes. Por esta razón las propiedades geomecánicas de las diferentes unidades de análisis (UGI) son similares.

3- Las humedades de todas las muestras de suelo dieron bajas a medias. La mayoría de muestras de suelo (17) no arrojó límites. De las pocas que arrojaron (11) muestran materiales medianamente plásticos. Lo cual también se ve reflejado en los resultados de corte directo cuyas cohesiones y fricciones promedio fueron 17.48 KN/m² y 36.25°.

4- Los resultados de análisis de macizos realizados bajo el criterio de falla de Hoek Brown dieron valores medios de fricción y valores de cohesión bajos indicando que la calidad del macizo es particular de la cuarzomonzonita del sector, condicionada por el grado de fracturamiento, composición y la meteorización de la misma.

5- Finalmente cabe resaltar que para entregar un modelo se determinó el espesor de algunos materiales realizando ajustes de estos con los resultados de dos refracciones sísmicas realizadas (Actividad paralela al presente trabajo de grado). A partir de esto se determinó un espesor para los depósitos fluvio-torrenciales inferido entre 20 y 30 m. después de esta

a profundidad esta la roca intermedia de la cuarzomonzonita. Los espesores del coluvión fueron determinados a partir de deducciones de lo observado en campo. El espesor máximo del depósito coluvial se definió de aproximadamente entre 10 y 12 m y del saprolito de cuarzomonzonita máximo de 8 m.

- Como se pudo apreciar en el capítulo de amenazas la distribución de los factores de seguridad críticos de amenaza media y alta se distribuyeron como era de esperarse a lo largo de las superficies de los escarpes de terraza cuya pendiente es empinada a muy escarpada. Lo mismo sucedió con las laderas críticas con pendientes empinadas a muy escarpadas constituidas por los geoformas estructurales. Por ello en el plano de amenaza esc. 1 se muestran fajas alargadas de color naranja y rojo sobre los escarpes de terraza críticos y las laderas empinadas a escarpadas donde están representadas las unidades de origen estructural.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía municipal de Santa Bárbara Santander. Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Santa Bárbara Santander. (EOT 2002 - 2003).
- Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Trans S Afr Inst Civ Eng*, 15, 335-342.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Ed. John Wiley and sons.
- Bishop, A.W., 1967 “Progressive failure – with special reference to the mechanism causing it”, Panel discussion, *Proceeding geotechnical conference, Oslo, Vol.2, p. 152*
- BOINET, T., 1985. *La frontiere meridionale de la plaque Caraibe aux confins Colombo-Venezueliens*. Tesis Universite et Marie Curie. París.
- Campbell, C. J. 1965. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. *Fourth Caribbean Geological Conference. Trinidad. Memoir: 247-261.*
- Carvajal Perico, J. H. (2011). *Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia*. INGEOMINAS. Bogotá.
- Carvajal Perico, J. H. (2012). *Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia*. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Clavijo, J. (1994). *Mapa geológico generalizado del Departamento de Norte de Santander, Memoria explicativa. Informe interno INGEOMINAS, 67.*

- Clavijo, J., Mendoza, H., Royero, J.M., BernaL, L., y Reyes, G. 1993. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Bucaramanga. INGEOMINAS. Documento interno, 99p.
- Clavijo, J. 1994a. Mapa geológico generalizado de Norte de Santander. Escala 1:250.000. Mapa interno. Bucaramanga. INGEOMINAS.
- Convenio CAS, Gobernación de Santander y Dirección de Desarrollo Territorial del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Expediente Municipal del municipio de Santa Bárbara Santander. (2010).
- Deere, D. U., & Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. Proceedings for the fourth Pan American conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, 87-170.
- Gutierrez, J. M., & Clavijo, J. (2001). Mapa geológico generalizado–Departamento de Santander.
- Hermelín, M. (1985). Suelos, Rocas y Formaciones Superficiales. DYNA, (106), 25-29.
- Hermelin, M. (1987). Bases de geología ambiental. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Holdridge, (1967) Clasificación de zonas de vida para colombia.
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses. News journal ISRM, 2(2), 4-16.
- Hoek, E., Kaiser, P., & Bawden, W. (1995). Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam: Balkema.

Howard, A.D. (1967) Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation. American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 51, 2246-2259.

Hutchinson, S. R., & Bandalos, D. L. (1997). A Guide to Monte Carlo Simulation Research for Applied Researchers. Journal of Vocational Education Research, 22(4), 233-45.

IDEAM (2009). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras escala 1:100.000. Capítulo 6. Clasificación de la Tierras por Capacidad de Uso. Departamento del Cauca. ISBN: 978-958-8323-31-2

INGEOMINAS (1977- versión digital 2010). Mapa Geológico de la plancha 121 Cerrito.

INGEOMINAS (1973). Reseña explicativa del cuadrángulo H13.

INGEOMINAS, (2003). Upper crust models of Colombia cross sections and tectonostratigraphic terrains location map, compilado por Eduardo Lopez Ramos.

INGEOMINAS, (1985). Mapa preliminar de terrenos geológicos de Colombia.

INGEOMINAS, (2001). Propuesta metodológica para el desarrollo de la cartografía geomorfológica para la zonificación geomecánica

INGEOMINAS, (2007). Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2004a). Proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica: Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica - Volumen I. Bogotá.

IGAC, (2007). Mapa geográfico de Santander.

Julivert, M., 1958. La infraestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, UIS, 1: 7-44.

Julivert, M. (1961). Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Boletín de Geología, (7).

Lambe, X. I. I. I. TW y Whitman, RB 1984. Mecánica de Suelos. Editorial Limusa. SA de CV México, 1.

León, L.A. 1991. Mapa Geológico del Departamento de Santander. Escala 1:800.000. Boletín de Geología, UIS, 20 (35): 53-63.

Marinos, P. & Hoek, E. (2000). GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings of GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (Melbourne, Victoria, Australia) (pp. 1422-1446). Lancaster: Technomic Publishers.

Marinos, P., Marinos, V. & Hoek, E. (2007). Geological Strength Index (GSI). A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses. In C. Olalla, Á. Perucho, & M. Romana (Ed.), Proceedings of the ISRM workshop W1, Madrid, Spain, 6-7 July 2007 (pp. 13-21). Madrid: Taylor & Francis.

Medina, D., Montilla, N., y Pimstein, L. 2015. Mapa de unidades de suelo y litología superficial como contribución al proyecto gestión integral de riesgos en espacios urbanos – fase Mérida, Venezuela. Boletín de Geología, 37 (1): 83-97.

Morgenstern N., Price V. (1965). “The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces”, Geotechnique Vol 15, March.

París, G., & Sarria, A. (1988). Proyecto Geofísico del Nordeste Colombiano. Cali. INGEOMINAS. Informe interno, 48p.

Ramírez, J. E. (1975). Historia de los terremotos en Colombia.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, (1997), (Titulo H – Estudios geotécnicos.

Rodríguez Díaz, H. A. (2010). Hidráulica Fluvial Fundamentos y Aplicaciones Socavación. Bogotá-Colombia. Editorial Escuela colombiana de Ingeniería, 6.

Royero, G. J. M., & Clavijo, J. (2001). Mapa Geológico generalizado departamento de Santander. Bogotá: Ingeominas.

Royero, J. M. (1994). Geología de la Plancha 65, Tamalameque (Departamentos del Cesar y Bolívar). Memoria Explicativa. Bucaramanga. INGEOMINAS. 53p.

Secretaría de planeación Departamento de Santander y Grupo de investigación sobre desarrollo regional y Ordenamiento Territorial GIDROT de la Universidad industrial de Santander. (2011) Diagnostico dimensión biofísico ambiental territorial de Santander, Tomo1.

Servicio Geológico Colombiano SGC, (2013). Estandarización de unidades geomorfológicas de ambiente estructural, fluvial y denudacional.

Vargas, G., y Niño, A. 1992. Patrones de fracturamiento asociados a la Falla Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Tesis, 95p.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, J., y Restrepo, H. 1973. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. Boletín Geológico, INGEOMINAS, 21 (1- 3): 1-32.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico XXI (1-3): 1-132.

Zoya Zarifi, Jens Havskov and Andrzej Hanyga, In revision in Tectonophysics, (2006). An insight into the Bucaramanga nest, Paper 2.