

**ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL  
SECTOR NOROCCIDENTAL DEL CERRO LA CANTERA EN EL MUNICIPIO  
DE PIEDECUESTA SANTANDER UTILIZANDO LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA DEL SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (SGC)**

**BARBARA MARIA JAIMES SANDOVAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2016**

**ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL  
SECTOR NOROCCIDENTAL DEL CERRO LA CANTERA EN EL MUNICIPIO  
DE PIEDECUESTA SANTANDER UTILIZANDO LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR  
MOVIMIENTOS EN MASA DEL SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (SGC)**

**BARBARA MARIA JAIMES SANDOVAL**

**Proyecto de grado para optar al título de Geóloga**

**DIRECTOR:**

**LUIS EDUARDO MORENO TORRES**

**Ingeniero Civil**

**COORDIRECTORES:**

**WILLIAM EDUARDO CORTÉS PEÑA**

**Ingeniero Civil**

**JOHN JAIRO BAEZ LIZARAZO**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2016**

## DEDICATORIA

*A Dios todopoderoso y a la Santísima Virgen María por la vida y mi familia.*

*A mi papi Álvaro gracias por creer en mí, apoyarme y acompañarme desde el momento en que empecé este tour y como el ciclista después de ascensos y descensos ya hemos llegado a la meta.*

*A mi mami Nubia Stella gracias por la compañía, ayuda, risas y el amor que desde siempre me ha brindado, lo logramos linda madre eres la mejor.*

*Aura Cristina que alegría que hayas escogido este lindo camino mi futura geóloga.*

*Juan Ferney y Eric René desde siempre los vi grandes y quise imitarlos y hoy voy siguiéndoles los pasos.*

*A mis tíos Víctor Julio, Olga, Jaqueline (Q.E.P.D) y Mariela su cariño es mi gran tesoro.*

*A Paucelina Rincón el confort, cariño, consejo y apoyo brindados no tiene precio gracias por tanto.*

*A Olguer Iván mi gran amor por lo compartido y lo que nos falta por vivir.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Industrial de Santander UIS por darme la oportunidad de formarme profesionalmente con valores éticos.*

*Al Área Metropolitana de Bucaramanga AMB por la información suministrada para el desarrollo de este proyecto.*

*Al Director de este proyecto Ing. Luis Eduardo Moreno por la guía en la recta final.*

*Al Geólogo Diego Yonatán Hernández por compartir su experiencia profesional, sus enseñanzas y colaboración en el desarrollo de este proyecto estaré siempre agradecida.*

*A los Geólogos Jorge Duarte y Gerardo Ríos por la ayuda en el momento indicado.*

*A los docentes de la Escuela de Geología por las lecciones que llevare siempre.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	22
1.1 JUSTIFICACION	23
1.2 OBJETIVOS	24
1.2.1 Objetivo General	24
1.2.2 Objetivos Específicos	24
1.3 METODOLOGIA	24
1.3.1 Fase I. Recopilación de Información Bibliográfica y Elaboración de un Cronograma de Trabajo	25
1.3.2 Fase II. Reconocimiento de la Zona de Estudio y recolección de datos	25
1.3.3 Fase III. Selección de Información Estructural y análisis de datos	26
1.3.4 Fase IV. Análisis de resultados	26
1.3.5 Fase V. Edición del Informe Final.	27
1.4 CRONOGRAMA	27
2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	28
2.1 LOCALIZACIÓN	28
2.2 FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
2.3 CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
3. GEOLOGIA DE LA ZONA	31

3.1 GEOLOGIA REGIONAL	31
3.1.1 Sistema de Fallas Bucaramanga - Santa Marta	31
3.1.2 Sistema de Fallas del Suarez	32
3.2 UNIDADES GEOLOGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	33
3.2.1 Jj. Formación Jordán	33
3.2.2 Suelo Residual (SrJg).	35
3.2.3 Formación Girón. (Jg).	36
3.2.4 Suelo Residual (SrJg).	37
3.2.5 Depósito Coluvial (Dco).	38
3.2.6 Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci).	40
3.2.7 Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Sla).	41
3.3 RESULTADOS ENSAYOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR CRÍTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO A LA ALTURA DEL BARRIO BARILOCHE II ETAPA.	42
3.4 GEOMORFOLOGÍA	48
3.4.1 Morfometria del área de estudio	48
3.4.2 Elementos geomorfológicos	50
3.4.2.1 Laderas Subhorizontales	52
3.4.2.2 Laderas Moderadamente Inclınadas	52
3.4.2.3 Laderas Inclınadas	53
3.4.2.4 Laderas Muy Inclınadas	54
3.4.2.5 Depósitos De Movimientos En Masa	54
4. ASPECTOS INFLUYENTES	57
4.1 MOVIMIENTOS EN MASA.	57

4.1.1.1 Deslizamientos	58
4.1.1.2 Deslizamientos rotacionales (Slumps): S	59
4.1.1.3 Deslizamientos traslacionales	61
4.1.1.4 Deslizamientos de bloques (block slides):	61
4.1.1.5 Los deslizamientos rocosos (rock slides):	62
4.1.1.6 Deslizamientos de detritos (debris slide):	62
4.1.1.7 Coladas de barro	63
4.2 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	64
4.3 ESTRUCTURAS DISCONTINUAS	69
4.3.1 Fallas	69
4.3.2 Diaclasas	70
4.3.3 Meteorización	70
4.4 ANALISIS GEOMECANICO	71
4.4.1 Concepto de macizo rocoso Maciz	74
4.4.2 Clasificación de macizos rocosos	74
4.4.3 Martillo Schmidt	75
4.4.4 Cálculo del RQD teórico	75
4.4.5 Cálculo de la Resistencia a partir del Martillo Schmidt y la densidad de la muestra	76
4.4.6 Clasificación de Bieniawski (R.M.R.)	76
4.4.7 Índice SMR	77
4.5 TIPO DE FALLAS EN TALUDES ROCOSOS.	78
4.5.1 falla por rotura planar	78

4.5.2 Falla por rotura en cuña.	80
4.5.3 Falla por rotura con vuelco o volcamiento.	80
4.6 ANALISIS ENSAYOS DE LABORATORIO - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA EN EL SECTOR CRÍTICO UBICADO A LA ALTURA DEL BARRIO BARILOCHE II ETAPA.	81
4.6.1 Caracterización geomecánica de rocas	81
4.6.2 Caracterización geomecánica de depósitos de suelo	83
4.6.3 Parámetros Para Análisis Pseudo-Estático de Taludes	89
4.6.4 Evaluación de amenaza por movimientos en masa	91
4.6.5 Evaluación de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite	93
4.6.5.1 Escenario 1: Condición estático parcialmente saturado	94
4.6.5.2 Escenario 2: Condición pseudo – estático parcialmente saturado	95
4.7 RESULTADOS ANÁLISIS GEOMECANICO	96
4.7.1.1 Afloramiento No. 1	96
4.7.1.2 Afloramiento No. 2	98
4.7.2 Determinación del tipo de fallamiento a partir del modelado en DIPS	100
4.7.3 Tablas de resultados: Rebotes, RQD, RMR y SMR	101
4.7.4 Software Win-Tensor.	107
4.7.4.1 Análisis de esfuerzos en Win_Tensor	108
5. CONCLUSIONES	111
6. RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFIA	115

## LISTGA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización del Municipio de Piedecuesta en donde se encuentra el área del presente estudio, ubicado en el municipio de Piedecuesta	28
Figura 2. Panorámica de localización del área de estudio.	29
Figura 3. Localización del área de estudio en el Mapa Geológico Regional a escala 1:25.000.	31
Figura 4. Afloramiento correspondiente a la Formación Jordán en el Barrio La Cantera, se aprecian las intercalaciones de limolitas y areniscas de tamaño de grano fino a muy fino, la muestra de mano ubicada en la parte inferior derecha corresponde a una arenita de grano fina con planos de recristalización de cuarzo y moscovita.	34
Figura 5. Suelo residual de la Formación Jordán (SrJj), con una coloración pardo rojiza y presencia de areniscas de grano fino a muy fino.	35
Figura 6. Afloramiento correspondiente a la Formación Girón a pocos metros del Barrio Bariloche II Etapa, areniscas de tamaño fino a grueso con un alto grado de fracturamiento y meteorización.	37
Figura 7. Suelo residual de la Formación Girón (SrJg), con una coloración pardo rojiza y presencia de fragmentos gravosos, y areniscas de grano fino a grueso.	38
Figura 8. Deposito Coluvial, bloques con fragmentos de rocas ígneos subangulares a angulares embebidos en una matriz lodosoportada parda y ocre.	39
Figura 9. Suelo transportado coluvial inactivo (Stci), con presencia de bloques, cantos, gravas pertenecientes a la Formación Girón.	40
Figura 10. Suelo de relleno, vía que comunica al Barrio Bariloche II Etapa con el Monumento a La Virgen.	41

Figura 11. Distribución de los trabajos geofísicos realizados en el sector estudiado del barrio Bariloche II Etapa.	43
Figura 12. Interpretación de resultados de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) realizada en Bariloche II Etapa. 2	44
Figura 13. Correlación de la TRE y los datos de las perforaciones.	44
Figura 14. Mapa Geológico del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.	45
Figura 15. Corte Geológico del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.	46
Figura 16. Columna Estratigráfica del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.	46
Figura 17. Mapa de Unidades Geológicas para la Ingeniería UGI del área de estudio.	47
Figura 18. a) Mapa de pendientes del área de estudio.. b) Mapa de Pendientes en sector crítico en Barrio Bariloche II Etapa.	49
Figura 19. Caracterización de elementos geomorfológicos según su origen. En el recuadro rojo se encuentran los de tipo denudacional que corresponden a los elementos geomorfológicos que moldean el Cerro de La Cantera en el área de estudio.	51
Figura 20. Ladera Subhorizontal ubicada en los tanques de agua pocos metros arriba del Barrio Bariloche II Etapa.	52
Figura 21. Laderas Moderadamente Inclinas.	53
Figura 22. Laderas Inclinas.	53
Figura 23. Laderas Muy Inclinas.	54
Figura 24. Depósito de Movimientos en Masa ubicado a la altura del Barrio Bariloche II Etapa.	55
Figura 25. Mapa Geomorfológico del área de Estudio.	56
Figura 26. Principales tipos de movimientos en masa, según la clasificación de Varnes (1958).	58

Figura 27. Principales características de un deslizamiento rotacional con flujo (slump-earthflow). Nota: H es la distancia horizontal y V es la distancia vertical en las distintas partes del deslizamiento.	61
Figura 28. Cobertura y Uso del Suelo en el área de estudio según la Metodología de Corine Land Cover adaptada IDEAM 2003.	67
Figura 29. Modelo de Susceptibilidad de Movimientos en Masa en el área de estudio, nótese el grado alto de susceptibilidad en el Barrio Bariloche II Etapa.	68
Figura 30. Tipos de fracturas según Anderson. Modo I: Abertura, Modo II: Deslizamiento, Modo III: Desgarramiento. Las fallas son grietas del modo II o III, mientras que las diaclasas son grietas del modo I.	69
Figura 31. Ecuación para calcular el valor de RQD.	75
Figura 32. Ábaco utilizado para realizar la resistencia uniaxial a compresión, determinada tomando como punto de partida los rebotes registrados en el martillo con su respectiva inclinación, se determina la densidad de la muestra en el laboratorio para luego realizar la intersección con los datos del martillo obteniendo así la resistencia uniaxial a compresión.	76
Figura 33. Ecuación para encontrar el valor del R.M.R.	77
Figura 34. <i>Clasificación de los valores del R.M.R.</i>	77
Figura 35. Ecuación para calcular el índice SMR.	77
Figura 36. Donde ad y as son los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud respectivamente.	78
Figura 37. Donde bd es el buzamiento de la discontinuidad. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.	78
Figura 38. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes por rotura planar. a). Representación bidimensional de falla por rotura planar. b). Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura planar. Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos (HERRERA R).	79
Figura 39. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes. Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura en cuña. Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos (HERRERA R).	80

Figura 40. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes. Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura con vuelco.	81
Figura 41. Valores de cohesión y fricción del macizo rocoso mediante las expresiones de Hoek y Brown, GSI=50.	83
Figura 42. Correlación entre N1, $\phi$ y ángulo de fricción.	85
Figura 43. Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios que conforman el Departamento de Santander. Se resaltan los valores asignados al Municipio de Piedecuesta.	87
Figura 44. Clasificación de los perfiles de suelo, C.	88
Figura 45. Coeficiente de amplificación Fa y Fv del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.	88
Figura 46. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.	90
Figura 47. Valores de $K_{st}/a_{max}$ mínimos para análisis pseudo-estatico de taludes.	91
Figura 48. Análisis de estabilidad para la condición estática parcialmente saturada con amenaza media, en la Figura 013 muestra el Mapa Geológico en donde se ubica el Corte Geológico A-Á.	94
Figura 49. Análisis de estabilidad para condición Pseudo-estático parcialmente saturado con amenaza alta, en la Figura 013 muestra el Mapa Geológico en donde se ubica el Corte Geológico A-Á.	95
Figura 50. Panorámica del macizo rocoso en donde se delimitan cada una de las zonas trabajadas para el Afloramiento No. 1.	96
Figura 51. Panorámica del macizo rocoso en donde se delimitan cada una de las zonas trabajadas para el Afloramiento No. 2.	98
Figura 52. a. Estéreoconet con el mapa de densidad de polos en donde se identifica falla por vuelco. b. Diagrama dirección del Talud vs Planos de Estratificación c. Diagrama principales familias de diaclasas. Elaborada en Dips.	100
Figura 53. a. Estéreoconet con el mapa de densidad de polos en donde se i dentifica falla por rotura planar. b. Diagrama dirección del Talud vs Planos de	

Estratificación c. Diagrama principales familias de diaclasas. Elaborada en Dips.	100
Figura 54. Dirección del Talud vs Dirección de las diaclasas modelado en Dips Para el Afloramiento No. 1.	102
Figura 55. Dirección del Talud vs Dirección de las diaclasas modelado en Dips Para el Afloramiento No. 2.	105
Figura 56. a. Datos estructurales en Estéreonet en él se muestran los planos y sus respectivos polos. b. Diagrama de Rosetas, se evidencian los 13 rumbos de los planos obtenidos en campo de las 3 familias de Diaclasas. c. Diagrama de Rosetas en Win-Tensor, donde se evidencian los 13 buzamientos de los planos de las 3 familias de Diaclasas. d. Circulo de MOHR. e. Dirección de los esfuerzos principales.	108
Figura 57. a. Datos estructurales en Estéreonet en él se muestran los planos y sus respectivos polos. b. Diagrama de Rosetas, se evidencian los 17 rumbos de los planos obtenidos en campo de las 3 familias de Diaclasas. c. Diagrama de Rosetas en Win-Tensor, donde se evidencian los 17 buzamientos de los planos de las 3 familias de Diaclasas. d. Circulo de MOHR. e. Dirección de los esfuerzos principales.	109
Figura 58. Ubicación y calificación de la calidad de los macizos rocosos trabajados.	110

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
Tabla 1. Cronograma de Actividades.	27
Tabla 2. Rangos de pendientes usados para la generación del Mapa de Geomorfología.	48
Tabla 3. Esquema de los criterios y las ponderaciones utilizados para generar el modelo multicriterio de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.	64
Tabla 4. Ponderación Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio.	65
Tabla 5. Ponderación Elementos Geomorfológicos del área de estudio.	65
Tabla 6. Ponderación Usos del Suelo del área de estudio.	65
Tabla 7. Descripción del grado de meteorización para los macizos rocosos.	71
Tabla 8. Ensayos de laboratorio a realizarse.	73
Tabla 9. Valores de resistencia a la compresión para Roca de la Formación Girón (RJg).	82
Tabla 10. Parámetros de resistencia de la Roca.	82
Tabla 11. Resumen de las propiedades de las UGS.	86
Tabla 12. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición estática	92
Tabla 13. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición pseudo-estática.	92
Tabla 14. Caracterización de Macizo Rcoso para el Afloramiento No. 1.	97
Tabla 15. Caracterización de Macizo Rcoso para el Afloramiento No. 2.	99
Tabla 16. Datos de los rebotes obtenidos con el Martillo Schmidt, densidad y resistencia de la roca para el Afloramiento No. 1 .	101
Tabla 17. Calculo del RQD para el Afloramiento No. 1 que indica la Buena calidad de sus rocas.	102
Tabla 18. Calculo del RMR para el Afloramiento No. 1.	103

Tabla 19. Calculo del SMR para el Afloramiento No. 1.	103
Tabla 20. Datos de los rebotes obtenidos con el Martillo Schmidt, densidad y resistencia de la roca para el Afloramiento No. 2 .	104
Tabla 21. Calculo del RQD para el Afloramiento No. 2 que indica la Buena calidad de sus rocas.	105
Tabla 22. Calculo del RMR para el Afloramiento No. 2.	106
Tabla 23. Calculo del SMR para el Afloramiento No. 2.	107
Tabla 24. Clasificación RQD, RMR y SMR para cada uno de los afloramientos trabajados son su respectiva calificación.	110

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Exploración básica del subsuelo y ensayos de laboratorio en el Barrio Bariloche II Etapa.

Anexo B. Inventario de Movimientos en Masa SIMMA.

Anexo C. Caracterización de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) – Unidades Geológicas Para La Ingeniería (UGI).

Anexo D. Caracterización de Elementos Geomorfológicos.

Anexo E. Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos En Masa Del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Anexo F. Tutorial Software Libre Win-Tensor

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR NOROCCIDENTAL DEL CERRO LA CANTERA EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA SANTANDER UTILIZANDO GUÍA METODOLÓGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO (SGC).\*

**AUTOR:** BÁRBARA MARÍA JAIMES SANDOVAL\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Susceptibilidad, Movimientos en Masa, talud, Estabilidad de Taludes.

### CONTENIDO:

El presente proyecto de grado tiene la modalidad de trabajo de investigación, ostenta por finalidad realizar un estudio de la susceptibilidad de movimientos en masa que se puedan presentar en el sector noroccidental del Cerro de La Cantera en el Municipio de Piedecuesta – Santander. Con base a este análisis se determinará si es necesario realizar un estudio de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) en el área de estudio.

Para realizar una correcta evaluación de la problemática en la zona se ha hecho una recopilación de la información bibliográfica, geológica, geomorfológica, de uso de suelo y topográfica la cual sirvió para la elaboración de los insumos para realizar el modelo de susceptibilidad alto, medio y bajo de movimientos en masa. Así mismo se realizó el análisis geomecánico de los macizos rocosos encontrados a partir de los datos estructurales de diaclasamiento y ensayos básicos de la mecánica de roca con el Martillo Schmidt.

Los movimientos de masa identificados corresponden movimientos reactivados con estilos múltiples de distribución creciente conformados por las unidades geológicas superficiales de Depósito Coluvial y Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci), suprayacen las rocas fisuradas, agrietadas e intermedias de la Formación Girón (RiJg). Son desplazamientos de tipo traslacionales provocados principalmente por la lluvia que satura el suelo.

Una vez concluido los análisis de susceptibilidad y geomecánico de las problemáticas con las que cuenta el sector se propone un análisis que en forma de recomendaciones plantea las posibles alternativas de solución así como obras de interceptación para disminuir la pendiente del talud, mejoramiento del uso del suelo en algunos sectores y control de aguas pluviales..

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Geología- Director: Luis Eduardo Moreno, Coodirectores: William Eduardo Cortés Peña, John Jairo Baez Lizarazo

## ABSTRACT

**TITLE:** SUSCEPTIBILITY OF MASS MOVEMENTS IN THE SIDE NORTHWEST OF CERRO LA CANTERA AT PIEDECUESTA MUNICIPALITY SANTANDER USING THE METHODOLOGY FOR THE STUDY GUIDE THREAT, VULNERABILITY AND RISK FOR MASS MOVEMENTS OF COLOMBIAN GEOLOGICAL SURVEY (SGC).\*

**AUTHOR:** BARBARA MARIA JAIMES SANDOVAL \*\*

**KEYWORDS:** Susceptibility, Mass Movements, Slope, Slope Stability.

### CONTENT:

This graduation project has a form of research; it aims to do a susceptibility study of mass movements that will be on the side northwest of Cerro La Cantera at Piedecuesta Municipality – Santander. Based on this analysis determined if is necessary to do a threat, vulnerability and risk for mass movements study in the study area.

To make a correct evaluation the problem in the study zone it has become a collection of bibliographic information: geological, geomorphological, land use and topographical which server for the preparation of inputs for the model susceptibility high, medium and low mass movements. Also the geomechanical analysis of rock masses found from structural data of jointing and basic test of rock mechanics with Schmidt Hammer was performed.

The mass movements identified are movements reactivated with multiple styles of increasing distribution formed by surface geological units and Soil Deposit Coluvial Transported Coluvial Inactive ( Stci ), overlie fissured rocks, cracked and middle of the (RiJg) Giron Formation. Translational displacement type are caused mainly by the rain that saturates the ground.

Once susceptibility testing and geomechanical problems in the study sector was concluded proposed possible alternative solutions as well as works interception to decrees the inclination of slope, improving the land use on some sectors and stormwater control.

---

\* Draft Grade

\*\* Faculty of Engineering Physicochemical, School Geology. Director: Luis Eduardo Moreno, Coodirectores: William Eduardo Cortés Peña, John Jairo Baez Lizarazo

## INTRODUCCION

El aumento de la población del Área Metropolitana de Bucaramanga que hoy en día ya ha superado el millón de habitantes ha generado la necesidad de expandir los terrenos destinados a la urbanización. Se han desarrollado proyectos de vivienda en lugares donde es indispensable realizar obras de mitigación para mitigar y controlar riesgos latentes asociados a los procesos por movimientos en masa.

La parte noroccidental del Cerro de La Canteras en el Municipio de Piedecuesta se encuentra urbanizada por los barrios Chacarita, Buenos Aires, La Canteras, La Feria, Villas del Rosario, Bariloche I y II Etapa. Los cortes realizados al Cerro para el desarrollo urbanístico en el Cerro de La Canteras han aumentado el grado de la pendiente de las laderas que lo conforman produciendo procesos de movimientos en masa en especial a la altura del Barrio Bariloche II Etapa lo cual genera la necesidad de realizar análisis de estabilidad a los materiales geológicos que colindan con él y así determinar las medidas correctivas a ejecutarse mediante un análisis de Susceptibilidad de Movimientos en Masa mediante el análisis de las unidades geológicas, elementos geomorfológicos y usos del suelo para generar un modelo que evidencie el estado actual del Cerro de la canteras frente a ellos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los taludes rocosos que conforman el Cerro de La Cantera al Sureste del casco urbano del Municipio de Piedecuesta-Santander han sido expuestos a las condiciones superficiales por la realización de senderos peatonales para el acceso de turistas al mismo.

En el área de estudio existen fenómenos geodinámicos externos, productos de factores climáticos, litológicos y tectónicos, así como procesos morfodinámicos erosivos de movimientos en masas que afectan directamente a los habitantes de los barrios ubicados en la base o a pocos metros del Cerro de La Cantera.

La amenaza por fenómenos de remoción en masa y los elementos expuestos (población del sector, líneas vitales de servicios públicos, bienes públicos y privados, entre otros), permiten presumir que el sector es una zona con un riesgo potencialmente alto, donde un evento puede causar pérdidas humanas y materiales considerables.

El desarrollo del proyecto se basa en el estudio de susceptibilidad de los materiales y comportamiento mecánico de los taludes rocosos del Cerro de La Cantera, interconectando las ramas de la geomorfología y geotecnia para interpretar y entender el comportamiento del mismo por medio de la caracterización de los materiales y la idealización de su conformación y comportamiento a través de herramientas computacionales.

## 1.1 JUSTIFICACION

Los desastres ocurren en todo el mundo, pero sus repercusiones económicas, sociales y ambientales han ido en aumento, siendo generalmente mucho mayores en los países en desarrollo. Los desastres pueden eclipsar años de inversión para el desarrollo de los países, pero a su vez, las causas del riesgo pueden estar arraigadas en errores y problemas de los mismos procesos de desarrollo. (The World Bank, 2006).

En Colombia, las condiciones topográficas forman un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, situación que se acentúa con los procesos antrópicos que se desarrollan en las zonas montañosas. (Banco Mundial Colombia, 2012). Los Movimientos en Masa son la mayor fuente de desastres en Colombia afectando principalmente poblaciones y obras de infraestructura generando pérdidas humanas y económicas de valor considerable. El Municipio de Piedecuesta presenta estos problemas gracias a las acciones antrópicas y de la naturaleza. En el sector a estudiar se cuenta con construcciones en áreas de suelos residuales mal drenados con un nivel freático alto, con fuertes pendientes, en materiales incompetentes que gracias a la humedad causada por las precipitaciones fluyen ocasionando el desprendimiento y transporte de materiales que se asientan sobre la periferia de dicha área. Por ello es de suma importancia determinar la susceptibilidad del suelo que puede aumentar la probabilidad de ocurrencia de fenómenos y eventos catastróficos. Se pretende con el desarrollo de este estudio, reconocer la magnitud e intensidad con que ocurren procesos morfodinámicos identificados en el área de trabajo determinando el grado y la distribución de la susceptibilidad de fenómenos de movimientos en masa en el área. Esto servirá para aumentar el conocimiento geológico en beneficio de la comunidad residente y aledaña a la zona de estudio.

## **1.2 OBJETIVOS**

**1.2.1 Objetivo General** Identificar las condiciones de susceptibilidad por procesos de movimientos en masa que se están presentando en la zona de estudio utilizando la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (SGC)”.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la Cobertura y Uso del Suelo en el Cerro de La Cantera según Core Land Cover adaptada IDEAM 2003 a escala 1:2000.
- Caracterizar las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) en el Cerro de La Cantera a escala 1:2000.
- Identificar los elementos geomorfológicos que conforman el Cerro de La Cantera a escala 1:2000.
- Realizar exploración básica del subsuelo y ensayos de laboratorio en el sector nororiental del Cerro de La Cantera.
- Realizar un inventario de Movimientos en Masa SIMMA en el Cerro de La Cantera.

## **1.3 METODOLOGIA**

Para la realización de manera efectiva de este proyecto se va a tener en cuenta la siguiente metodología, la cual se va a dividir en fases para su mayor definición:

**1.3.1 Fase I. Recopilación de Información Bibliográfica y Elaboración de un Cronograma de Trabajo:** Recopilación bibliográfica de artículos y estudios previos relacionados con el objetivo de la investigación, así como consulta de mapas y estudios geotécnicos y geológicos realizados con anterioridad en la zona; Dichos recursos bibliográficos serán tomados de las bases de datos de la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, INGEOMINAS, Área metropolitana de Bucaramanga y artículos publicados por sociedad de ingeniería Colombiana; adicionalmente el director del proyecto otorgará bibliografía de apoyo para al estudio.

**1.3.2 Fase II. Reconocimiento de la Zona de Estudio y recolección de datos:** Se llevó a cabo la visita a la zona de estudio, para el reconocimiento de la zona y la delimitación de los macizos rocosos a los cuales se les efectuaran los análisis geo mecánico, así mismo se asignaran las zonas en donde se realizaran los sondeos y apiques en donde se tomaran las muestras para los ensayos de laboratorio.

Posteriormente se efectuara la toma de datos, los cuales se dividen en tres etapas:

- Toma de datos estructurales usando la brújula Brunton: rumbo y buzamiento de; estratos, dirección del talud, diaclasas, fallas y venas.
- Medición de las estructura del Macizo rocoso: espaciado, continuidad, abertura, rugosidad, relleno, resistencia, grado de meteorización entre otras, de las familias de diaclasas presentes.
- Medición de la resistencia del macizo rocoso por métodos de campo o directos.

- Toma de datos para el Inventario de Movimientos en Masa, Geología, Geomorfología entre otros.

**1.3.3 Fase III. Selección de Información Estructural y análisis de datos:** Se procesan los datos de campo tomados previamente en la fase 2:

- Con la información de unidades geológicas y geomorfológicas se realizó el Mapa de Unidades Geológicas para la Ingeniería, el Mapa de Elementos geomorfológicos y el inventario de Movimientos en Masa usando los Software Argis 10.1 y Desktop – AutoCAD Civil 3D (versión para estudiantes) se elaboran los análisis geotécnicos en el sector crítico del área de estudio.
- Usando los resultados de los ensayos de laboratorio se realizará el análisis de la susceptibilidad de los materiales en el sector crítico.
- Usando las mediciones sistemáticas de las estructuras presentes, su resistencia y la presencia de agua, para caracterizar geotécnicamente los macizos rocosos. Posteriormente, se realiza un análisis de esfuerzos estructurales a nivel local usando diagramas estereográficos mediante los software programa Stereonet y Win Tensor (softwares de uso Libre) para definir la dirección de los esfuerzos principales y patrones de fracturamiento que han influido en el cuerpo rocoso.

**1.3.4 Fase IV. Análisis de resultados.** Para esta etapa:

- Se realizaron cada uno de los insumos para generar el modelo de Susceptibilidad de Movimientos en Masa en el área de estudio.
- Se calificará de manera cuantitativa el comportamiento geotécnico de los macizos rocosos, basándose en los estudio geológicos y geotécnicos previos,

y en la clasificación geomecánica RMR (propuesta por Bieniawski, 1989) y SRC (Vallejo, 1985).

**1.3.5 Fase V. Edición del Informe Final.** Edición y digitación del documento final del trabajo de investigación a partir de la interpretación; procesamiento y resultados obtenidos.

#### 1.4 CRONOGRAMA

A continuación se presenta la distribución temporal de cada una de las etapas definidas en el ítem anterior.

**Tabla 1. Cronograma de Actividades.**

FASES	1 Mes				2 Mes				3 Mes				4 Mes				5 Mes			
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1	■	■	■																	
Fase 2				■	■	■	■													
Fase 3								■	■	■	■	■								
Fase 4													■	■	■	■				
Fase 5																	■	■	■	■

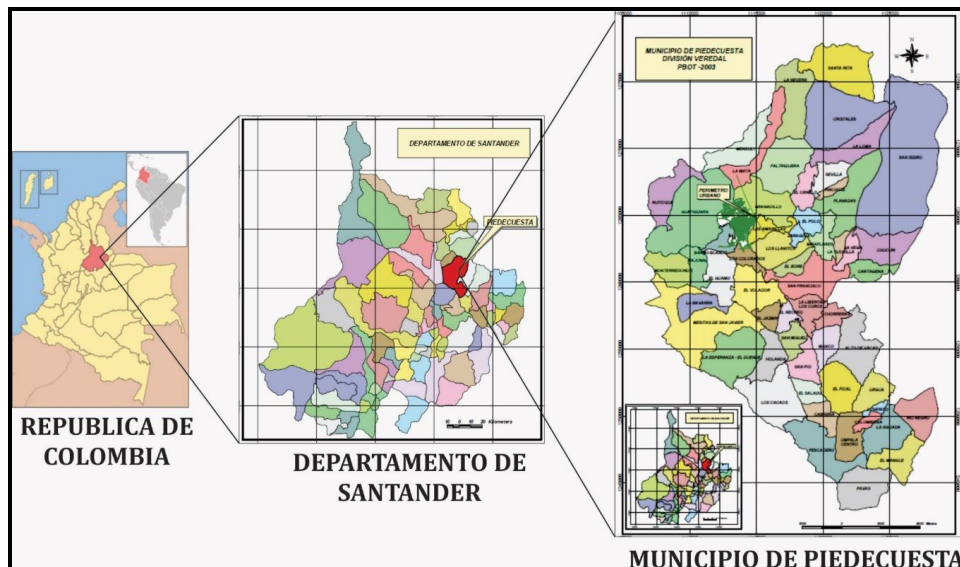
## 2. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra localizada entre las coordenadas planas  $X_0:1'112.098 - Y_0:1'264.797$  hasta  $X:1'113.032 - Y:1'263.900$  al Sureste del Casco Urbano del Municipio de Piedecuesta en el Cerro de la Cantera, al lado derecho de la carretera Piedecuesta-Guatiguara, frente a los Barrios Bariloche donde se encuentra el sector crítico a trabajar, Chacarita, Buenos Aires, La Cantera, La Feria y Villas del Rosario.

Geologicamente se encuentra localizado en una zona de influencia del sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta.

**Figura 1. Localización del Municipio de Piedecuesta en donde se encuentra el área del presente estudio, ubicado en el municipio de Piedecuesta**



Fuente: Tomado y Modificado de Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de Piedecuesta 2003.

Figura 2. Panorámica de localización del área de estudio.



CONVENCIONES	
	Sector Crítico
	Área de trabajo

Fuente: Adaptado de IGAC (2008).

## 2.2 FISIOGRAFIA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Piedecuesta está localizado en la parte Norte de la Cordillera Oriental; en su área se pueden distinguir tres unidades morfoestructurales separadas por una estructura de fallamiento regional que limita una cuenca de

depositación intramontaña; la primera morfoestructura se encuentra localizada en el sector oeste y sur del área municipal y corresponde a una zona de Mesas y escarpes (Mesa de Los Santos y Mesa de Ruitoque), la segunda morfoestructura ubicada al sur, este y noreste del área municipal corresponde al sistema montañoso del flanco oeste del Macizo de Santander ; al situarse en la parte alta de cualquiera de las dos anteriores se puede ver una tercera correspondiente a una depresión entre éstas correspondiente al valle de Menzulí, Guatiguará, río de Oro, Quebradagrande un sector triangular deprimido y linear en sus extremos entre Floridablanca y los Curos que entra en contacto con la zona del Macizo de montañoso por la Falla de Bucaramanga. (PBOT Piedecuesta, 2003).

### **2.3 CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

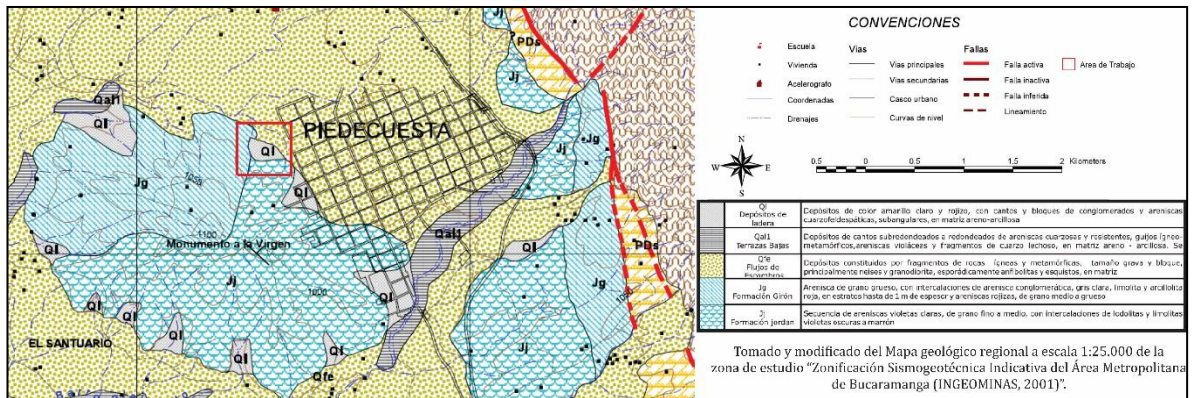
La diversidad climática en cuanto a precipitación, temperatura y humedad se distribuye en clima cálido y seco en las cuencas bajas de los ríos Manco, Umpalá, Oro y en el Cañón del Chicamocha, clima templado húmedo a muy húmedo en las laderas del Macizo de Santander correspondiente a las microcuencas medias de las principales corrientes y a la Mesa de Jeridas y parte alta de las micro cuencas respectivamente, hasta clima frío y de páramo en los nacimientos de las principales corrientes hacia el páramo de Berlín. Dentro de las riquezas del municipio, se encuentra la cantidad y calidad de recursos Hídricos, diversidad de pisos térmicos condición que le confiere temperaturas variadas acordes a los mismos, con mínimas desde los 19° C. (PBOT Piedecuesta, 2003).

### 3. GEOLOGIA DE LA ZONA

#### 3.1 GEOLOGIA REGIONAL

La geología regional que comprende la zona de estudio está constituida por unidades geológicas de edades que van desde el Precámbrico hasta el Cuaternario y corresponden a rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como depósitos recientes que están sujetos al fuerte control estructural ejercidos por el Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y la Falla de Suárez principalmente.

**Figura 3. Localización del área de estudio en el Mapa Geológico Regional a escala 1:25.000.**



Fuente: Tomado y modificado de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga (INGEOMINAS, 2001).

**3.1.1 Sistema de Fallas Bucaramanga - Santa Marta:** Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (CAMPBELL, 1965; LEON, 1991;

VARGAS y NIÑO 1992; CLAVIJO, et al., 1993; CLAVIJO, 1994), 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, (Julivert, 1958, 1961), (Ward, 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).

**3.1.2 Sistema de Fallas del Suarez:** Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 km desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga-Santa Marta 5 km al norte de la capital santandereana; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Río de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. París y Sarria (1988) calculan una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2.300 m (WARD, et al., 1973). La Falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la Formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidas. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las rocas hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios (JULIVERT, 1963). Esta falla a lo largo de su trayecto afecta rocas jurásicas y cretácicas, principalmente de las formaciones Jordán, Girón, Los Santos (Tambor), Rosa Blanca, Paja y cerca de su terminación en la Falla Bucaramanga-Santa Marta, afecta rocas del Paleozoico como son las formaciones Floresta y Diamante. Existen evidencias de campo que indican actividad tectónica reciente para esta falla (JULIVERT, 1963; WARD, et al., 1973; PARIS y SARRIA, 1988).

Las dos fallas mencionadas anteriormente tienen gran influencia en el control estructural del área de estudio lo cual es evidenciado en el fracturamiento y

diaclasamiento de los macizos rocosos encontrados e influyen en la generación de los elementos geomorfológicos identificados. Adicionalmente se les realizó un análisis geomecánico de estabilidad y mediante el Software Libre Win-Tensor se determinó los principales tipos de esfuerzos que estos presentan.

## **3.2 UNIDADES GEOLOGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **VER ANEXO C**

**3.2.1 Jj. Formación Jordán.** En el área de estudio en el Barrio La Cantera donde inician las escaleras para ascender al Monumento a La Virgen al margen derecho afloran con un alto grado de meteorización capas delgadas de limolitas, capas medianas y gruesas de areniscas con tamaños de grano que varían de fino a muy fino con planos entre 1-3mm rellenos de recristalización cuarzo y moscovita. Tienen un grado fracturamiento muy alto y diaclasamiento que posiblemente este asociado a la influencia del control estructural ejercido por la Falla Bucaramanga - Santa Marta

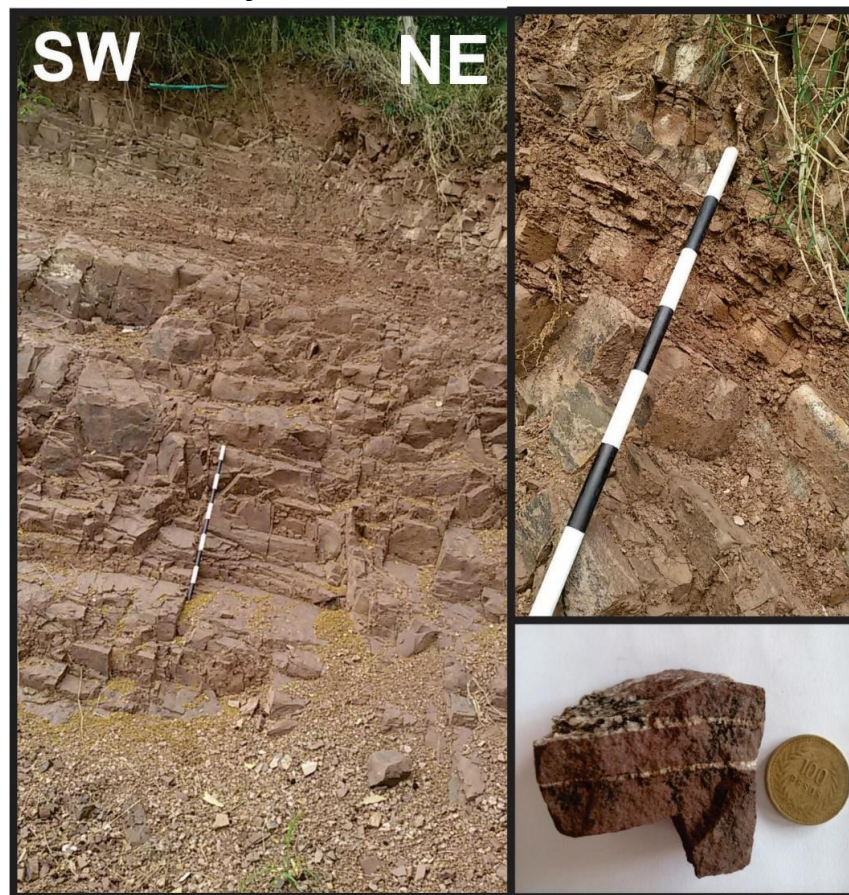
Cediel (1968), reconoció dos conjuntos litológicos divididos por una zona de transición de 10 metros de espesor, con base en una columna estratigráfica levantada al sur-oeste del pueblo de Los Santos en el camino El roto. El conjunto superior es de 200 metros de espesor y está formado por limolitas de color marrón rojizo y areniscas de grano muy fino y el conjunto inferior es de 100 metros y está compuesta por areniscas de grano grueso gris verdoso. Al Norte se encuentra un extenso afloramiento de esta formación, en la vereda la Purnia sobre la Quebrada Seca.

La formación Jordán consta de limolitas de color marrón rojizo y arenisca de grano muy fino, bien estratificada y areniscas de grano grueso, gris verdoso en capas de

hasta 1 metro de espesor, con ciertos niveles conglomeráticos hacia la base. El contacto inferior con la formación Silgará y el superior con la formación Girón son discordantes.

Se le asigna una edad Jurásica Inferior, basada en los conglomerados inferiores en el área de Piedecuesta, los cuales contienen guijos de la fase porfírica del granito de Pescadero, del cual se obtuvo por datación radiométrica de  $193 \pm 6$  millones de años (Ward et al, 1973).

**Figura 4. Afloramiento correspondiente a la Formación Jordán en el Barrio La Cantera, se aprecian las intercalaciones de limolitas y areniscas de tamaño de grano fino a muy fino, la muestra de mano ubicada en la parte inferior derecha corresponde a una arenita de grano fino con planos de recristalización de cuarzo y moscovita.**



Esta unidad se determinó como la Unidad Geológica Superficial RiJj como una roca sedimentaria intermedia de resistencia intermedia por el fracturamiento y el grado medio de meteorización a que presenta, según su calidad de toca, calidad y estabilidad de talud como se muestra más adelante en el análisis geomecánico, debido al alto grado de inclinación que exhibe puede favorecer los movimientos en masa del suelo residual que le suprayace.

**3.2.2 Suelo Residual (SrJg).** Suelo arenarcilloso de color pardo rojizo, contiene cuarzo y moscovita con un grado medio de meteorización y desarrollo de erosión laminar y en surcos con rastrojo bajo alcanza un espesor de 4,5 m.

**Figura 5. Suelo residual de la Formación Jordán (SrJj), con una coloración pardo rojiza y presencia de areniscas de grano fino a muy fino.**



Debido a su baja resistencia estos suelos no cohesivos tienden a fluir ladera abajo así sean moderadas favoreciendo así los movimientos en masa.

**3.2.3 Formación Girón. (Jg).** En el área de estudio metros arriba del Barrio Bariloche II Etapa por la carretera que comunica al mismo con el Monumento a La Virgen en el margen izquierdo afloran con un alto grado de meteorización capas de color rojizo que corresponden con niveles de areniscas con tamaño de granos que varían de fino a grueso e incluye tamaños de gravas y guijas subangulares a subredondeadas embebidos en una matriz arenosa, estas capas se encuentran intercaladas por lodolitas rojizas y poseen un grado fracturamiento muy alto y diaclasamiento que posiblemente este asociado a la influencia del control estructural ejercido por la Falla Bucaramanga - Santa Marta. No se observa la presencia de fallas locales debido a la cobertura vegetal y los deslizamientos locales de roca presentes en la ladera. (AMB, 2016).

Descrita inicialmente por Hettner (1892) como "Girón Series" en Ward et al., (1973). Similar a la formación Jordán, ésta unidad se presenta separada del Macizo de Santander por el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta; es decir que aflora al occidente de dicha estructura.

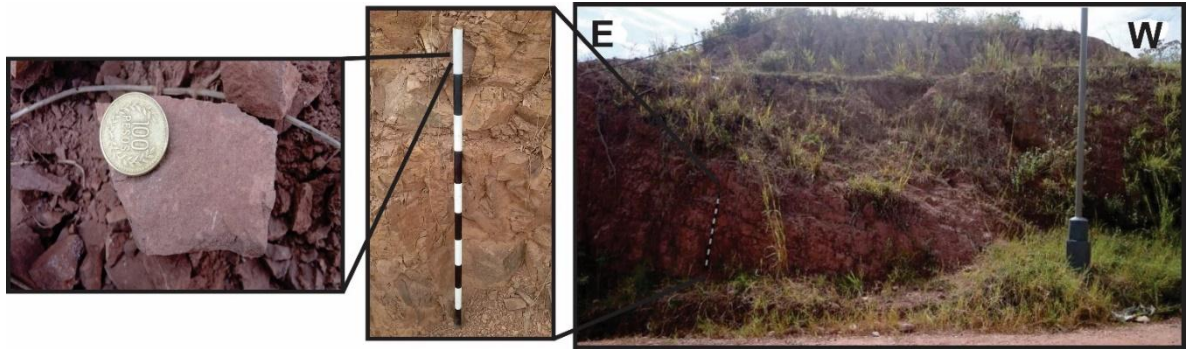
Estratigráficamente infrayace la formación Tambor y suprayace la formación Jordán. Las mayores exposiciones ocurren en la margen izquierda del río de Oro, en el cerro de Palonegro, sobre la vía que comunica con el aeropuerto, donde consta de conglomerados y areniscas, de color amarillo-naranja, alternando con capas de lodolitas rojas violáceas. Las rocas en dicho sector se presentan muy fracturadas y cizalladas debido a la acción del sistema de fallas del Suárez (INGEOMINAS, 2001).

En la sección tipo, Cediell le midió un total de 4650 m.; la dividió en 7 facies litológicas que, en general, están constituidas de areniscas de grano grueso, con intercalaciones de areniscas conglomeráticas y capas rojas interestratificadas de limolita y arcillolita, en estratos hasta de 1 m de espesor, areniscas de grano grueso, conglomeráticas, gris claro, con estratificación cruzada y areniscas rojizas,

de grano medio a grueso. Las capas conglomeráticas contienen guijos de cuarzo y de calizas hasta de 4 cm de diámetro.

Al occidente del río de Oro se encuentra cubierta, en su mayor parte, por depósitos sedimentarios de origen aluvial y coluvial, tales como la formación Bucaramanga y los flujos de escombros y detritos de Floridablanca y Piedecuesta, así como de otros provenientes del cerro de Palonegro.

**Figura 6. Afloramiento correspondiente a la Formación Girón a pocos metros del Barrio Bariloche II Etapa, areniscas de tamaño fino a grueso con un alto grado de fracturamiento y meteorización.**



Fuente: Tomado y modificado de Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

Esta unidad se determinó como la Unidad Geológica Superficial RiJg como una roca sedimentaria intermedia de resistencia intermedia por el fracturamiento y el grado medio de meteorización a que presenta, según su calidad de toca, calidad y estabilidad de talud como se muestra más adelante en el análisis geomecánico, debido al alto grado de inclinación favorece los movimientos en masa como se ve en la Figura 006 del suelo residual que le suprayace.

**3.2.4 Suelo Residual (SrJg).** Para la zona de estudio se cartografió un suelo residual perteneciente a la Formación Girón (SrJg), constituida principalmente por granos que varían de finos a muy grueso y presencia de gravas y cantos

embebidos en una matriz arenosa de color pardo rojizo, con erosión en surcos debido a la incisión de corrientes superficiales (AMB, 2016).

Debido a su baja resistencia estos suelos no cohesivos tienden a fluir ladera abajo así sean moderadas o en épocas de lluvia donde se puede saturar o cortes antrópicos favoreciendo así los movimientos en masa.

**Figura 7. Suelo residual de la Formación Girón (SrJg), con una coloración pardo rojiza y presencia de fragmentos gravosos, y areniscas de grano fino a grueso.**



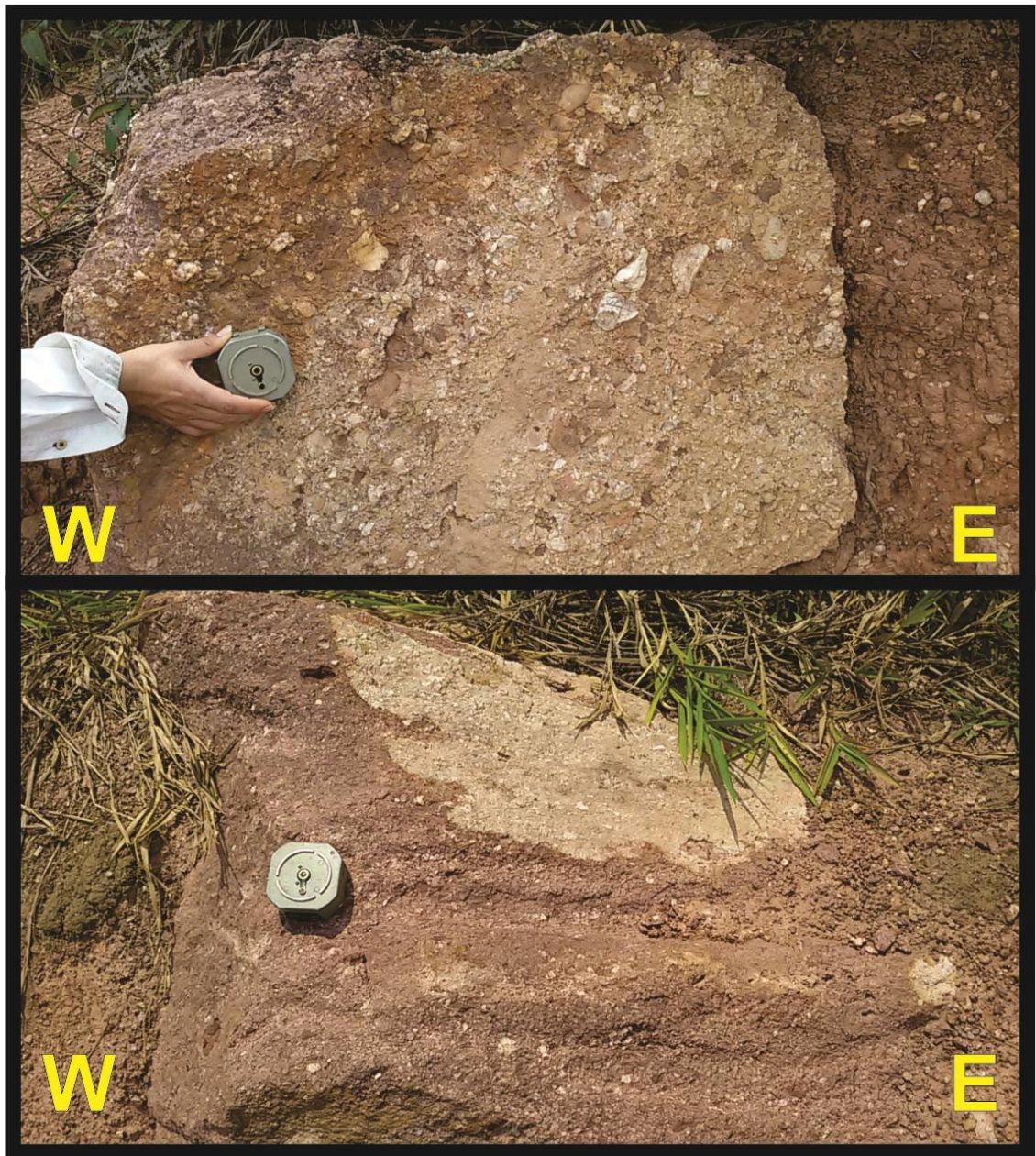
Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**3.2.5 Depósito Coluvial (Dco).** Se presenta en bloques que contienen fragmentos heterogéneos de roca ígneos y sedimentarios embebidos en una matriz losodoportada parda rojiza y ocre, en el área de estudio suprayace concordantemente la Formación Girón.

Por su naturaleza de depósitos tienden a detonar movimientos en masa ya sea por procesos gravitatorios o por su saturación en épocas de lluvia, así mismo su

matriz blanda da a lugar a que los procesos erosivos disgreguen el conjunto los clastos embebidos en ella aumentando así la cantidad de material a depositarse ladera abajo.

**Figura 8. Deposito Coluvial, bloques con fragmentos de rocas ígneas subangulares a angulares embebidos en una matriz lodosoportada parda y ocre.**



**3.2.6 Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci).** Afloran masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca ígneos y sedimentarios angulares a sub-angulares, depositados por la gravedad, constituidos por una matriz lodo soportada de color pardo rojizo de la Formación Girón (AMB, 2016).

Debido a la baja resistencia de la matriz en que están embebidos los clastos de este suelo tienden a fluir ladera abajo y a ser erosionados en surcos lo cual favorece el volumen de material disponible a desplazarse por los movimientos en masa que se puedan presentar en el área de estudio.

**Figura 9. Suelo transportado coluvial inactivo (Stci), con presencia de bloques, cantos, gravas pertenecientes a la Formación Girón.**



### **3.2.7 Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (S1a).**

Corresponden a materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería. Se componen por material de excavación y/o relleno con el fin de adecuar el terreno para la construcción de viviendas, vías y otras estructuras, o con fines de estabilización de ladera, como en el caso del sector estudiado del barrio Bariloche II Etapa donde se pudo identificar pequeñas terrazas construidas para estabilizar el terreno. Estos depósitos corresponden con áreas planas o suavemente inclinadas asociadas geomorfológicamente a las superficies de explanación (AMB, 2016).

**Figura 10. Suelo de relleno, vía que comunica al Barrio Bariloche II Etapa con el Monumento a La Virgen.**

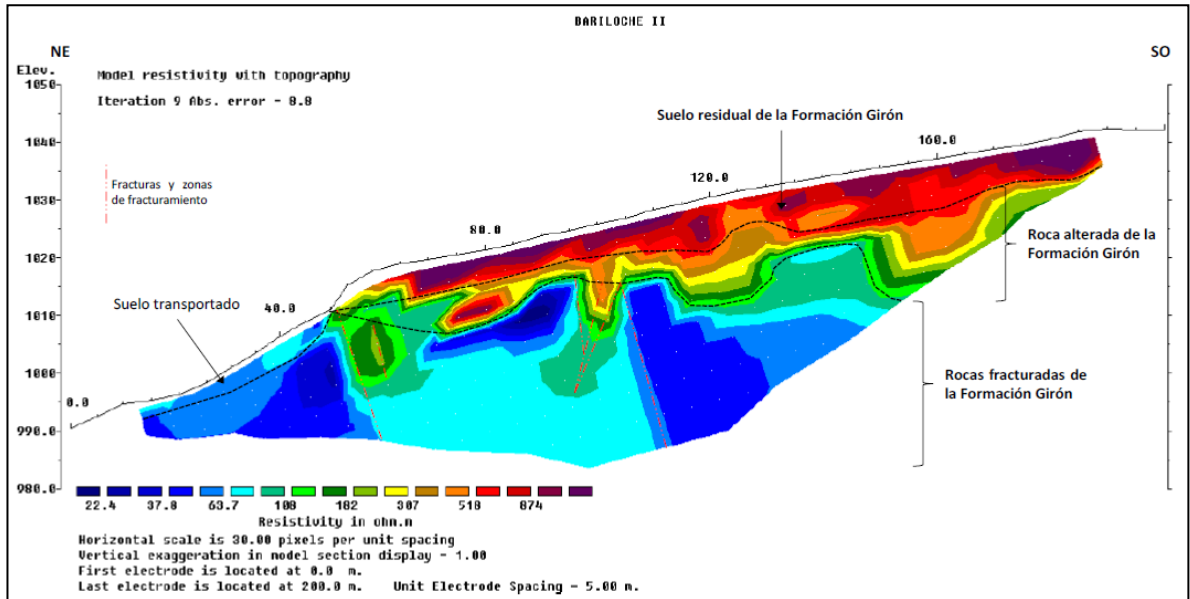


### **3.3 RESULTADOS ENSAYOS GEOFÍSICOS EN EL SECTOR CRÍTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO A LA ALTURA DEL BARRIO BARILOCHE II ETAPA.**

En la tomografía de refracción sísmica del sector Bariloche II Etapa se pueden observar velocidades de onda P que van desde 222 a 900 m/s, encontrando hacia la parte superior velocidades entre 222 y 360 m/s  $V_p$ , y 160 m/s  $V_s$ , asociados a un material no consolidado, para este caso a un suelo residual de la Formación Girón con un espesor máximo de aproximadamente 3 metros y acuñándose hacia el extremo nororiental de la TRS; posteriormente se observa un aumento en las velocidades de onda llegando hasta 800 m/s  $V_p$  y 140 m/s  $V_s$ , el cual se podría interpretar como rocas alterada de la Formación Girón con un espesor máximo de 7 metros; y finalmente, se observa un contraste de velocidades que llegan a más de 900 m/s de  $V_p$  y 210 m/s de  $V_s$ , las cuales se pueden interpretar como las rocas fracturadas de la Formación Girón (AMB, 2016). **VER ANEXO A.**

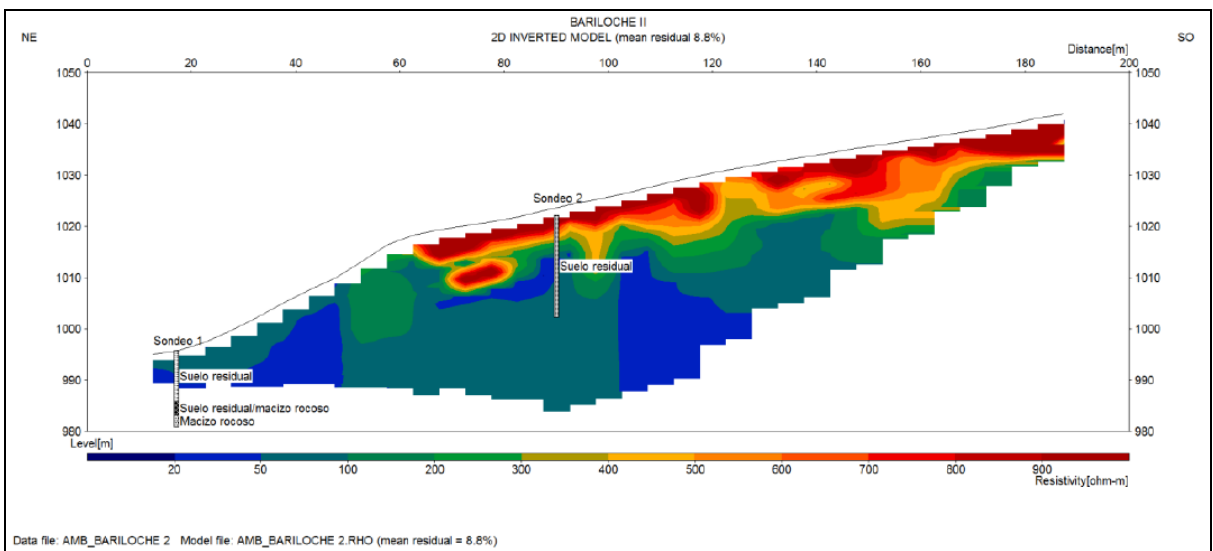


**Figura 12. Interpretación de resultados de la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) realizada en Bariloche II Etapa. 2**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

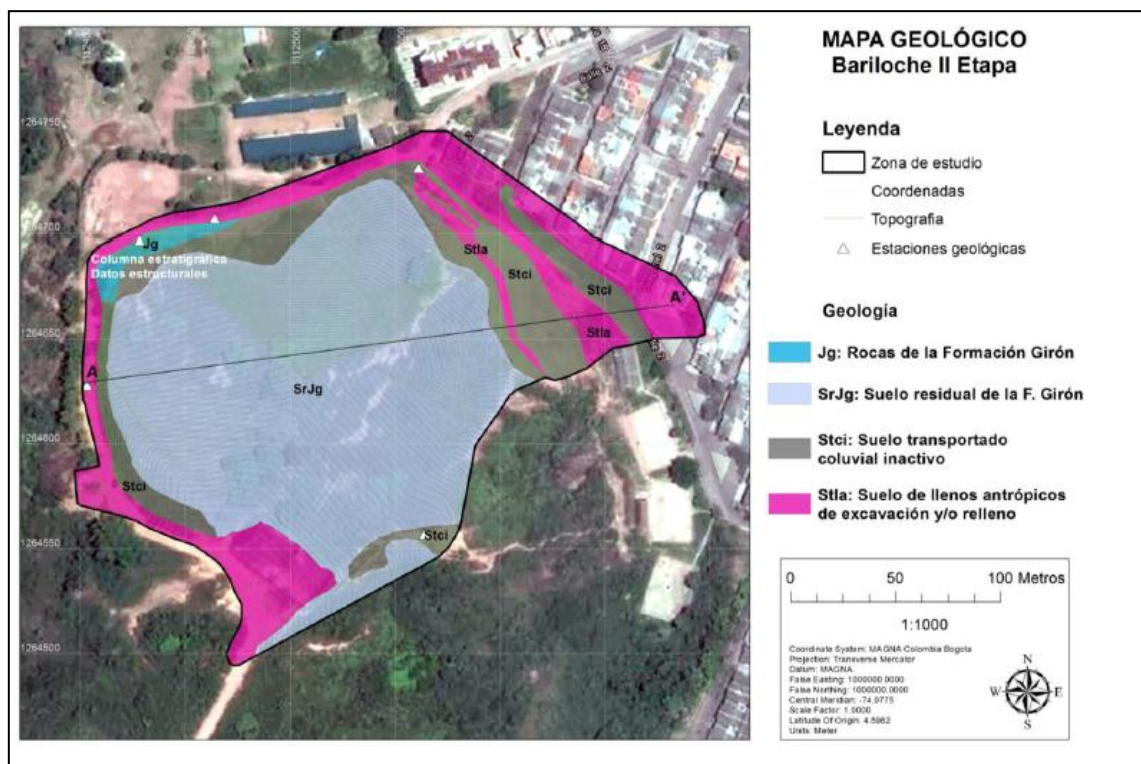
**Figura 13. Correlación de la TRE y los datos de las perforaciones.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

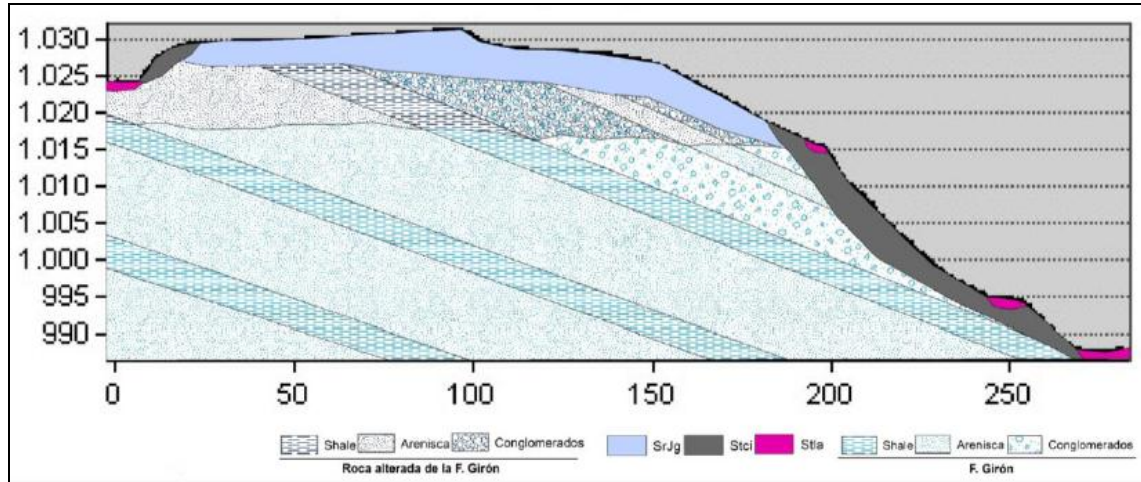
Adicionalmente a la descripción de las unidades geológicas de la zona de estudio, se realizó el análisis de las unidades de suelo. En la zona de estudio se reconocen tres unidades: 1) suelos residuales de la Formación Girón (SrJg) constituida principalmente por granos que varían de finos a muy grueso y presencia de gravas y cantos embebidos en una matriz arenosa de color pardo rojizo, con erosión en surcos debido a la incisión de corrientes superficiales; 2) suelo transportado coluvial inactivo (Stci) que se aprecia como masas incoherentes de materiales sueltos y heterogéneos, de suelos y/o fragmentos de roca angulares a sub-angulares, depositados por la gravedad, constituidos por una matriz soportada, de color pardo rojizo de la Formación Girón; y 3) suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla), los cuales corresponden con áreas planas o suavemente inclinadas asociadas geomorfológicamente a las superficies de explanación (AMB, 2016).

**Figura 14. Mapa Geológico del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.**



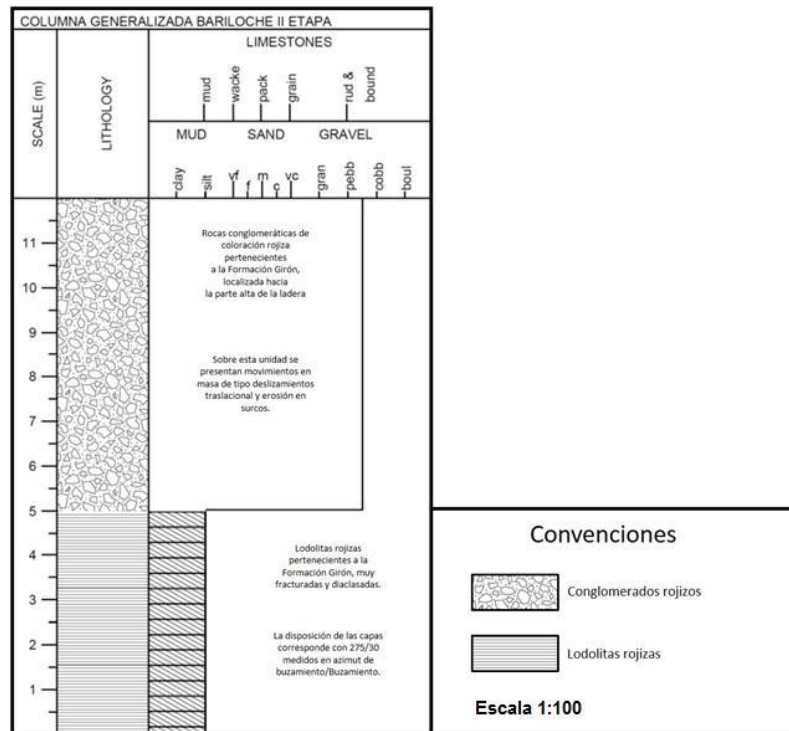
Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**Figura 15. Corte Geológico del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.**



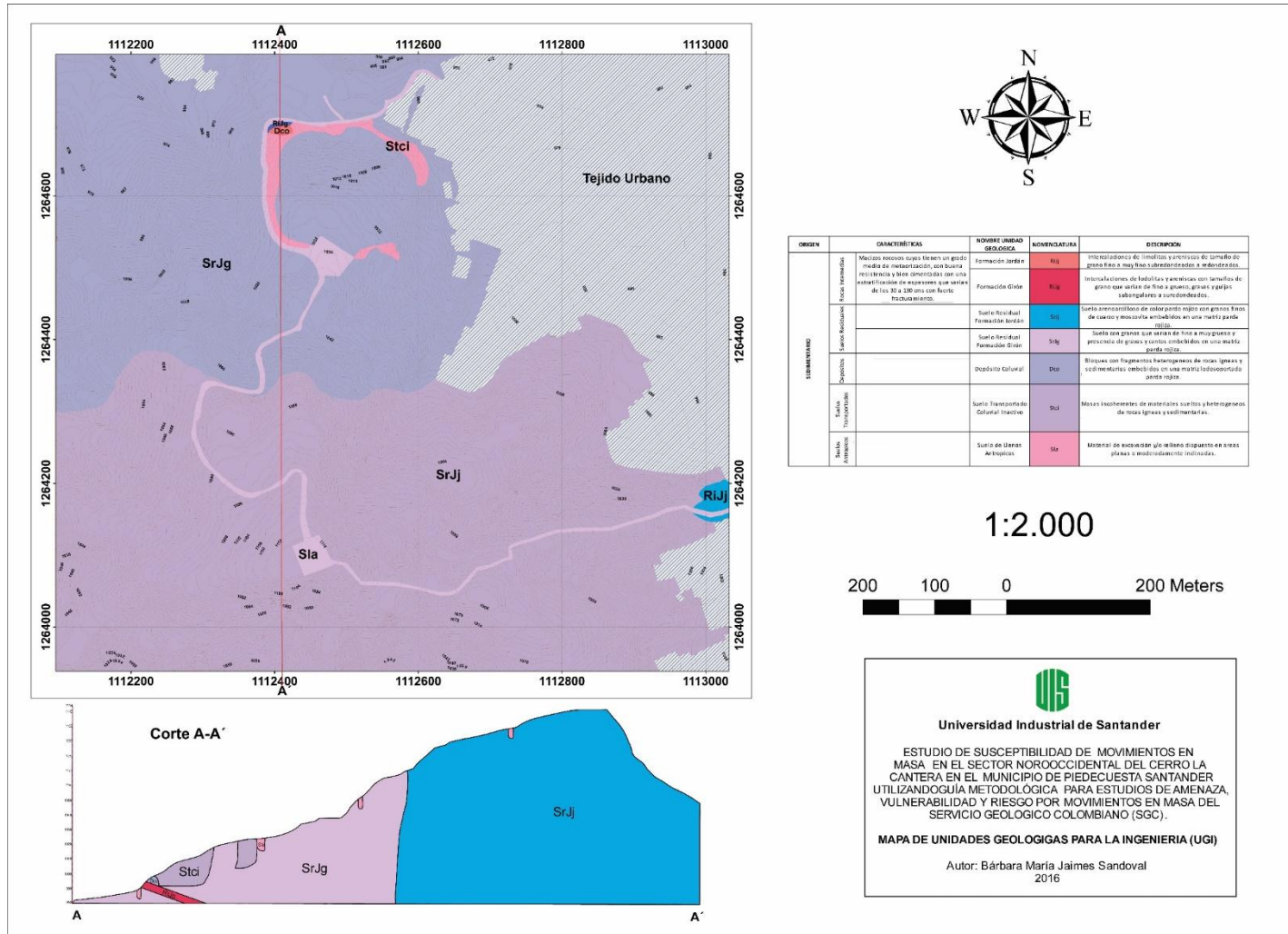
Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**Figura 16. Columna Estratigráfica del sector crítico ubicado a la altura el Barrio Bariloche II Etapa.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

Figura 17. Mapa de Unidades Geológicas para la Ingeniería UGI del área de estudio.



### 3.4 GEOMORFOLOGÍA

**3.4.1 Morfometría del área de estudio** El mapa de pendientes de la zona de estudio se realizó con base a la topografía digital a escala 1:2000 mediante la interpolación de curvas de nivel cada 2 metros, a partir de las cuales se generó el Modelo Digital del Terreno y posteriormente el mapa de pendientes. La clasificación de las pendientes se ha realizado de acuerdo a los rangos establecidos por el IGAC (2013), en el que definen las pendientes de acuerdo al porcentaje, como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Rangos de pendientes usados para la generación del Mapa de Geomorfología.**

SÍMBOLO	GRADIENTE %	DESCRIPCIÓN
a	0-3	Plano
b	3-7	Ligeramente inclinado
c	7-12	Moderadamente inclinado
d	12-25	Fuertemente inclinado
e	25-50	Ligeramente escarpado
f	50-75	Moderadamente escarpado
g	>75	Fuertemente escarpado

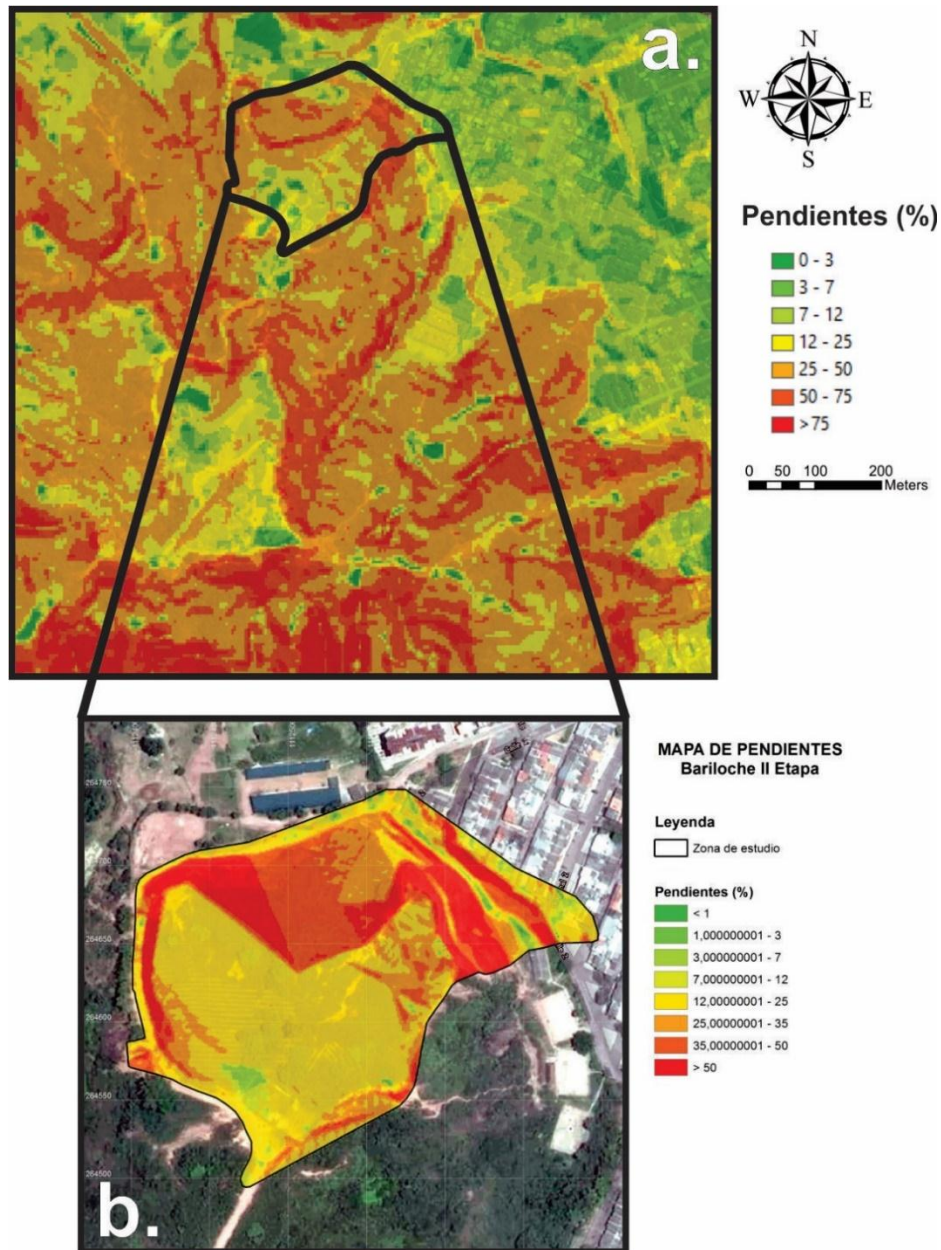
Fuente: IGAC, 2013.

Para el área de trabajo en general se tiene que todos los rangos de pendientes descritos en la tabla anterior cubre en la zona, cabe resaltar que en las partes mas bajas del Cerro la Cantera las pendientes oscilan entre los 25% a 75% predominando las que se encuentran entre el rango de los 25% a 50%.

Según la clasificación del IGAC (1995), en el sector crítico podemos encontrar gran variedad de relieves, estando su mayoría entre 12 y >50% de inclinación, clasificados entre inclinados a muy escarpados. También se observa en la imagen

que las pendientes van aumentando hacia el norte de 12 a >50% y posteriormente en el extremo norte de la zona disminuyen a menos de 12% de inclinación, esto se atribuye al pie del escarpe donde las pendiente son de menor rango (AMB, 2016).

**Figura 18. a) Mapa de pendientes del área de estudio.. b) Mapa de Pendientes en sector crítico en Barrio Bariloche II Etapa.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.


### **3.4.2 Elementos geomorfológicos**

#### **VER ANEXO D**

Para la clasificación según el origen de los elementos geomorfológicos, se siguió la metodología utilizada por el estudio de “ZONIFICACION DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA DE ALGUNAS LADERAS DE LOS MUNICIPIOS DE BUCARAMANGA, GIRON Y FLORIDABLANCA” del INGEOMINAS 2009, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Figura 19. Caracterización de elementos geomorfológicos según su origen. En el recuadro rojo se encuentran los de tipo denudacional que corresponden a los elementos geomorfológicos que moldean el Cerro de La Cantera en el área de estudio.**

		LEYENDA TEMÁTICA	
Origen	Características	Nombre del elemento	Descripción
FLUVIAL	Son formas derivadas de la actividad erosional y denudacional de los conchos, incluyen cauces actuales de los conchos y ríos de terraza, así como depósitos por sedimentación de lodos, arenas y arenas finas, terracedos.	Cauce o lecho actual del río	F1 Conforman el dominio del cauce actual de los conchos de agua, incluyendo las vegas más recientes y terrazas terracedas.
		Planicie o llanura de inundación	F2 Zona elevada al cauce actual de los conchos fluviales, donde se presentan macizos y arenosas terrazadas, espejos grandes de agua y materiales sueltos en sus márgenes. También se conocen como zonas de irrigación de conchos fluviales.
		Nivel de terraza bajo	F3 Morfología plana e ligeramente ondulada, limitada por un talud o escarpa asociada a los conchos actuales de río y quebradas. Se forman por la acumulación de material, mediante procesos fluviales o fluvio-glaciales, después de diferentes eventos con alturas menores a 10 m.
		Nivel de terraza medio	F4 Niveles planos a ligeramente ondulados, adyacentes a los conchos actuales, con alturas medias respecto al nivel del río de hasta 8 m.
		Nivel de terraza alta	F5 Son niveles de terraza con características similares a las anteriores, que alcanzan elevaciones superiores a los 8 m.
		Escarpa de terraza	F6 Corte frontal de las terrazas que presentan una inclinación aproximadamente vertical (entre 30° y 90°). Estas geomorfias suelen presentarse por actividad erosiva de las corrientes.
		Superficie Abanico de Bucaramanga	F7 Geomorfoestructura inclinada hacia el Occidente, asociada al nivel más superficial del abanico de Bucaramanga, limitada por escarpes fuertemente erosivos. Sobre esta superficie se encuentran conchos. La mayor parte de la ciudad de Bucaramanga.
		Cono de deposición	F8 Forma de modelado fluvial caracterizada por tener una silueta cónica con pendientes mayores a 1°. Estas se desarrollan tras épocas de sedimentación de grandes cantidades de arena, limo, o de valle, debido a pérdidas de energía al disminuir la pendiente.
		Flujo torrencial	F9 Flujo sedimentario muy rápido e intermitente debido a fuertes caudales, originado por una creciente de un cauce natural con volúmenes excepcionales de materiales procedentes de laderas empinadas contiguas, que se producen por causas tectónicas, glaciales, climáticas, o volcánicas.
		Mueble o cauce abandonado	F10 Antiguos cauces sedimentarios que han sido abandonados por conchos fluviales. Presentan forma de media luna y se encuentran asociados a los cauces actuales.
		Barra puntal	F11 Bancos de arena que se desarrollan en el lado interno de la curva de un meandro y ocupan por el lado externo del meandro. Se desarrollan en áreas de meandro de la parte superior del meandro.
DENUDACIONAL	Estas geomorfias están relacionadas con los procesos denudacionales: erosión, erosión, erosión y erosión en masa. Se pueden clasificar de acuerdo con la pendiente en subhorizontales e inclinadas. Estas geomorfias se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre el relieve, generando erosiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.	Cimas anchas	D1 Cúpulas de colinas con formas semi-circulares, a partir de las cuales divergen laderas en todas las direcciones. Este tipo de geomorfias se presentan achatadas y por lo general empinadas.
		Cimas angostas y subhorizontales	D2 Cúpulas de colinas con geometría angosta y subhorizontales. La parte superior presenta laderas con inclinación suave.
		Cimas puntiagudas	D3 Píramides de colinas con geometría angosta y puntiaguda.
		Lomas anchas	D4 Divisiones de aguas separadas a semi-circulares, aguas de las cuales son aprovechadas para la construcción de canales de riego.
		Lomas angostas y subhorizontales	D5 Divisiones de aguas que terminan en crestas serradas, semi-circulares y redondeadas, en donde la inclinación de sus laderas suele ser 30° a 35°.
		Laderas subhorizontales	D6 Superficie natural suavemente inclinada del terreno con pendientes menores a 10°, ligeramente chatada, donde se desarrollan cultivos medanos.
		Laderas cortas y muy empinadas	D7 Laderas cortas y muy empinadas, mayores a 70° de inclinación, asociadas a depósitos fluvio-glaciales y recientes.
		Nichos denudacionales	D8 Microcuencas cerradas con forma de cubetas semi-circulares o cuadradas (vías de salida), donde los procesos denudacionales han estado trabajando sobre materiales poco consolidados.
		Hondonadas paralelas y subparalelas	D9 Depresiones elongadas paralelas a la pendiente del terreno, formadas por erosión profunda, algunas de las cuales se asocian a conchos de agua.
		Laderas muy inclinadas	D10 Superficie natural del terreno, cuya inclinación puede ser empinada con inclinaciones entre 40° y 70° abruptas y resacas, generalmente cubiertas por depósitos de lodos.
		Laderas moderadas	D11 Laderas inclinadas con pendientes inclinadas entre 10° y 40°. Por lo general presentan buena cobertura vegetal.
		Lomas denudacionales	D12 Divisiones de aguas que presentan formación en forma de crestas semi-circulares, achatadas e inclinadas. Presenta pendientes entre 40 y 60 grados, con inclinaciones mayores o menores.
		Depósitos coluviales	D13 Geomorfias producto de acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca), transportados por la acción de la gravedad de zonas puntuales ligeramente más elevadas. Presentan formas irregulares con pendientes bajas a moderadas.
		Escarpa de corona principal de Movimiento en Masa	D14 Superficie casi vertical que se conforma en la periferia de un deslizamiento, causada por el empujamiento de material hacia abajo y lejos de la ladera. Sobre ella se encuentran algunas grietas paralelas o semi-paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.
		Cuerpo o depósito de MM	D15 Masa de suelo o roca a medida de metros, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o por desmoronamiento de una zona de zona superior.
Flujos de derrite y lodo	D16 Son movimientos rápidos de derrite. En su parte superior presentan un perfil de superficie de resaca y pequeñas escarpas resacas y escarpadas. Por lo general el material desplazado no se acumula y casi todo es arrastrado, depositado o lavado por las corrientes.		
Conos de derrite	D17 Depósito de derrite en forma de conos que normalmente se forman en las laderas, las que se asocian también a zonas donde una corriente de agua que transporta sedimentos, arrastra de un frente volcánico depositando material al cambiar de pendiente.		
Movimiento en masa estabilizado	D18 Movimiento en masa que desarrolló la erosión debido a la erosión de obras controladas o de control.		
Tierras resacas	D19 Terrenos afectados por erosión hídrica donde se desarrollan cárcavas profundas, hondonadas subhorizontales empinadas y subhorizontales, con cobertura vegetal predominantemente suelta.		
Laderas erosionadas	D20 Superficie natural inclinada del terreno, con pendientes mayores a 10° de inclinación, en la cual los procesos de erosión son visibles a simple vista (senos, terreros y surcos).		
Laderas con resaca o terrero	D21 Terrenos con empinamiento en su superficie (terrenos que muestran desplazamiento lento), extendido por la inclinación del tronco de los árboles y a obras de infraestructura (carreteras, puentes, etc.).		
Laderas severamente erosionadas	D22 Superficie natural del terreno con pendientes mayores a 10° de inclinación, donde los procesos denudativos han actuado profundamente, pudiéndose distinguir erosión terreros, surcos y cárcavas.		
ESTRUCTURAL DENUDACIONAL	Lomos o cimas estructurales	E1 Lomo o abombamiento de la superficie del terreno producto de plegamiento y fallamiento. Los abombamientos pueden variar de unos decímetros de altura a kilómetros donde surge a cimas o montañas enteras.	
		Nicho estructural	E2 Microcuencas cerradas con forma de cubetas semi-circulares o cuadradas (vías de salida), en donde la actividad tectónica prima sobre los procesos erosivos y la velocidad influyente en su desarrollo a través de fracturamiento y fallamiento de la corteza.
		Escarpa de falla	E3 Son desarrollos topográficos excepcionales que se producen a lo largo de una falla, generados cuando se produce un desplazamiento, inicialmente el escarpe puede corresponder al afloramiento del plano de falla, que se transforma en una superficie diseñada por procesos de irrigación y erosión.
		Facea triangular	E4 Superficie de forma triangular o trapezoidal inclinada, cuyo ángulo apunta hacia arriba. Se presenta en la cara libre de un relieve cuando se corrió por una falla. Se consideran como el resultado de procesos de degradación y desmoronamiento de las laderas de la corteza.
		Depresión	E5 Microcuencas de forma alargada, limitada por zonas escarpadas o fajas inclinadas, la cual es atravesada longitudinalmente por una falla, produciendo así un relieve de tipo escarpado.
		Contrarresaca	E6 Escarpa de falla que mira en sentido opuesto a la pendiente general de una ladera. La falla puede ser vertical o inclinada con el plano trazando en el sentido opuesto de la pendiente topográfica.
		Ladera estructural	E7 Superficie natural inclinada del terreno, formada por cauce o plegamiento de la corteza (pliegues, desplazamiento, subducción, etc.), ubicada en el mismo sentido de la pendiente.
		Cima estructural	E8 Geomorfias tendidas horizontalmente o con poca inclinación, de características que presentan forma aproximadamente circular, desde la cual divergen laderas en todas las direcciones. Estas geomorfias se encuentran achatadas y por lo general empinadas en sus laderas.
		Lomos de abombamiento	E9 Lomos o cimas de forma semi-circular, que flojean sobre o corrientes de agua, cuyos bordes que rodean e invaden a las laderas y sus pendientes se superan los 20° de inclinación. Se generan por desplazamiento lateral de la topografía a lo largo de fallas de rumbo.
		Sillita de falla	E10 Cuchillas de pendiente que presentan forma de silla de montar, chatada en una cresta o resaca, resultado del desplazamiento vertical de la corteza a lo largo de fallas de falla.
		Cárcava de falla	E11 Depresiones en forma alargada y ovalada que generalmente contienen agua, asociadas a zonas de fallas de rumbo. Las cárcavas se forman debido a que la superficie original del terreno alcanza niveles inferiores al de la falla de agua.
ANTROPÓGENICO	Estas geomorfias 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 o explotación de recursos.	Cimas explanadas	A1 Superficie resultante de restauraciones realizadas mediante movimiento de tierra hacia o colinas con fines urbanísticos o de infraestructura.
		Laderas terradas	A2 Superficie natural del terreno con pendientes entre 10° y 60° de inclinación, intervenidas por la acción del hombre, mediante cortes sucesivos en forma de terrazas con fines agrícolas, ganaderos, de infraestructura, etc.
		Llanos de escombros	A3 Geomorfias irregulares asociadas a botaderos de escombros y escombros provenientes de la explotación minera y de la construcción.
		Llanos de basuras	A4 Geomorfias asociadas a botaderos de escombros orgánicos, las cuales son depositadas sobre las laderas de algunos microcuencas.
		Llanos mínimos	A5 Llanos realizados en antiguas cuencas de ríos y quebradas, convertidos por acumulación de escombros recolectados con basuras.
		Placita de tratamiento	A6 Estructuras utilizadas para la purificación de residuos o efluentes mediante métodos mecánicos, físicos, químicos y biológicos o combinación de ellos.
		Obras de ingeniería	A7 Corresponden a obras de ingeniería civil para mitigar y prevenir movimientos en masa.
		Centenas	A8 Defensa semi-circular, escarpada, producto de la actividad minera, principalmente dedicada a la explotación de minerales de construcción.
		Laderas explanadas	A9 Cortes en laderas para disminuir su pendiente, con el fin de adecuar el terreno para la construcción de obras de infraestructura.
		Corte vertical de ladera	A10 Taludes que han sido cortados en forma vertical, especialmente para el paso de vías de comunicación u otro tipo de infraestructura como estaciones de combustible, entre otras.

  
**INGEOMINAS**  
 ZONIFICACION DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA  
 DE LAS LADERAS DE LOS MUNICIPIOS DE  
 BUCARAMANGA, GIRON Y FLORIDABLANCA.  
**REVISION**  
**ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS**  
 © 2009

Fuente: INGEOMINAS, 2009.

**3.4.2.1 Laderas Subhorizontales:** Corresponden a superficies naturales suavemente inclinadas del terreno con pendientes menores a  $10^\circ$ , en ellas se aprecian procesos de erosión laminar, conformadas por suelos residuales y usos de suelo con cobertura y uso de suelo en pastos y arbustales densos.

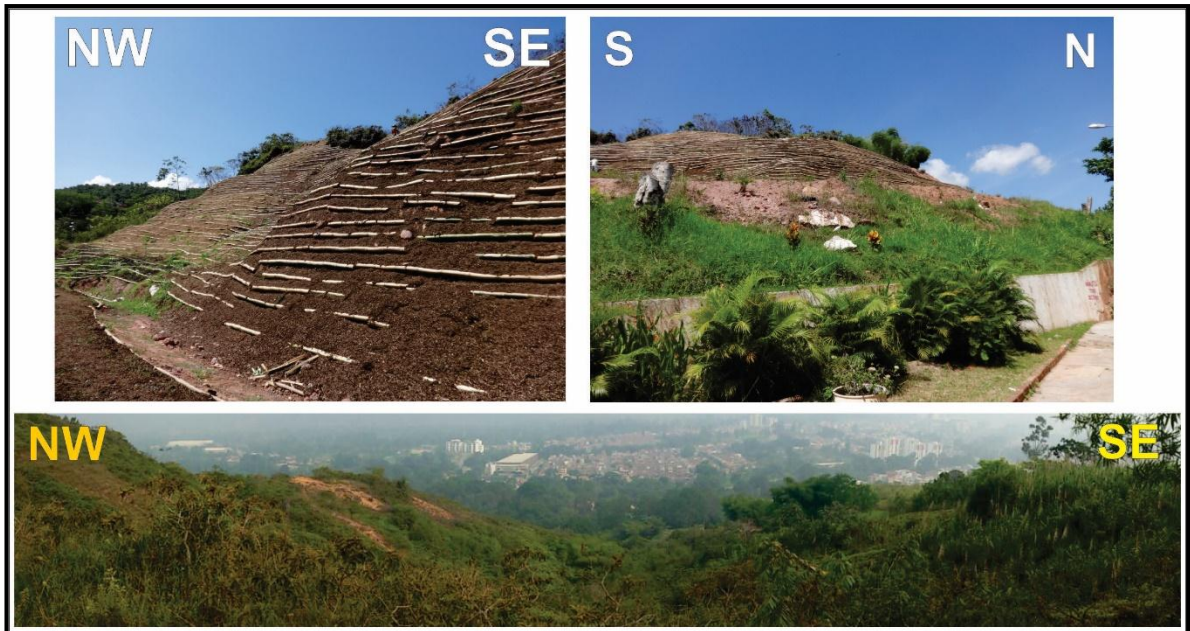
**Figura 20. Ladera Subhorizontal ubicada en los tanques de agua pocos metros arriba del Barrio Bariloche II Etapa.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**3.4.2.2 Laderas Moderadamente Inclinadas:** Corresponden a laderas con pendientes inclinadas entre los  $10^\circ$ - $40^\circ$  las cuales en algunos sectores del área de estudio han sido terraceadas, con procesos de erosión laminar y surcos, conformadas por suelos residuales, depósitos y suelos de llenos antropicos, cobertura y uso del suelo como bosque denso bajo, arbustales densos y abiertos y tierras desnudas.

**Figura 21. Laderas Moderadamente Inclinas.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**3.4.2.3 Laderas Inclinas:** Corresponden a superficies naturales de terreno cuyas laderas son muy empinadas y alargadas con inclinaciones entre los  $40^{\circ}$ - $70^{\circ}$ , conformadas por las rocas RiJj y RiJg, suelos residuales, depósitos y suelos de llenos antrópicos, cubiertas principalmente por arbustales densos y abiertos, presentan terraceo en algunos sectores para disminuir su pendiente y mitigar la caída de material.

**Figura 22. Laderas Inclinas.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**3.4.2.4 Laderas Muy Inclinas:** Corresponden a superficies naturales de terreno cuyas laderas son demasiado empinadas con laderas cuyas inclinaciones superan los 70°.

**Figura 23. Laderas Muy Inclinas.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

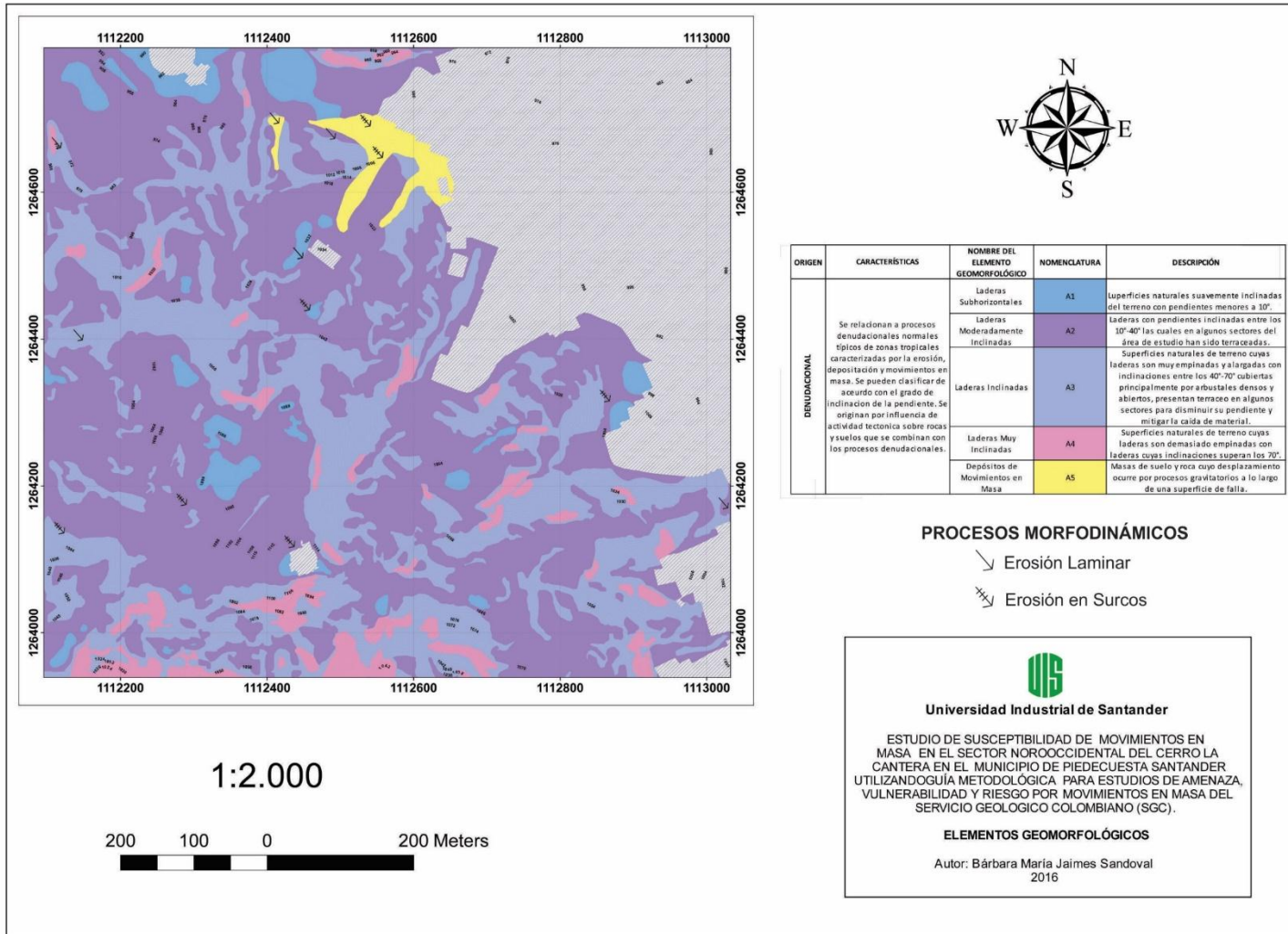
**3.4.2.5 Depósitos De Movimientos En Masa:** Corresponden a masas de suelo y roca cuyo desplazamiento ocurre por procesos gravitatorios a lo largo de una superficie de falla, modelado por procesos erosivos laminares y en surcos, conformados por suelos residuales de la Formación Girón (SrJG) cubiertos por pasto en rastrojos, arbustales abiertos y tierras desnudas.

**Figura 24. Depósito de Movimientos en Masa ubicado a la altura del Barrio Bariloche II Etapa.**



Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), 2016.

**Figura 25. Mapa Geomorfológico del área de Estudio.**



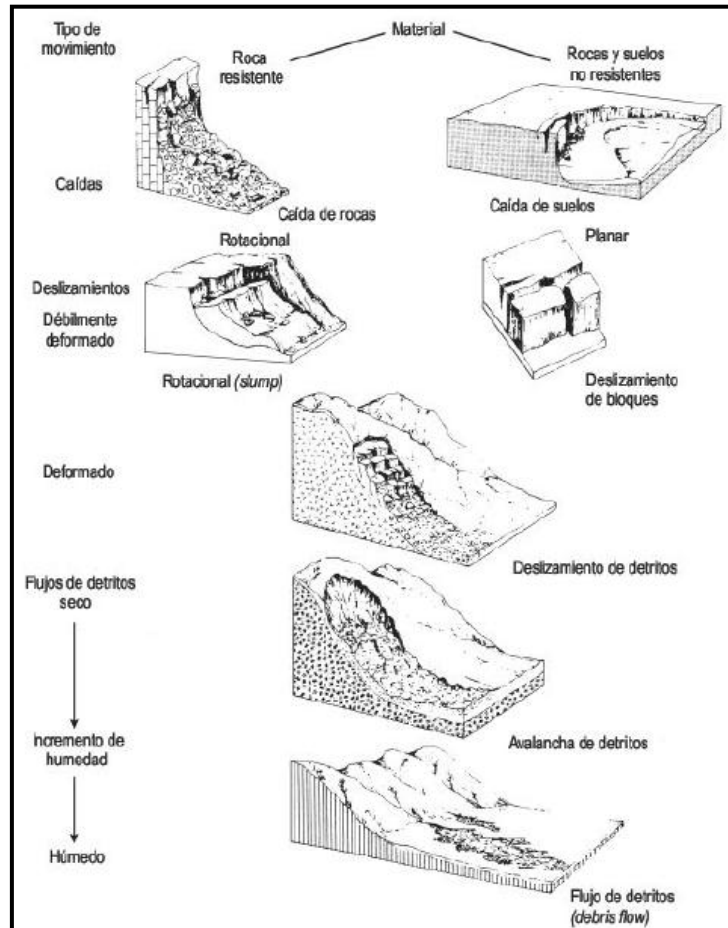
## 4. ASPECTOS INFLUYENTES

### 4.1 MOVIMIENTOS EN MASA.

Son movimientos rápidos ladera abajo de rocas y partículas más finas gracias a la fuerza de la gravedad. Uno de los tipos más comunes de movimientos en masa que son los deslizamientos, pero también existen otros como caídas de rocas, flujo de derrubios, reptación y avalanchas. Los diferentes tipos de movimientos de masa implican tal cantidad de procesos y factores que ofrecen ilimitadas posibilidades de clasificación (Hansen, 1989). Pueden diferenciarse en función del tipo cinemático del movimiento, tipo de material movilizado, según su estado de actividad, velocidad de movimiento y etapa de desarrollo, entre otros (Cruden y Varnes, 1996). Una clasificación que es adecuada para una región puede tener ambigüedades cuando se intenta utilizar en otra. En algunas regiones los deslizamientos son muy raros mientras que en otras son tan frecuentes que presentan un factor importante en la construcción de los modelados (Zaruba y Mencl, 1969 y 1982). Por otra parte, el término genérico para designar a los movimientos en masa, que a la postre constituye el título de las clasificaciones, es diferente, tal como indica Crozier (1986): slope failure (Ward, 1945), mass wasting (Yatsu, 1966), mass movement (Hutchinson, 1968), landslides (Varnes, 1958) y slope movement (Varnes, 1978).

#### 4.1.1 Tipos de Movimientos en masa.

Figura 26. Principales tipos de movimientos en masa, según la clasificación de Varnes (1958).



**4.1.1.1 Deslizamientos:** Es un movimiento de ladera de una masa de suelo o roca que tiene lugar fundamentalmente sobre superficies de rotura o sobre estrechas zonas de intensa deformación por cizallamiento (Cruden y Varnes, 1996). Con frecuencia, las primeras señales de movimiento del terreno son grietas superficiales y a lo largo de ellas se suele desencadenar el deslizamiento. Por lo tanto, se trata de un movimiento progresivo, en el que la masa desplazada puede deslizarse más allá de la superficie original de rotura sobre la superficie del terreno original, que constituye entonces una superficie de separación (Varnes, 1978).

Una vez producido el deslizamiento se pueden observar en los escarpes y flancos estrías indicadoras de la dirección del movimiento (Ayala et al., 1987). Los deslizamientos pueden ser diferenciados, en función del grado de actividad: activos (con movimiento actual), durmientes o latentes (sin movimiento en el último año, pero que pueden reactivarse) y relictos o estabilizados (sin capacidad de reactivación) (Zaruba y Mencl, 1969; Cruden y Varnes, 1996; Crozier, 2004). Zaruba y Mencl (1982) diferencian los deslizamientos, según su edad, en contemporáneos y fósiles y, estos mismos autores, distinguen, según su desarrollo, en deslizamientos iniciales, avanzados y acabados.

**4.1.1.2 Deslizamientos rotacionales (Slumps):** Son movimientos más o menos rotacionales, alrededor de un eje que es paralelo a las curvas de nivel de la ladera, y que implica un desplazamiento de cizalla (deslizamiento) a lo largo de una superficie cóncava, que es visible o puede reconocerse sin dificultad (Varnes, 1978). La superficie de cizalla puede tener forma circular o de cuchara. Los deslizamientos rotacionales pueden producirse en rocas, detritos y suelos. Presentan un pequeño grado de deformación interna en el material desplazado, que lo distingue de los flujos (Buma y van Asch, 1996). Después de iniciarse la rotura, la masa deslizada comienza a rotar y puede desintegrarse en varios bloques a partir de las grietas transversas desarrolladas. En el área de cabecera los bloques basculan contra la pendiente (Bromhead, 1979), en los que se pueden situar lagunas, que posteriormente se colmatan y evolucionan a zonas pantanosas con turba. Se pueden reconocer estrías en la superficie de deslizamiento y las grietas expuestas son concéntricas en planta y cóncavas hacia la dirección de movimiento. En los escarpes, la impermeabilidad del material puede dar lugar a regueros y barrancos (gidlies). En la zona frontal de los deslizamientos de detritos o suelos, pueden desarrollarse lóbulos y sistemas de grietas de tensión radiales.

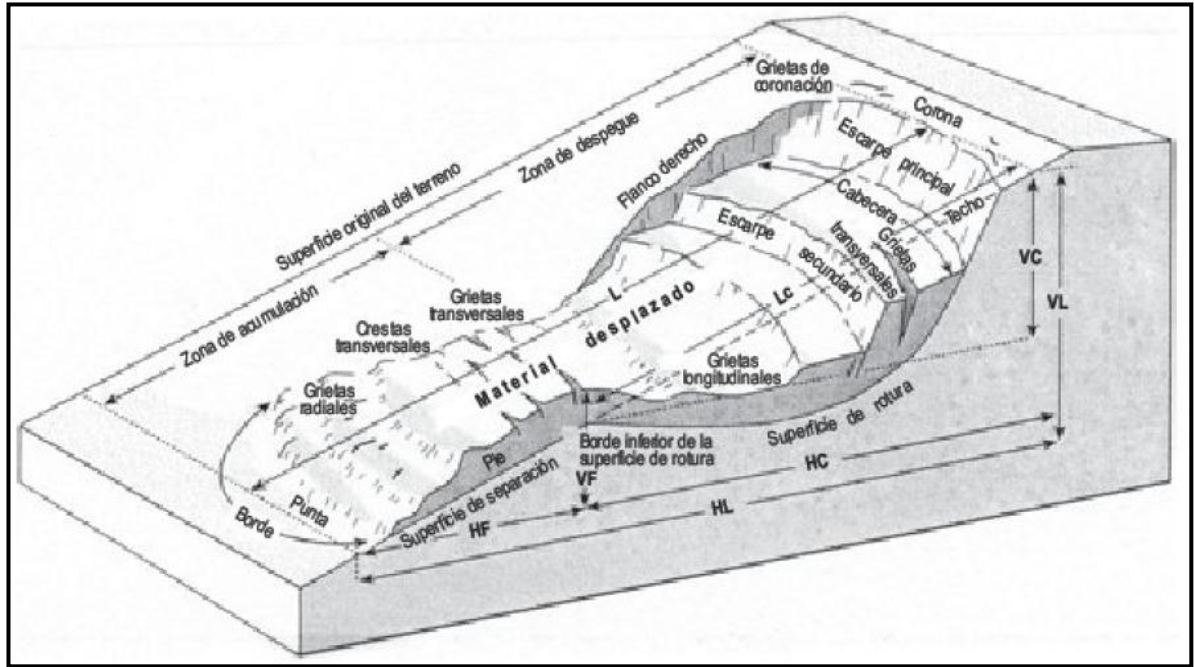
Los deslizamientos rotacionales se originan en un amplio tipo de materiales con propiedades geotécnicas muy diferentes. En general, los deslizamientos

rotacionales producen superficies onduladas y anomalías en la red de drenaje. Según Varnes (1958), los deslizamientos rotacionales de rocas se mueven a velocidades desde unos pocos centímetros al año a varios metros por mes, mientras que los que afectan a suelos pueden alcanzar velocidades de hasta 3 m/seg. En cuanto a su tamaño, varían desde algunos metros a grandes complejos de varias hectáreas. Los condicionantes que favorecen la existencia de deslizamientos rotacionales (Buma y Van Asch, 1996) son: laderas con bloques muy fracturados (deslizamientos rotacionales de rocas); laderas con potentes regolitos o depósitos morrénicos (suelos, detritos); laderas sin vegetación; laderas de margas y argilitas (Selby, 1985) y substratos rocosos con estratificación horizontal (Young, 1972; Gracia, 1985). A estas hay que añadir las socavaciones basales producidas por los ríos y la acción del oleaje (Varnes, 1978; Bromhead, 1979), junto con actividades antrópicas de excavación y construcción. También los terremotos, explosiones, sobrecargas súbitas y ascenso de los niveles freáticos, como consecuencia de lluvias y fusiones rápidas de nieve.

Los deslizamientos rotacionales múltiples se desarrollan con dos o más unidades de deslizamiento. Muestran una morfología compleja. En la cabecera el movimiento comienza con la formación de grietas de tensión debidas a la descompresión. Estas grietas abiertas se ensanchan paulatinamente, a la vez que la masa desciende lentamente y se origina una morfología escalonada producida por la generación de una nueva grieta. El desplazamiento es mayor en el centro del movimiento de masas y durante el descenso la masa sufre rotaciones a través de su superficie de cizallamiento. Las velocidades no son peligrosas, debido a que la rotación es lenta.

Además de las causas aducidas para los deslizamientos rotacionales simples, Buma y Van Asch (1996) señalan que los deslizamientos múltiples se pueden originar a partir de un ensanchamiento de un deslizamiento simple, que suele producirse por la erosión de los materiales basales.

**Figura 27. Principales características de un deslizamiento rotacional con flujo (slump-earthflow). Nota: H es la distancia horizontal y V es la distancia vertical en las distintas partes del deslizamiento.**



Fuente: Varnes 1958.

**4.1.1.3 Deslizamientos traslacionales:** En los deslizamientos traslacionales la masa progresa hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y la componente rotacional es mínima (Varnes, 1978). La masa desplazada se desplaza sobre la superficie del terreno. El deslizamiento se produce a favor de planos de discontinuidad de las rocas (estratificación, pizarrosidad, fallas, diaclasas) y en depósitos con variaciones claras en la resistencia al cizallamiento (Dikau et al. 1996). Los deslizamientos traslacionales se pueden originar en rocas, detritos y suelos.

**4.1.1.4 Deslizamientos de bloques (block slides):** implican movimiento de bloques sobre un plano, que suele ser el de estratificación y van acompañados por pequeños deslizamientos rotacionales. En la zona de arranque del deslizamiento de bloques se suele desarrollar una pequeña fosa (graben), que forma una

depresión. El movimiento de los deslizamientos de bloques se lleva a cabo por impulsos y los grandes deslizamientos incrementan su velocidad con grandes precipitaciones (Ibsen et al., 1996). Las causas fundamentales son la existencia de un cambio brusco del tipo roca, con marcadas diferencias en la resistencia al cizallamiento. Las socavaciones básicas y las abundantes lluvias son los principales agentes desencadenantes de estos procesos.

**4.1.1.5 Los deslizamientos rocosos (rock slides):** Son típicos de laderas de montaña o de afloramientos rocosos en los que el ángulo de los planos de discontinuidad de las rocas es aproximadamente igual al de la ladera.

Los deslizamientos de suelos y detritos también llamados deslizamientos en placas (slab slide) tienen muchas otras denominaciones (Ibsen et al., 1996b). Son frecuentes en suelos meteorizados, sobre todo los regolitos de arcillas. Estos se movilizan por una cizalla próxima a la superficie. El ángulo de deslizamiento está relacionado con el grado y la profundidad de meteorización. Cuando la superficie de deslizamiento es irregular se desarrollan grabens y bloques.

**4.1.1.6 Deslizamientos de detritos (debris slide):** Son roturas en material no consolidado que en su avance se rompe en pequeñas partes (Varnes, 1978). La geometría del deslizamiento se caracteriza por ser poco profunda y tener una elevada relación entre la longitud y la anchura (Hutchinson, 1988). El material afectado suele ser coluviones o mantos de alteración. La rotura con frecuencia se origina a favor del contacto roca-regolito (Corominas, 1996). La velocidad y el recorrido aumenta con la pendiente y disminuye con el contenido de arcilla (Hutchinson, 1988). Los deslizamientos de detritos se desencadenan por terremotos e intensas precipitaciones que aumentan la presión de agua en los poros y reduce la resistencia al cizallamiento (Caine, 1980). Los deslizamientos de detritos pueden ser el origen del desarrollo de avalanchas de detritos (debris axalanche) (Guadagno et al., 2005) y de debris flows (Corominas et al., 1996).

**4.1.1.7 Coladas de barro:** (Mudslide o miidflow en Europa y eartltflow en América) son un tipo de movimiento en masa, en el que los detritos arcillosos, limosos o de arena muy fina se movilizan, fundamentalmente por deslizamiento sobre superficies de cizallamiento, con un movimiento relativamente lento, dando lugar a formas lobuladas o alargadas (Brunsdén, 1984). En las coladas de barro pueden distinguirse tres partes: área fuente, trayectoria y lóbulo o zona de acumulación. El área fuente suele tener forma de anfiteatro. La longitud de la trayectoria depende de la pendiente y de la longitud de la ladera. La zona de acumulación lobulada se desarrolla en la base de la ladera y tiene un ángulo bajo y grietas radiales (Brunsdén e Ibsen, 1996).

Un tipo de deslizamiento, que también podría incluirse en las categoría de los flujos es el deslizamiento con colada de barro (sliimp-earthflow) (Sharpe, 1938), en el que se distinguen las diferentes partes. También suele considerarse un deslizamiento complejo. El movimiento de las coladas de barro es lento y fluctúa entre 1 y 25 m/año aunque puede alcanzar valores mucho mayores. Suelen producirse por intensas lluvias o fusión rápida de la nieve. Las coladas de barro suelen producirse en invierno en las regiones templadas.

En el área de estudio los movimientos de masa identificados corresponden movimientos reactivados con estilos múltiples de distribución creciente conformados por las unidades geológicas superficiales de Depósito Coluvial y Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci) meteorizados físicamente y se encuentran suprayaciendo las rocas fisuradas, agrietadas e intermedias de la Formación Girón (RiJg). Son desplazamientos de tipo traslacionales provocados principalmente por la lluvia que satura el suelo y provoca erosión pluvial dando lugar al desarrollo de surcos en el material compuesto y derivado por el Depósito Coluvial en donde no es óptima la cobertura y uso de suelo que corresponde a tierras desnudas, pasto en restrojos y arbustales abiertos. **VER ANEXO B.**

#### 4.2 SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Los valores de las ponderaciones trabajadas se determinaron después de correr varios modelos con diferentes valores de ponderaciones, estas son lo más aproximado a la realidad que presenta el área de estudio según el Inventario de Movimientos en Masa levantados en campo y los lugares donde pueden ocurrir movimientos en masa a futuro ya que en ellos se realizaron cortes a los elementos geomorfológicos identificados para la construcción de la carretera y las escaleras de acceso al Cerro de La Cantera.

Para determinar la susceptibilidad se trabajaron estimaciones de:

1. Susceptibilidad Baja.
2. Susceptibilidad Media.
3. Susceptibilidad Alta.

**Tabla 3. Esquema de los criterios y las ponderaciones utilizados para generar el modelo multicriterio de Susceptibilidad a Movimientos en Masa.**

<b>MODELO MULTICRITERIO SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIENTOS EN MASA</b>	
<b>INSUMOS</b>	1. Mapa de Unidades Geológicas para la Ingeniería UGI. 2. Mapa de Elementos Geomorfológicos. 3. Mapa de Usos del Suelo
<b>PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS</b>	Valores para asignar las ponderaciones: Mayor Importancia (1). Menor Importancia (3).
<b>FUJO DE PROCESOS DE DATOS</b>	
<b>PONDERACIÓN</b>	Geología 35% Geomorfología 35% <u>Uso del Suelo 30%</u> Total 100%

**Tabla 4. Ponderación Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio.**

<b>GEOLOGÍA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Coluvión	1
Suelo Coluvial Inactivo	1
Fm. Jordán	3
Suelo Residual Fm Jordán	1
Fm. Girón	3
Suelo Residual Fm Girón	1
Relleno Antrópico	2
Tejido Urbano	3

**Tabla 5. Ponderación Elementos Geomorfológicos del área de estudio.**

<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Laderas Subhorizontales	3
Laderas Moderadas	2
Laderas Inclinas	1
Laderas muy inclinadas	1
Movimientos en Masa	1
Tejido Urbano	3

**Tabla 6. Ponderación Usos del Suelo del área de estudio.**

<b>USO DEL SUELO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Arbustal Abierto	2
Arbustal Denso	3
Bosque Denso Bajo	3
Carretera	1
Cultivo	3
Pastos Limpios	1
Pasto en Rastrojo	1

<b>USO DEL SUELO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Tejido Urbano	3
Tierras Desnudas	1
Zona Verde Urbana	3

Para el procedimiento de análisis los valores utilizados para asignar las ponderaciones de mayor a menor importancia fueron de 1, 2 y 3 con los cuales fue posible determinar el grado de susceptibilidad alta media y baja en el área de estudio, estas estimaciones fueron elegidas a criterio personal y se determinaron por las cualidades de las unidades geológicas superficiales, elementos geomorfológicos, cobertura y uso de suelo identificadas.

En el mapa de Cobertura y Uso de Suelo (Ver Figura 026) se puede apreciar el buen aprovechamiento del mismo en aproximadamente el 80% distribuido entre arbustales abiertos, arbustales densos, bosque densos bajos, carretera, cultivos, pastos limpios, tejido urbano y zonas verdes urbanas, para el 20% del uso que se debe mejorar corresponde a pasto en rastrojos y tierras desnudas lo cual fomenta la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en los sectores donde el uso corresponde a los dos clases mencionadas anteriormente.

**Figura 28. Cobertura y Uso del Suelo en el área de estudio según la Metodología de Corine Land Cover adaptada IDEAM 2003.**

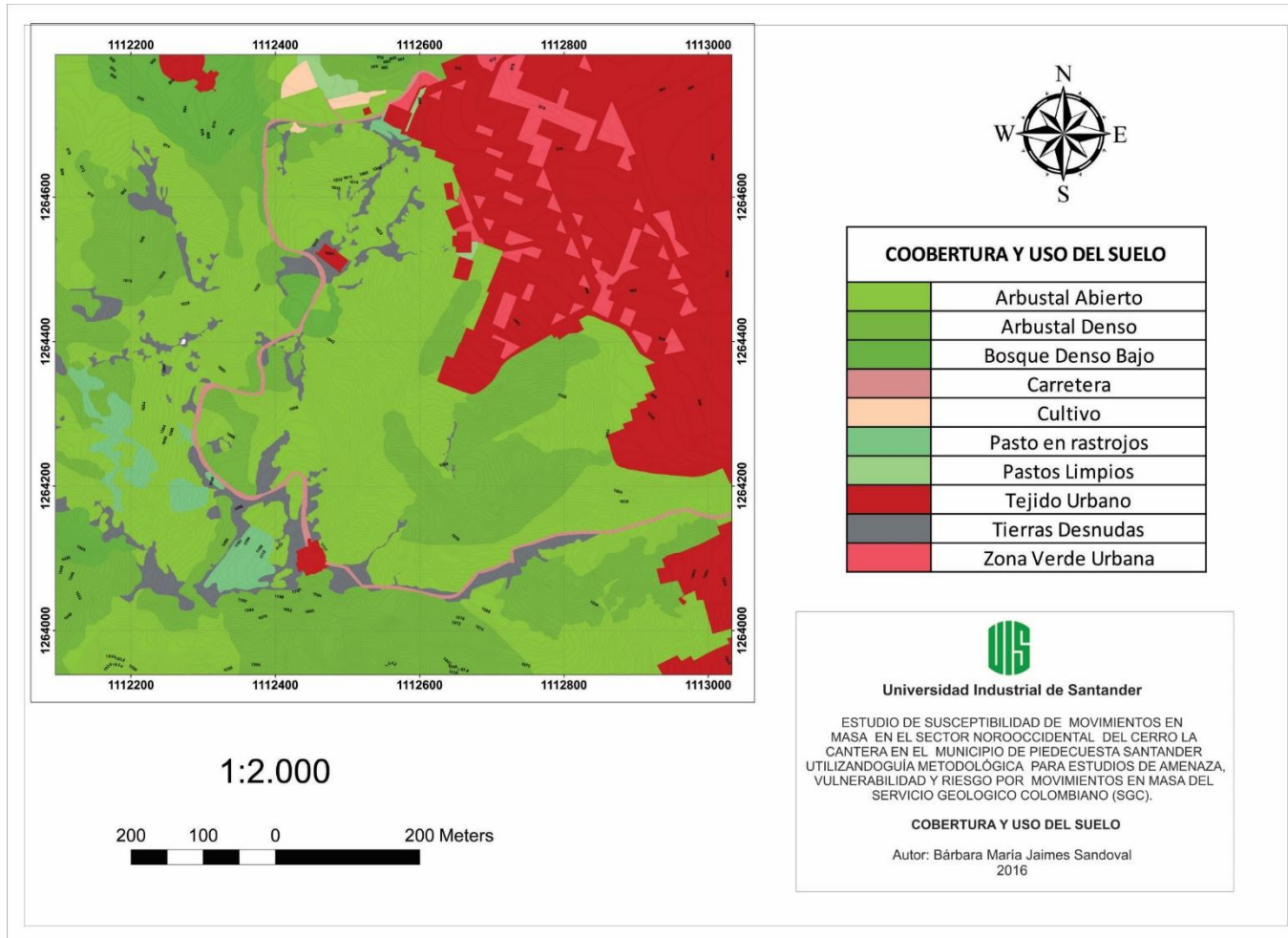
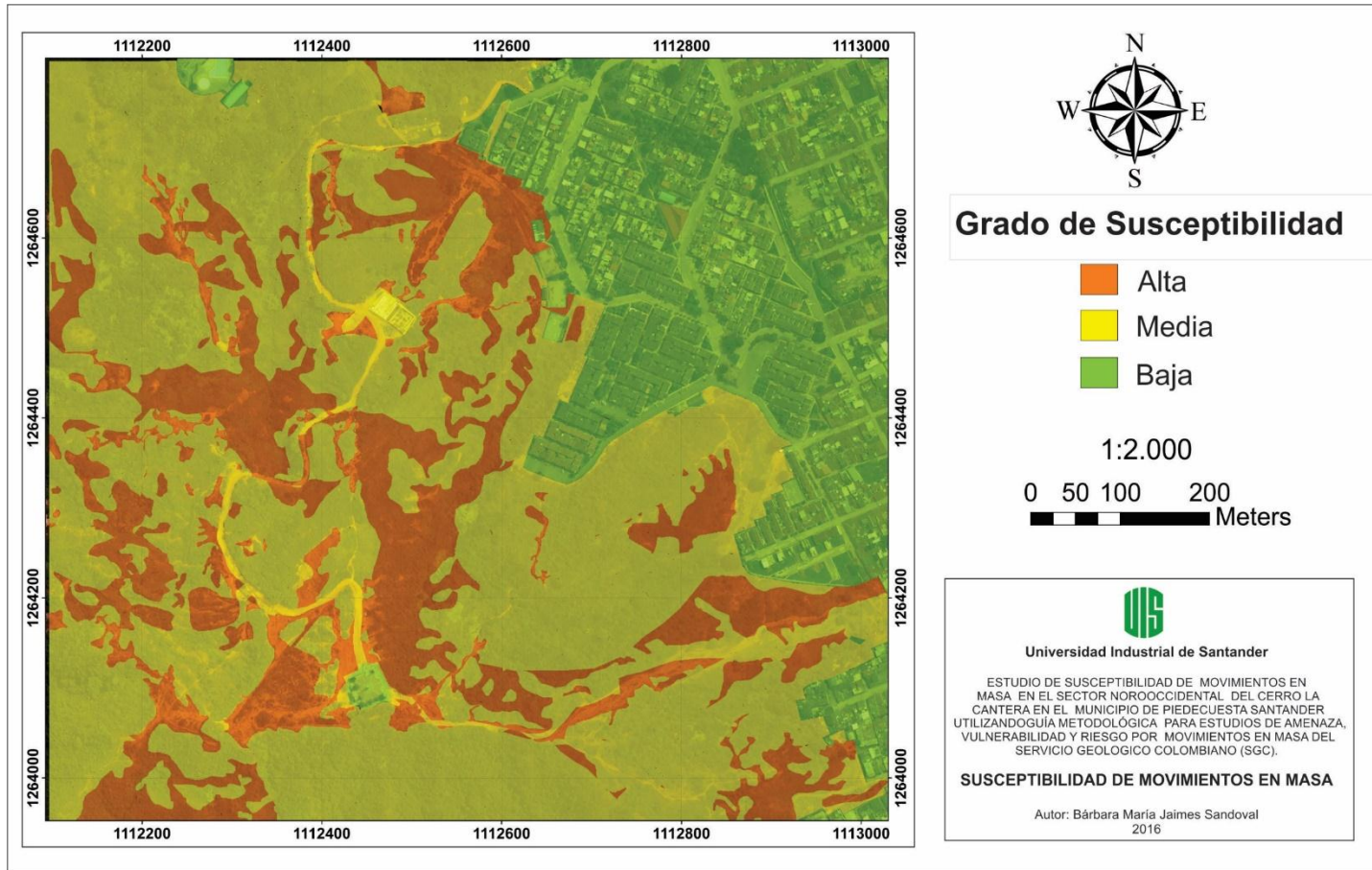


Figura 29. Modelo de Susceptibilidad de Movimientos en Masa en el área de estudio, nótese el grado alto de susceptibilidad en el Barrio Bariloche II Etapa.

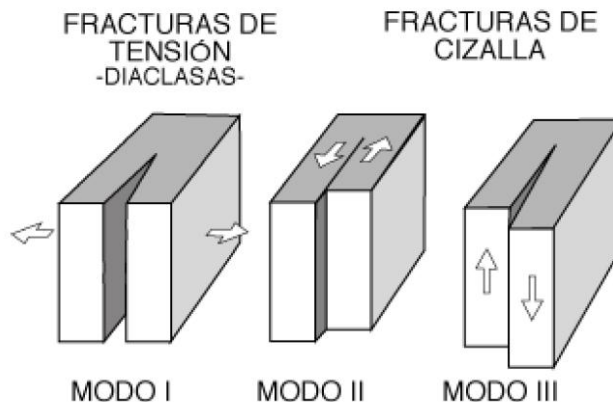


### 4.3 ESTRUCTURAS DISCONTINUAS

Hay dos tipos básicos de estructuras discontinuas:

**4.3.1 Fallas:** Son discontinuidades en las cuales un bloque ha deslizado y pasado a otro, y Diaclasas, donde el bloque se mueve, pero no se desliza sobre otro. Muchas de las vistas modernas de esas estructuras son basadas en la teoría de grieta:

**Figura 30. Tipos de fracturas según Anderson. Modo I: Abertura, Modo II: Deslizamiento, Modo III: Desgarramiento. Las fallas son grietas del modo II o III, mientras que las diaclasas son grietas del modo I.**



Fuente: Tomado de Catalán, 2003).

Las fallas son fracturas de cizalla con un movimiento relativo apreciable. En rocas que no están fracturadas previamente, las fallas, como cualquier otro tipo de fracturas, se crean cuando el estado de esfuerzo es tal que en planos determinados de la roca se cumple la condición de fracturación, que viene dada por la envolvente de Mohr de esa roca. Como la superficie terrestre es siempre un plano principal del elipsoide de esfuerzo y como aproximadamente es horizontal a gran escala, dos de los esfuerzos principales cerca de la superficie deben ser horizontales y uno vertical (Catalán, 2003).

**4.3.2 Diaclasas:** Son aspectos característicos de todas las rocas relativamente cerca de la superficie terrestre. Ellas son de gran importancia práctica debido a que ellas son superficies pre-fracturadas. Representan una ruptura en la roca a lo largo de la cual no ha habido cizallamiento, solo extensión. Básicamente, ellas son grietas de modo I. Si estas no son rellenas con nada, son llamadas diaclasas; si hay material precipitado en la ruptura, entonces es llamada vena” (Catalán, 2003).

“Las diaclasas sistemáticas comúnmente son significativamente suaves y planares con espaciamiento regular. Ellas casi siempre ocurren en grupos de diaclasas paralelas. Los grupos de diaclasas son sistemáticos sobre grandes regiones. Los sistemas de Diaclasas están compuestos de dos o más grupos de diaclasas. Las diaclasas que ocurren regularmente (no cruzan) entre dos miembros de un grupo de diaclasas son llamadas Diaclasas cruzadas” (Catalán, 2003).

Los sistemas de diaclasas son consistentes sobre largas regiones indicando que la escala de los procesos que controlan el diaclasamiento es también de naturaleza regional (Catalán, 2003).

“Se presentan algunos tipos especiales de diaclasas, tales como Diaclasas de enfriamiento en rocas volcánicas: El proceso involucrado es contracción termal, una vez la roca se enfría esta se contrae, estriándose aparte. Este es la fuente de la bien conocidas diaclasas columnares en las rocas basálticas, etc.” (Catalán, 2003).

**4.3.3 Meteorización:** Es la alteración de una roca por la acción de la atmósfera, la hidrósfera o los seres vivos. Esta alteración se produce en el mismo lugar donde ha aflorado a la superficie, sin que se produzca transporte de material. Se suele clasificar a la meteorización en tres tipos: físico-mecánico, químico y biológico.

El grado de meteorización de la roca es una condición importante para las propiedades mecánicas de la roca. Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia. (Vallejo, 1985).

**Tabla 7. Descripción del grado de meteorización para los macizos rocosos.**

<b>Descripción del grado de meteorización</b>	
<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Fuente: (Vallejo, 1985).

#### **4.4 ANALISIS GEOMECANICO**

Se denomina macizo rocoso al conjunto conformado por la matriz rocosa y las discontinuidades que afectan al material de roca en conjunto. En cuanto a

propiedades geomecánicas, un macizo rocoso se considera como un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo, gobernado mecánicamente por los planos de fracturamiento, los cuales generan discontinuidades o superficies de debilidad, separando bloques de matriz rocosa y generando inestabilidad en el macizo.

Las propiedades físicas que controlan las características resistentes y deformaciones de la matriz rocosa (composición mineralógica, densidad, estructura y fábrica, porosidad, permeabilidad, alterabilidad, dureza, densidad, etc.), las cuales son resultados de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas (Vallejo, 2002). Además el comportamiento mecánico de los macizos rocosos está influenciado por las características geológicas y discontinuidades del terreno puesto que los planos de debilidad preexistentes son los que controlan los procesos de deformación y rotura en los macizos.

También hay que tener en cuenta las diferencias entre el tiempo geológico y el tiempo a escala humana siendo un aspecto fundamental respecto a las consecuencias que las obras de ingeniería pueden generar sobre el terreno. Las obras “aceleran” determinados procesos que tardarían cientos o miles de años en producirse: la meteorización, la liberación de tensiones naturales, aperturas de discontinuidades, modificación de flujos de agua, etc. Todos ellos producen una disminución en la resistencia de los macizos rocosos en periodos de tiempo muy corto (Vallejo, 2002) .

Para el análisis de la resistencia de roca, existen diferentes métodos los cuales se pueden clasificar como:

- **Métodos de Laboratorio** en los cuales se requiere la toma de núcleos de rocas y posteriormente análisis en laboratorio como, corte directo en suelo y

roca compresión inconfiada en suelo y roca, entre otras variedades de análisis que ayudan a entender el comportamiento de la roca.

- **Métodos de Campo** en los cuales se determina la resistencia en el mismo sitio de estudio (estudio in situ), para ello se implementa el uso del martillo Schmidt o Esclerómetro.

Los ensayos realizados en el sector crítico del área de estudio y son los que se muestran a continuación:

**Tabla 8. Ensayos de laboratorio a realizarse.**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
Sondeo rotoperCUSión en suelo, roca o conglomerado, diámetro HQ con revestimiento. Incluye SPT.	Metro	30
Apiques de 1x1x2 metros	Unidad	2
Ensayo de Granulometría – Gradación	Unidad	8
Ensayo de Corte directo en suelo	Unidad	2
Ensayo de Corte directo en roca	Unidad	1
Ensayo Límites de Attemberg	Unidad	8
Permeabilidad	Unidad	1
Compresión inconfiada (suelo)	Unidad	2
Compresión simple (roca)	Unidad	1
Ensayo Humedad	Unidad	8
Ensayo Peso unitario para suelo y roca	Unidad	8
Ensayo Peso específico	Unidad	
Líneas de refracción sísmica + mediciones de ondas superficiales (MASW/SASW)	Unidad	1
Sondeo eléctrico vertical (SEV)	Unidad	
Tomografía geoelectrica	Unidad	1

Fuente: Área Metropolitana de Bucaramanga AMB, 2015.

Con los datos de laboratorio y de campo se pasa a realizar los análisis y descripción del material de los macizos por medio de una clasificación en base a aspectos geotécnicos. Diversos autores han establecido métodos para la clasificación de los mismos los cuales han sido mejorado subsecuentemente; sin embargo la mayoría de estos se han basado en observaciones cualitativas por consiguiente se hace de gran importancia una interpretación lo más precisa y correcta.

**4.4.1 Concepto de macizo rocoso** *Macizo Rocosos*, se le denomina al conjunto conformado por la matriz rocosa y las discontinuidades que afectan al material de roca en conjunto. En cuanto a propiedades geomecánicas, un macizo rocoso se considera como un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo.

**4.4.2 Clasificación de macizos rocosos** La clasificación de macizos rocosos en base a aspectos geotécnicos, surge por la necesidad de obtener parámetros geomecánicos que sean útiles en el diseño de proyectos de ingeniería. Uno de los modelos de clasificación más utilizados es el propuesto por Bieniawski en 1973, que se conoce como RMR (Siglas de Rock Mass Rating).

En esta clasificación se tienen en cuenta aspectos como:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Para utilizar la clasificación RMR, se recomienda dividir el macizo rocoso en zonas más o menos homogéneas, es decir, que tengan propiedades geológicas similares. Para cada tramo definido, se toman datos referentes a las propiedades de la matriz rocosa y a las discontinuidades que estén presentes.

**4.4.3 Martillo Schmidt** El martillo Schmidt o Esclerómetro es un aparato que dispone de un muelle en su interior, y de una punta retráctil, la cual al ser presionada contra la roca, hace que el muelle se dispare. Para tomar la medida, se debe limpiar el área sobre la cual se va a colocar el martillo, luego, se presiona el martillo hasta que salta el muelle. Hay que tener en cuenta que el aparato se debe colocar perpendicularmente a la superficie.

**4.4.4 Cálculo del RQD teórico** El índice RQD (Rock Quality Designation) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo: también se utiliza cuando el macizo está expuesto y puede hacer una observación representativa de las características, miden sobre el macizo directamente y haciendo una correlación comparable a la prospección del sondeo.

Para realizar este proyecto los índices de RQD se llevaran a cabo de forma teórica, ya que no se contara con núcleos para su eventual análisis, solo se realizara de forma teórica.

Se calcula el RQD teórico debido a que no se cuenta con testigos de sondeo para realizar la relación entre la longitud del núcleo y los fragmentos no fracturados mayores a 10 cm, por tanto de los datos tomados en campo se registró que el espaciado de las juntas se encuentran en el intervalo de 0,2 – 0,6 metros, permitiendo así aplicar la relación teórica para el cálculo del RQD.

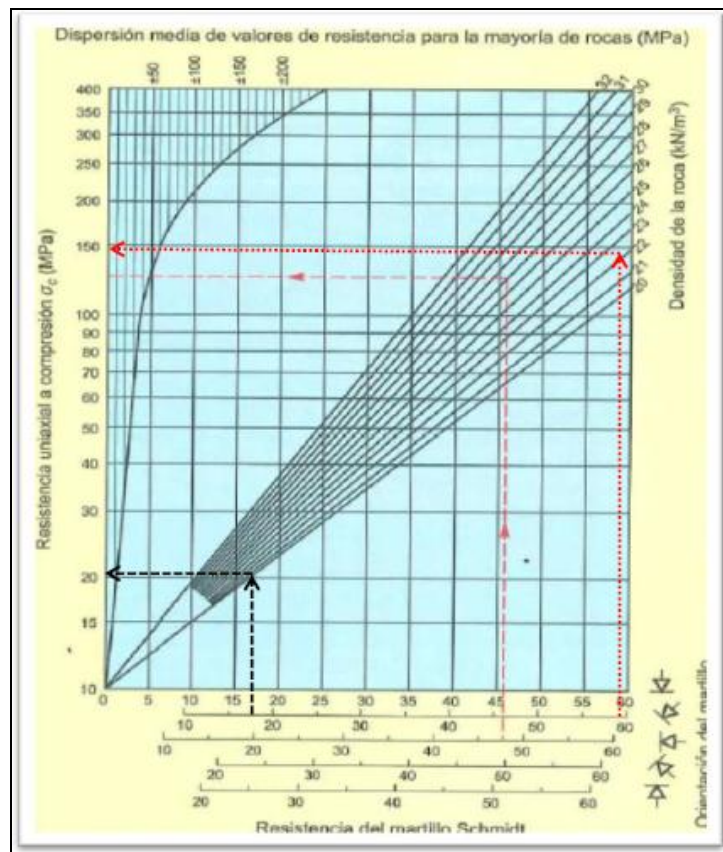
**Figura 31. Ecuación para calcular el valor de RQD.**

$$RQD = 100^{-0,1\lambda(0,1\lambda+1)}; \text{ con } \lambda = 1/\text{espaciado en metros}$$

Fuente: Vallejo, 2002

#### 4.4.5 Cálculo de la Resistencia a partir del Martillo Schmidt y la densidad de la muestra

Figura 32. Ábaco utilizado para realizar la resistencia uniaxial a compresión, determinada tomando como punto de partida los rebotes registrados en el martillo con su respectiva inclinación, se determina la densidad de la muestra en el laboratorio para luego realizar la intersección con los datos del martillo obteniendo así la resistencia uniaxial a compresión.



#### 4.4.6 Clasificación de Bieniawski (R.M.R.) Se valora una serie de parámetros:

- (1) Resistencia del material intacto (ensayo carga puntual o compresión simple)
- (2) R.Q.D.

- (3) Distancia entre las discontinuidades
- (4) Condición de las discontinuidades
- (5) Agua subterránea

**Figura 33. Ecuación para encontrar el valor del R.M.R.**

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

**Figura 34. Clasificación de los valores del R.M.R.**

Clasificación de RMR (oscila entre 0 y 100):

Clase	Calidad de roca	RMR
I	muy buena	81 – 100
II	buena	61 – 80
III	regular	41 – 60
IV	mala	21 – 40
V	muy mala	0 - 20

**4.4.7 Índice SMR** Éste índice se obtiene a partir del RMR, y sirve para evaluar la estabilidad de una excavación en el talud. El índice SMR se halla para cada familia de diaclasas identificada en el afloramiento, y se toma el menor valor de los obtenidos.

**Figura 35. Ecuación para calcular el índice SMR.**

$$SMR = RMR + (F1 + F2 + F3) + F4$$

- **F1:** depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de

rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

**Figura 36. Donde  $\alpha d$  y  $\alpha s$  son los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud respectivamente.**

$$F1 = [1 - \text{sen}(\alpha d) - \alpha s]^2$$

- **F2** depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo de corte. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°).

**Figura 37. Donde  $bd$  es el buzamiento de la discontinuidad. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.**

$$F2 = [\tan^2(bd)]^2$$

- **F3** refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos.
- **F4** se determina dependiendo el método de excavación.

#### **4.5 TIPO DE FALLAS EN TALUDES ROCOSOS.**

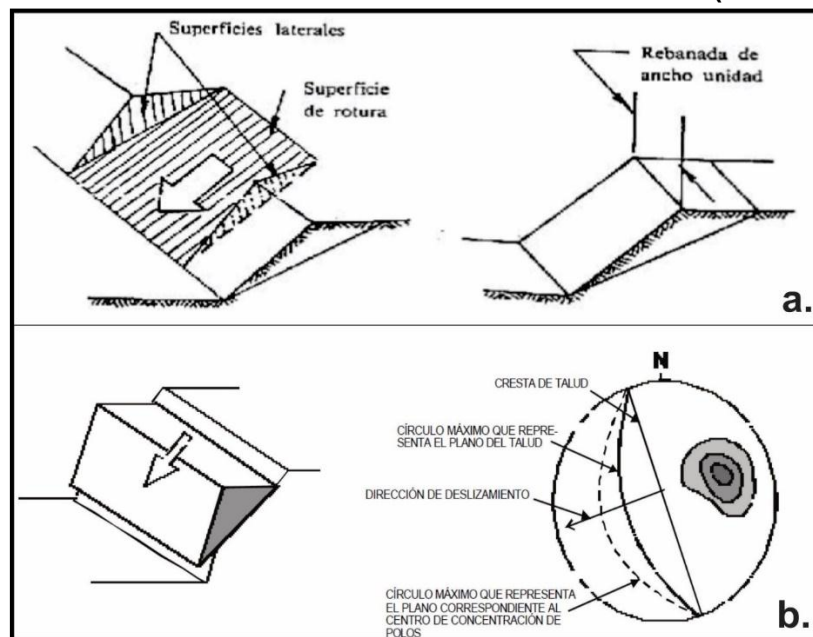
**4.5.1 falla por rotura planar** Se llama rotura planar a aquella en la que el desplazamiento se produce a través de una única superficie plana. Es la más

sencilla de las formas de rotura posibles y se produce cuando existe una fracturación dominante en la roca y convenientemente orientada respecto al talud.

Frecuentemente se trata de fallas que interceptan al talud; También se producen entre dos terrenos que presentan buenas características resistentes, se encuentra intercalado un estrato o terreno de poco espesor de material mal consolidado o resistente. Este tipo de rotura no es muy frecuente, debido a que debe darse dos condiciones para su desarrollo:

- Los rumbos del plano del talud y del plano de deslizamiento deben ser paralelos o casi paralelos, formando entre si un ángulo máximo de  $20^\circ$ .
- Los límites laterales de la masa deslizante han de producir una resistencia al deslizamiento despreciable.

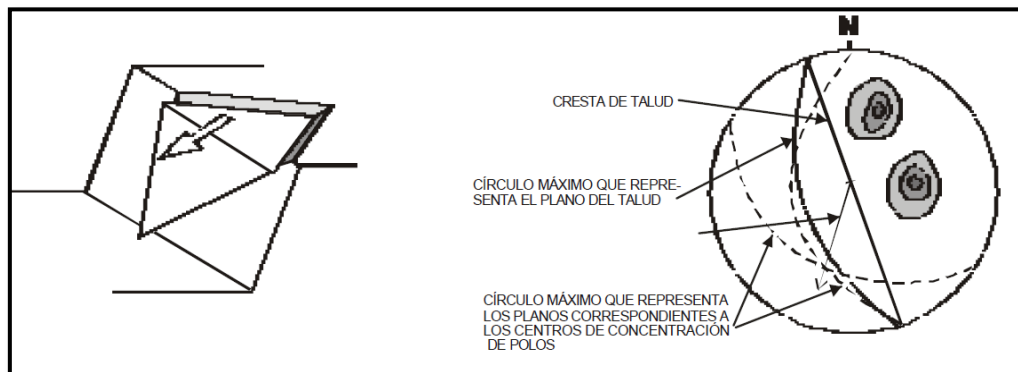
**Figura 38. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes por rotura planar. a). Representación bidimensional de falla por rotura planar. b). Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura planar. Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos (HERRERA R).**



Estas condiciones permiten el estudio de la estabilidad de talud como un problema bidimensional considerando una zona como rebanada de ancho unidad, limitada por dos planos verticales las cuales se encuentran perpendiculares al plano del talud.

**4.5.2 Falla por rotura en cuña.** Se denomina rotura en cuña aquella que se produce a través de dos discontinuidades oblicuas a la superficie del talud, con la línea de intersección de ambas aflorando en la superficie del mismo y buzando en sentido contrario o desfavorable. Este tipo de rotura se origina preferentemente en macizos rocosos en los que se da una disposición adecuada, en orientación y buzamiento de las diaclasas. Si proyectamos el plano del talud y las discontinuidades en una proyección semiesférica equiareal de Schmidt, la disposición típica de los casos en que es posible este tipo de rotura.

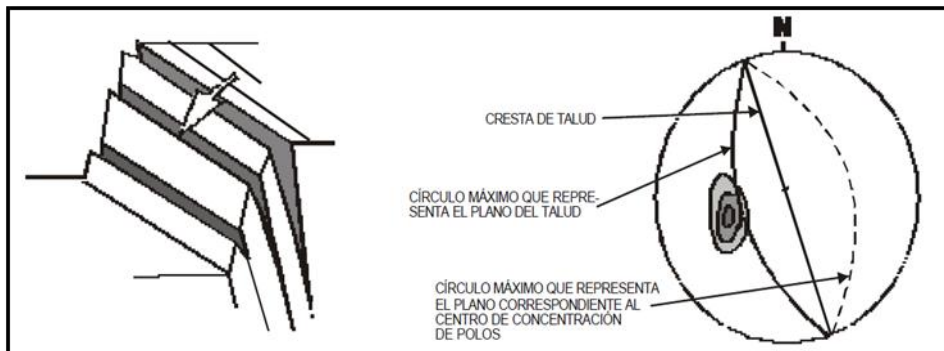
**Figura 39. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes. Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura en cuña. Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos (HERRERA R).**



**4.5.3 Falla por rotura con vuelco o volcamiento.** Se denomina rotura en vuelco o volcamiento cuando en las discontinuidades observamos la existencia de dos familias de discontinuidades con direcciones subparalelas a las de talud, una de ellas con un buzamiento muy suave y en el mismo sentido que el talud y una

segunda familia con un gran buzamiento opuesto al del talud y ligeramente perpendicular al juego anterior, la primera familia delimitará los bloques rocosos y proporcionará la superficie sobre la que deslizarán o girarán los bloques en función del buzamiento que posean.

**Figura 40. Esquemas de métodos de estabilidad en Taludes. Proyección semiesférica equiareal de Schmidt de falla por rotura con vuelco.**



Fuente: Guía de cálculo de estabilidad de taludes rocosos (HERRERA R).

#### **4.6 ANALISIS ENSAYOS DE LABORATORIO - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA EN EL SECTOR CRÍTICO UBICADO A LA ALTURA DEL BARRIO BARILOCHE II ETAPA.**

A continuación se presenta la caracterización geotécnica de las diferentes unidades geológicas superficiales, para la realización de modelos de estabilidad de taludes implementando teorías de equilibrio límite.

**4.6.1 Caracterización geomecánica de rocas** Unidad de Roca de la Formación Girón (RJg). Teniendo en cuenta que las muestras de roca recuperadas, se encuentran bastante alteradas por el método de perforación utilizado, el cual consiste en rotación por lavado, se obtuvieron algunos núcleos de roca representativos, por lo tanto se determinaron los valores de cohesión y fricción por

medio de las expresiones de Hoek y Brown (1997), basados en los resultados del ensayo de compresión inconfiada, carga puntual y de los valores de GSI apreciados en campo en los afloramientos de estas rocas.

Sobre muestras de este material se realizaron tres ensayos de compresión inconfiada y carga puntual los cuales arrojaron los siguientes valores:

Sondeo 1

**Tabla 9. Valores de resistencia a la compresión para Roca de la Formación Girón (RJg).**

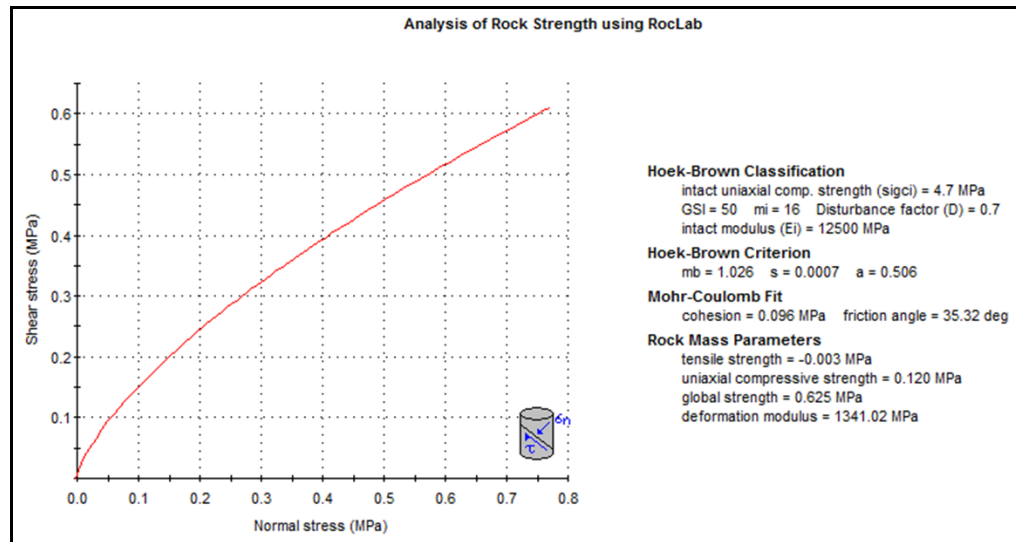
Sondeo	Profundidad (m)	Resistencia (Mpa)
1	12.50 – 15.00	4.79

Para valores de  $q_u=4.79$ , Mpa y GSI de 50, se obtuvieron los siguientes valores

**Tabla 10. Parámetros de resistencia de la Roca.**

GSI	Angulo de fricción	Cohesión MPa
50	35.3°	0.096

**Figura 41. Valores de cohesión y fricción del macizo rocoso mediante las expresiones de Hoek y Brown, GSI=50.**



### **Roca Alterada de la Formación Girón (RaJg)**

- Peso volumétrico: 18.6 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 78.5 kPa
- $\phi$ : 34°

**4.6.2 Caracterización geomecánica de depósitos de suelo** De acuerdo al contenido de finos de las unidades de suelo de la zona de estudio, se espera un comportamiento no drenado de estos materiales para un incremento dado de esfuerzos, sin embargo los modelos implementados para evaluación de estabilidad de taludes, se realizarán en términos de esfuerzos efectivos ya que los taludes proyectados son de tipo permanente y se debe evaluar las condiciones de estabilidad a largo plazo, por tanto, los parámetros de resistencia del modelo mohr-coulomb se determinaron a partir de ensayos de corte directo consolidados-drenados.

### **Suelo Residual de la Formación Girón (SrJg)**

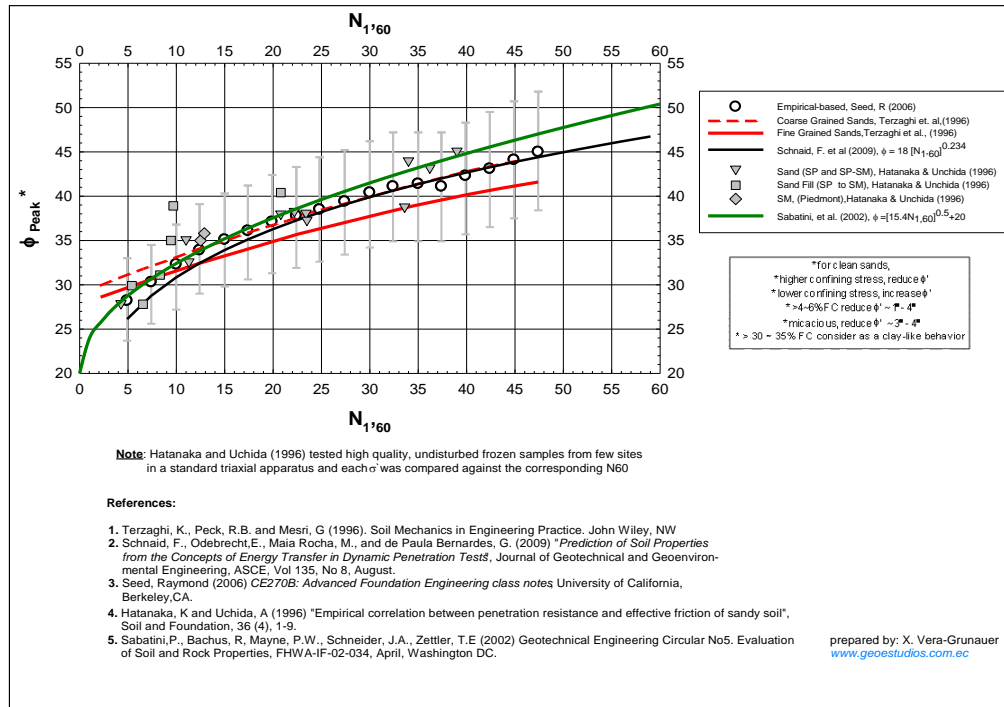
- Peso volumétrico: 17.7 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 98 kPa
- $\phi$ : 34°

### **Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla).**

Teniendo en cuenta que a las muestras de este tipo de suelo no se le realizaron cortes directos, se determina el ángulo de fricción a partir de correlaciones empíricas.

Según al contenido de finos de los suelos, se espera un comportamiento drenado de estos estratos bajo las cargas de servicio, por lo cual se determina la capacidad de carga admisible en función del ángulo de fricción de estas arenas, obtenidos mediante correlaciones empíricas, se toma el valor más crítico, de 20°, el Angulo de fricción, tanto para el suelo antrópico como para el coluvial, debido a que no se presentan caracterización de las propiedades.

**Figura 42. Correlación entre N<sub>1,60</sub> y ángulo de fricción.**



**Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Sla).**

- Peso volumétrico: 17.7 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 0 kPa
- Ø: 20°

**Suelos transportado coluvial inactivo (Stci)**

- Peso volumétrico: 17.0 kN/m<sup>3</sup>
- Cohesión: 5 kPa
- Ø: 20°

**Tabla 11. Resumen de las propiedades de las UGS.**

<b>PROPIEDADES DE LAS UNIDADES</b>					
<b>Unidad</b>	<b>Fricción °ø</b>	<b>Cohesión Kg/Cm2</b>	<b>Peso Unitario Ton/m3</b>	<b>Peso Unitario kN/m3</b>	<b>Cohesión Kpa</b>
Stci	20	0.05	1.8	17.7	5
Sla	20	0	1.8	17.7	0
SrJg	34	0.72	1.8	17.7	70.6
RaJg	34	0.8	1.9	18.6	78.5
RJg	35.3	0.98	2,33	22.8	96

**Información Para Espectro de Diseño NSR – 10**

El diseñador estructural debe tener en cuenta los diseños sismo resistentes, para zonas de amenaza sísmica alta,  $A_a = 0,25$  y  $A_d = 0,09$ . De acuerdo a las exploraciones de campo el perfil de suelo se clasifica como perfil tipo C.

Figura 43. Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios que conforman el Departamento de Santander. Se resaltan los valores asignados al Municipio de Piedecuesta.

Departamento de Santander						
Municipio	Código Municipio	A <sub>a</sub>	A <sub>v</sub>	Zona de Amenaza Sísmica	A <sub>e</sub>	A <sub>d</sub>
Bucaramanga	68001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Aguada	68013	0.15	0.20	Intermedia	0.17	0.09
Albania	68020	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Aratoca	68051	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Barbosa	68077	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Barichara	68079	0.20	0.25	Alta	0.13	0.08
Barrancabermeja	68081	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Betulia	68092	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.09
Bolívar	68101	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Cabrera	68121	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
California	68132	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Capitanejo	68147	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Carcasi	68152	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Cepitá	68160	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Cerrito	68162	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Charalá	68167	0.20	0.25	Alta	0.08	0.05
Charta	68169	0.25	0.25	Alta	0.09	0.06
Chima	68176	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Chipatá	68179	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Cimitarra	68190	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Concepción	68207	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Confines	68209	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Contratación	68211	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Coromoro	68217	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Cuní	68220	0.20	0.25	Alta	0.10	0.06
El Carmen de Chucurí	68235	0.15	0.15	Intermedia	0.17	0.08
El Florán	68271	0.15	0.15	Intermedia	0.12	0.07
El Guacamayo	68245	0.15	0.20	Intermedia	0.18	0.10
El Peñón	68250	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.07
El Playón	68255	0.25	0.25	Alta	0.14	0.07
Encino	68264	0.20	0.25	Alta	0.09	0.05
Enciso	68266	0.25	0.25	Alta	0.10	0.05
Floridablanca	68276	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Galán	68296	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Gámbita	68298	0.20	0.20	Intermedia	0.07	0.05
Goepsa	68327	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Girón	68307	0.20	0.25	Alta	0.18	0.10
Guaca	68318	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Guadalupe	68320	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.09
Guapotá	68322	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.08
Guavatá	68324	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Hato	68344	0.15	0.20	Intermedia	0.21	0.10
Jesús María	68368	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Jordán	68370	0.20	0.25	Alta	0.10	0.07
La Belleza	68377	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.07
La Paz	68397	0.15	0.15	Intermedia	0.14	0.09
Landázuri	68385	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Lebrija	68406	0.25	0.20	Alta	0.13	0.09
Los Santos	68418	0.20	0.25	Alta	0.11	0.08
Macaravita	68425	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Málaga	68432	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Matanza	68444	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Mogotes	68464	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Molagavita	68468	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Ocamonte	68498	0.20	0.25	Alta	0.08	0.05
Oiba	68500	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Onzága	68502	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
Palmar	68522	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.09
Palmas del Socorro	68524	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.08
Pedernales	68536	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Piedecuesta	68547	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Pínceros	68549	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Puerto Nacional	68572	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Puerto Parra	68573	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Puerto Wilches	68575	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Rionegro	68615	0.20	0.20	Intermedia	0.07	0.04
Sabana de Torres	68655	0.20	0.15	Intermedia	0.06	0.04
San Andrés	68669	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
San Benito	68673	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.07
San Gil	68679	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
San Joaquín	68682	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
San José de Miranda	68684	0.25	0.25	Alta	0.10	0.05
San Miguel	68686	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
San Vicente de Chucurí	68689	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
Santa Bárbara	68705	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Santa Helena del Opón	68720	0.15	0.15	Intermedia	0.18	0.10
Simacota	68745	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Socorro	68755	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Suaita	68770	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Sucre	68773	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.07
Suratá	68780	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Tona	68820	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Valle San José	68855	0.20	0.25	Alta	0.08	0.06
Vélez	68861	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.08
Vetas	68867	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Villanueva	68872	0.20	0.25	Alta	0.11	0.07
Zapatoca	68895	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10

Fuente: Tomado y modificado de Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NRS-10).

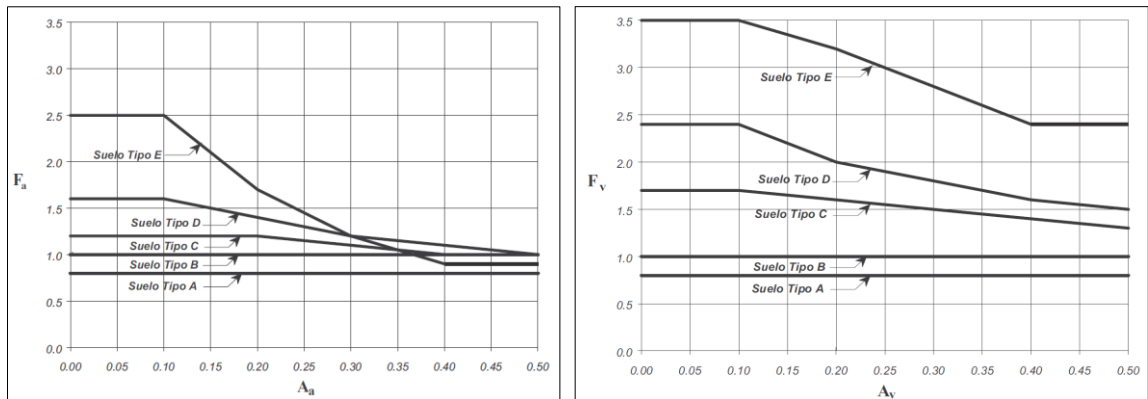
**Figura 44. Clasificación de los perfiles de suelo, C.**

Clasificación de los perfiles de 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	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total $H$ mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
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: $F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. $F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( $H > 3$ m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). $F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad ( $H > 7.5$ m con Índice de Plasticidad $IP > 75$ ) $F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( $H > 36$ m)	

Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NRS-10).

**Figura 45. Coeficiente de amplificación  $F_a$  y  $F_v$  del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.**



Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NRS-10).

**4.6.3 Parámetros Para Análisis Pseudo-Estático de Taludes** Para la realización de análisis pseudo-estático de taludes se evaluará la aceleración horizontal de acuerdo a criterio de la norma NSR 2010.

Debido a que para este estudio, no se contempla en los términos de referencia realizar análisis de amplificación de onda, se establecerá la aceleración máxima del terreno  $a_{max}$ , mediante un espectro de aceleraciones.

De acuerdo a la Figura 004, la aceleración máxima del terreno  $a_{max}$ , está dada por la aceleración del espectro de diseño para periodo cero así,

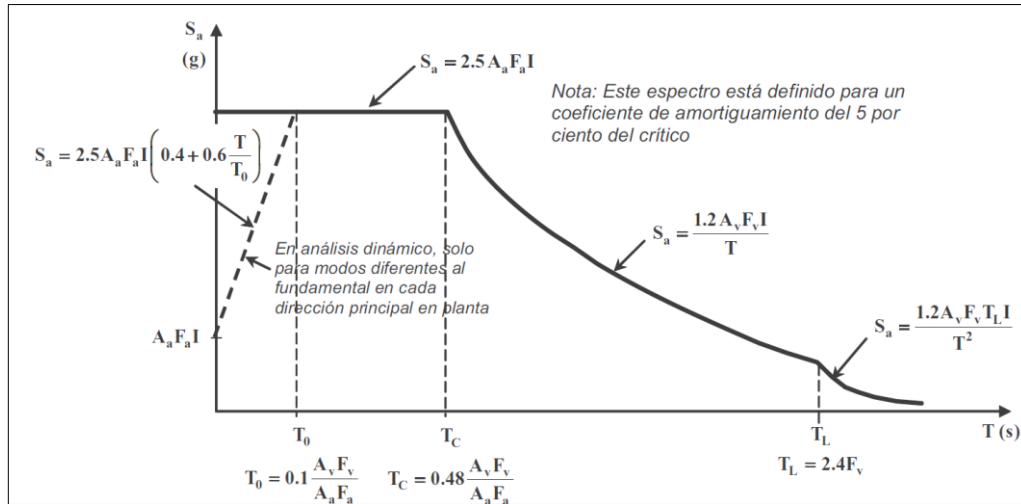
$$a_{max} = A_a * F_a * I \text{ Ecuación (1)}$$

$A_a$ = coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

$F_a$ =coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional.

$I$ = Coeficiente de importancia.

**Figura 46. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.**



Fuente: Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NRS-10).

Para el municipio de Piedecuesta, el valor de  $A_a$  corresponde a 0,25. De acuerdo al tipo de perfil de suelo, basados en la clasificación de los perfiles de suelo NSR – 10, el tipo de perfil corresponde al C y se asumió un coeficiente de importancia de 1.0 (Grupo I, Estructuras de ocupación normal).

$$a_{max} = 0,25 * 1,15 * 1.0$$

$$a_{max} = 0,2875$$

El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes KST tiene valor inferior o igual al de  $a_{max}$  y se admiten los siguientes valores mínimos de  $K_{st}/a_{max}$  dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

**Figura 47. Valores de  $K_{st}/a_{max}$  mínimos para análisis pseudo-estático de taludes.**

Material	$K_{ST}/a_{max}$ Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Fuente: Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NRS-10).

Teniendo en cuenta el tipo de material identificado en la exploración de campo y en lo observado en la visita de campo, se asume un valor de  $K_{st}/a_{max} = 0,80$ , obteniendo un valor de  $K_{st}$  de:

$$K_{st}/a_{max} = 0,80;$$

$$K_{st} = 0,80 * a_{max};$$

$$K_{st} = 0,80 * 0,2875$$

$$K_{st} = 0,23$$

Para los análisis de estabilidad de taludes se toma como valor de carga sísmica, el obtenido con el criterio de la NSR – 10 que corresponde a 0,23g.

**4.6.4 Evaluación de amenaza por movimientos en masa** Los fenómenos de remoción en masa, son desplazamientos de masas de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. Se clasifican de acuerdo con sus características, velocidad de movimiento, magnitud y material transportado. Se incluyen dentro de los fenómenos de remoción en masa los deslizamientos, volcamientos, caídas y flujos de roca o suelo y entre estos últimos los flujos a lo largo de los cauces cuando el material que cae se mezcla con la corriente de agua, como es el caso de las llamadas avenidas torrenciales.

## EVALUACION DE LA AMENAZA

Amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente nocivo, dentro de un período específico de tiempo y en un área dada.

El proceso mediante el cual se determina la probabilidad de ocurrencia y la severidad de un evento en un tiempo dado y en un área determinada, se determinó mediante la evaluación de los factores de seguridad de las laderas cercanas al proyecto.

Se trabajó con la Norma Geotécnica de la CDMB (2009), porque contempla la variación con los factores de seguridad cuando hay sismo, a diferencia del SGC, que no especifica esos factores de seguridad se refieren a estático o con sismo.

**Tabla 12. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición estática**

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad
Amenaza Baja (B)	$F.S \geq 1,50$
Amenaza Media (M)	$1,25 \leq F.S \leq 1,50$
Amenaza Alta (A)	$0,00 \leq F.S \leq 1,25$

Fuente: Tomado y modificado de la Norma Geotécnica de la CDMB (2009).

**Tabla 13. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de remoción en masa en condición pseudo-estática.**

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad
Amenaza Baja (B)	$F.S \geq 1,20$
Amenaza Media (M)	$1,00 \leq F.S \leq 1,20$
Amenaza Alta (A)	$0,00 \leq F.S \leq 1,00$

Fuente: Tomado y modificado de la Norma Geotécnica de la CDMB (2009).

**4.6.5 Evaluación de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite** Para realizar la evaluación de la estabilidad de los taludes de la zona se tiene en cuenta el cálculo de los factores de seguridad mediante el método de equilibrio límite se utiliza la teoría de Mohr-Coulomb. Los parámetros básicos del modelo son la Cohesión y el ángulo de fricción interna del material.

Para el análisis del modelo Geotécnico del deslizamiento se utilizó el software SLOPE/W, Versión 6.02 de GEO-SLOPE international Ltda, Calgary Alberta. Es un software que usa la teoría del equilibrio límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca. Es importante mencionar que es un método determinístico en el que se toman diferentes escenarios, en este caso se tienen en cuenta dos escenarios:

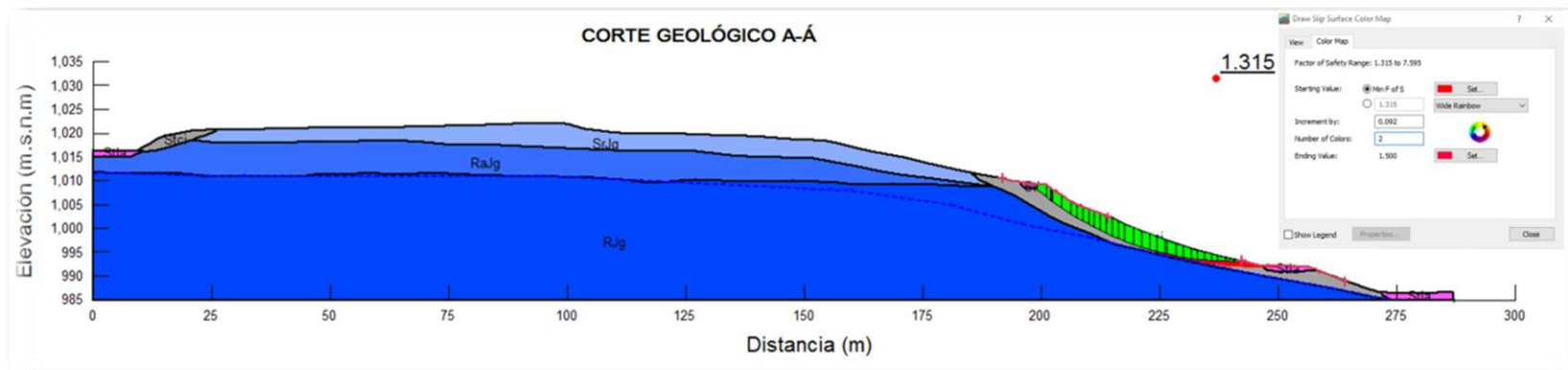
- Escenario 1: Condición estático parcialmente saturado.
- Escenario 2: Condición pseudo – estático parcialmente saturado.

En los diferentes escenarios contemplados para la obtención del nivel de amenaza de los taludes se tienen en cuenta superficies de falla circulares y no traslacionales (Talud infinito), debido a evidencias donde se ven los posibles mecanismos de falla que generan deslizamientos rotacionales cuya superficie de falla se podría ubicar en el contacto entre la unidad del depósito coluvial y la roca blanda saprolitizada.

**4.6.5.1 Escenario 1: Condición estático parcialmente saturado** En los siguientes análisis se dibuja el mapa de factores de seguridad para cada nivel de amenaza y se plasma en cada figura mediante la inclusión de un recuadro y una franja roja donde se limita el factor de seguridad que se muestra dependiendo el nivel de amenaza analizar.

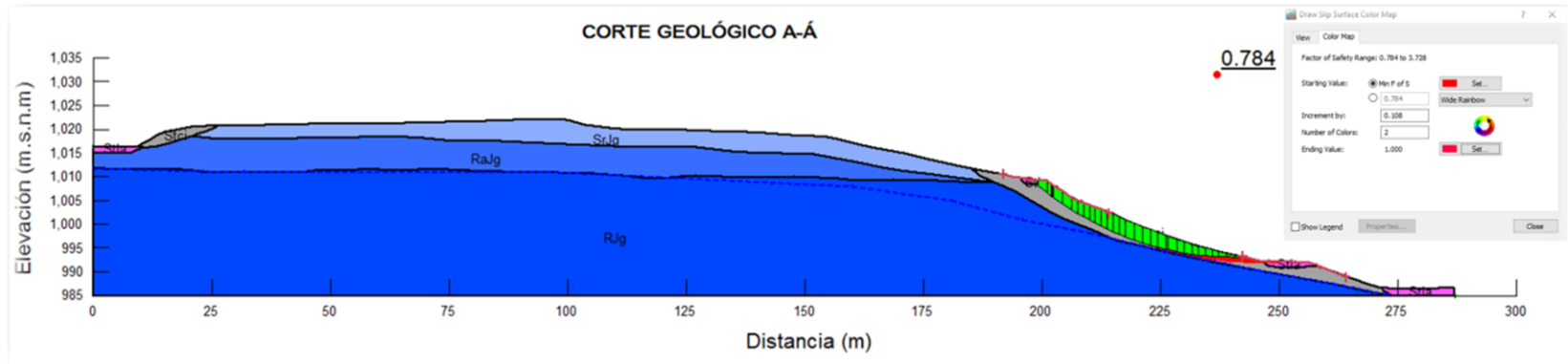
Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Corte Geológico, para el nivel de amenaza media. Se infiere un nivel freático, para ajustar el modelo a la realidad debido a que en los sondeos de perforación no se determinó. La franja roja muestra el área máxima que se encuentra en amenaza media, hasta un factor de seguridad de 1.5.

**Figura 48. Análisis de estabilidad para la condición estática parcialmente saturada con amenaza media, en la Figura 013 muestra el Mapa Geológico en donde se ubica el Corte Geológico A-Á.**



**4.6.5.2 Escenario 2: Condición pseudo – estático parcialmente saturado** En los siguientes análisis se dibuja el mapa de factores de seguridad para cada nivel de amenaza y se plasma en cada figura mediante la inclusión de un recuadro y una franja roja donde se limita el factor de seguridad que se muestra dependiendo el nivel de amenaza analizar. La franja roja muestra el área máxima que se encuentra en amenaza alta, hasta un factor de seguridad de 1.0.

**Figura 49. Análisis de estabilidad para condición Pseudo-estático parcialmente saturado con amenaza alta, en la Figura 013 muestra el Mapa Geológico en donde se ubica el Corte Geológico A-Á.**



## 4.7 RESULTADOS ANÁLISIS GEOMECANICO

### 4.7.1.1 Afloramiento No. 1

**Localización:** Latitud: 6°59'3,35" N  
Longitud: 73°3+17,05" W  
Altitud: 1004 msnm

Se encuentra a la altura del Barrio La Cantera al lado derecho del inicio escaleras de ascenso Al Cerro de La Cantera.

**Figura 50. Panorámica del macizo rocoso en donde se delimitan cada una de las zonas trabajadas para el Afloramiento No. 1.**

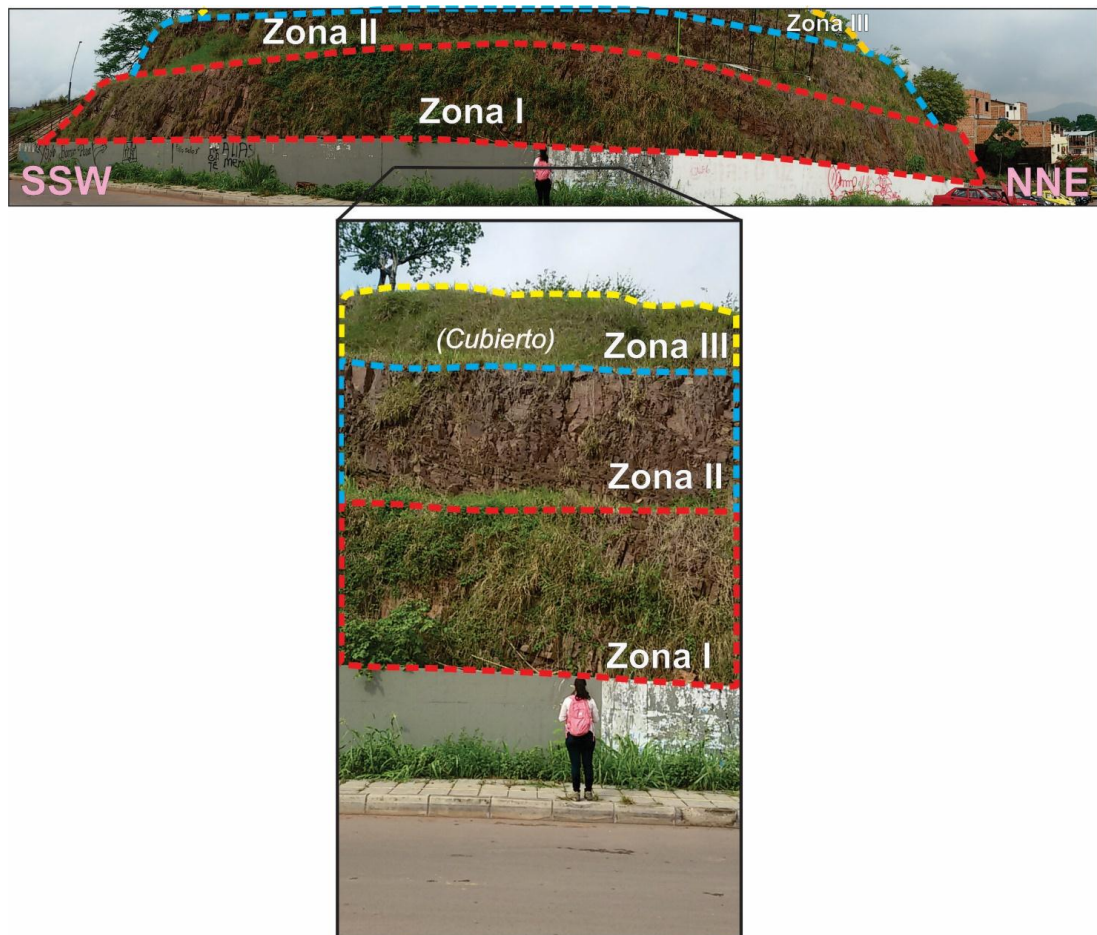


Tabla 14. Caracterización de Macizo Rocos para el Afloramiento No. 1.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO		Afloramiento No. 1		MAPAS DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES - GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA		CARACTERIZACIÓN DE MACIZO ROCOSO							
INFORMACIÓN GENERAL				CLASE DE AFLORAMIENTO									
PROYECTO: Tesis - Barbara M James S. UIS				Natural <input type="checkbox"/>									
Departamento: Santander		Latitud: 6° 59' 3,35" N		Nombre: Afloramiento No. 1		Corte superficial <input checked="" type="checkbox"/>							
Municipio: Piedecuesta		Longitud: 73° 3' 17,05" W		Fecha: 14-02-2016		Excavación subterránea <input type="checkbox"/>							
Vereda: Baño la Cantera		Altitud: 1004 msnm		N°. De Estación: BM2-001		Trichera, Apique <input type="checkbox"/>							
SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA				CARACTERIZACIÓN DE LA UGS									
Deposito de Gravedad				Unidad Geológica Superficial: R1j → Rora Intermedia En Jordan - Suelo Residual (Srj)									
Suelo Transportado				N° litologías asociadas a la UGS: 1 <input type="checkbox"/> Espesor (m) _____ 2 <input checked="" type="checkbox"/> Espesor (m) 2.1 m									
Suelo Residual													
Roca													
CARACTERÍSTICAS DE LA UGS													
FÁBRICA		HUMEDAD NATURAL:		PERMEABILIDAD CUALITATIVA:		TAMAÑO DEL GRANO							
Cristalina Masiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Seco	<input checked="" type="checkbox"/>	Baja	<input checked="" type="checkbox"/>	Grueso	<input type="checkbox"/>						
Cristalina foliada	<input type="checkbox"/>	Húmedo	<input type="checkbox"/>	Media	<input type="checkbox"/>	Fino	<input checked="" type="checkbox"/>						
Clásica cementada	<input checked="" type="checkbox"/>	Con flujo	<input type="checkbox"/>	Alta	<input type="checkbox"/>								
Clásica consolidada	<input type="checkbox"/>												
						GRADO DE METEORIZACIÓN							
						Ninguna <input type="checkbox"/>							
						Débil <input type="checkbox"/>							
						Moderada <input checked="" type="checkbox"/>							
						Alta <input type="checkbox"/>							
						DUREZA							
						Muy Dura <input type="checkbox"/>							
						Dura <input type="checkbox"/>							
						Moderada <input type="checkbox"/>							
						Blanda <input type="checkbox"/>							
						Muy blanda <input type="checkbox"/>							
						COMPOSICIÓN							
						Arenas de tamaño fino - muy fino - limolitas. Una matriz arenosa torcosa pasta roja							
LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES													
DISTANCIA ENTRE DIACLASAS	TIPO	DIRECCION BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	PERSISTENCIA	ANCHO DE ABERTURA	TIPO DE RELLENO	RUGOSIDAD SUPERFICIAL	FORMA DE LA SUPERFICIE	HUMEDAD EN DIACLASAS	ESPACIAMIENTO	Estadística	Tipo Dato Estadística	OBSERVACIONES
~ 30cm	2	45-40-35	69-69-64	3	2	4	3	3	1	4	274/32	Az. Rumbo	
~ 30cm	2	41	56	3	2	4	3	3	1	4			
~ 80cm	2	315-321-30	64-69-75	1	2	4	3	3	1	5			
~ 40cm	2	50-53-35	83-86-85	3	2	4	3	2	1	4	230/29	Az. Rumbo	
~ 25cm	2	38-326-34	78-81-85	2	2	4	1	2	1	5			
TIPO	PERSISTENCIA	ANCHO DE ABERTURA			TIPO DE RELLENO	RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE	FORMA DE LA SUPERFICIE	HUMEDAD EN DIACLASAS			ESPACIAMIENTO		
0 Zona de falla	1. Muy baja (<1 m)	1. Muy estrecha (<0,1 mm)			1. Limpia	1. Rugosidad	1. Escalonada	0. No hay posibilidad de flujo de agua			1. Extremadamente espac (<0,20 mm)		
1 Falla	2. Baja (1 a 3 m)	2. Estrecha (0,1 a 0,25 mm)			2. Superficie teñida	2. Suave	2. Ondulada	1. Discontinuidad seca sin evidencia de flujo de agua			2. Muy cerrado (20 a 60 mm)		
2 Diaclasa	3. Media (3 a 10 m)	3. Parcialm abierta (0,25 a 0,5 mm)			3. No cohesivo	3. Pulida	3. Planar	2. Discontinuidad seca con manchas de óxido			3. Cerrado (60 a 200 mm)		
3 Clivaje	4. Alta (10 a 20 m)	4. Abierta (0,5 a 2,5 mm)			4. Matriz arcillosa inactiva	4. Estrias de falla		3. Discontinuidad húmeda sin flujo de agua presente			4. Moderado (200 a 600 mm)		
4 Ingersividad	5. Muy alta (>20 m)	5. Moderadam abierta (2,5 a 10,0 mm)			5. Matriz arcillosa expansiva			4. Discontinuidad que muestra goteo, sin flujo de agua			5. Amplio (600 a 2000 mm)		
5 Cizalla		6. Ancha (>10 mm)			6. Cementada			5. Discontinuidad con flujo continuo de agua			6. Muy amplio (2000 a 6000 mm)		
6 Inversa		7. Muy amplia (1-10 cm)			7. Clorita, talco o yeso						7. Extremadam espac (>6000mm)		
7 Gresca de tensión					8. Otra								
8 Foliación													
9 Estratificación													
ANEXOS DEL FORMATO													
FOTOGRAFÍAS													
Foto	009	Descripción: Panorámica Macizo Rocos				Foto		Descripción: _____					
Foto	010	Descripción: Zonas del Macizo Rocos				Foto		Descripción: _____					
Foto		Descripción: _____				Foto		Descripción: _____					
Foto		Descripción: _____				Foto		Descripción: _____					

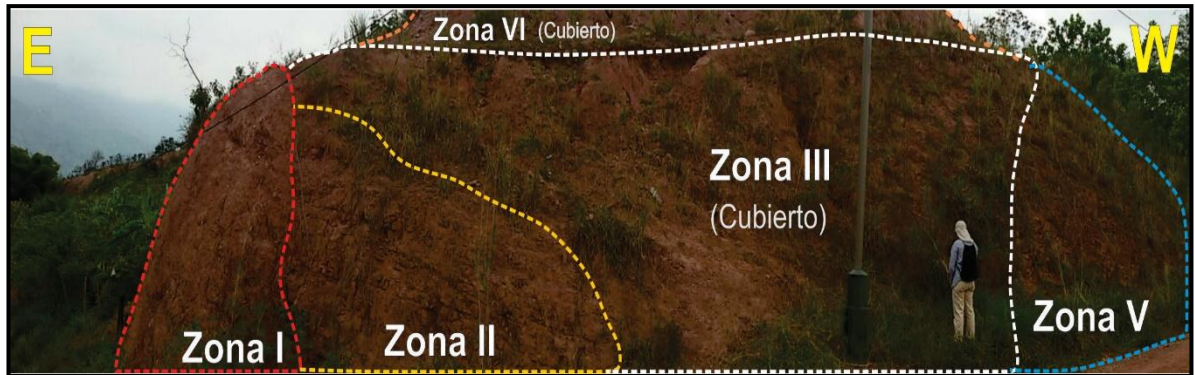
Fuente: Tomado y Modificado de Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geologico Colombiano (SGC), Anexo A-2.

#### 4.7.1.2 Afloramiento No. 2

**Localización:** Latitud: 6°59'19'' N  
Longitud: 73°3'36,7'' W  
Altitud: 1004 msnm

Se encuentra a la Vía Barrio Bariloche II Etapa – Cerro de La Cantera, margen izquierda.

**Figura 51. Panorámica del macizo rocoso en donde se delimitan cada una de las zonas trabajadas para el Afloramiento No. 2.**

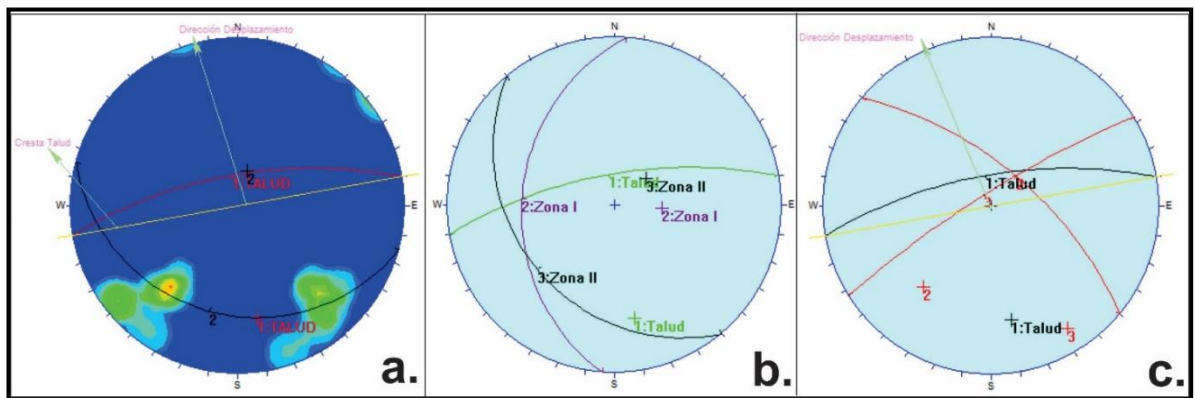




#### 4.7.2 Determinación del tipo de fallamiento a partir del modelado en DIPS

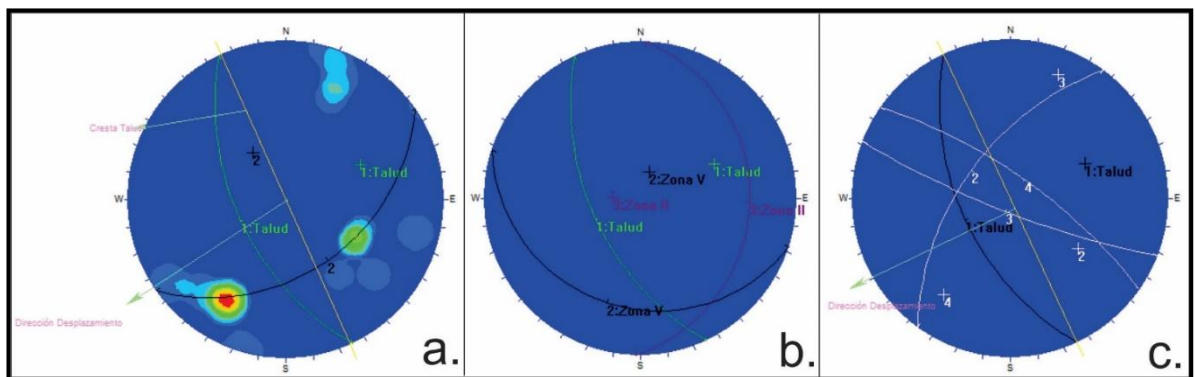
##### Afloramiento No. 1.

Figura 52. a. Estéreonet con el mapa de densidad de polos en donde se identifica falla por vuelco. b. Diagrama dirección del Talud vs Planos de Estratificación c. Diagrama principales familias de diaclasas. Elaborada en Dips.



##### Afloramiento No. 2.

Figura 53. a. Estéreonet con el mapa de densidad de polos en donde se identifica falla por rotura planar. b. Diagrama dirección del Talud vs Planos de Estratificación c. Diagrama principales familias de diaclasas. Elaborada en Dips.



#### 4.7.3 Tablas de resultados: Rebotes, RQD, RMR y SMR

##### Afloramiento No. 1.

Tabla 16. Datos de los rebotes obtenidos con el Martillo Schmidt, densidad y resistencia de la roca para el Afloramiento No. 1 .

ZONA I		ZONA II	
Rebotes (R)	Densidad (KN/m3)	Rebotes (R)	Densidad (KN/m3)
37	22,85	46	22,85
36		44	
38		40	
42		45	
38		44	
38		40	
46		48	
40		43	
42		44	
38		42	
Rebote Promedio		40	
Resistencia (Ma)		Resistencia (Ma)	
<b>58</b>		<b>60</b>	

Figura 54. Dirección del Talud vs Dirección de las diaclasas modelado en Dips Para el Afloramiento No. 1.

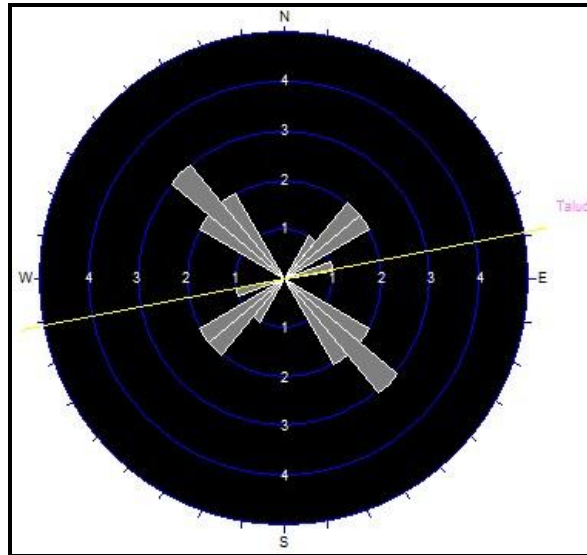


Tabla 17. Calculo del RQD para el Afloramiento No. 1 que indica la Buena calidad de sus rocas.

Familia de Diaclasas	ZONAS	FAMILIA DE DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	ESPACIADO (mm)							λ	RQD	RQD PROMEDIO POR ZONAS	RQD PROMEDIO
					Extremadamente juntas	Muy Juntas	Juntas	Moderadamente juntas	Separadas	Muy separadas	Extrem. separadas				
					< 20	20-60	60-200	200-600	600-2000	2000-6000	> 6000				
Dj	1	Fila 1	45	69				375				2,6666667	68,54814	76,040065	<b>75,586264</b>
Dj			40	69				375				2,6666667	68,54814		
Dj			35	64				375				2,6666667	68,54814		
Dj			41	56				375				2,6666667	68,54814		
Dj		Fila 2	315	64					900			1,1111111	86,0292981		
Dj			321	67					900			1,1111111	86,0292981		
Dj			308	75					900			1,1111111	86,0292981		
Dj			Fila 3	50	83				475				2,1052632		
Dj	53	86					475				2,1052632	74,5500466			
Dj	35	85					475				2,1052632	74,5500466			
Dj	Fila 4	318		78					500			2	75,7148813		
Dj		326	81					500			2	75,7148813			
Dj		341	85					500			2	75,7148813			
Dj													75,132464		

**Tabla 18. Calculo del RMR para el Afloramiento No. 1.**

Parámetros de clasificación RMR	Puntaje	
	Zona I	Zona II
Separación entre diaclasas	10	10
Longitud de la discontinuidad	2	2
Abertura	1	1
Rugosidad	3	5
Relleno	2	2
Alteración	1	1
Agua freática	15	15
Corrección por orientación	-2	-2
Resistencia de la matriz	7	7
RQD	17	17
Puntuación general	56	58
Área	448	340
(Área*Puntuación)	25088	19720
Σ Puntuación Área	44808	
<b>Puntuación Total RMR</b>	<b>56,86294416</b>	

ÁREA= B*H [m <sup>2</sup> ]					
Zona I					
BASE	56	ALTURA	8	Área	448
Zona II					
BASE	68	ALTURA	5	Área	340

El RMR obtenido (57), el macizo rocos del Afloramiento No. 1 lo clasifica como un Talud Clase III con calidad media, parcialmente estable.

**Tabla 19. Calculo del SMR para el Afloramiento No. 1.**

Familia de diaclasas	Zona I		Zona II	
	1	2	1	2
αj	40	315	46	328
αs	350			
F1	0,15		0,15	
βj	64	69	84	81
βs	69			
F2	1		1	
T	490	215	484	202
F3	-25		-25	
F4	0		0	
RMR	56,8629			
SMR por Zonas	53,1129		53,1129	
<b>INDICE SMR</b>	<b>53,1129</b>			

Convenciones	
αj	Dirección diaclasas
αs	Dirección talud
βj	Buzamiento diaclasas
βs	Buzamiento Talud
P	rotura planar
T	rotura por vuelco

P	laj-asl
T	laj-as-180l

El SMR obtenido (53), el macizo rocoso del Afloramiento No. 1 lo clasifica como un Talud Clase III Normal, parcialmente estable.

**Afloramiento No. 2.**

**Tabla 20. Datos de los rebotes obtenidos con el Martillo Schmidt, densidad y resistencia de la roca para el Afloramiento No. 2 .**

ZONA II		ZONA V			
Rebotes (R)	Densidad (KN/m <sup>3</sup> )	Rebotes (R)	Densidad (KN/m <sup>3</sup> )		
30	22,85	40	22,85		
29		41			
30		48			
30		40			
29		41			
31		42			
30		46			
31		41			
30		48			
31		48			
Rebote Promedio		30		Rebote Promedio	44
Resistencia (Ma)		Resistencia (Ma)			
<b>36</b>		<b>70</b>			

Figura 55. Dirección del Talud vs Dirección de las diaclasas modelado en Dips Para el Afloramiento No. 2.

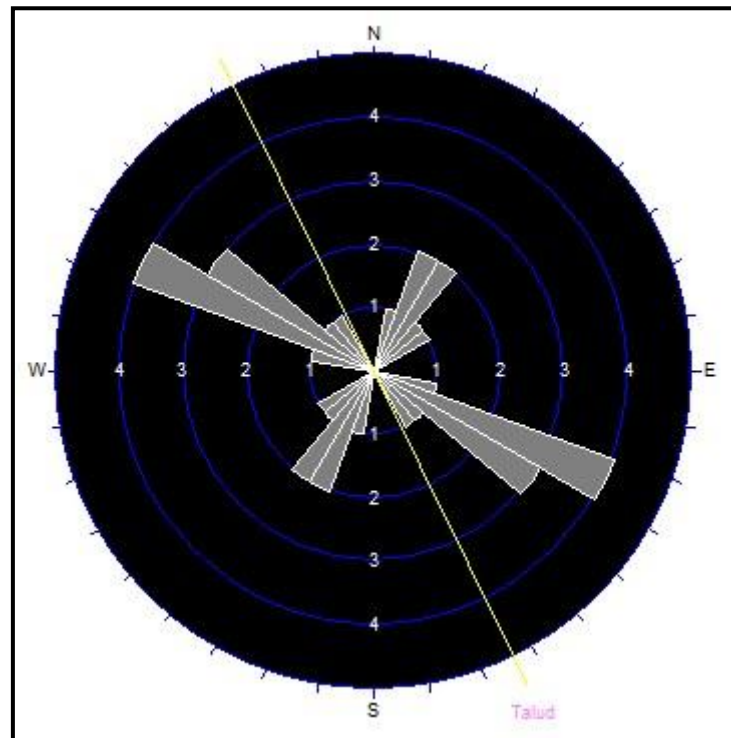


Tabla 21. Calculo del RQD para el Afloramiento No. 2 que indica la Buena calidad de sus rocas.

Familia de Diaclasas	ZONAS	Rumbo	Buzamiento	ESPACIADO (mm)							$\lambda$	RQD	RQD PROM EDIO POR ZONA S	RQD PROM EDIO	
				Extremadamente juntas	Muy Juntas	Juntas	Moderadamente juntas	Separadas	Muy separadas	Extrem. separadas					
				< 20	20-60	60-200	200-600	600-2000	2000-6000	> 6000					
Dj	1	Fila 1	290	54			350	350				2,85714286	66,59324588	67,0917153	76,500567
Dj			302	53			350	350				2,85714286	66,59324588		
Dj			325	60			350	350				2,85714286	66,59324588		
		Fila 2	196	90			325	325				3,07692308	64,38923441		
		204	80			325	325				3,07692308	64,38923441			
		204	70			325	325				3,07692308	64,38923441			
Dj		Fila 3	43	76			400	400				2,5	70,29266565		
Dj		32	71			400	400					2,5	70,29266565		

Familia de Diaclasas	ZONAS	FAMILIA DE DIACLASAS	Rumbo	Buzamiento	ESPACIADO (mm)							$\lambda$	RQD	RQD PROM EDIO POR ZONA S	RQD PROM EDIO
					Extremadamente juntas	Muy Juntas	Juntas	Moderadamente juntas	Separadas	Muy separadas	Extrem. separadas				
					< 20	20-60	60-200	200-600	600-2000	2000-6000	> 6000				
Dj			29	71			400	400				2,5	70,29266565		
Dj	2	Flia 5	302	53					900			1,11111111	86,02929808	86,0292981	
			299	54					900			1,11111111	86,02929808		
Dj			310	72					900			1,11111111	86,02929808		
Dj			284	80					900			1,11111111	86,02929808		
			55	84					900			1,11111111	86,02929808		
Dj		Flia 6	28	74					900			1,11111111	86,02929808		
Dj			32	75					900			1,11111111	86,02929808		
Dj			30	71					900			1,11111111	86,02929808		

**Tabla 22. Calculo del RMR para el Afloramiento No. 2.**

Parámetros de clasificación RMR	Puntaje	
	Zona II	Zona V
Separación entre diaclasas	10	10
Longitud de la discontinuidad	6	6
Abertura	1	1
Rugosidad	5	5
Relleno	2	2
Alteración	1	1
Agua freática	15	15
Corrección por orientación	-5	-5
Resistencia de la matriz	7	4
RQD	13	17
Puntuación general	55	56
Área	8,75	12,6
(Área*Puntuación)	481,25	705,6
$\Sigma$ Puntuación Área	1186,85	
<b>Puntuación Total</b>	<b>55,59016393</b>	

ÁREA= B*H [m <sup>2</sup> ]					
Zona II					
Base	3,5	Altura	2,5	Area	8,75
Zona V					
Base	4,2	Altura	3	Area	12,6

El RMR obtenido (56), el macizo rocos del Afloramiento No. 2 lo clasifica como un Talud Clase III con calidad media, parcialmente estable.

**Tabla 23. Calculo del SMR para el Afloramiento No. 2.**

Familia de diaclasas	Zona II			Zona V	
	1	2	3	1	2
$\alpha_j$	306	201	35	299	36
$\alpha_s$	245				
<b>P</b>	<b>61</b>	<b>44</b>	<b>210</b>	<b>16</b>	<b>209</b>
F1	0,15			0,15	
$\beta_j$	56	80	73	65	76
$\beta_s$	55				
F2	1			1	
F3	0			0	
F4	0			0	
RMR	55,59016393				
SMR por Zonas	55,59016393			55,59016393	
<b>INDICE SMR</b>	<b>55,59016393</b>				

Convenciones	
$\alpha_j$	Dirección diaclasas
$\alpha_s$	Dirección talud
$\beta_j$	Buzamiento diaclasas
$\beta_s$	Buzamiento Talud
<b>P</b>	<b>rotura planar</b>
T	rotura por vuelco
P	$l\alpha_j-\alpha_s l$
T	$l\alpha_j-\alpha_s-180l$

El SMR obtenido (56), el macizo rocos del Afloramiento No. 2 lo clasifica como un Talud Clase III Normal, parcialmente estable.

**4.7.4 Software Win-Tensor.** Es un software de uso libre que fue diseñado por el geólogo Damien Delvaux. Su versión para Windows se inició en 2001 y estaba casi terminado a finales de 2010, Se ha diseñado utilizando una estructura y un enfoque de fácil uso.

Win tensor se utiliza para el manejo de datos estructurales frágiles, consignando en una base de datos estructurada los datos obtenidos en campo con el fin de realizar la reconstrucción de los paleoesfuerzos. Este programa, se ha desarrollado con el fin de satisfacer las necesidades de los geólogos que trabajan en el análisis de fallas frágiles y reconstrucción paleoesfuerzos.

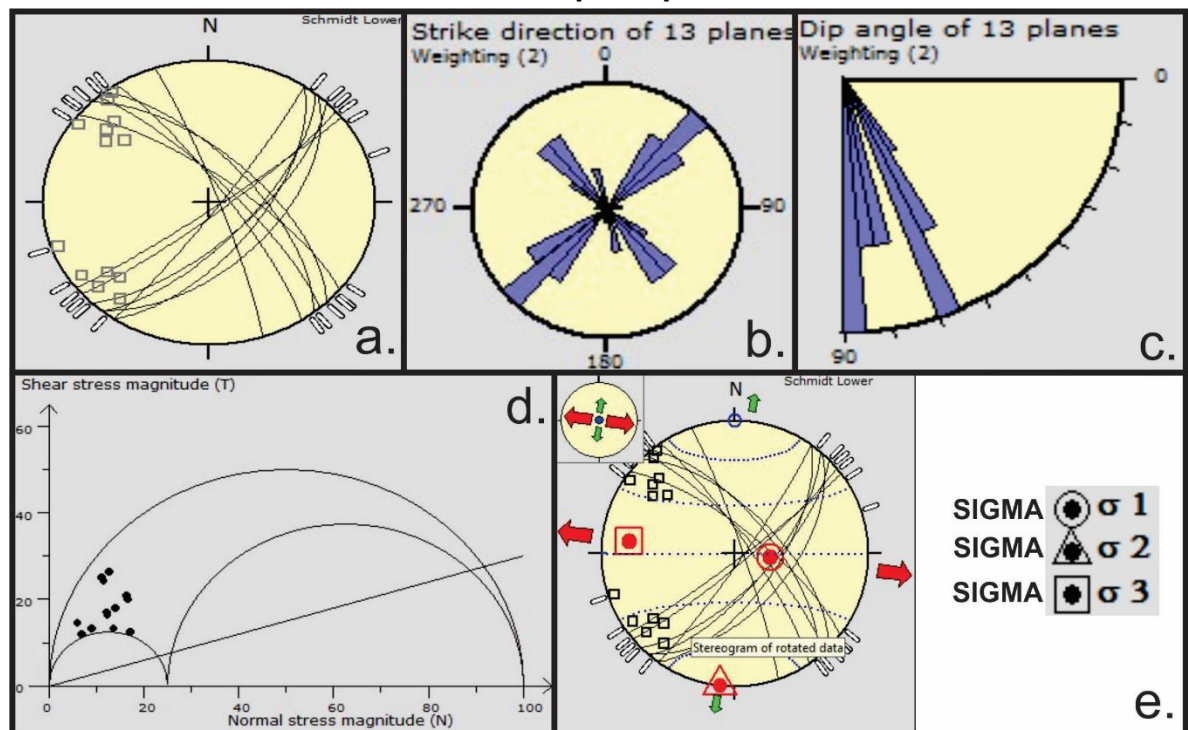
Este software de uso libre nos permite por medio de los datos obtenidos en campo, determinar los esfuerzos que actúan sobre una zona en específico, determinando la dirección principal de los esfuerzos sigma1, sigma 2 y sigma 3. También permite realizar diagramas de polos, diagramas de rosetas y analizar los

esfuerzos por medio del círculo de mor, con el fin de determinar la cinemática del área de estudio y como esta afecta el área estudiada.

#### 4.7.4.1 Análisis de esfuerzos en Win\_Tensor

##### Afloramiento 1.

Figura 56. a. Datos estructurales en Estéreonet en él se muestran los planos y sus respectivos polos. b. Diagrama de Rosetas, se evidencian los 13 rumbos de los planos obtenidos en campo de las 3 familias de Diaclasas. c. Diagrama de Rosetas en Win-Tensor, donde se evidencian los 13 buzamientos de los planos de las 3 familias de Diaclasas. d. Circulo de MOHR. e. Dirección de los esfuerzos principales.

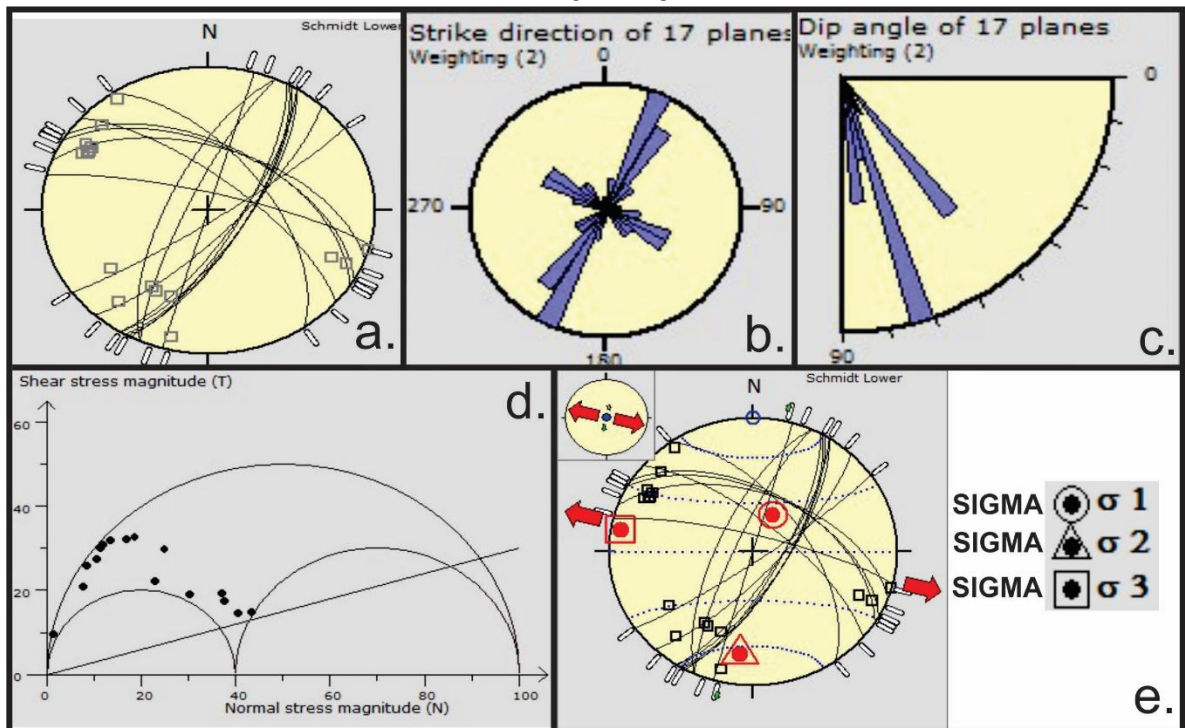


El análisis de los esfuerzos se realizó con 13 datos estructurales de rumbo y buzamiento tomados a las principales familias de diaclasas observadas en campo. Los puntos plasmados en el Circulo de Mohr representan el grado de actividad de cada una de las diaclasas que para este macizo rocoso se ubican sobre el límite

de deformación frágil-dúctil y por tanto se clasifican como fracturas reactivadas lo cual se ve reflejado en la fragilidad que exhiben las rocas del talud. Las principales direcciones de los esfuerzos Sigma 1, Sigma 2 y Sigma 3 indican que el macizo está controlado por esfuerzos compresivos y extensivos en donde los esfuerzos compresivos son la fuerza principal que actúan en él.

## Afloramiento No. 2.

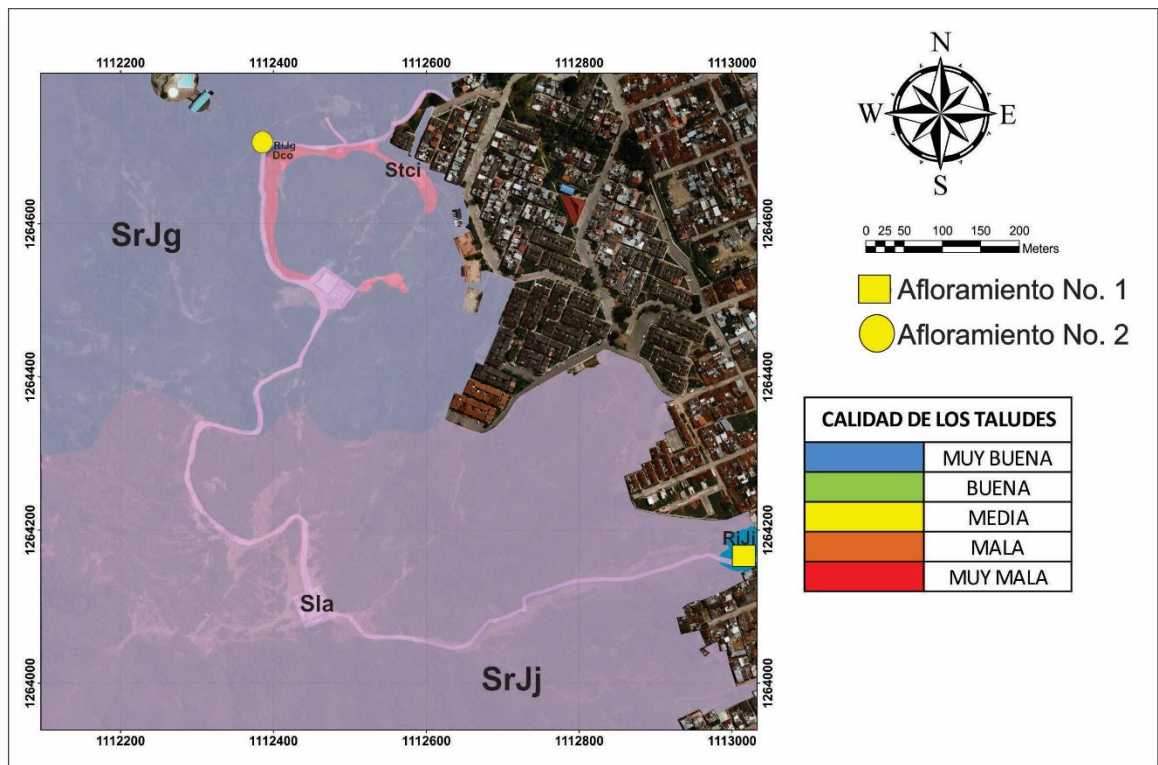
**Figura 57. a. Datos estructurales en Estéreonet en él se muestran los planos y sus respectivos polos. b. Diagrama de Rosetas, se evidencian los 17 rumbos de los planos obtenidos en campo de las 3 familias de Diaclasas. c. Diagrama de Rosetas en Win-Tensor, donde se evidencian los 17 buzamientos de los planos de las 3 familias de Diaclasas. d. Circulo de MOHR. e. Dirección de los esfuerzos principales.**



El análisis de los esfuerzos se realizó con 17 datos estructurales de rumbo y buzamiento tomados a las principales familias de diaclasas observadas en campo. Los puntos plasmados en el Circulo de Mohr representan el grado de actividad de

cada una de las diaclasas que para este macizo rocoso se ubican sobre el límite de deformación frágil-dúctil y por tanto se clasifican como fracturas reactivadas lo cual se ve reflejado en la fragilidad que exhiben las rocas del talud. Las principales direcciones de los esfuerzos Sigma 1, Sigma 2 y Sigma 3 indican que el macizo está controlado por esfuerzos compresivos y un mínimo de esfuerzos extensivos.

**Figura 58. Ubicación y calificación de la calidad de los macizos rocosos trabajados.**



**Tabla 24. Clasificación RQD, RMR y SMR para cada uno de los afloramientos trabajados son su respectiva calificación.**

Talud	RQD (%)		RMR		SMR	
Afloramiento No. 1	76	Buena	57	Media	53	Normal
Afloramiento No. 2	76	Buena	56	Media	55	Normal

## 5. CONCLUSIONES

- El material geológico que conforma el área de estudio es de origen sedimentario y está conformado por Rocas Intermedias de las formaciones Jordán (RiJj) y Girón (RiJg), suelos residuales de las mismas (SrJj-SrJg), un Depósito Coluvial (Dco), suelos transportados inactivos del mismo y suelos de llenos antrópicos (Sla) los cuales se realizaron para la construcción del lugar de disposición de tanques de almacenamiento de agua, el lugar donde se encuentra el Monumento a La Virgen en la parte más elevada del cerro y el trazado de las escaleras y carretera que conducen al mismo.
- Los dos macizos rocosos analizados presentan buena calidad de roca, clasificación media como Taludes Clase III y estabilidad Normal. La ubicación en el Circulo de Mohr de los datos estructurales de diaclasas trabajados los ubican sobre el límite de deformación frágil-dúctil y por lo tanto se clasifican como fracturas reactivadas lo cual es evidenciado en la fragilidad que exhiben las rocas de los taludes. Las principales direcciones de los esfuerzos Sigma 1, Sigma 2 y Sigma 3 indican que los macizos están controlados por esfuerzos compresivos y extensivos (muy mínimos para el Afloramiento No. 1, siendo los esfuerzos compresivos la fuerza principal que actúa en ellos.
- Los elementos geomorfológicos identificados se clasificaron de acuerdo a la inclinación de la pendiente, se originan por influencia de la actividad tectónica en especial la generada por el Sistema de Fallas de Bucaramanga – Santa Marta sobre las rocas y suelos que conforman el área de estudio en conjunto con procesos denudacionales erosivos y de depositación de material por movimientos en masa.

- El Mapa de Cobertura y Usos del Suelo permite apreciar el buen uso del mismo en el área de trabajo, así mismo se infiere que es necesario reforestar las zonas cubiertas por rastrojos y pastos para mitigar los riesgos de movimientos en masa por la saturación del suelo con aguas lluvias en épocas de intensas precipitaciones.
- Los movimientos de masa identificados corresponden movimientos reactivados con estilos múltiples de distribución creciente conformados por las unidades geológicas superficiales de Depósito Coluvial y Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci), suprayacen las rocas fisuradas, agrietadas e intermedias de la Formación Girón (RiJg). Son desplazamientos de tipo traslacionales provocados principalmente por la lluvia que satura el suelo.
- En la zona crítica identificada a la altura del Barrio Bariloche II Etapa se encontraron obras de terraceo en las laderas contiguas al mismo, es necesario aclarar que es una buena alternativa para el manejo de la erosión pero no es la obra de mitigación adecuada ya que no cuenta con un plan de manejo pluvial y no tiene en cuenta las propiedades intrínsecas del suelo y roca que las conforman para manejar el tema de los movimientos en masa propios de la zona.
- El Mapa de Susceptibilidad de Movimientos en Masa en el cual se acoplan la geología, los elementos geomorfológicos y la cobertura y uso de suelo es tangible a lo que exhibe el área de trabajo y lo registrado en el Inventario de Movimientos en Masa, para llegar a ello se tuvo que dar una ponderación casi equitativa a los insumos empleados (Geología 35%, Elementos Geomorfológicos 35%, Cobertura y Uso del Suelo 30%).
- En el Mapa de Susceptibilidad de Movimientos en Masa se observa que en los lugares con elementos geomorfológicos correspondientes a Laderas Inclinadas

y muy Inclinas con unidades geológicas de suelos residuales la cobertura y uso de suelo como Bosques Densos Bajos y Arbustales Densos óptimos para controlar procesos denudacionales permiten disminuir el grado de susceptibilidad de movimientos en masa de alto a medio.

## 6. RECOMENDACIONES

- Para el Afloramiento No. 2 se recomienda realizar obras de escalonamiento como las que presenta el Afloramiento No. 1 para hacer control a los procesos erosivos presentes en la zona lo cual ayuda a mitigar el aumento de su inclinación natural.
- Para el Sector Crítico identificado a la altura del Barrio Bariloche II Etapa se recomienda realizar pantallas ancladas con el fin de mitigar deslizamiento de materiales pendiente abajo en especial en épocas de lluvia en donde el suelo se satura de agua y permite este proceso de movimiento en masa.
- Se recomienda al Servicio Geológico Colombiano proponer un documento metodológico para la Zonificación de Susceptibilidad de Movimientos den Masa a escala 1:2000.
- Se recomienda realizar un Estudio de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) a escala 1:2000 en el área trabajada para determinar si se deben y es posible realizar obras de mitigación de riesgos en otros sectores aparte del Barrio Bariloche II Etapa.
- Se recomienda a las autoridades competentes para revisar los Planes Básicos de Ordenamiento Territorial revisar con detalle el trazado de la topografía ya que a la hora de trabajar la que ofrece el PBOT del Municipio de Piedecuesta del año 2003 se encontraron inconsistencias en su trazado.

## BIBLIOGRAFIA

ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, Consultoría Para Realizar Investigaciones Geotécnicas, Levantamientos Topográficos, Geológicos y Geomorfológicos en el Área Metropolitana De Bucaramanga de acuerdo a Los Puntos Designados Por La Entidad; Lugar: Barrio Bariloche II Etapa, 2016.

BANCO MUNDIAL COLOMBIA Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: Un aporte para la construcción de políticas públicas. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas, 2012.

BIENIAWSKI, Z. T. Rock mass classification in rock engineering. In exploration for rock engineering, proc. Of the symp. Pages 97-106, 1976.

CATALÁN J. Geología estructural y dinámica global. Departamento de Geología, España, Universidad de Salamanca, Caps. 2 y 3, 2003.

CEDIEL, F.«Grupo Girón, una molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental.» Boletín Geológico Vol. 16 No 1-3: 5 – 96, 1968.

DELVAUX, D. Win-Tensor, software gratuito, 5 ed. Versión 2.2. Museo Real de África Central, Tervuren, Bélgica, 2010.

GONZALEZ DE VALLEJO, Luis et al. Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 744 p, 2002.

GUITIERREZ, M. Geomorfología. Laderas y movimientos en masas. Páginas 239-270, 2008.

INGEOMINAS, Mapa Geológico, Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Escala 1:25000, Bogotá, 2001.

INGEOMINAS, Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. Subdirección de Amenazas Geoambientales. Bogotá, 2001.

JULIVERT, M., Geología de la vertiente W de la Cordillera Oriental en el sector de Bucaramanga: Univ. Indus. De Santander (Colombia) Bol. De Geología, no.8, p 39-42, 1961.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Social. Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10. Título A, Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

ROYERO M, et al,. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander. Memoria Explicativa. Escala 1:400.000, 2001.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, Guía Metodológica Para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Colección de Guías y Manuales 2015.

TERZAGHI, K. Rock defects on loads on tunnel supports. In rock tunneling with steel supports, pages 17-99, 1946.

The World Bank Washington, D.C Hazards of Nature, Risks to Development An IEG Evaluation of World Bank Assistance for Natural Disasters WORLD BANK INDEPENDENT EVALUATION GROUP. Public Disclosure Authorized, 2006.

WARD, Dwight; GOLDSMITH, Richard; CRUZ, Jaime; RESTREPO, Hernán.  
«Geología de los cuadrangulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona  
Departamento de Santander». Boletín Geológico, Volumen XXI. No 1-3, 1973.