

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR
MOVIMIENTOS EN MASA, DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE
CHARTA-SANTANDER**

GERARDO ALBERTO RIOS HORMIGA



ConstruSuelos de Colombia S.A.S

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR
MOVIMIENTOS EN MASA, DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE
CHARTA-SANTANDER**

GERARDO ALBERTO RIOS HORMIGA

**Trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial para optar al título
de geólogo**

DIRECTOR:

LEONARDO VILLAMIZAR CACERES

Geólogo

TUTOR:

MIGUEL ROBERTO SILVA MONSALVE

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A mi esposa Rudy Alejandra Rueda de Rios, por su amor, paciencia y apoyo incondicional, a mi hijo Juan David Rios Rueda por ser mi orgullo, y regalarme tanta felicidad, siempre compartiendo su cariño, con grandes besos y fuertes abrazos.

A mis padres Silvia y Gerardo, por brindarme su apoyo, y por esforzarse para que yo sea un buen hijo, esposo, y padre.

A mis hermanos, Silvia, Andrés, y Geraldine, que han estado presentes en las etapas más difíciles, y en las más felices de mi vida, por siempre brindarme lo mucho que han podido.

A mi tía Alix Hormiga, que me ha brindado su ayuda incondicional, en toda mi formación profesional, y ha sido un gran apoyo para que yo alcanzara esta meta.

A todos mis demás familiares y amigos, que hicieron parte de mi formación como persona y como profesional a todos ustedes una vez más gracias...

AGRADECIMIENTOS

El primer agradecimiento es a mi Padre Celestial, por las innumerables bendiciones que me ha regalado, y las tiernas misericordias que ha extendido sobre mi familia, que han hecho posible alcanzar esta meta.

A la escuela de Geología, por brindarme la formación y ayuda necesaria, a sus docentes por transmitir su valioso conocimiento.

Al profesor Jaiber Leonardo Villamizar Cáceres, quien me dirigió, y oriento en la ejecución del proyecto, y además es un gran amigo. También al Ingeniero Miguel Roberto Silva Monsalve, por darme la oportunidad de vincularme a la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S., y al proyecto, bajo su dirección.

A todos mis amigos de trabajo, Félix, Alfredo, Orlando, Diana, Robinson, Gabriel, Alberto, Leopoldo, Ciro, Kevin, Joseph, Viviana, Sergio V., Paola, Edwin, Humberto, Erick, Nidia, Jeferson, Darío, Adrián, Raquel, Sergio M., Betty, Mary, Johana, por brindarme su apoyo en todo momento. Y a todos los demás amigos y compañeros de estudio mil gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	23
1. UBICACIÓN.....	24
2. OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3. JUSTIFICACIÓN.....	26
4. METODOLOGÍA.....	27
4.1 FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN	28
4.2 FASE DE CAMPO	28
4.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	28
4.4 FASE DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DE INFORME	29
5. MARCO TEÓRICO	30
5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE SONDEOS GEOMECÁNICOS (SPT).....	30
5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS PERFORACIONES	30
5.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE EXCAVACIONES MANUALES O TRINCHERAS	33
5.4 EXPLORACIÓN MEDIANTE ENSAYOS GEOFÍSICOS.....	33
5.4.1 Líneas de Refracción Sísmica	33

5.4.2 Refracción Microtemor Remi.....	33
5.5 GEOLOGÍA REGIONAL	34
5.6 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	35
5.6.1 Formación Silgara.....	35
5.6.2 Formación Tablazo	36
5.6.3 Formación Simití.....	36
5.6.4 Formación La Luna	38
5.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	39
5.8 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS).....	43
5.8.1 Unidades de suelo	44
5.8.2 Factores considerados para caracterizar las Unidades Geológicas Superficiales (UGS).	45
5.9 GEOMORFOLOGÍA.....	50
5.10 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE EFECTOS SÍMICOS	51
5.10.1 Información Para Espectro de Diseño NSR – 10	51
5.10.2 Parámetros Para Análisis Pseudo-Estático de Taludes	53
5.11 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	55
5.11.1 Evaluación del Nivel de Amenaza.....	56
6. RESULTADOS	57
6.1 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS).....	57
6.2 UNIDADES DE ROCA	57
6.2.1 Unidades de Roca Blanda	58
6.2.2 Unidades de Roca Blanda Saprolitizada	60

6.3 UNIDADES DE SUELO	62
6.3.1 Suelos Residuales	62
6.3.2 Suelos Transportados de Ladera	64
6.3.3 Suelos Transportados Aluvial Fluviotorrencial.....	67
6.3.3.1 Suelo de Terrazas (Stat)	67
6.3.4 Suelos Transportados de Origen Antrópico	69
6.3.4.1 Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla)	69
6.3.4.2 Suelos de llenos antrópicos de basuras y escombros (Stlab)	70
6.4 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	71
6.4.1 Geoformas de origen denudacional (D)	72
6.4.2 Geoformas de origen fluvial (F).....	77
6.4.2.1 Cauce activo (Fca).....	77
6.4.2.2 Terrazas Bajas (Ftb)	78
6.4.2.3 Terrazas Medias (Ftm).....	80
6.4.2.4 Terrazas Altas (Fta)	80
6.4.3 Geoformas de origen antrópico (A).....	81
6.4.3.1 Ladera Explanada (Alex).....	81
6.4.3.2 Llenos de excavación y/o relleno (Ale).....	81
6.4.3.3 Llenos de basuras y escombros (Albe)	83
6.5 EXPLORACIÓN DE CAMPO	83
6.6 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE EXCAVACIONES MANUALES O TRINCHERAS.....	84
6.6.1 Localización de las Trincheras.....	84

6.6.2 Trinchera 1	85
6.6.3 Trinchera 2	86
6.6.4 Trinchera 3	87
6.6.5 Trinchera 4	88
6.6.6 Trinchera 5	89
6.7 EXPLORACIÓN MEDIANTE ENSAYOS GEOFÍSICOS.....	90
6.7.1 Línea sísmica No 1	91
6.8 PARÁMETROS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS PARA ESTABILIDAD DE TALUDES.....	94
6.8.1 Definición de Contactos Litológicos	94
6.8.2 Niveles Freáticos	94
6.8.3 Profundidades de Roca	94
6.8.4 Perfiles Geológicos – Geotécnicos	95
6.8.5 Caracterización Geotécnica	96
6.8.5.1 Caracterización Geomecánica de Rocas	97
6.8.6 Resumen de los Parámetros Utilizados	102
6.8.7 Evaluación de Estabilidad de Taludes Mediante Equilibrio Límite.....	103
6.8.7.1 Calibración del modelo zona de depósitos coluviales activos	103
6.8.7.2 Escenario 1: Condición estático parcialmente saturado	105
6.8.7.3 Escenario 2: Condición pseudo – estático parcialmente saturado.....	109
6.9 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	115
6.9.1 Amenaza Baja	115
6.9.2 Amenaza Media.....	116



6.9.3 Amenaza Alta	116
7. CONCLUSIONES	118
8. RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFIA.....	122
ANEXOS	124

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del Área de Estudio (Municipio de Charta Santander).	24
Figura 2. Paleta Metodológica	27
Figura 3. Geología regional del sector de estudio (Rectángulo rojo); el cual está sobre rocas del Pre-Devónicas (P), Cretácico (K) y depósitos cuaternarios (Q).....	35
Figura 4. Esquema tectónico del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio (círculo rojo).	40
Figura 5. Esquema estructural del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio (círculo rojo).	41
Figura 6. Esquema de sismicidad histórica del municipio de Charta-Santander. ...	42
Figura 7. Valores de Aa, Av, Ae y Ad y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.	51
Figura 8. Clasificación de los perfiles de suelo, C.	52
Figura 9. Coeficiente de amplificación Fa y Fv del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.	52
Figura 10. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.	54
Figura 11. Valores de K_{st}/a_{max} mínimos para análisis pseudoestatico de taludes....	55
Figura 12. Localización de las trincheras.	85
Figura 13. Localización de las líneas de refracción sísmica.	91
Figura 14. Perfil con variación de ondas compresionales Vp No1.....	92
Figura 15. Ensayo MASW (LRS – 1)	93
Figura 16. Localización de los Perfiles.....	96
Figura 17. Valores de cohesión y fricción del macizo rocoso mediante las expresiones de Hoek y Brown, GSI=29.	98

Figura 18. Correlaciones existentes de ϕ de acuerdo al N1,60, varios autores, roca blanda saprolitizada	101
Figura 19. Back Analysis Perfil 1.	105
Figura 20. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media.....	106
Figura 21. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.....	106
Figura 22. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.....	107
Figura 23. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media.....	108
Figura 24. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media.....	108
Figura 25. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.....	109
Figura 26. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.....	110
Figura 27. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.	110
Figura 28. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.....	111
Figura 29. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.	111
Figura 30. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza baja.	112
Figura 31. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.....	113
Figura 32. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.....	113

Figura 33. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.	114
Figura 34. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.....	114
Figura 35. Mapa de amenaza por movimientos en masa.....	117

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Vista al NE, donde se aprecia afloramiento de roca, de meteorización moderada a alta, alta a completamente fracturada.	59
Fotografía 2. Vista al SE, se aprecia afloramiento de roca, donde se reconoce una sucesión de arcillolita fisil (altamente fracturada), de color gris oliva oscuro. .	60
Fotografía 3. Vista al SW, donde se puede observar, afloramiento de roca, ligeramente a moderadamente fracturada y moderada a altamente meteorizada.	61
Fotografía 4. Vista al NE, en pequeño corte por sobre vía, se presenta arcillolita fisil (completamente fracturada), alta a completamente meteorizada.	62
Fotografía 5. Vista al NE, donde se presenta suelo residual, aun se puede observar laminación original de la roca. Material limo-arcilloso, de color amarillo rosado claro.	63
Fotografía 6. Vista al NE, se aprecia pequeño corte en la ladera, que muestra un suelo transportado coluvial inactivo, se presentan algunos fragmentos de roca.	65
Fotografía 7. Vista al NE, donde se aprecia composición de Suelo transportado coluvial inactivo.	66
Fotografía 8. Vista al SW, donde se aprecia pequeño suelo transportado coluvial activo, proveniente de caída de roca blanda y una delgada capa con material vegetal.	67
Fotografía 9. Vista al NE, se aprecia pequeña terraza clasto-soportada en margen derecha del río Charta.	69
Fotografía 10. Vista al NE, se puede observar muro en gaviones, para estabilización de ladera, en margen derecha de río Charta.	70

Fotografía 11. Vista al SE, donde se aprecia acumulación de material, correspondientes a fragmentos de concretos principalmente, no compacto.	71
Fotografía 12. Vista al NW, donde se observa una morfología suave a moderada, con ciertas ondulaciones, cobertura vegetal compuesta por pastos, presencia de bloques de roca en superficie.	73
Fotografía 13. Vista al SE, se aprecia corte producto de corona de deslizamiento y en la base depósito de ladera de coluviales activos	74
Fotografía 14. Vista al NW, ladera moderada, cobertura compuesta por pastos...	75
Fotografía 15. Vista al NE, ladera con una morfología abrupta hacia la parte media, con presencia de árboles, y pastos, en algunos sitios se aprecian terracetas.....	76
Fotografía 16. Vista al SE, se observa escarpe de roca, la cual ha sido expuesta por acción denudacional.....	77
Fotografía 17. Vista al NW, se observa geoforma origina por acción del cauce del rio Charta.	78
Fotografía 18. Vista al SE, se observa terraza baja, en cercanías al cauce del rio Charta, en la margen derecha.	79
Fotografía 19. Vista al NW, terraza baja en pequeña corriente de agua, aunque con una cobertura vegetal continua, compuesta por pastos.....	79
Fotografía 20. Vista al SW, se observa terraza media en margen izquierda del río Charta.....	80
Fotografía 21. Vista al NE, se observa terraza alta sobre la que se encuentra el casco urbano del municipio de Charta, al margen derecho del río.	81
Fotografía 22. Vista al NW, se aprecia explanación, para posible construcción de algún tipo de estructura.	82
Fotografía 23. Vista al SE, se observa llenos asociados a la construcción del casco urbano del municipio de Charta.	82
Fotografía 24. Vista al NW, se observa lleno de basuras y escombros, asociado a botadero de escombros y basuras, por debajo de la vía a Bucaramanga.	83

Fotografía 25. Vista de Trinchera al SW, Margen izquierdo del Rio Charta aguas abajo, donde se aprecia depósito aluvial, de terraza media.	86
Fotografía 26. Vista de Trinchera al NE, Suelo Residual de la Formación Tablazo.....	87
Fotografía 27. Vista de Trinchera al SW, margen izquierda aguas abajo sobre el Rio Charta, en la que se aprecia, roca blanda saprolitizada de la Formación la Luna.....	88
Fotografía 28. Vista de Trinchera al NE, en donde se aprecia Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci).	89
Fotografía 29. Vista de Trinchera al NE, en donde se aprecia Suelo Transportado Antrópico (Stla), y suelo transportado aluvial de terraza alta (Sta)..	90

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Correlación entre el número de golpes del ensayo SPT y la densidad relativa de suelos granulares.....	31
Tabla 2. Correlación entre el número de golpes del ensayo SPT y Consistencia de los suelos cohesivos.....	31
Tabla 3. Caracterización de la calidad de Roca según el índice Rock Quality Designation (RQD)	31
Tabla 4. Caracterización de la calidad de roca en función de la resistencia a la compresión uniaxial.	32
Tabla 5. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen.....	43
Tabla 6. Clasificación genética de las unidades de suelo.	44
Tabla 7. Condición de fracturamiento de las rocas.	46
Tabla 8. Comparación de Perfiles de Meteorización de un Macizo Rocosos.	47
Tabla 9. Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos.	48
Tabla 10. Clasificación de unidades Geomorfológicas según su origen.....	50
Tabla 11. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de movimientos en masa en condición estática	56
Tabla 12. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de movimientos en masa en condición pseudo estática	56
Tabla 13. Coordenadas de las trincheras en la zona de estudio.....	84
Tabla 14. Localización de Línea de Refracción sísmica No1	91
Tabla 15. Profundidad a la que aparece roca en los sondeos mecánicos.....	95
Tabla 16. Parámetros de resistencia de la roca blanda.	97
Tabla 17. Valores de fricción y cohesión para roca blanda saprolitizada por medio de ensayos de corte directo	100
Tabla 18. Valores de ángulo de fricción para roca blanda saprolitizada.....	102



Tabla 19. Parámetros Geotécnicos de las UGS..... 102

Tabla 20. Valores de fricción y cohesión iniciales para el retro calculo 104

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MAPA DE EXPLORACIÓN DE CAMPO	125
ANEXO B. MAPA DE UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES	126
ANEXO C. MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (MORFOGENÉTICAS)	127
ANEXO D. PERFILES GEOLOGICOS-GEOTECNICOS	128
ANEXO E. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	129
ANEXO F. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE PERFORACIONES	130
ANEXO G. RESUMEN DE EXPLORACIÓN DE CAMPO	140
ANEXO H. ENSAYOS DE LABORATORIO	141

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO GEOTECNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE CHARTA-SANTANDER¹.

AUTOR: Gerardo Alberto Ríos Hormiga ^{**}

PALABRAS CLAVES: Geotecnia, geoforma, suelo, procesos morfodinámicos.

DESCRIPCIÓN

En el presente documento se dan a conocer los resultados obtenidos en el proyecto: "Estudio geotécnico para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, del casco urbano del municipio de Charta-Santander", el cual fue realizado por la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S. El estudio conto con la participación de especialistas en el área de geología y geotecnia, y tiene como finalidad la zonificación de amenaza por movimientos en masa, dentro del municipio y sus inmediaciones. El proyecto inicio con la recopilación de información de estudios previos, y levantamiento de topografía detallada, seguido de la exploración de campo en la que se hizo, reconocimiento de las unidades geológicas superficiales (UGS), procesos morfodinámicos, unidades morfogenéticas, exploración del subsuelo mediante sondeos geomecánicos, trincheras y ensayos geofísicos de refracción sísmica, para caracterizar las propiedades físico-mecánicas , de las unidades geológicas aflorantes.

Con las propiedades de las diferentes unidades geológicas superficiales, se elaboraron modelos de estabilidad de taludes, mediante el método de equilibrio límite, y se evaluaron en condiciones, estáticas y pseudo-estáticas parcialmente saturadas, con lo que se obtuvieron factores de seguridad, para finalmente determinar que el sector del margen derecha del rio Charta y el talud nororiental, se encuentran en amenaza alta por fenómenos de movimientos en masa, y podrían afectar, la infraestructura del Municipio, y sus habitantes. El mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa, como resultado final, fue inicialmente plasmado con los resultados obtenidos de la estabilidad de taludes, y finalmente fue ajustado heurísticamente con los datos obtenidos en la exploración geológica y geomorfológica la cual indicaba las áreas de mayor inestabilidad.

* Proyecto de Grado. Modalidad. Práctica Empresarial

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Jaiber Leonardo Villamizar Cáceres. Tutor: Miguel Roberto Silva Monsalve.

ABSTRACT

TITLE: GEOTECHNICAL STUDY FOR ZONING THREATENED BY LANDSLIDES, THE URBAN AREA OF THE MUNICIPALITY OF CHARTA - SANTANDER*.

AUTHOR: Gerardo Alberto Ríos Hormiga**

KEY WORDS: Geotechnics, landform, soil, morphodynamic processes.

DESCRIPTION

The document contains the results of the project: "Geotechnical Study for zoning threatened by landslides, the urban area of the municipality of Charta-Santander" which was conducted by the Construsuelos Colombia S.A.S Company. The study involved the participation of specialists in the field of geology and geotechnical engineering, and aims zoning landslide threat, within the municipality and its surroundings. the project began with the collection of information from previous studies, and lifting detailed topography, followed by field exploration was done in recognition of surface geological units, morphodynamic processes , morphogenetic units by geomechanical subsurface exploration drilling , trenching and geophysical seismic refraction tests to characterize the and mechanical physical properties of the exposed geological units.

With different surface properties of geological units, slope stability models were prepared by the method of limit equilibrium, and evaluated conditions, pseudo- static and static partially saturated. Thus safety factors were obtained. And finally determine that the sector right bank Charta and the northeastern slope, are in high threat of landslide phenomena, and could affect the infrastructure of the municipality and its inhabitants. The zoning map of the threat of landslides, the end result was initially reflected in the results of slope stability. And finally was adjusted heuristically with the data obtained from geological and geomorphological exploration which indicated areas greater instability.

* Project Grade. Mode. Industry Practice.

** Faculty of Physicochemical Engineering. Geology School. Director: Jaiber Leonardo Villamizar Cáceres. Tutor: Miguel Roberto Silva Monsalve.

INTRODUCCIÓN

El estudio tiene como finalidad definir los niveles de amenaza por fenómenos de movimientos en masa del área en estudio para diferentes escenarios de tal manera que se puedan tomar las medidas necesarias con el fin de garantizar la seguridad de los habitantes del municipio y su infraestructura.

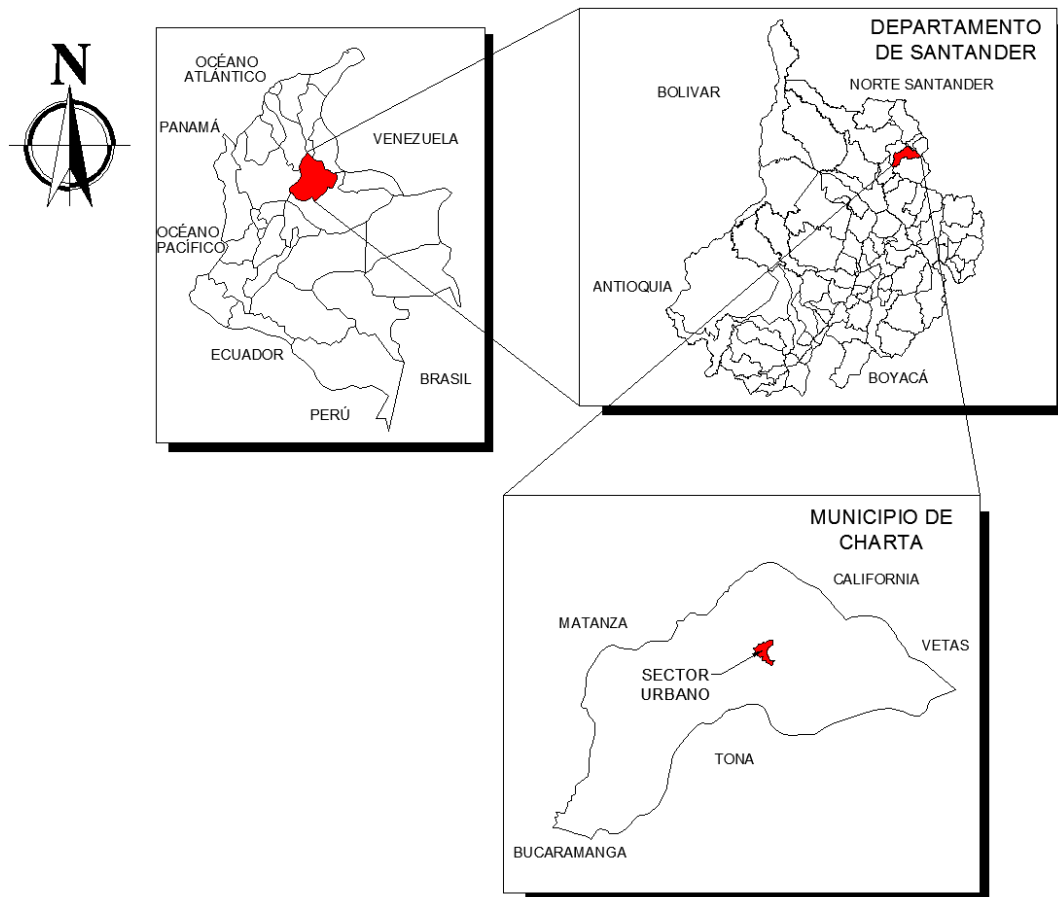
Se tomaron como referencia principal la geología, geomorfología y las propiedades geotécnicas de los suelos presentes en el área de estudio, para idealizar los modelos y acercarlos a la realidad con el objeto de precisar los análisis y sus resultados, basados en estos análisis se define la amenaza por movimientos en masa.

El trabajo presenta, el desarrollo de la metodología determinística en la que se muestran los diferentes escenarios que se tuvieron en cuenta para realizar los análisis de estabilidad. Se modelaron los perfiles geológicos en el software SLOPE/W, Versión 6.02, con las propiedades de los materiales como el ángulo de fricción, la cohesión, y el peso unitario; para posteriormente obtener los factores de seguridad, los cuales se tomaron en cuenta para determinar el nivel de amenaza de las laderas dentro del municipio, según lo define la Norma Geotécnica de la CDMB (2009) y de esta manera obtener el mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Charta-Santander, una vez calibrado el modelo con la exploración de campo realizada previamente.

1. UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada en el casco urbano del municipio de Charta Departamento de Santander, Colombia, según coordenadas planas en el sistema MAGNAS-SIGAS zona centro de referencia: 1.122.600 E, 1.297.000 N (ver Figura 1)

Figura 1. Localización del Área de Estudio (Municipio de Charta Santander).



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar modelo geotécnico, para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, del casco urbano del municipio de Charta-Santander.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las Unidades Geológicas Superficiales, y rasgos tectónicos presentes en el área de estudio, con el fin de establecer su injerencia sobre la inestabilidad del sector, y representarlas en un plano geológico a escala 1:2000.
- Identificar geoformas y procesos morfodinámicos, presentes en el área de estudio y representarlos en un plano geomorfológico a escala 1:2000.
- Caracterizar las propiedades físico-mecánicas de las unidades geológicas superficiales, presentes en el área de estudio, mediante trincheras, perforaciones ha roto-percusión, y ensayos de laboratorio.
- Elaborar perfiles geológicos en las zonas de inestabilidad, en base a los datos tomados en campo, las perforaciones, y líneas sísmicas.

3. JUSTIFICACIÓN

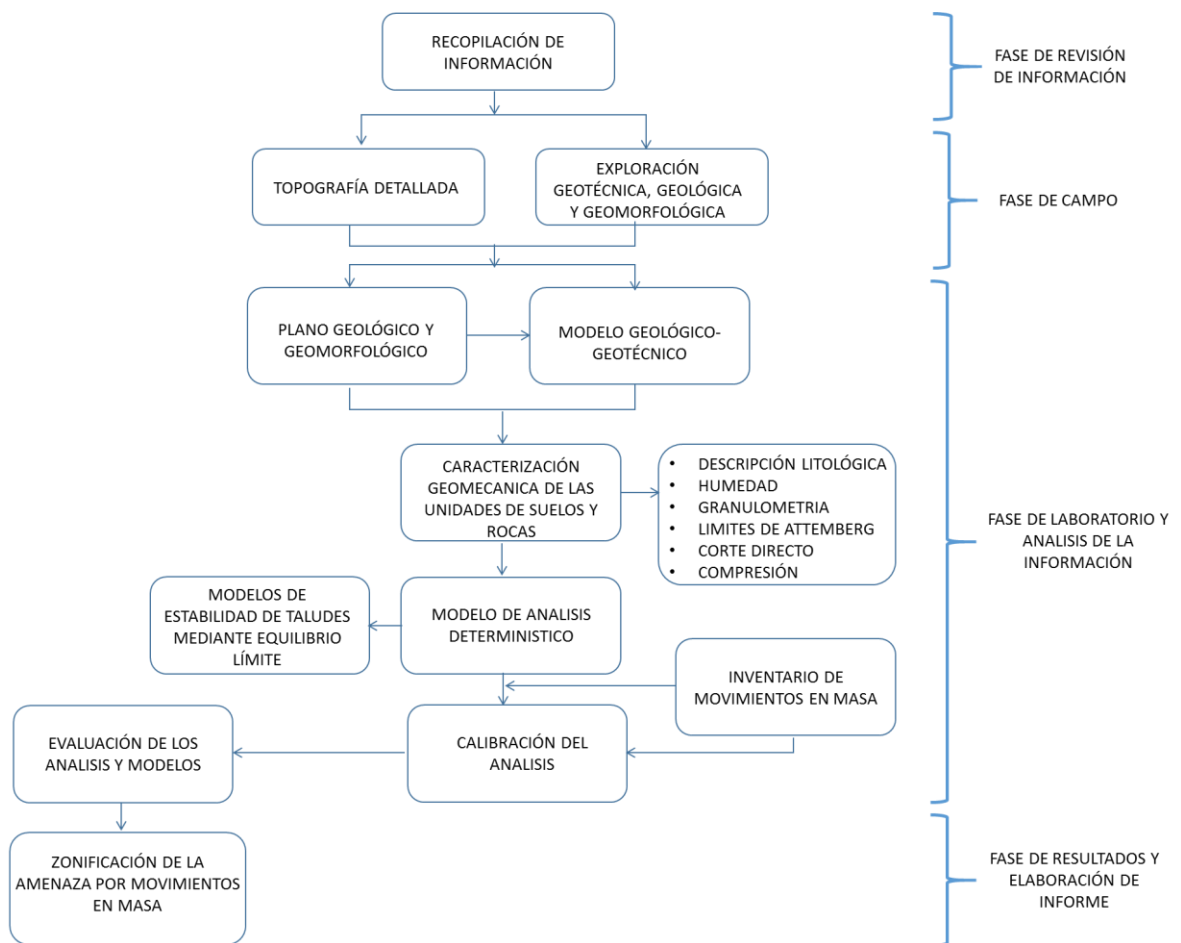
El municipio de Charta presenta altas precipitaciones entre 1160mm y 1240mm por mes, que, junto con sus fuertes pendientes, son factores detonantes de los fenómenos de erosión y movimientos en masa, los cuales han afectado con mayor frecuencia al Municipio desde la temporada invernal del 2010 conocida como el Fenómeno de la Niña. Los problemas generados por los continuos movimientos del terreno dentro del Municipio quedan evidenciados, por agrietamientos en la mayoría de las viviendas, inclinación de muros de contención y hundimientos en las vías.

En la Práctica Empresarial el estudiante aplicara los conocimientos adquiridos a lo largo del plan de estudios de geología, enfocado al reconocimiento de las unidades geológicas superficiales (UGS), estructuras geológicas, geoformas, y procesos morfodinámicos. A su vez tendrá la función de describir y caracterizar las muestras de suelo y roca extraídos a través de los sondeos de perforación en el área urbana del Municipio, y sus inmediaciones; para contribuir al conocimiento geológico y geotécnico del Municipio, con el fin de zonificar la amenaza por movimientos en masa, y proponer obras de mitigación que controlen dichos fenómenos los cuales afectan, la infraestructura del Municipio, y sus habitantes.

4. METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos anteriormente se estructuró una metodología de trabajo basada en (IV) fases, las cuales son:

Figura 2. Paleta Metodológica



4.1 FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN

En esta fase se incluyen todas aquellas actividades de recolección y análisis de información preexistente de la zona de estudio, las cuales aportaran, al conocimiento y contextualización del área de estudio, en términos de geología regional, geomorfología y geotecnia. Tales estudios procederán de fuentes como, mapas, imágenes aéreas, tesis de pregrado y posgrado publicaciones, informes, entre otros.

4.2 FASE DE CAMPO

En esta fase se incluye, el levantamiento de topografía detallada, la realización de sondeos de perforación, y líneas sísmicas de refracción somera, junto con la cartografía geológica y geomorfológica del área de estudio, con el fin de obtener la información necesaria para caracterizar y delimitar las diferentes unidades geológicas superficiales y unidades geomorfológicas, enfatizando en las zonas de inestabilidad, para determinar la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Charta y sus inmediaciones, representándola en un plano a escala 1:2000.

4.3 FASE DE LABORATORIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Esta fase se llevara a cabo en las instalaciones de la empresa, en donde se elaboraran los mapas, modelos, y la caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las unidades geológicas superficiales, mediante ensayos de laboratorio (Descripción litológica, humedad, granulometría, límite líquido, límite plástico, corte directo y compresión), de donde se obtendrán los valores utilizados para modelar la estabilidad de los taludes. 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 utilizara 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.

4.4 FASE DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DE INFORME

En esta fase se entregan los resultados obtenidos, es decir los respectivos mapas, a escala 1:2000, con el informe final, el cual tiene como principal objetivo la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, del casco urbano de municipio de Charta-Santander, para lo cual se utilizó una metodología determinística, en la que los modelos de estabilidad, arrojaron los factores de seguridad, que exhiben el nivel de amenaza y su alcance en el terreno, los modelos pasaron a una etapa de revisión heurística, que junto con la información recolectada en campo se zonifica las zonas de amenaza media, baja y alta.

5. MARCO TEÓRICO

El presente estudio fue desarrollado por la empresa CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S. y tiene como finalidad contribuir al conocimiento de la amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Charta-Santander, a continuación se describen los parámetros que se tuvieron en cuenta en la elaboración del mismo.

5.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE SONDEOS GEOMECÁNICOS (SPT)

La exploración del subsuelo se llevara a cabo mediante la ejecución de diez (10) perforaciones, por medio de ensayos corridos de penetración estándar (S.P.T.) con equipo de perforación a percusión donde se sacaran muestras semi-alteradas para los respectivos ensayos de laboratorio. Adicionalmente, se implementaran muestreadores de diámetro HQ, con el objetivo de obtener muestras representativas de la roca y suelos duros.

5.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS PERFORACIONES

Para la interpretación de la información geotécnica obtenida en las exploraciones de campo y ensayos de laboratorio se presentan los criterios implementados. Ver Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, y Tabla 4. Además de la clasificación de la calidad de roca en función de la resistencia a la compresión uniaxial, Ver en Tabla 4, caracterizaciones geotécnicas para cada uno de los sondeos de perforación.

Tabla 1. Correlación entre el número de golpes del ensayo SPT y la densidad relativa de suelos granulares.

Valor en número de Golpes	Densidad Relativa
0-4	Muy bajo
5-10	Bajo
11-24	Densidad media
25-50	Denso
>50	Muy denso

Fuente: Tomado y modificado de JAMIOLKOWSKI y otros, 1988

Tabla 2. Correlación entre el número de golpes del ensayo SPT y Consistencia de los suelos cohesivos.

Valor en número de Golpes	Consistencia
0-1	Muy suave
2-4	Suave
5-8	Medianamente rígido
9-15	Rígido
16-30	Muy rígido
31-60	Fuerte
>60	Muy fuerte

Fuente: Tomado y modificado de Brajas Das., 1999

Tabla 3. Caracterización de la calidad de Roca según el índice Rock Quality Designation (RQD)

RQD	Descripción de calidad de roca
0-25%	Muy pobre
25-50%	Pobre
50-75%	Razonable
75-90	Bueno
90-100%	Excelente

Fuente: Tomado y modificado de BIENIAWSKI (1989)

Tabla 4. Caracterización de la calidad de roca en función de la resistencia a la compresión uniaxial.

GRADO	DESCRIPCIÓN	CAMPO DE IDENTIFICACIÓN	RANGO DE ESFUERZOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL (Mpa)
R0	Rocas Extremadamente blandas	El material se puede marcar con la uña	0.25-1.0
R1	Rocas muy blandas	El material se desintegra al ser golpeado con la punta del martillo geológico, es fácil de tallar el material con cortaplumas.	1.0-5.0
R2	Rocas blandas	Al golpear con la punta del martillo geológico se producen pequeñas marcas en el material, es difícil tallar el material con un cortaplumas.	5.0-25
R3	Roca moderadamente duras	No se puede tallar el material con un cortaplumas, se requiere un golpe fuerte del martillo geológico para fracturar el material.	25-50
R4	Rocas duras	Se requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturar el material	50-100
R5	Rocas muy duras	Se requieren muchos golpes con el martillo geológico para fracturar el material.	100-250
R6	Rocas extremadamente duras	Al golpear el material con el martillo geológico este no se fractura y solo saltan esquirlas.	>250

Fuente: Tomado y modificado de BROWN 1981

5.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE EXCAVACIONES MANUALES O TRINCHERAS

La exploración mediante trincheras es una exploración de campo usada para investigar y/o hacer una verificación de las propiedades del subsuelo, consiste en una excavación superficial de ancho y profundidad variables. Las trincheras permiten la identificación de unidades geológicas afectadas, planos de estratificación y planos de discontinuidades.

5.4 EXPLORACIÓN MEDIANTE ENSAYOS GEOFÍSICOS

5.4.1 Líneas de Refracción Sísmica Los diferentes métodos de refracción sísmica miden el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y su llegada a diferentes puntos de observación. Para esto se dispone una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción o reflexión sísmica. A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas (con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos), las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido.

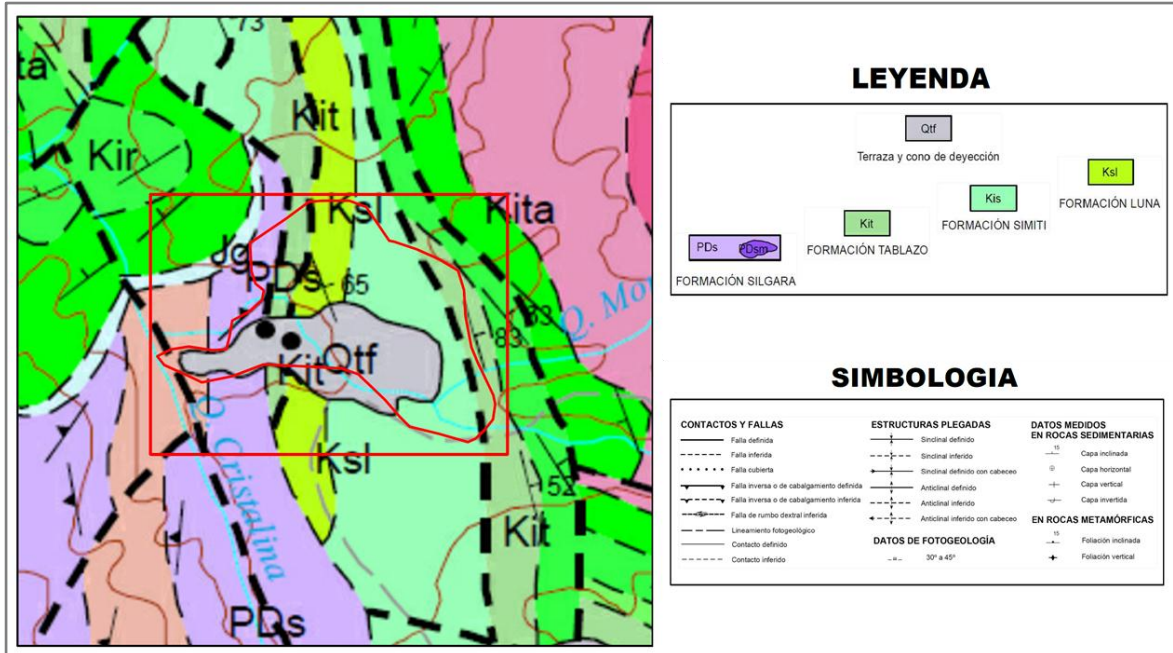
5.4.2 Refracción Microtemor Remi Si se generan ondas de superficie en un rango amplio de frecuencias, se puede inferir un perfil con la variación de velocidades de ondas Rayleigh (VR) en profundidad. Como la velocidad de las ondas Rayleigh es ligeramente menor (alrededor de 7%) que la de corte (V_s), para fines prácticos se considera equivalentes. La técnica de refracción de microtemores (ReMi) (Louie, 2001) utiliza un tendido y equipo para registro similar al de la prueba de refracción sísmica, pero se analizan las ondas con una técnica que permite separar las ondas Rayleigh de otras ondas elásticas y finalmente

determinar la variación de velocidad de onda de corte (V_s) en profundidad. Para la realización de la prueba ReMi se instala un tendido lineal con 12 o más geófonos, el registro de la vibración se realiza con un sismógrafo digital, y se registra tanto vibración ambiental (microtremores) como vibración superficial inducida (impactos, vehículos en circulación, etc.).

5.5 GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con la geología de la plancha 110 – Pamplona (Ingeominas, 1970. Versión digital 2010), el sector estudiado se localiza sobre rocas del Pre-Devónico (P) que corresponden a la formación Silgara, rocas del Cretácico (K) que corresponden a las formaciones Tablazo (Kit), Simiti (Kis) y La Luna (Ksl), además de depósitos cuaternarios (Q) que corresponden a depósitos de terraza y conos de deyección (Qtf). Para la descripción de dicha unidad se tomó como base la memoria explicativa cuadrángulo H-13 Pamplona – Planchas 110 Pamplona y 121 Cerrito, y cuadrángulo H-12 Bucaramanga – Planchas 109 Rionegro y 120 Bucaramanga, 1973, INGEOMINAS.

Figura 3. Geología regional del sector de estudio (Rectángulo rojo); el cual está sobre rocas del Pre-Devónicas (P), Cretácico (K) y depósitos cuaternarios (Q)



Fuente: Tomado y modificado de la geología de la plancha 110 – Pamplona (Ingeominas, 1970. Versión digital 2010).

5.6 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

5.6.1 Formación Silgara La Formación Silgara es una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas, que consta de pizarra, filita, meta-limolita, meta-areniscas impura, meta-waca y meta-waca guijarrosa con menos cantidades de pizarra y filita calcárea. La formación toma el nombre de la quebrada Silgará, en la parte noreste del Cuadrángulo H-12, al sur del río Cachirí, donde gran parte de la formación está bien expuesta a lo largo de una faja de 15km de ancho. A pesar de que la base del Silgará no ha sido establecida con certeza, la Formación Silgará parece suprayacente el Neis de Bucaramanga.

5.6.2 Formación Tablazo La sección tipo de la Formación El Tablazo está en El Tablazo, donde la carretera de Bucaramanga y San Vicente atraviesa al río Sogamoso, que corta el fuerte risco formado por El Tablazo en este sitio. La formación fue designada en un estudio inédito de O. C. Wheeler, quien informó acerca de una sección de 150m, consistente de caliza de estratificación gruesa, extremadamente fosilífera en la parte superior y margas o calizas arcillosas en la parte superior y margas o calizas arcillosas en la inferior (Morales et al, 1958, p. 651).

Desde la faja de rocas del Cretáceo donde está localizada la sección tipo, El Tablazo adelgaza hacia el este, aunque probablemente no tanto como las formaciones Rosa Blanca y La Paja. En la quebrada Lisagura, la sección de 114m incluye shales gris oscuro y caliza fosilífera, con capas arenosas y arenisca prominente solamente en el cuarto superior de la unidad.

Debido a la variación en la composición litológica, El Tablazo no muestra un patrón uniforme de afloramiento característico, como es el caso de las formaciones Tambor y La Paja. Como las areniscas son más resistentes a la meteorización que las calizas, las áreas cubiertas por esta formación parecen ser más arenosas en la sección que lo que en realidad son. Una variación de edad en El Tablazo, desde Aptiano Superior – Albiano Inferior en el sur a Albiano en el norte, ha sido postulada con base en fósiles hallados en la subyacente Formación Simití (Morales et al, 1958, p. 651). Litológicamente El Tablazo es semejante a la Formación Mercedes de la sección de la Cuenca de Maracaibo, que es de edad Aptiano Superior – Albiano Inferior.

5.6.3 Formación Simití La formación de Simití fue designada así por geólogos de la International Petroleum Company (Colombia) en 1953 por los excelentes afloramientos que ocurren en el lado sur de la Ciénaga de Simití, sobre el lado occidental del río Magdalena, en la parte sur del Departamento de Bolívar

(Morales et al, 1958, p. 651). Allí la formación tiene 410m de grueso y consiste en shale blando, laminado, carbonáceo, gris a negro, localmente calcáreo y concrecional. Las concreciones alcanzan un tamaño de 3m en la dimensión más larga en la parte superior de la formación, donde son más abundantes. Delgadas bandas conglomeráticas con guijos pequeños, nódulos fosfáticos, dientes de peces y arena, ocurren localmente muy cerca del tope. Los contactos con la subyacente Formación El Tablazo y la suprayacente Formación Salto son conformes y corresponden a cambios bien definidos en la litología.

A causa de que tiene muy pocas capas resistentes, el Simití se manifiesta característicamente como un valle en la topografía y un buen afloramiento de toda la formación no se halló en el área de estudio. Algunas de las capas de cerca de la base y del tope están incluidas en las descripciones de las formaciones El Tablazo y La Luna. Estimaciones del espesor del Simití en la faja cretácea al Oeste de Bucaramanga varían de 460 a 550m. La siguiente descripción del Simití en pozos de los campos petrolíferos de La Cira-Infantas y Llanito, en el Cuadrángulo H-11, al oeste del área del informe, es dada por Taborda (1965, p.8):

“En el subsuelo, el shale es muy calcáreo y contiene capas delgadas de caliza arcillosa. El shale es muy duro, marrón oscuro y negro, con diaclasas rellenas con calcita. Las calizas intercaladas son generalmente delgadas, muy densas, marrón oscuro a negro y comúnmente piriticas. Los fósiles son raros y consisten en fragmentos de conchas de pelecípodos aplastados”.

La edad de Simití se basa en amoniotos del Albiano Inferior, Medio y Superior, hallados en el área de la sección tipo. También existen foraminíferos del Albiano Superior (Petters, 1954).

Hacia el este del Valle del Magdalena, la Formación Simití se vuelve progresivamente más arenosa y menos arcillosa, especialmente en la parte

inferior. En el área de Matanza, las unidades de areniscas son prominentes y la formación se estima en 600m o más de grosor. Treinta kilómetros más al este, en la faja fallada de rocas sedimentarias que se extienden al norte y sur de Mutiscua, las areniscas gruesas son prominentes y la unidad forma el risco más sobresaliente de la sección cretácea. Aquí la formación es típica de la cuenca de Maracaibo y se usa el nombre de Formación Aguardiente. La parte superior del Simití retiene su carácter arcilloso en una gran extensión y se correlaciona con la Formación Capacho de la parte colombiana de la cuenca de Maracaibo.

5.6.4 Formación La Luna Fue designada así por la quebrada La Luna de las estribaciones orientales de la Serranía de Perijá, unos 16km al noroeste de La Villa del Rosario, Zulia, Venezuela (Notestein et al, 1944, p. 1182). Allí contiene caliza carbonácea y bituminosa, gris oscura a negra, dura, en capas horizontales uniformes hasta de 20cm de grueso con intercalaciones de shale calcáreo negro (Sutton, 1946, p. 1648). Arenisca calcárea gris oscura, de grano fino, dura; lechos y nódulos de chert existen en cantidades subordinadas. Concreciones discoidales de caliza negra, dura, de unos pocos centímetros a más de 1m de diámetro son características de la formación. Megafósiles, incluyendo amonites, son comunes en estas concreciones. Las superficies frescas de la caliza generalmente tienen un olor a gas.

Hacia el sur de la localidad tipo y en la parte oriental del área de esta investigación, la Formación La Luna se caracteriza en dos miembros, con chert o porcelanita como constituyente principal de la parte superior y caliza y shale con concreciones, en la parte inferior.

5.7 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

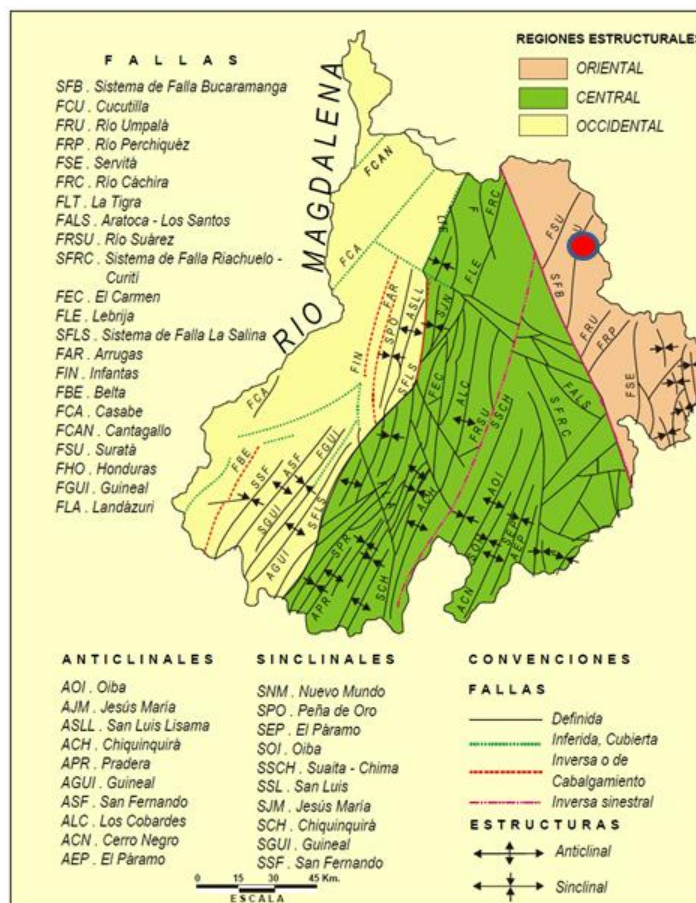
Para la descripción de la geología estructural se tomó como referencia la descripción en la memoria explicativa del mapa geológico generalizado del Departamento de Santander (INGEOMINAS, 2001).

El Departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino en los trabajos de Kellogg (1984); Case, et al. (1984); Kellogg, et al. (1985); James (1985) y Boinet (1985), entre otros. En el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (ETAYO, et al., 1983), el Departamento de Santander se encuentra conformado por el “supra-terreno cretácico de la Cordillera Oriental” y los terrenos de Santander, Floresta y del Valle Medio del Magdalena”; sin embargo, en esta memoria se ha utilizado de manera preferencial, el término de provincias para sustituir el de “terrenos estratigráfico-tectónicos” y así obviar grandes confusiones en la aplicación e interpretación del mismo.

Para la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental, de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo, et al. (1993). En la Figura 4 se muestra el esquema tectónico que ha sido considerado para el departamento de Santander. El área de estudio se encuentra en la provincia del macizo de Santander, en el bloque de Ocaña, el cual se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE. Se presenta como un bloque levantado, que ocupa el sector nororiental del departamento; está

El área de estudio se encuentra cerca de la falla Cucutilla, en la región oriental, la cual comprende el Macizo de Santander, en donde predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento.

Figura 5. Esquema estructural del Departamento de Santander en el cual se ha ubicado el área de estudio (círculo rojo).

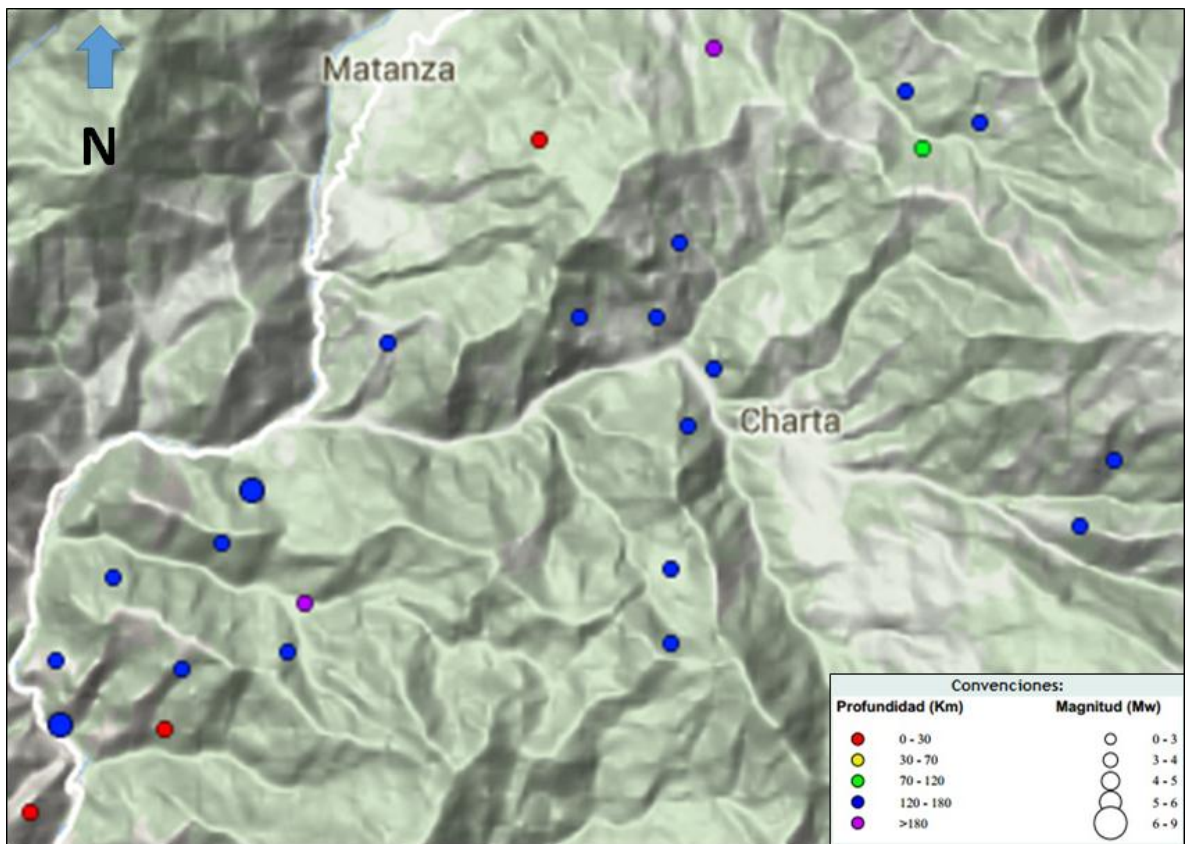


Tomado de la memoria explicativa del mapa geológico generalizado del Departamento de Santander (INGEOMINAS, 2001).

El área de estudio es atravesado por la falla Cucutilla y algunas fallas menores, aparentemente responsables de la sismicidad del municipio. Sismicidad que según

la Norma Sismo Resistente (NSR – 10), lo clasifica en zona de amenaza sísmica alta, factor importante de los movimientos en masa, ya que puede ser un detonante de los mismos. A continuación se muestra un esquema históricos de los 25 sismos, desde 1997 hasta ahora, en las inmediaciones del municipio, ver Figura 6.

Figura 6. Esquema de sismicidad histórica del municipio de Charta-Santander.



Fuente: Tomado y modificado de la red sismológica nacional (SGC)

5.8 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

Las Unidades Geológicas Superficiales corresponden a un conjunto de materiales que incluyen suelos y rocas, cuyas propiedades se conservan por debajo de la superficie hasta algunas decenas de metros. Las UGS se utilizan como herramienta para evaluar el comportamiento mecánico de los terrenos ante diferentes usos, como desarrollo de obras de infraestructura, desarrollos mineros y demás usos definidos en los planes de ordenamiento territorial.

Tabla 5. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen.

ORIGEN DE LAS UGS	TIPO DE UGS
Derivada de roca Insitu	<ul style="list-style-type: none"> • Roca Inalterada • Saprolito • Suelos Residuales
Depósitos Aluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Aluviones recientes o de lecho de río • Llanuras aluviales • Abanicos o conos aluviales • Depósitos torrenciales • Depósitos fluviotorrenciales
Depósitos Lacustres y Paludales	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos Lacustres
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	<ul style="list-style-type: none"> • Coluviones • Talus • Flujos (de Lodo, Tierra y de Escombros) • Derrubios de Pendiente
Deposito Costeros	<ul style="list-style-type: none"> • Deltas • Barras • Playas
Depósitos Volcánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Tefras • Surges • Flujos Piroclásticos • Ignimbritas • Flujos de lodos Volcánicos • Lahares • Cenizas

ORIGEN DE LAS UGS	TIPO DE UGS
	<ul style="list-style-type: none"> • Coladas de Lava
Depósitos Eólicos	<ul style="list-style-type: none"> • Dunas • Loess • Ceniza Volcánica
Depósitos Glaciares	<ul style="list-style-type: none"> • Morrenas y Tillitas • Fluvioglaciares
Depósitos Antrópicos	<ul style="list-style-type: none"> • Rellenos Sanitarios o de Basuras • Rellenos de Excavaciones • Escombreras o Botaderos

Fuente: Adaptada y modificada de Hermelin, 1985 y Salazar, 1995.

5.8.1 Unidades de suelo Para la clasificación de estas unidades se tomó como base la clasificación genética utilizada por el INGEOMINAS (2007).

Tabla 6. Clasificación genética de las unidades de suelo.

TIPO	ORIGEN	NOMBRE DE LOS DEPOSITOS
Residual	Insitu	Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico
Transportado	De Ladera	De gravedad: Depósitos coluviales y flujos de tierra.
	Aluvial- Fluvio Torrencial	Aluviones en el lecho o fuera de él (Llanura de Inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas).
	Glaciares	Fluvioglaciares
	Antrópico	Materiales diversos, naturales o no (Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición).

Fuente: Modificado de Montero (2001).

5.8.2 Factores considerados para caracterizar las Unidades Geológicas Superficiales (UGS). En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos está basada en las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual, (resistencia, deformabilidad, durabilidad, y permeabilidad, entre otros). También la Litología (composición y textura), dureza o resistencia, condición de las discontinuidades, grado de meteorización y rasgos estructurales.

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

Tabla 7. Condición de fracturamiento de las rocas.

INTERVALO DE SEPARACIÓN (Espaciamiento)	>2m (Mayor de 200 cm)	60-200 cm	20-60 cm	6-20 cm	<6 cm (Menor de 6 cm)
CLASIFICACIÓN (Grado de fracturamiento)	MASIVA	POCO FRACTURADA	FRACTURADA	MUY FRACTURADA	FRAGMENTADA O TRITURADA
CARACTERÍSTICAS	Discontinuidades bastantes espaciadas (mayor de 2m)	Fracturas regularmente espaciadas a ampliamente espaciadas	Fracturas próximas o moderadamente espaciadas	Fracturas muy próximas o estrechamente espaciadas. Las rocas se separan en bloques tabulares	La roca se presenta triturada, astillosa y se separan en lascas con facilidad

Fuente: Bieniawsky (1979), Dearmann (1991), y Medina (1991).

Tabla 8. Comparación de Perfiles de Meteorización de un Macizo Rocoso.

DEERE Y PATTON (1971) (Todas las Rocas)		DEARMANN (1974, 1991) (Todas las Rocas)			FORERO et al, (1999) (Todas las Rocas)	DESCRIPCIÓN CARACTERÍSTICAS DE CAMPO
		ZONA	GRADO	UNIDAD		
I SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A (Capa Vegetal)	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SUELO	SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO INSITU) >50% Suelo
	IB HORIZONTE B					
	IC HORIZONTE C (SAPROLITO) (Roca Descompuesta)	ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA (Rcm)	V		SAPROLITO FINO	
II ROCA METEORIZADA	IA LA TRANSFORMACIÓN DESDE SAPROLITO HASTA ROCA METEORIZADA	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA (Ram)	IV	ROCA Y SUELO MATERIAL INTERMEDIO	SAPROLITO GRUESO	SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO INSITU) >50% Suelo
	IIB ROCA PRACTICAMENTE METEORIZADA	ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rmm)	III		MACIZO ROCOSO METEORIZADO >50% ROCA	

Fuente: Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et.al (1999)

Tabla 9. Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos.

CLASIFICACIÓN GEOMECANICA RMR (BIENIAWSKI, 1989)										
1	RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA (Mpa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	>10	10-4	4-2	2-1	COMPRESION SIMPLE (Mpa)			
		COMPRESION SIMPLE	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
	PUNTUACIÓN		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	PUNTUACIÓN		20	17	13	6	3			
3	SEPARACIÓN DE DIACLASAS		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m			
	PUNTUACION		20	15	10	8	5			
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	LONGITUD DE DISCONTINUIDAD	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m			
		PUNTUACIÓN		6	4	2	1	0		
		ABERTURA	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm			
		PUNTUACIÓN		6	5	3	1	0		
		RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave			
		PUNTUACIÓN		6	5	3	1	0		
		RELLENO	Ninguno	Relleno Duro <5mm	Relleno Duro >5mm	Relleno Blando <5mm	Relleno Blando >5mm			
		PUNTUACION		6	4	2	2	0		
ALTERACION		Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta				

CLASIFICACIÓN GEOMECANICA RMR (BIENIAWSKI, 1989)							
		PUNTUACIÓN	6	5	3	1	0
5	AGUA FREATICA	CAUDAL POR 10m DE TUNEL	Nulo	<10 Litros/min	10-25 Litros/min	25-125 Litros/min	>125 Litros/min
		RELACION PRESION DE AGUA/TENSION PRINCIPAL MAYOR	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
		ESTADO GENERAL	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo
	PUNTUACIÓN		15	10	7	4	0

Fuente: Tomada y modificada de Bieniawski (1989)

5.9 GEOMORFOLOGÍA

Para la clasificación según el origen de las unidades geomorfológicas, se siguió el Sistema del ITC de Holanda” (Verstappen et. al., 1975, Van Westen Kees y Van Zuidam et. al., 1979, 1993,1982) utilizado por el INGEOMINAS. (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Clasificación de unidades Geomorfológicas según su origen.

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
FLUVIAL (Erosión Fluvial y Sedimentación)	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosionales.
LACUSTRE (Erosión Lagunar y Sedimentación)	Geoformas producto de niveles de agua alta (Terrazas), fondos de lagos. (Evaporitas/Playa, no Evaporitas)
MARINO (Erosión Marina y Sedimentación)	Geoformas de ambientes de alta energía, (materiales de grano grueso); de ambientes de baja energía (materiales de grano fino); y asociadas a complejos levantamientos.
VOLCANICO (Actividad Volcánica)	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclasticos.
DENUDACIONAL (Meteorización, desgaste de masa, Erosión Linear)	Geoformas asociadas a desgaste, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear asociadas con procesos denudativos específicos (desgaste de masas).
ESTRUCTURAL (Fallamiento)	Geoformas asociadas con las capas de roca estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamiento.
ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL	Asociaciones denudacionales y estructurales.
KARSTICO (Solución y Redeposición)	Geoformas positivas (Colinas), negativas (Depresiones), estructurales y otras (Complejos).
EÓLICO (Erosión por el Viento y	Geoformas de acumulación (Activas/No activas), y de deflación.

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
Sedimentación)	
GLACIAL (Erosión y Sedimentación)	Geoformas erosionales predominantemente de glaciación continental, glaciación de montañas y de acumulación (predominantemente morrenas, hielo, y lomos)
ANTROPOGENICO	Aquellas formas del relieve que son el producto de modificaciones causadas por intervención del hombre.

Fuente: INGEOMINAS, (2001).

5.10 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE EFECTOS SÍMICOS

5.10.1 Información Para Espectro de Diseño NSR – 10 El diseñador estructural debe tener en cuenta los diseños sísmo resistentes, para zonas de amenaza sísmica alta, $A_a = 0,25$ y $A_d = 0,06$. De acuerdo a las exploraciones de campo el perfil de suelo se clasifica como perfil tipo C.

Figura 7. Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos.

Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Charta	68169	0.25	0.25	Alta	0.09	0.06

Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia.

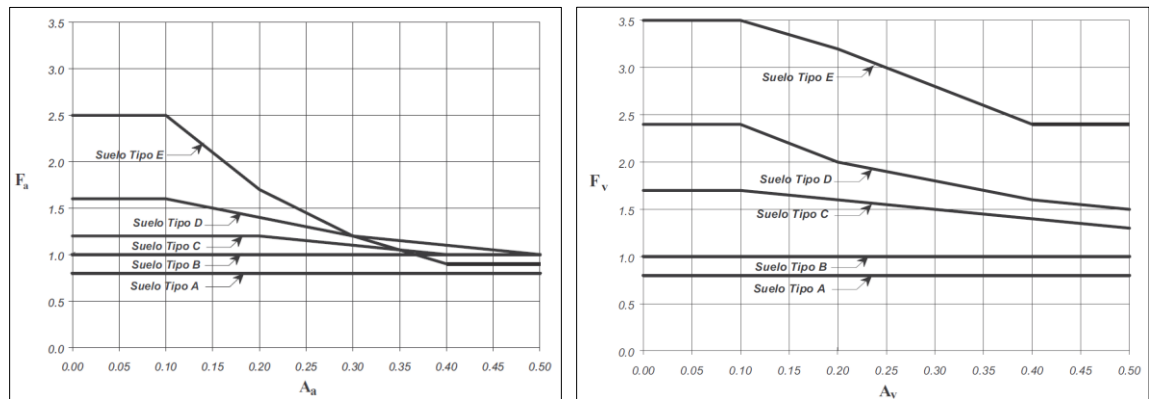
Figura 8. Clasificación de los perfiles de suelo, C.

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 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > \bar{v}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w $\geq 40\%$ 50 kPa (≈ 0.50 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: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia.

Figura 9. Coeficiente de amplificación Fa y Fv del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.



Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia.

5.10.2 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 aceleración máxima del terreno a_{max} , está dada por la aceleración del espectro de diseño para periodo cero así,

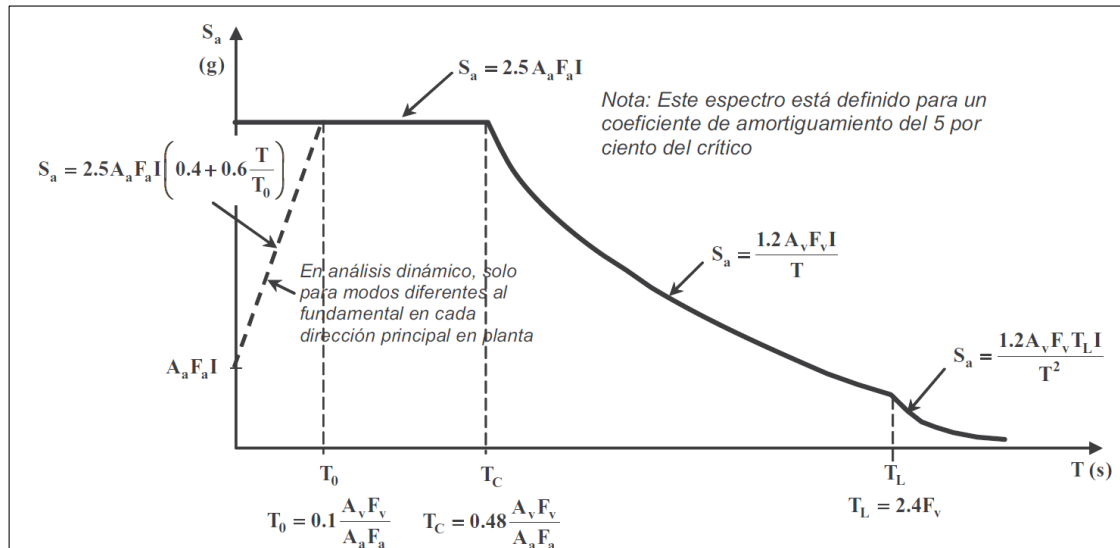
$$a_{max} = A_a * F_a * I \text{ Ecuación (1)}$$

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 10. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.



Fuente: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia.

Para el municipio de Charta, 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 11. Valores de K_{st}/a_{max} mínimos para análisis pseudoestático 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: Tomada Norma Colombiana de Sismo Resistencia.

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.

5.11 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los fenómenos de movimientos 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 movimientos 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.

5.11.1 Evaluación del Nivel de 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. Para la categorización de la amenaza se estableció como criterio la norma Geotécnica de la CDMB.

Tabla 11. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de movimientos 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 12. Valores para la categorización de la amenaza por procesos de movimientos 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).

6. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el proyecto, durante la exploración de campo y ensayos de laboratorio, con los que se realizaron modelos de estabilidad, para determinar las zonas de amenaza por movimientos en masa.

6.1 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

Se caracterizaron y cartografiaron las Unidades Geológicas Superficiales a escala detallada, según las condiciones físico-mecánicas de los suelos en diferentes sitios, siguiendo la metodología y nomenclatura del INGEOMINAS (2007). Ver ANEXO B y ANEXO I.

6.2 UNIDADES DE ROCA

En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos está basada en las propiedades físicas de dichos materiales y en su estado actual dependiendo de la combinación de factores como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y los procesos de meteorización, los cuales rigen el comportamiento mecánico de los materiales (resistencia, deformabilidad, durabilidad, y permeabilidad, entre otros).

De acuerdo con los factores considerados, se determinó las unidades de roca blanda de la formación Tablazo (RbKit), roca blanda de la formación la luna

(RbKsl), y roca blanda saprolitizada de la formación Tablazo (RbsKit), las cuales se describen a continuación:

6.2.1 Unidades de Roca Blanda En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca blanda se identifican con las letras **Rb**, las cuales corresponden a rocas de naturaleza blanda a muy blanda, es decir alta a completamente meteorizadas, con fracturamiento alto a muy alto, un índice geológico de resistencia pobre a muy pobre y en general con macizos rocosos afectados por tectonismo. Las malas condiciones de la roca blanda establece que ha condiciones de intemperismo y erosión, sea susceptible a procesos de movimiento en masa.

- **Formación Tablazo**

En la zona de estudio se aprecia el afloramiento de roca de meteorización moderada a alta, alta a completamente fracturada, litológicamente corresponde a intercalaciones entre limolitas grises a negras, calcáreas, y pequeños niveles de chert. (Ver Fotografía 1). En la zona de estudio, se evidencia la inestabilidad de las laderas en las que aflora la formación Tablazo, porque aunque litológicamente, es resistente, su fuerte fracturamiento hace que sea susceptible a fenómenos de movimientos en masa.

Fotografía 1. Vista al NE, donde se aprecia afloramiento de roca, de meteorización moderada a alta, alta a completamente fracturada.



- **Formación La Luna (RbKsl)**

Roca blanda de la Formación la Luna, en la que se reconoce una sucesión de arcillolita fisil (altamente fracturada), de color gris oliva oscuro, moderadamente meteorizada, presencia den gran cantidad de óxidos (Fotografía 2). Esta formación se extiende ampliamente dentro del área de estudio, y es la mas susceptible a MM, debido a sus malas propiedades físico-mecánicas.

Fotografía 2. Vista al SE, se aprecia afloramiento de roca, donde se reconoce una sucesión de arcillolita fisil (altamente fracturada), de color gris oliva oscuro.



6.2.2 Unidades de Roca Blanda Saprolitizada En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca blanda saprolitizada se identifican con las letras **Rbs**, las cuales corresponden a rocas de naturaleza muy blanda, es decir completamente meteorizadas (saprolitizada), con fracturamiento alto a muy alto, un índice geológico de resistencia muy pobre y en general con macizos rocosos afectados por tectonismo. En el área de estudio se deriva de las formaciones mencionadas anteriormente, y presenta mayor probabilidad de verse afectada a los fenómenos MM.

- **Formación Tablazo (RbsKit)**

En una pequeña área se presenta afloramiento de roca que corresponde a una arenisca de grano muy fino de color naranja pálido, moderada a altamente

meteorizada, masiva, ligeramente a moderadamente fracturada (Fotografía 3), en ciertas partes se puede apreciar el aumento de la meteorización de la roca. En el municipio de Charta este tipo de roca aflora en las inmediaciones del cementerio, y presenta de media a baja susceptibilidad a los fenómenos de movimientos en masa.

Fotografía 3. Vista al SW, donde se puede observar, afloramiento de roca, ligeramente a moderadamente fracturada y moderada a altamente meteorizada.



- **Formación La Luna (RbsKsl)**

Afloramiento en el que se observa roca blanda saprolitizada de la Formación la Luna, en la que se reconoce una sucesión de arcillolita fisil (completamente meteorizada), de color gris oliva oscuro, alta a completamente meteorizada, y extremadamente débil (Fotografía 4). No se representa en el mapa, debido a que el área donde aflora es muy pequeño.

Fotografía 4. Vista al NE, en pequeño corte por sobre vía, se presenta arcillolita fisil (completamente fracturada), alta a completamente meteorizada.



6.3 UNIDADES DE SUELO

Para la clasificación de estas unidades se tomó como base la clasificación genética utilizada por el INGEOMINAS (2007) (Ver Tabla 6).

6.3.1 Suelos Residuales Los suelos residuales se originan cuando los productos de la meteorización no son transportados como sedimentos, sino que se acumulan en el sitio en que se van formando. Si la velocidad de descomposición de la roca supera a la de arrastre de los productos de la descomposición, se produce una acumulación de suelo residual. Entre los factores que influyen en la velocidad de alteración de las rocas están el clima (temperatura y lluvia), la naturaleza de la roca original, la humedad y la actividad bacteriana, el mayor espesor de los suelos

residuales se desarrolla en zonas de morfología suave, donde es menor la probabilidad de ocurrencia de MM.

Teniendo en cuenta estas características se encontró suelo residual perteneciente a las formaciones Tablazo (SrKit), Simití (SrKis) y La Luna (SrKsl). Los cuales se describen a continuación:

- **Suelo Residual de la Formación Tablazo (SrKit)**

Suelo residual el cual conserva segmentos de la roca, en donde se observa en muy bajo grado aun relictos de la laminación original de la roca. Litológicamente corresponde a un material limo-arcilloso de color amarillo rosado claro, humedad baja, compacto (Fotografía 5). El suelo residual de la formacion Tablazo se da en areas de baja pendiente, en donde la ocurrencia de MM, son menos probables.

Fotografía 5. Vista al NE, donde se presenta suelo residual, aun se puede observar laminación original de la roca. Material limo-arcilloso, de color amarillo rosado claro.



- **Suelo residual de la formación Simití (SrKis)**

No se observó esta litología en campo. Se interpretó la presencia de este suelo por la presencia de roca la formación Simití en la geología regional, se da en zonas de morfología suave, donde los procesos de erosión y MM, se dan a menor escala.

- **Suelo residual de la formación La Luna (SrKsl)**

No se observó esta litología en campo. Se interpretó la presencia de este suelo por la presencia de roca la formación La Luna en cierta parte del área de estudio y se interpolo con la presente en la geología regional. En el área de estudio se desarrolla suelo residual de la formación la luna hacia la parte superior de talud nororiental, adyacente al municipio, el cual presenta fuertes pendientes y es susceptible a la erosión y MM.

6.3.2 Suelos Transportados de Ladera Esta unidad corresponde a material que ha sufrido algún tipo de transporte, en este caso se refiere a materiales transportados por efectos de la gravedad, movimientos en masa, actividad antrópica, corrientes de agua y principalmente la lluvia, los suelos transportados están conformados por clastos de diferente composición litológica (rocas ígneas y metamórficas), se pueden hallar embebidos en una matriz arcillosa a arenosa, suelos varían de compactos a no compactos. Según lo anterior los suelos transportados se clasificaron de la siguiente manera: Los suelos transportado en comparación a los suelos Insitu, son suelos mas suceptibles a los MM, debido a que son producto de meteorización y transporte, ocurrido por agentes externos e internos; este tipo de suelos son menos consolidados, y junto con otros parámetros de cobertura, y pendiente, son considerablemente susceptibles a los procesos de MM.

- **Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci)**

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

En la zona de estudio el suelo transportado coluvial inactivo es matriz soportado, de color marrón amarillento moderado, compuesto por limo, arcilla, y grava fina a gruesa, con presencia ocasional de guijarros, de geometría angular, provenientes principalmente de litología sedimentaria, dentro de las que se reconocieron: Chert, Limolita, arcillolita entre otras. Este tipo de suelo está ampliamente distribuido en las inmediaciones del municipio de Charta, y ya que es producto de fenómenos de movimiento en masa, es uno de los suelos más propensos a los MM.

Fotografía 6. Vista al NE, se aprecia pequeño corte en la ladera, que muestra un suelo transportado coluvial inactivo, se presentan algunos fragmentos de roca.



Fotografía 7. Vista al NE, donde se aprecia composición de Suelo transportado coluvial inactivo.



- **Suelo Transportado Coluvial Activo (Stca)**

Los suelos transportados coluviales activos son acumulados por lo general en la base de escarpes y provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad y las precipitaciones. La mayoría se origina por movimientos en masa de tipo caída de rocas, deslizamientos y volcamientos. Estos depósitos se caracterizan por mostrar signos de inestabilidad latentes, ya que han generado desprendimiento de material y presenta un avance retrogresivo. Están asociados a desprendimiento o caída de materiales, debido a fenómenos de movimientos en masa.

En la zona de estudio se presenta un Material clasto-soportado, de color marrón amarillento moderado, compuesto por grava fina a bloques de hasta 1,8 m de diámetro, proveniente de restos líticos sedimentarios de Limolita, arcillolita, y

arenisca. En matriz limo-arenosa, homogéneo, de baja humedad, consistencia firme, plasticidad baja, y pobremente seleccionado, en algunos sitios se presenta suelo transportado coluvial activo compuesto solo por caída de roca, meteorizada y altamente fracturada, de color gris, la cual corresponde a intercalaciones de limolitas y arcillolitas.

Fotografía 8. Vista al SW, donde se aprecia pequeño suelo transportado coluvial activo, proveniente de caída de roca blanda y una delgada capa con material vegetal.



6.3.3 Suelos Transportados Aluvial Fluviotorrencial

6.3.3.1 Suelo de Terrazas (Stat) Corresponden a depósitos fluviotorrenciales, acumulados en forma de escalones en las márgenes de los ríos y arroyos, con tamaño de grano arena, grava, cantos y bloques, redondeados a subredondeados, cuya composición varía según la zona atravesada por las corrientes. La matriz en

general es arenosa arcillosa, de consistencia baja a media, generalmente son matriz soportados, sueltos y permeables, siendo fácilmente disgregables o erosionables, (tomado de zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibagué-Tolima; proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcánicos e Hidro-Meteorológicos; INGEOMINAS).

Suelo clasto y matriz soportado, de color marrón grisáceo, compuesto por partículas de tamaño variable desde grava fina a bloques, de tamaño máximo de 2,5m, de geometría sub-angular a sub-redondeada, provenientes de diversas litologías ígneas, metamórficas y ocasionalmente sedimentarias levemente a moderadamente meteorizados, en matriz arenosa-limosa, compuesta por arena fina a media y una pequeña fracción limosa. El segmento luce parcialmente homogéneo, de baja humedad, masivo, compacto y pobremente seleccionado. Dentro del estudio este tipo de suelos se encuentra en media a baja de susceptibilidad a procesos de movimientos en masa, debido a que se originan en planicies subhorizontales, en donde este tipo de fenómeno no es de ocurrencia común, sin embargo en las inmediaciones del río Charta, por la erosión y socavación fluvial, podrían originarse.

Fotografía 9. Vista al NE, se aprecia pequeña terraza clasto-soportada en margen derecha del rio Charta.



6.3.4 Suelos Transportados de Origen Antrópico 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. Están compuestos principalmente por materiales tamaño arena, arcilla, grava y son producto de residuos de construcción o para adecuación de terrenos generalmente como cimentación de la vivienda (INGEOMINAS, 2001). Debido a que el desarrollo de estas unidades de suelo depende de la intervención antrópica, de la misma manera, de la intervención antrópica depende las propiedades de las mismas, sin embargo este tipo de suelos son altamente susceptibles a los procesos de MM.

6.3.4.1 Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla) Se componen por material de excavación y/o relleno con el fin de adecuar el terreno para la construcción de viviendas y otras estructuras.

En la zona de estudio esta unidad se ve representada, por la presencia de zonas con rellenos principalmente, además como es el caso del muro de la Fotografía 10, que se encuentra en el margen derecho del Río Charta. En el mapa de UGS, solo se dejan algunos puntos donde por medio de la exploración directa del subsuelo (Sondeos), se determinó un considerable espesor de relleno, favorable para los procesos de MM.

Fotografía 10. Vista al NE, se puede observar muro en gaviones, para estabilización de ladera, en margen derecha de río Charta.



6.3.4.2 Suelos de llenos antrópicos de basuras y escombros (Stlab)

Corresponden a materiales heterogéneos, dispuestos por el hombre, generalmente caóticamente y sin ningún tratamiento o adecuación, conformados por acumulaciones de material de desechos de construcción mezclados con desechos orgánicos y basuras que contienen caucho, papel, cartón, telas y plásticos, entre otros.

En la zona de estudio se presentan pequeños sectores en los cuales se da la acumulación de materiales como fragmentos de concreto, mampostería, y basuras como plásticos, entre otros, debido al mal manejo de estos desecho de baja cohesión son altamente susceptibles a los MM. (Ver, Fotografía 11).

Fotografía 11. Vista al SE, donde se aprecia acumulación de material, correspondientes a fragmentos de concretos principalmente, no compacto.



6.4 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Según la Tabla 10, por su origen principal en el sector estudiado, se presentan geoformas de origen denudacional, fluvial y antropogénico, las cuales se representan en el Mapa de Unidades Geomorfológicas, y se describen a continuación. Ver ANEXO C.

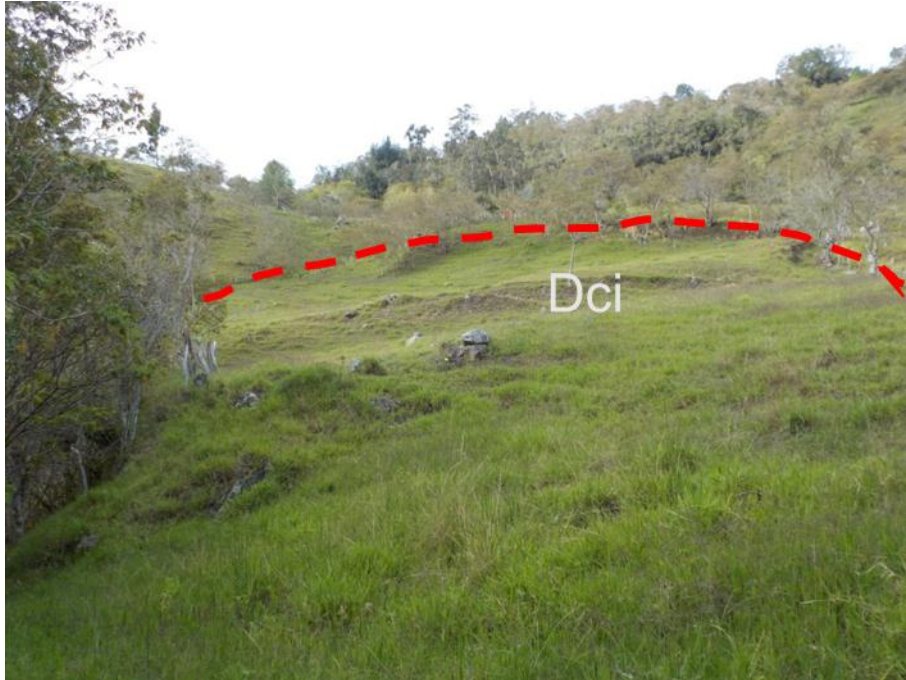
6.4.1 Geoformas de origen denudacional (D) A este grupo corresponden las geoformas originadas exclusivamente por los procesos exógenos degradacionales, desarrollados por el agua con fuerte incidencia de la gravedad. Los materiales involucrados son las rocas sedimentarias y suelos presentes en las inmediaciones del área de estudio, siendo las unidades geomorfológicas más susceptibles a los MM.

- **Depósitos de ladera de coluviales inactivos (Dci)**

Son geoformas conformadas por masas de material debido a la erosión, desprendimiento y transporte de material (movimientos en masa antiguos) a zonas topográficamente más bajas. Están cubiertos en su mayor parte por vegetación lo que les ayuda a la estabilidad, estos materiales dada su compactación moderada, podrían convertirse en una gran amenaza, ya que a partir de estos depósitos se pueden generar nuevos movimientos en masa.

Estas geoformas se presentan en todo el área de estudio, presentan morfología de suave a abrupta, cobertura vegetal compuesta por pastos y rastrojos, junto con algunos árboles (Fotografía 12).

Fotografía 12. Vista al NW, donde se observa una morfología suave a moderada, con ciertas ondulaciones, cobertura vegetal compuesta por pastos, presencia de bloques de roca en superficie.



- **Depósitos de Ladera de Coluviales activos (Dca)**

Son geoformas conformadas por masas de material debido a la erosión, desprendimiento y transporte de material (movimientos en masa) a zonas topográficamente más bajas, en un tiempo relativamente corto y reciente. Se presentan como masas aisladas, irregulares que se acomodan a la pendiente del terreno, ya sean laderas suaves o moderadas. La mayoría se localiza en zonas deprimidas y principalmente obedecen a movimientos de roca blanda, suelos residuales, y antiguos movimientos en masa, los cuales constituyen una amenaza a fenómenos de movimientos en masa.

En la zona de estudio se presentan diseminados varios depósitos de ladera de coluviales activos, se puede observar reptación, agrietamientos, hacia la parte superior terracetas o pisadas de vaca (Fotografía 13).

Fotografía 13. Vista al SE, se aprecia corte producto de corona de deslizamiento y en la base depósito de ladera de coluviales activos



- **Laderas Suaves (DIs)**

Superficie natural suavemente inclinada del terreno producto de procesos denudacionales, caracterizada por presentar pendientes menores a 10° . Se clasifican como zonas estables a los MM.

No se tienen fotografías debido a que no se observó en campo esta geoforma pero cuando se analizó la topografía si se observaron laderas suaves.

- **Laderas Moderadas (DIm)**

Superficie natural del terreno, producto de procesos denudacionales, caracterizada por presentar pendientes onduladas con inclinaciones entre 10° y 40° , en la zona no se presentan mayores problemas de estabilidad, ni MM, (Fotografía 14).

Fotografía 14. Vista al NW, ladera moderada, cobertura compuesta por pastos.



- **Laderas Abruptas (DIa)**

Superficie natural del terreno cuyas laderas son muy empinadas, producto de procesos denudacionales, caracterizada por presentar pendientes con inclinaciones entre 40° y 70° , las cuales se encuentran cubiertas por vegetación, son altamente susceptibles a los fenómenos de MM, (ver, Fotografía 15).

Fotografía 15. Vista al NE, ladera con una morfología abrupta hacia la parte media, con presencia de árboles, y pastos, en algunos sitios se aprecian terracetas.



- **Laderas Escarpadas (D1e)**

Superficie natural del terreno cuyas laderas son muy empinadas, producto de procesos denudacionales, caracterizada por presentar pendientes con inclinaciones mayores de 70° , las cuales se encuentran unas cubiertas por vegetación y otras mostrando roca, en las que se aprecian MM, y desprendimiento de material, (ver, Fotografía 16).

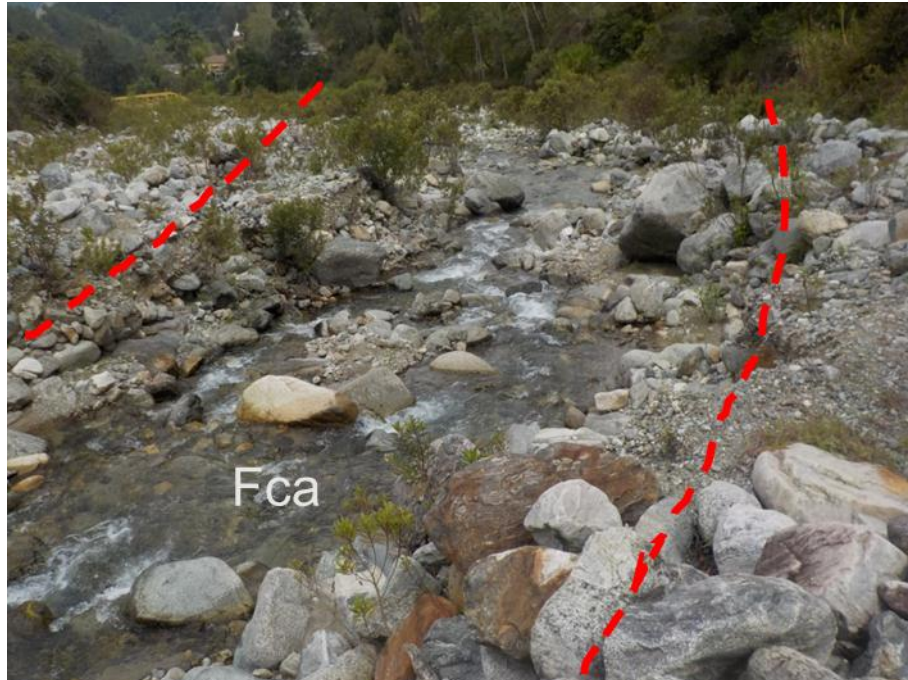
Fotografía 16. Vista al SE, se observa escarpe de roca, la cual ha sido expuesta por acción denudacional.



6.4.2 Geformas de origen fluvial (F) Son geformas asociadas a la erosión, transporte y modelado fluvial, y dependen directamente de la dinámica de los cauces, y la evolución de los mismos a través del tiempo.

6.4.2.1 Cauce activo (Fca) Corresponde a las áreas por donde frecuentemente circulan las corrientes permanentes de agua. Dependiendo de la época del año estas geformas pueden presentar una pequeña variación a la escala cartografiada, debido a la divagación de las corrientes (Fotografía 17). (Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibagué-Tolima; proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcánicos e Hidro-Meteorológicos; INGEOMINAS).

Fotografía 17. Vista al NW, se observa geoforma origina por acción del cauce del rio Charta.

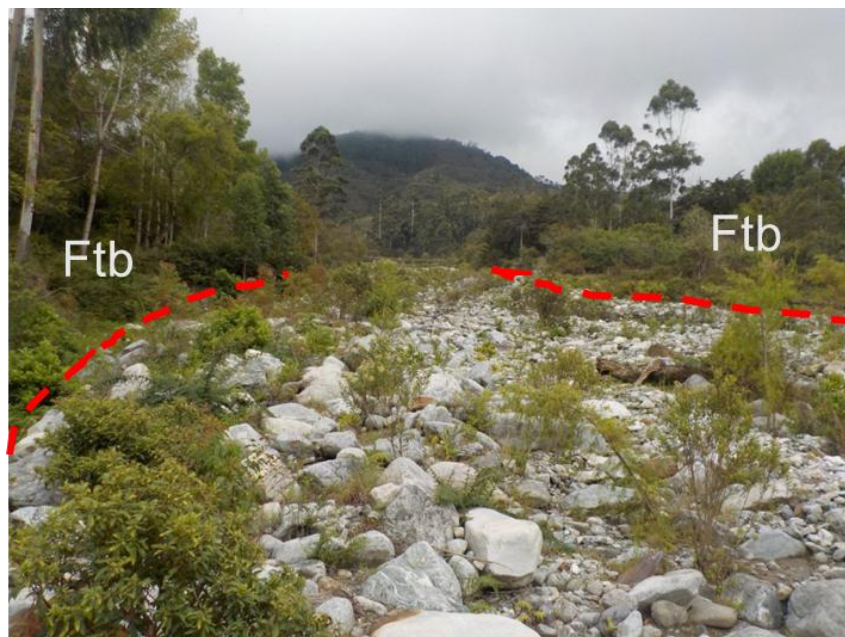


6.4.2.2 Terrazas Bajas (Ftb) Presentan una morfología plana a ligeramente inclinada limitada por un talud o escarpe adyacente a los cursos actuales de ríos y quebradas. En principio, su génesis se explica mediante una secuencia sencilla con dos etapas básicas: Durante la primera hay un ensanchamiento lateral del cauce (sea por excavación o excavación y aluvionamiento asociados) elaborando una llanura (erosiva o aluvial); en la segunda etapa, el río concentra su acción erosiva vertical y sobreexcava un nuevo cauce, dejando colgada la llanura primitiva) (Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibagué-Tolima; proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcánicos e Hidro-Meteorológicos; INGEOMINAS).

Fotografía 18. Vista al SE, se observa terraza baja, en cercanías al cauce del río Charta, en la margen derecha.



Fotografía 19. Vista al NW, terraza baja en pequeña corriente de agua, aunque con una cobertura vegetal continua, compuesta por pastos.



6.4.2.3 Terrazas Medias (Ftm) Niveles planos a ligeramente inclinados, adyacentes a los cursos actuales de las corrientes, con alturas medias respecto a los niveles del río de hasta 8 m (Fotografía 21). (Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibagué-Tolima; proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcánicos e Hidro-Meteorológicos; INGEOMINAS, 2009).

Fotografía 20. Vista al SW, se observa terraza media en margen izquierda del río Charta.



6.4.2.4 Terrazas Altas (Fta) Son niveles de terraza con características similares a las anteriores, que alcanzan elevaciones superiores a los 8 m (Fotografía 21). (Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibagué-Tolima; proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcánicos e Hidro-Meteorológicos; INGEOMINAS, 2009).

Fotografía 21. Vista al NE, se observa terraza alta sobre la que se encuentra el casco urbano del municipio de Charta, al margen derecho del río.



6.4.3 Geoformas de origen antrópico (A) Son las geoformas asociadas a las intervenciones hechas por el hombre, y generan un cambio en la morfología y disposición del terreno.

6.4.3.1 Ladera Explanada (Alex) Estas geoformas se asocian aquellos terrenos en donde se han realizado corte en laderas, cuyo material de corte o escombros, han sido movidos para llenar zonas contiguas, y la zona de corte se adecua para obras. Estos cortes son usados para la construcción y ubicación de diferentes estructuras (Fotografía 22).

6.4.3.2 Llenos de excavación y/o relleno (Ale) Geoformas asociadas en la zona de estudio a la modificación del terreno por excavación y relleno, para la adecuación y posterior construcción de vivienda (Fotografía 23).

Fotografía 22. Vista al NW, se aprecia explanación, para posible construcción de algún tipo de estructura.



Fotografía 23. Vista al SE, se observa llenos asociados a la construcción del casco urbano del municipio de Charta.



6.4.3.3 Llenos de basuras y escombros (Albe) Son formas asociadas a botaderos de basuras, dispuestos caóticamente sin ningún tratamiento especial, se encuentra formando montículos aislados o simplemente regados a lo largo de las laderas (Fotografía 24).

Fotografía 24. Vista al NW, se observa lleno de basuras y escombros, asociado a botadero de escombros y basuras, por debajo de la vía a Bucaramanga.



6.5 EXPLORACIÓN DE CAMPO

Para realizar la caracterización geotécnica en el municipio de Charta se toman diferentes tipos de exploración en campo, principalmente los sondeos de penetración estándar SPT que se hacen para encontrar la profundidad a la que se encuentra la roca y para saber el espesor de los suelo presentes en el área de estudio, otro tipo de exploración se hace por medio de excavaciones manuales

como son las trincheras que sirven para tomar muestras de la roca ya sea alterada o inalterada, adicionalmente se complementa con exploración geofísica a través de las líneas de refracción sísmica o LRS con arreglos que permitan obtener las características de las áreas en estudio.

Con la realización de los sondeos en el área de estudio se realizan los debidos ensayos de laboratorio para obtener características de las rocas y suelos presentes, estos resultados se presentan en ANEXO G, y ANEXO H.

6.6 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE EXCAVACIONES MANUALES O TRINCHERAS

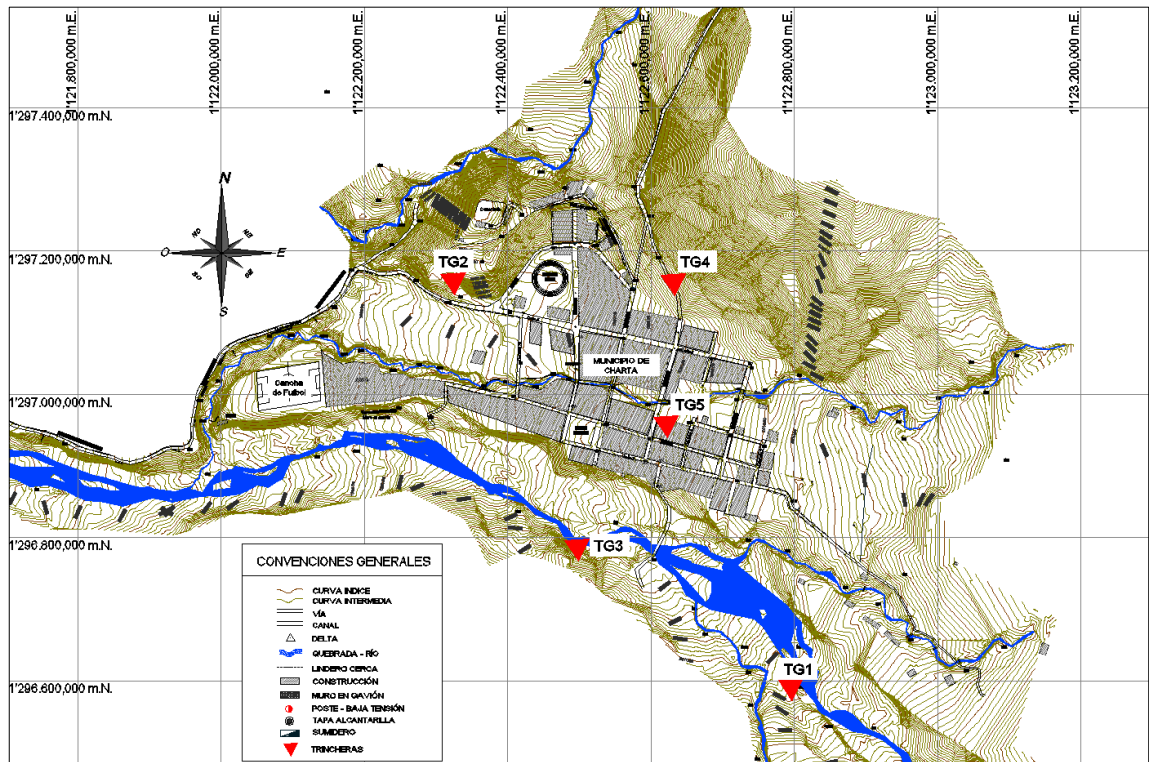
La exploración mediante trincheras es una exploración de campo usada para investigar y/o hacer una verificación del tipo de unidad geológica aflorante, observar su granulometría, y determinar grado de meteorización en el caso de ser roca. Consiste en una excavación superficial de ancho y profundidad variables. Las trincheras permiten la identificación de unidades geológicas afectadas, planos de estratificación y planos de discontinuidades.

6.6.1 Localización de las Trincheras Se dan a conocer las coordenadas de cada uno de los apiques realizados en el área de estudio, ver Tabla 13.

Tabla 13. Coordenadas de las trincheras en la zona de estudio.

TRINCHERA	ESTE	NORTE
1	1.122.796	1.296.592
2	1.122.325	1.297.158
3	1.122.498	1.296.787
4	1.122.633	1.297.158
5	1.122.622	1.296.959

Figura 12. Localización de las trincheras.



6.6.2 Trincheras 1

N 1.296.592	ERROR ± 3m
E 1.122.796	
2.036 m.s.n.m.	

En la trinchera se aprecia un depósito aluvial tipo terraza media, de más de 2m de espesor, clasto soportado, de color marrón grisáceo, compuesto por partículas de tamaño variable desde grava fina a bloques, de tamaño máximo de 2m, de geometría sub-angular a sub-redondeada, provenientes de diversas litologías ígneas, metamórficas y ocasionalmente sedimentarias levemente a moderadamente meteorizadas, en matriz areno-limosa, compuesta por arena fina a media y una pequeña fracción limosa. El segmento luce parcialmente

homogéneo, de baja humedad, masivo, compacto y pobremente seleccionado. (Ver Fotografía 25).

Fotografía 25. Vista de Trinchera al SW, Margen izquierdo del Rio Charta aguas abajo, donde se aprecia depósito aluvial, de terraza media.



6.6.3 Trinchera 2

N 1.297.158	ERROR ± 3m
E 1.122.325	
2.003 m.s.n.m.	

Suelo residual de la Formación Tablazo, hacia la parte inferior, el cual conserva segmentos en donde se observa la laminación original de la roca, y hacia la parte superior presenta suelo coluvial de color marrón amarillento claro, compuesto por arena fina a media, y una moderada fracción lodosa (limo y arcilla), con presencia de grava fina y gruesa, provenientes de diversas litologías. El segmento luce

parcialmente homogéneo, húmedo, compacto, y pobremente seleccionado. Y hacia el tope presenta un pequeño horizonte de suelo orgánico.

Fotografía 26. Vista de Trinchera al NE, Suelo Residual de la Formación Tablazo.



6.6.4 Trinchera 3

N 1.296.787	ERROR
E 1.122.498	± 3m
1.996 m.s.n.m.	

Trinchera en la que se aprecia roca blanda saprolitizada de la Formación la Luna, se reconoce una sucesión de arcillolita fisil, de color gris oliva oscuro, muy meteorizada, y extremadamente débil.

Fotografía 27. Vista de Trinchera al SW, margen izquierda aguas abajo sobre el Rio Charta, en la que se aprecia, roca blanda saprolitizada de la Formación la Luna.



6.6.5 Trinchera 4

N 1.297.158	ERROR
E 1.122.633	± 3m
2.029 m.s.n.m.	

Trinchera a la salida del casco urbano del municipio de charta en el que se parecía suelo transportado coluvial inactivo, matriz soportado, de color marrón amarillento moderado, compuesto por limo, arcilla, y grava fina a gruesa, con presencia ocasional de guijarros, de geometría angular, provenientes principalmente de litología sedimentaria, dentro de las que se reconocieron: Chert, Limolita, arcillolita entre otras. También se presenta grietas de desecación.

Fotografía 28. Vista de Trinchera al NE, en donde se aprecia Suelo Transportado Coluvial Inactivo (Stci).



6.6.6 Trinchera 5 Trinchera dentro del casco urbano del municipio de Charta, en el cual se observa depósito aluvial de terraza alta, hacia la parte inferior presenta material clasto-soportado, de color marrón amarillento moderado, compuesto por grava fina y gruesa a bloques de hasta 1,5m de diámetro, de geometría, sub-angular a sub-redondeada, proveniente de diversas litologías, ígneas, metamórficas, y ocasionalmente sedimentarias, en matriz arenosa de tamaño fina a gruesa, el segmento luce parcialmente homogéneo, de baja humedad, masivo y pobremente seleccionado. Hacia la parte media superior se observa un material de características similares, matriz soportado, y 50 cm de suelo transportado antrópico de color marrón oscuro, compuesto por arena fina a media, limo y grava gruesa sub-angular, proveniente de diversas litologías, con presencia de restos de material vegetal “raíces”, luce heterogéneo, húmedo y moderadamente seleccionado.

Fotografía 29. Vista de Trinchera al NE, en donde se aprecia Suelo Transportado Antrópico (Stla), y suelo transportado aluvial de terraza alta (Sta).



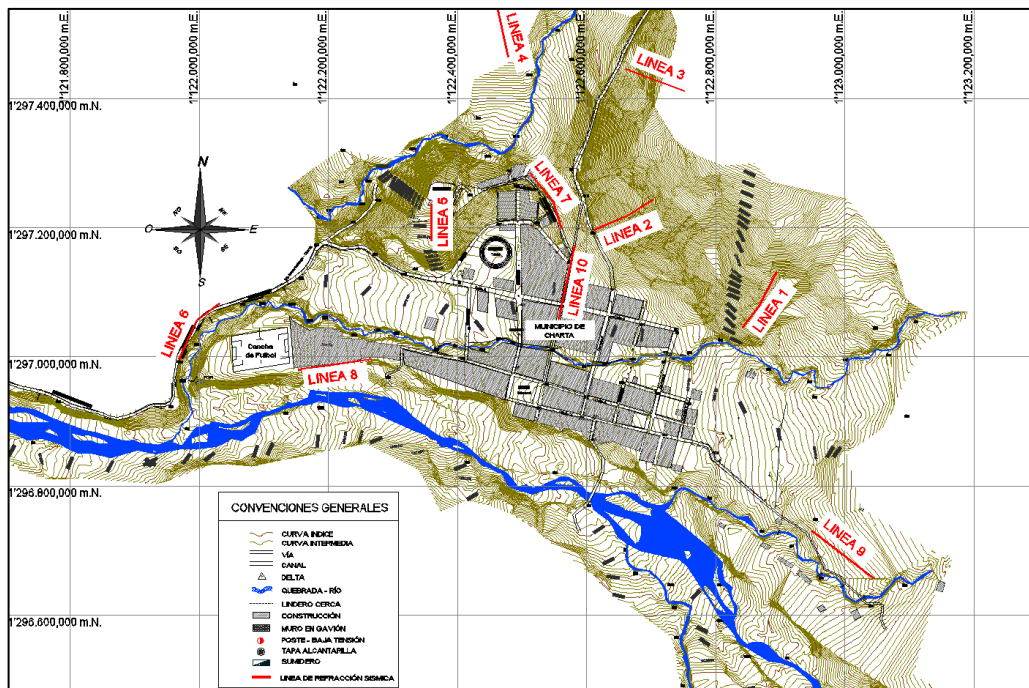
6.7 EXPLORACIÓN MEDIANTE ENSAYOS GEOFÍSICOS

A continuación se da a conocer la interpretación de las línea sísmica de refracción No. 1, realizada e interpretada por especialistas de la empresa Construsuelos de Colombia S.A.S. con las cuales se obtuvo de manera indirecta saber la dureza de las unidades geológicas superficiales, y su espesor aproximado, con los que se elaboraron perfiles geológicos- geotécnicos, para determinar el nivel de amenaza de algunas zonas críticas del municipio de Charta.

Los métodos usados para el presente estudio miden el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y su llegada a diferentes puntos de observación. Para esto se dispone una serie de

sensores en línea recta a distancias conocidas formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción o reflexión sísmica. A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas (con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos), las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido. Ver ANEXO K.

Figura 13. Localización de las líneas de refracción sísmica.

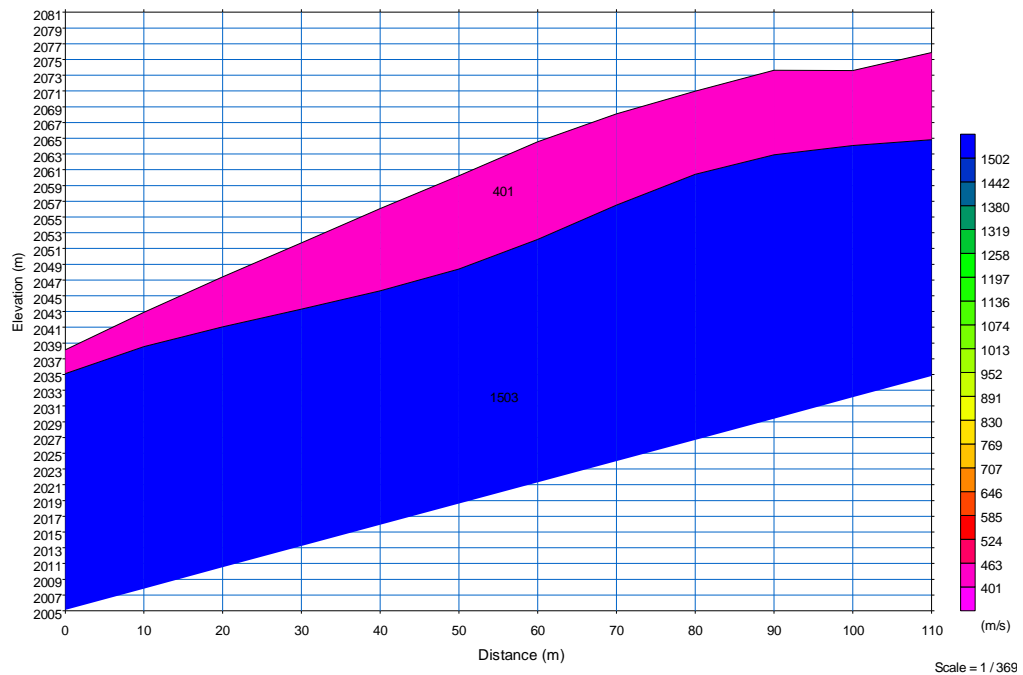


6.7.1 Línea sísmica No 1

Tabla 14. Localización de Línea de Refracción sísmica No1

Perforación	Coordenadas			
	Este	Norte	Longitud	Latitud
Geófono 1	1.122.842,058	1.297.045,682	72°57'54,504"	7°16'51,307"
Geófono 12	1.122.894,346	1.297.131,233	72°57'52,792"	7°16'54,087"

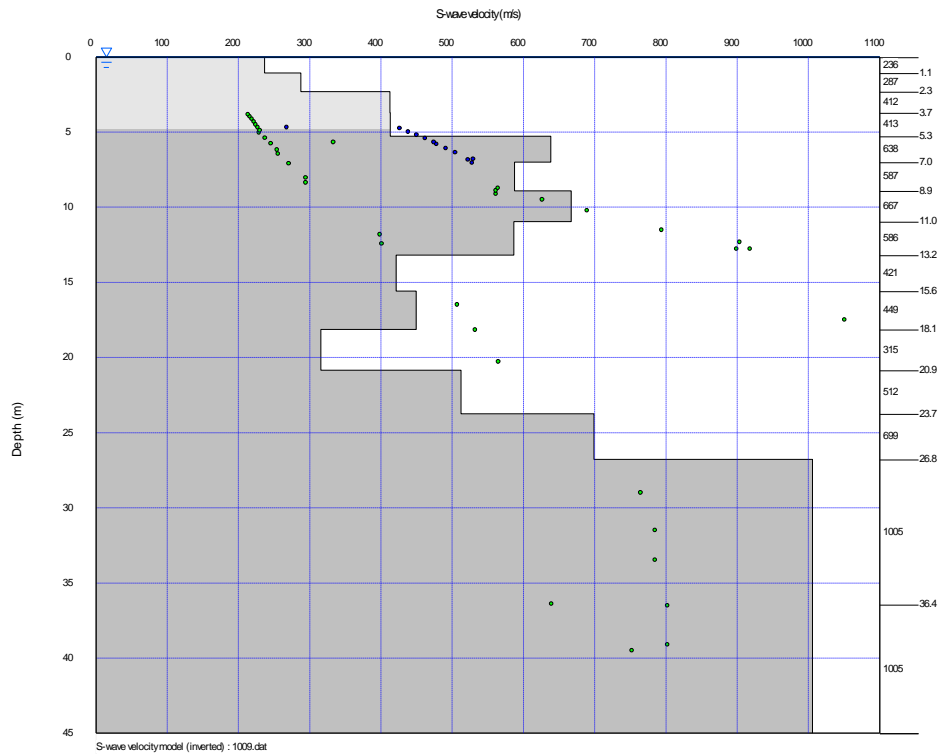
Figura 14. Perfil con variación de ondas compresionales Vp No1.



En los resultados de la línea de refracción sísmica, se observa un modelo bicapa, La primera capa está compuesta por un depósito con valores de ondas compresionales Vp de 401 m/s, el cual presenta un espesor variable entre 3.0 y 5.0m.

Subyaciendo este estrato, se detectó una capa con valores de velocidad de onda compresional Vp de 1503 m/s, que podría correlacionarse con un depósito de mayor rigidez. La desventaja con este tipo de ensayo, radica en que sólo es posible detectar con confiabilidad estratos con rigideces progresivamente mayores con la profundidad que tengan un contraste de velocidad bien definido.

Figura 15. Ensayo MASW (LRS – 1)



En los resultados del ensayo MASW se obtiene:

Una primera capa con valores de velocidad de onda de corte V_s entre 236 m/s y 287 m/s hasta los 2.3 metros de profundidad.

Subyaciendo esta capa se observa valores de velocidad de onda de corte V_s entre 412 m/s y 699 m/s hasta una profundidad de 26.8 metros, a profundidades superiores a los 26.8 m, se detectaron depósitos con valores de velocidad de onda de corte V_s de 1005 m/s. Mediante este ensayo, se pudo obtener una variación de valores de velocidad de onda de corte V_s , en la parte central del arreglo, hasta una profundidad de 36.4 m.

6.8 PARÁMETROS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS PARA ESTABILIDAD DE TALUDES

Inicialmente se realizó una revisión de las descripciones de las muestras recuperadas en las exploraciones de campo y se verificó nuevamente esta litología con las observaciones de campo y con los contactos definidos mediante la ejecución de las trincheras.

De acuerdo a las características geológicas, geomorfológicas y a las exploraciones de campo (directas e indirectas), se definieron diferentes contactos litológicos para cada una de las perforaciones.

6.8.1 Definición de Contactos Litológicos Los contactos litológicos detallados mediante las muestras recuperadas en las perforaciones y los ensayos geofísicos, permitieron definir los perfiles geológico-geotécnicos. El buzamiento de los diferentes paquetes de roca se estableció mediante los datos estructurales de rumbos y buzamientos de las capas, de los patrones de diaclasamiento y estructuras que se pudieran medir en campo (Fallas-Pliegues).

6.8.2 Niveles Freáticos En la exploración de campo realizada, no se encontró nivel freático, sin embargo para nuestro análisis se asume como escenario crítico un nivel freático muy cerca de la superficie, para establecer el grado de amenaza que representaría para el talud el ascenso de estos niveles freáticos.

6.8.3 Profundidades de Roca En el área de estudio se plantearon 10 sondeos mecánicos que se realizaron en diferentes zonas del municipio y alcanzaron profundidades entre 16,20 y 30,30 metros (Volumen II. Exploración de Campo), en los cuales se pudo establecer la profundidad de la roca en 6 sondeos. A

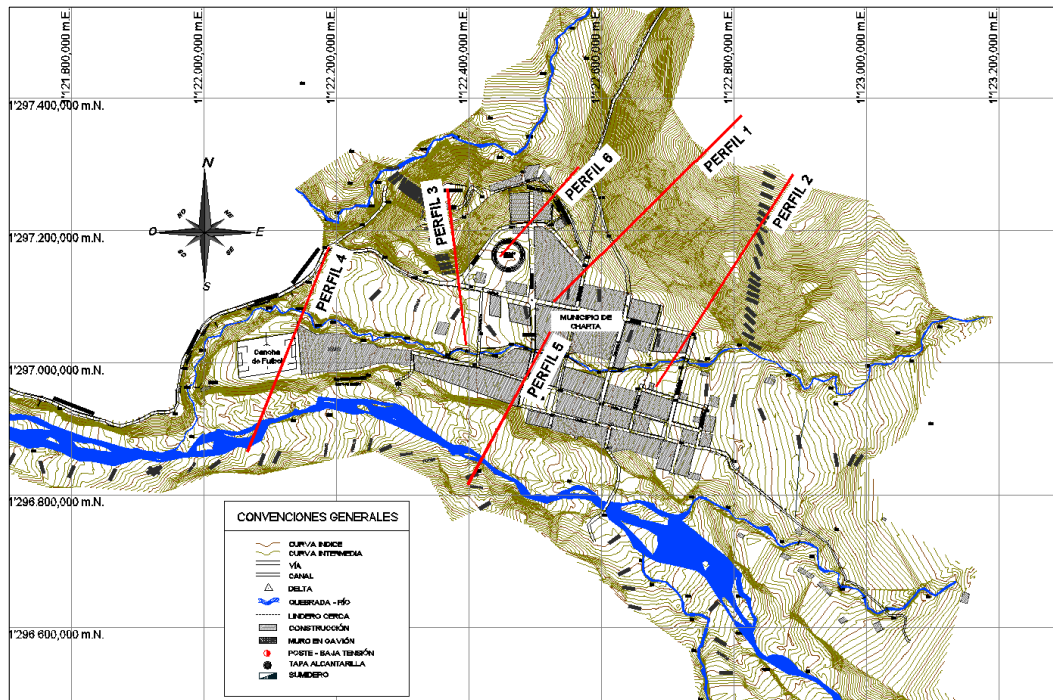
continuación en la Tabla 15 se presenta la profundidad a la que aparece la roca blanda saprolitizada y la roca blanda en cada uno de los sondeos.

Tabla 15. Profundidad a la que aparece roca en los sondeos mecánicos

Sondeo	Profundidad a la que aparece roca blanda saprolitizada(m)	Profundidad a la que aparece roca blanda (m)
1	3,15	19,80
2	27,30	-----
7	2,70	-----
8	7,20	-----
9	14,25	20,55
10	7,05	9,00

6.8.4 Perfiles Geológicos – Geotécnicos Como resultado de las anteriores tareas, se definieron 6 perfiles geológico-geotécnicos, los cuales se localizaron (Ver Figura 16).

Figura 16. Localización de los Perfiles



Basados en las exploraciones de campo, en el estudio geológico y en los resultados de las caracterizaciones realizadas en el laboratorio, se realizaron perfiles en las áreas más susceptibles a movimientos en masa dentro de la zona de estudio, (zona talud margen derecha rio Charta, zona quebrada La Prensa y zona talud nor-oriental), teniendo en cuenta los contactos litológicos y las profundidades definidas. Ver ANEXO D.

6.8.5 Caracterización Geotécnica 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.

6.8.5.1 Caracterización Geomecánica de Rocas

- **Unidad de roca blanda (Rb)**

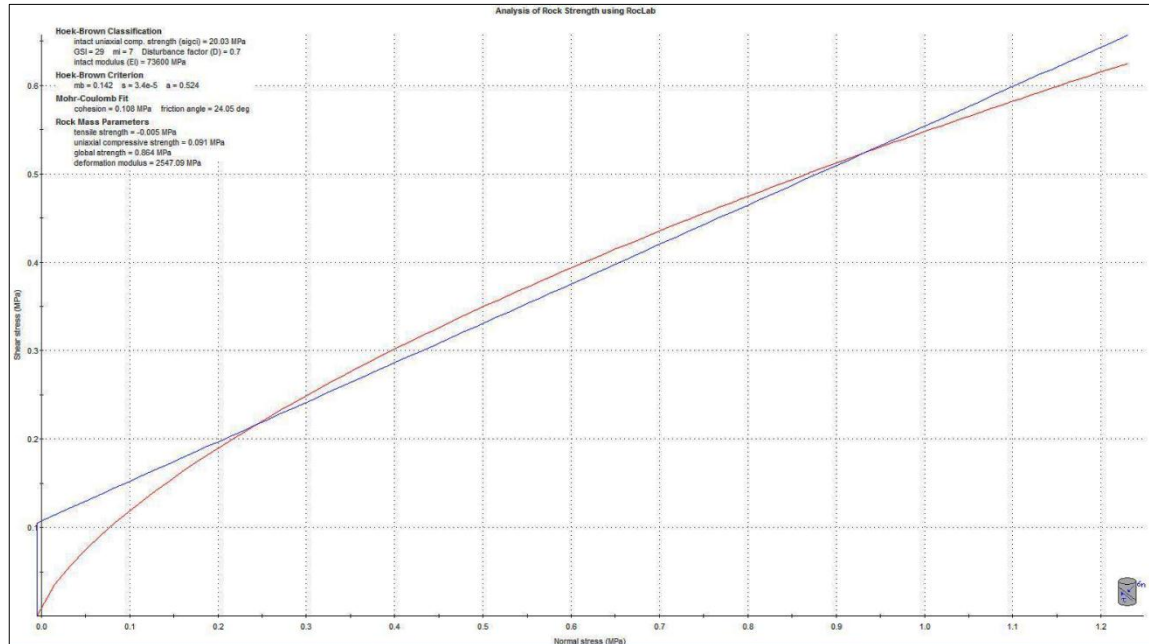
Debido a que no se lograron obtener muestras representativas de roca para realizar ensayos de corte directo en las superficies de diaclasamiento, los valores de cohesión y fricción del macizo rocoso se determinaron mediante las expresiones de Hoek y Brown (1997), basados en los resultados del ensayo de compresión confinada y de los valores de GSI obtenidos en campo en los afloramientos de estas rocas.

Para valores de $q_u=20,03$ Mpa, y GSI entre 20 y 30, se obtuvieron los siguientes valores (Ver Tabla 16 y):

Tabla 16. Parámetros de resistencia de la roca blanda.

GSI	Angulo de fricción	Cohesión MPa
29	24°	0,108

Figura 17. Valores de cohesión y fricción del macizo rocoso mediante las expresiones de Hoek y Brown, GSI=29.



- **Unidad de roca blanda saprolitizada (Rbs)**

Es importante aclarar el contexto de las definiciones geotécnicas-geológicas para enmarcar los resultados de la caracterización geotécnica. El saprolito plantean una imprecisión en la definición del límite suelo-roca (O’Neill & Reese en su publicación de 1999 lo definen como geomateriales intermedios), ya que estos dos materiales son fáciles de separar en el campo por métodos visuales, pero en las perforaciones debido a su grado de meteorización y a los procesos de lavado, estas muestras se pueden confundir fácilmente con los suelos residuales.

Las rocas sedimentarias con un alto grado de meteorización que conservan la estructura rocosa original en forma relicta pero que tienen un grado de competencia muy bajo a causa del avanzado estado de meteorización, son definidas como GEOMATERIAL INTERMEDIO.

Estas “rocas muy meteorizadas” presentan una resistencia a la compresión simple muy inferior al de una roca extremadamente débil e igualmente son atravesadas por el ensayo SPT con un número de golpes inferior a 100 considerado comúnmente -en el concepto geotécnico- como el límite entre suelo y roca.

Entonces es necesario dejar en claro que la definición geológica de “saprolito” que se expresa en la descripción de las muestras del subsuelo en las perforaciones es solamente en base a la estructura relicta y no corresponde a una definición de dureza o resistencia de roca. Desde el punto de vista geotécnico, estas rocas meteorizadas, se denominaran **GEOMATERIALES INTERMEDIOS PROVENIENTES DE ROCAS SEDIMENTARIAS**.

- **Resistencia al corte geomateriales intermedios**

Aunque el contenido de finos del saprolito presenta variaciones entre el 5,4% y el 97,2%, se espera que ante un incremento de esfuerzos su comportamiento sea de tipo drenado.

De acuerdo a O’Neill and Reese (1999) los geomateriales intermedios IGM no cohesivos, pueden ser tratados como suelos granulares gruesos, ya que estos responden ante un incremento de cargas con una rápida disipación de los excesos de presión de poros (respuesta drenada completa) y son analizados en términos de esfuerzos efectivos.

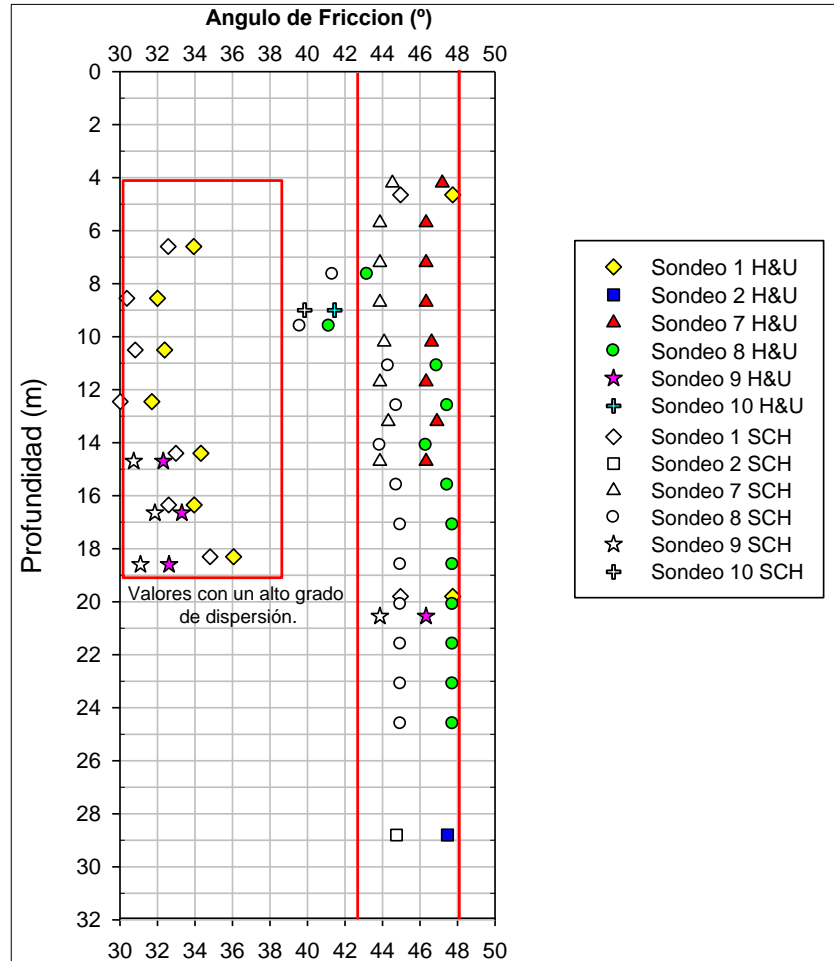
Aunque se realizaron ensayos de resistencia al corte (ensayo de corte directo) las muestras obtenidas mediante muestreadores de doble barril, presentan un cierto grado de perturbación, por tanto los valores de resistencia obtenidos por medio de ensayos de laboratorio presentan un alto grado de incertidumbre y no reflejan el verdadero comportamiento de estos materiales.

Tabla 17. Valores de fricción y cohesión para roca blanda saprolitizada por medio de ensayos de corte directo

Sondeo	Profundidad (m)	Φ (°)	Cohesión (Kpa)
1	16,35 a 17,85	22	23
8	11,10 a 12,60	18	35
Media		20	29
Máximo		22	35
Mínimo		18	23
Desviación		1	3
Valor de diseño		19	26

Por lo antes expuesto, los valores de ángulo de fricción para el saprolito se obtuvieron mediante correlaciones con el número de golpes del ensayo SPT corregido por energía y esfuerzo de confinamiento $N_{1,60}$.

Figura 18. Correlaciones existentes de ϕ de acuerdo al N1,60, varios autores, roca blanda saprolitizada



Como se muestra en la figura 18

Figura 18, los ángulos de fricción para el saprolito, obtenidos mediante correlaciones, presentan una variación entre 42 y 48 grados. Para estimar valores razonables de los parámetros de resistencia, considerando los valores máximos y mínimos de cohesión y ángulos de fricción, se utilizó la regla de los 3 Sigmas.

Tabla 18. Valores de ángulo de fricción para roca blanda saprolitizada

	H&U, Hatanaka & Unchida (1996)	SCH, Schnaid, F. el al (2009)
Media	42,70	40,48
Máximo	47,75	44,96
Mínimo	31,71	30,02
Desviación	4,01	3,74
Valor de diseño	38,69	36,75

6.8.6 Resumen de los Parámetros Utilizados De acuerdo a los análisis realizados y a los resultados de los ensayos de laboratorio, los parámetros obtenidos para los estratos identificados en el área de estudio son:

Tabla 19. Parámetros Geotécnicos de las UGS.

Unidad Geológica Superficial	Angulo de fricción (°)	Cohesión (KN/m ²)	Peso Unitario (Ton/m ³)
Roca blanda (Rb)	24	108	2,2
Roca blanda saprolitizada	39	26	2,0
Suelos residual (Sr)	39	23	1,9
Suelo transportado aluvial de terraza (Stat)	41	20	1,8
Suelo transportado coluvial inactivo	37	19	1,8
Suelo transportado de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla)	33	6	1,7

Para una mejor perspectiva de los resultados obtenidos, en la caracterización de las unidades geológicas superficiales, Ver ANEXO F, y ANEXO H

6.8.7 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.

6.8.7.1 Calibración del modelo zona de depósitos coluviales activos La calibración del modelo geotécnico se realizó por medio del Back analysis o retro

cálculo, se calibro el modelo de estabilidad del talud en el cual los parámetros de resistencia al cortante se ajustaron mediante análisis consecutivo hasta obtener el factor de seguridad de 1,0 que sirve para evaluar las alternativas de estabilización.

El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a la unidad y considera la geometría original en el momento de la falla. Luego se estima la resistencia al corte del suelo que fue movilizada en la falla consistente con un modelo 2D realizado con un método seleccionado para un FS=1. Estudios han demostrado que usando un método que considere todas las condiciones de equilibrio ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$) se obtiene un factor de seguridad que varía en $\pm 5\%$ (Tang, 1999).

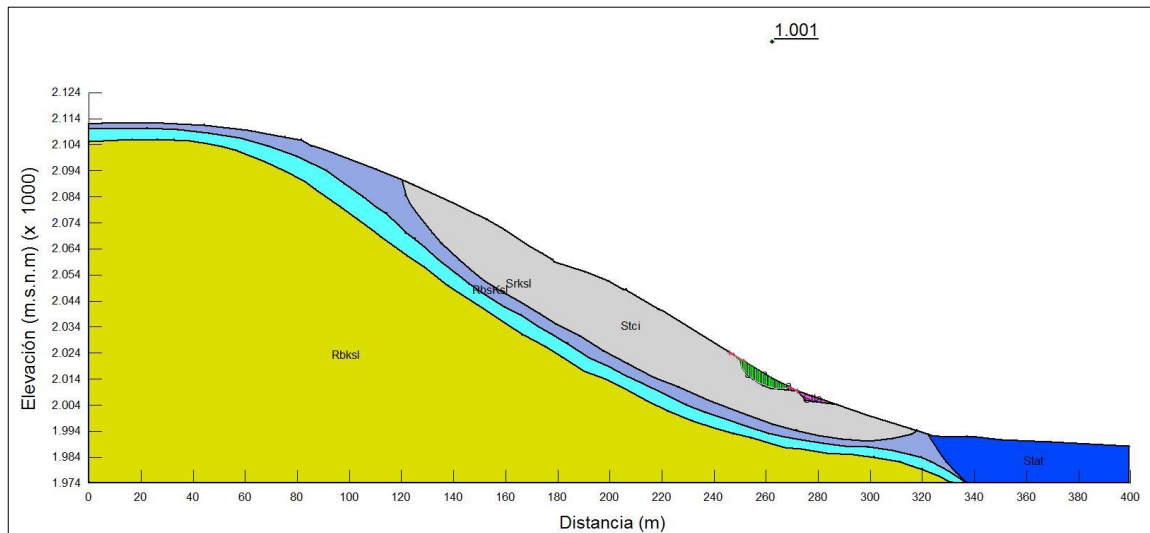
Los parámetros de resistencia calibrados corresponden a los suelos transportados coluvial activo que se encuentran en la zona de estudio. Estos suelos son el producto del movimiento de los materiales presentes por tal razón los parámetros de entrada para el retro calculo son los valores de los suelos transportados de coluvial inactivo (Stci).

Tabla 20. Valores de fricción y cohesión iniciales para el retro calculo

ϕ (°)	Cohesión (Kpa)
37,0	19,0

A continuación se presenta el análisis de la estabilidad del talud según el método del back analysis para el perfil 1, arrojando un valor de 1.001 de factor de seguridad.

Figura 19. Back Analysis Perfil 1.



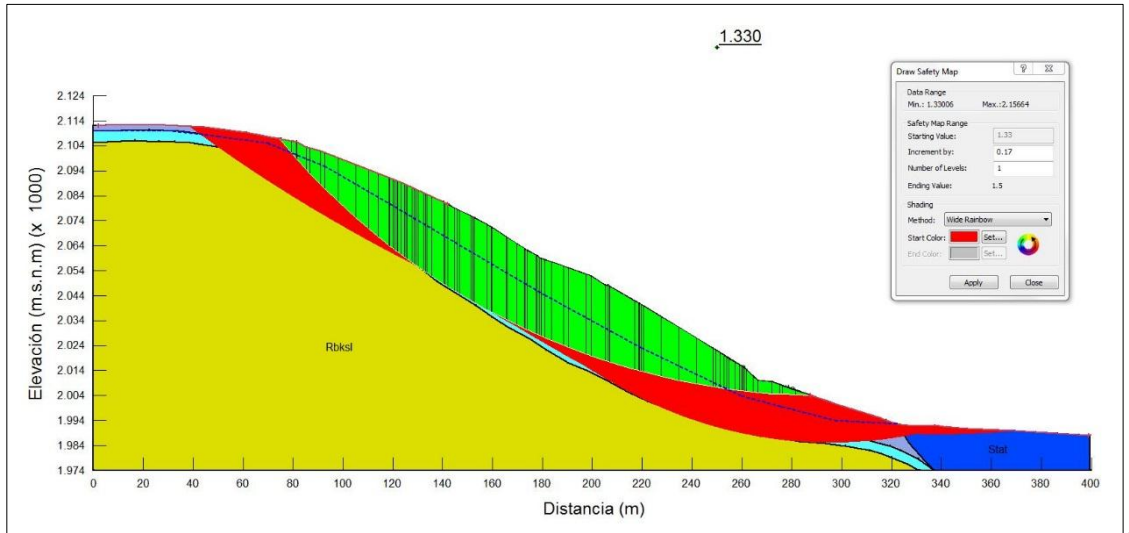
Los parámetros de resistencia calibrados corresponden a los suelos transportados coluvial activo que se encuentran en la zona de estudio, en este suelo se obtuvieron los siguientes valores resistencia residual con el Back Analysis $\phi=4,4^\circ$ y cohesión=16.0 Kpa.

6.8.7.2 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.

- **Perfil 1**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 1 para el nivel de amenaza media.

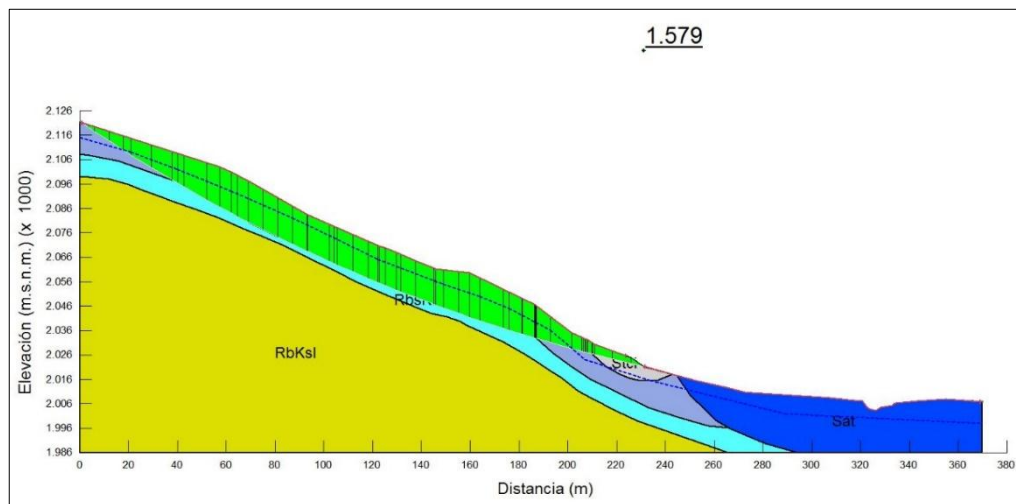
Figura 20. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media



- **Perfil 2**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 2 para el nivel de amenaza baja.

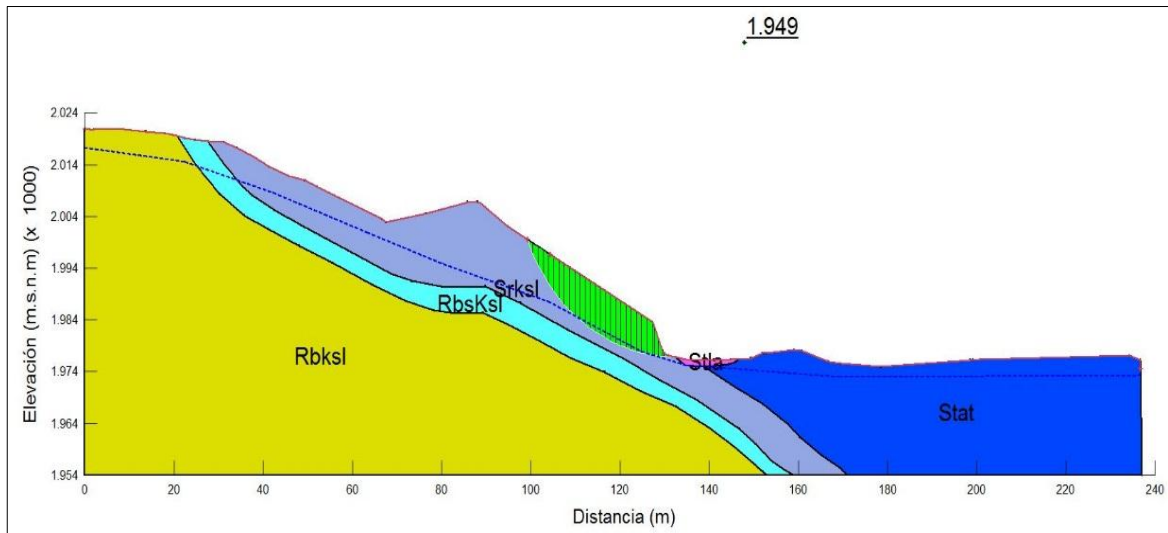
Figura 21. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.



- **Perfil 3**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 3 para el nivel de amenaza baja.

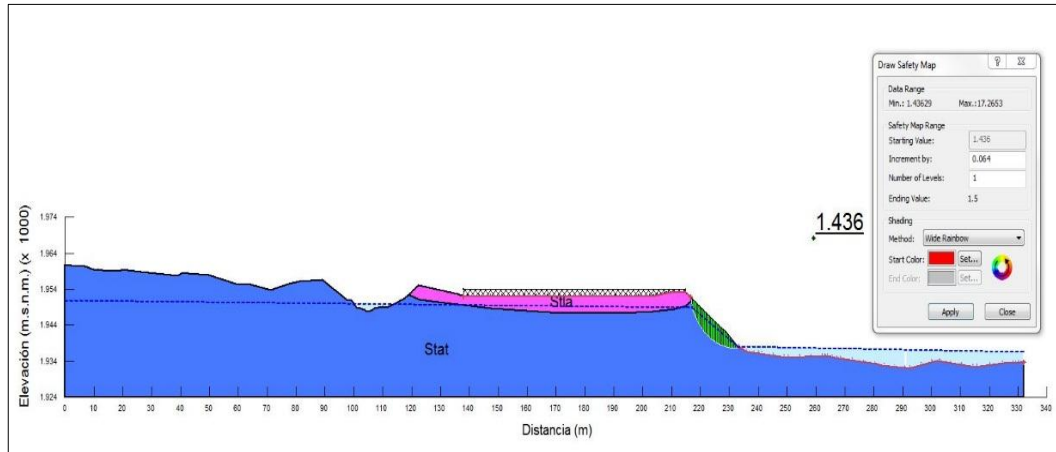
Figura 22. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.



- **Perfil 4**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 4 para el nivel de amenaza media.

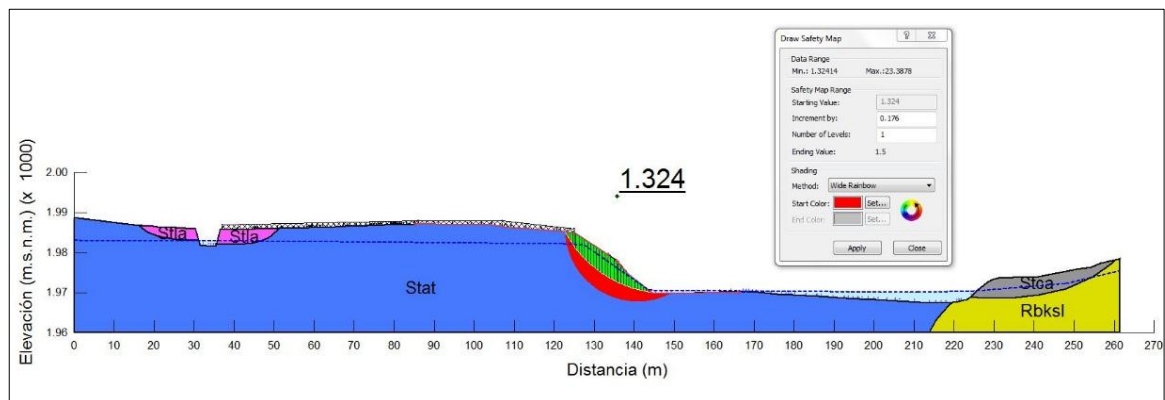
Figura 23. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media.



- **Perfil 5**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 5 para el nivel de amenaza media.

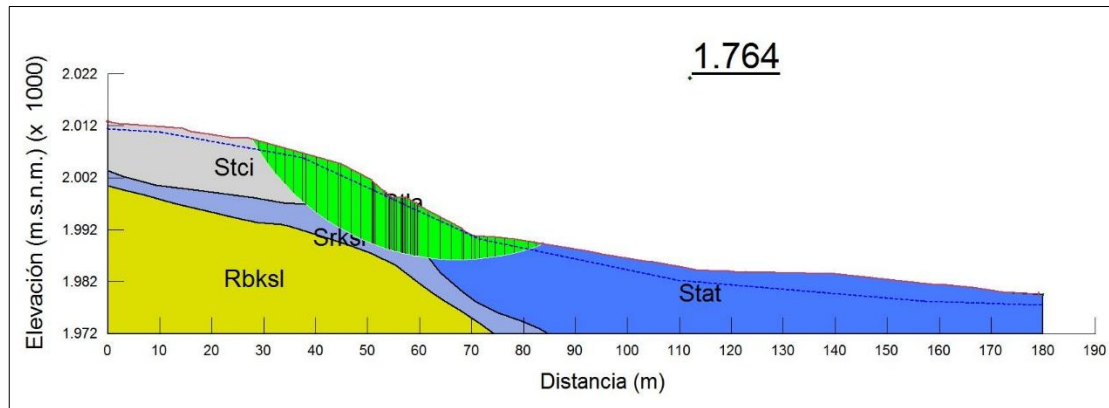
Figura 24. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza media.



- **Perfil 6**

Se hace el análisis en la condición estático parcialmente saturado para el Perfil 6 para el nivel de amenaza baja.

Figura 25. Análisis de estabilidad para condición estático parcialmente saturado con amenaza baja.



6.8.7.3 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.

- **Perfil 1**

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 1 para los niveles de amenaza media y alta.

Figura 26. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.

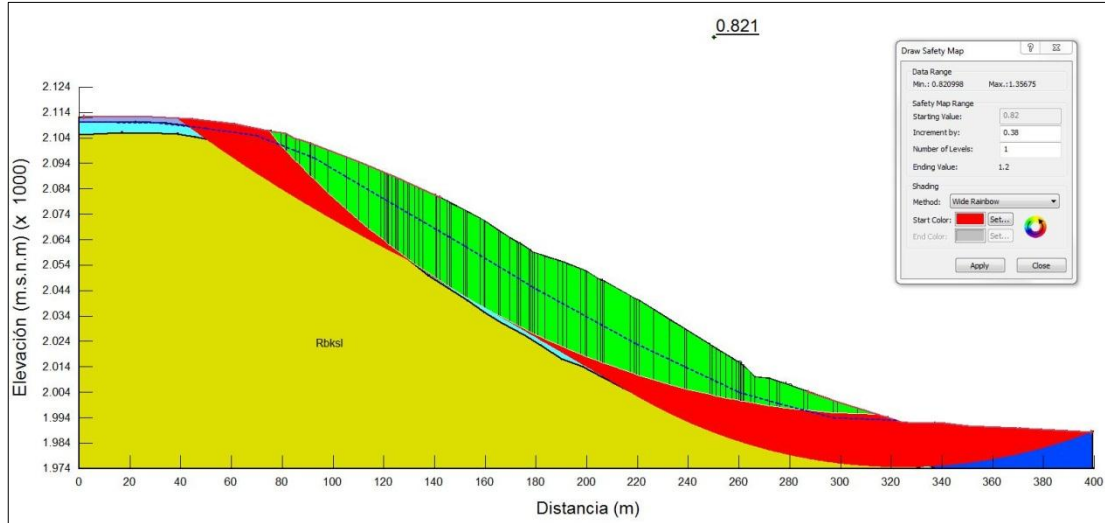
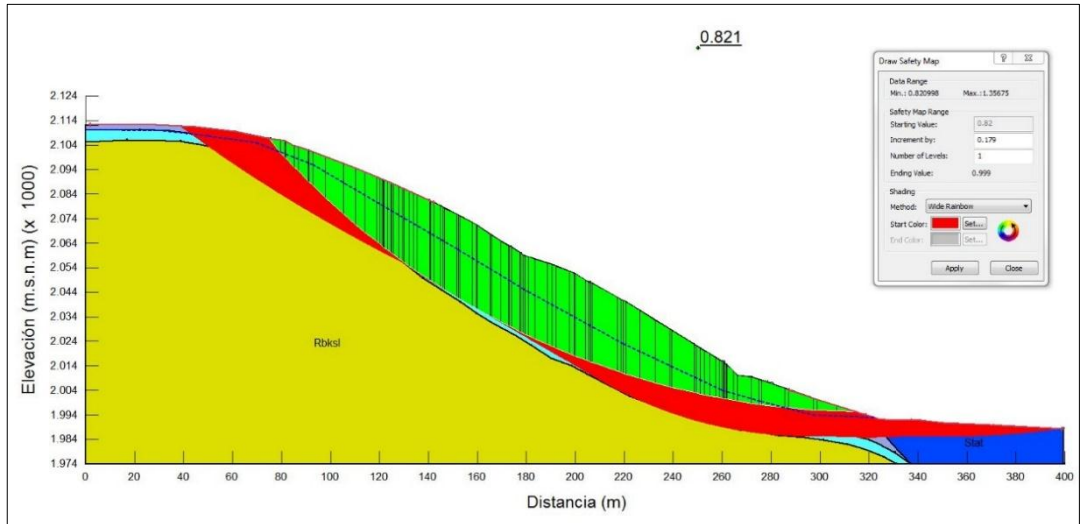


Figura 27. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.



- Perfil 2

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 2 para los niveles de amenaza media y alta.

Figura 28. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.

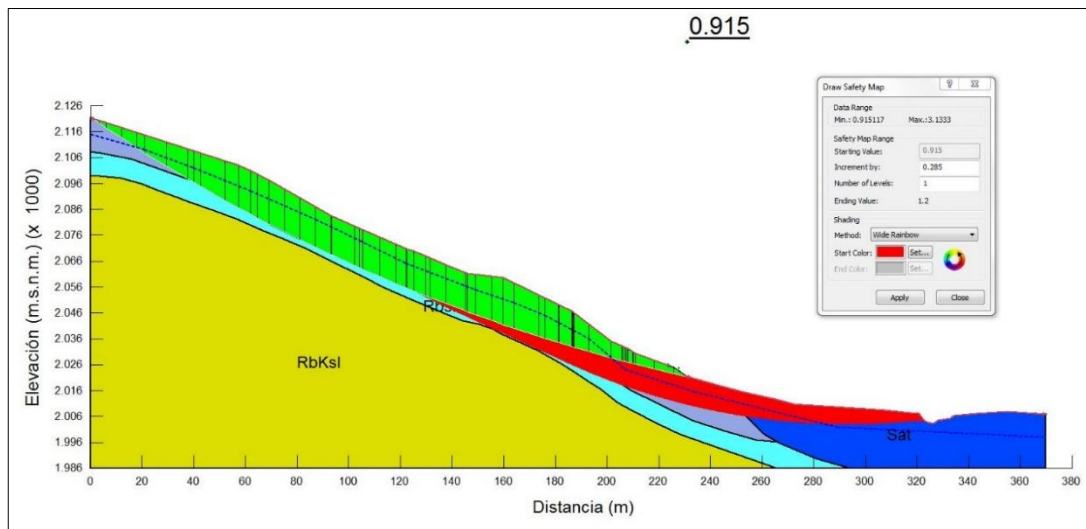
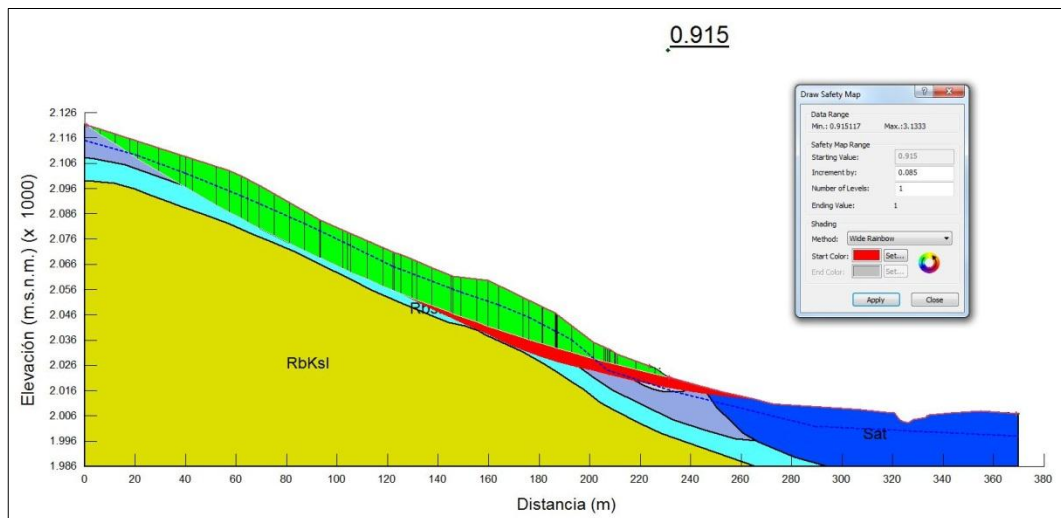


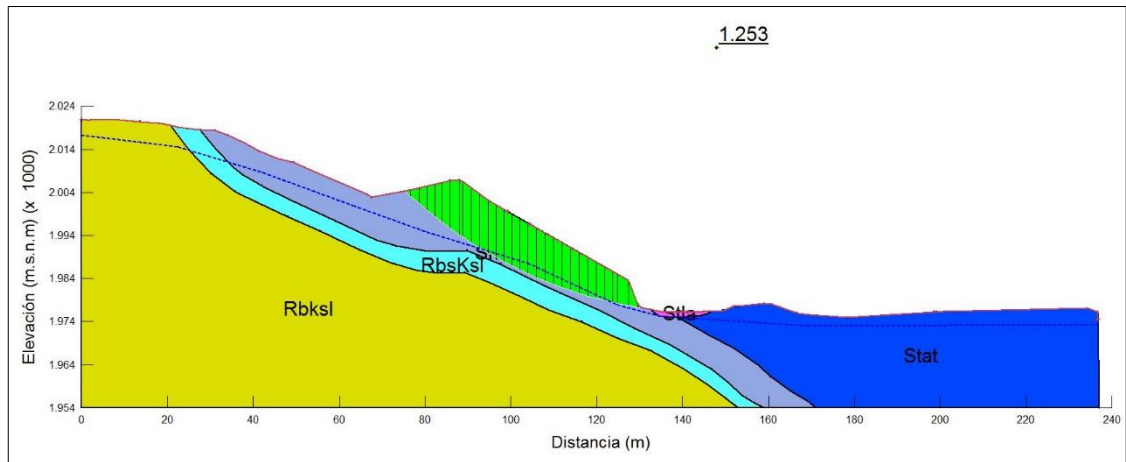
Figura 29. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.



- **Perfil 3**

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 3 para el nivel de amenaza baja.

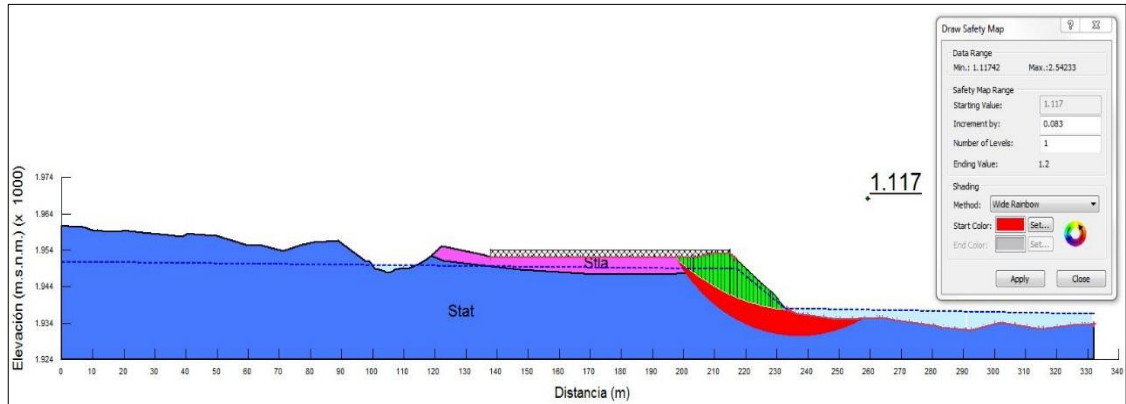
Figura 30. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza baja.



- **Perfil 4**

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 4 para el nivel de amenaza media.

Figura 31. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.



- **Perfil 5**

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 5 para los niveles de amenaza media y alta.

Figura 32. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.

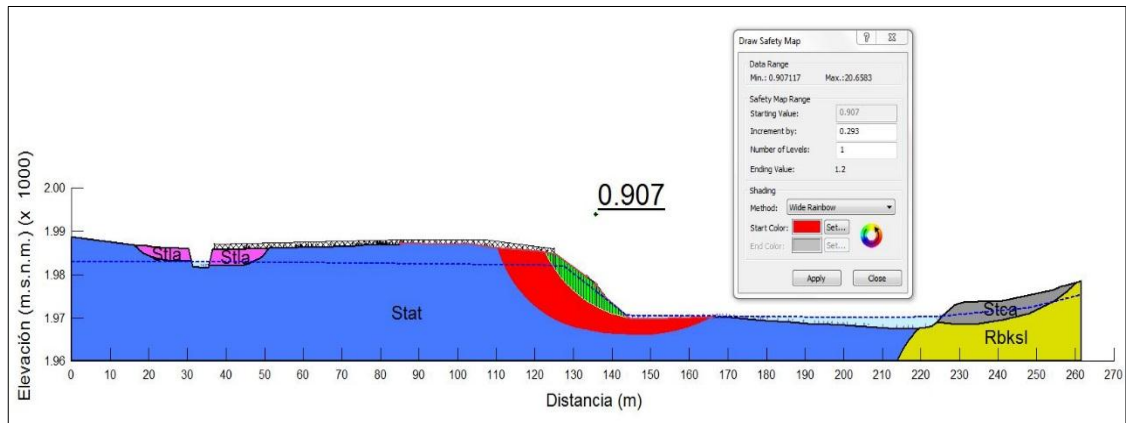
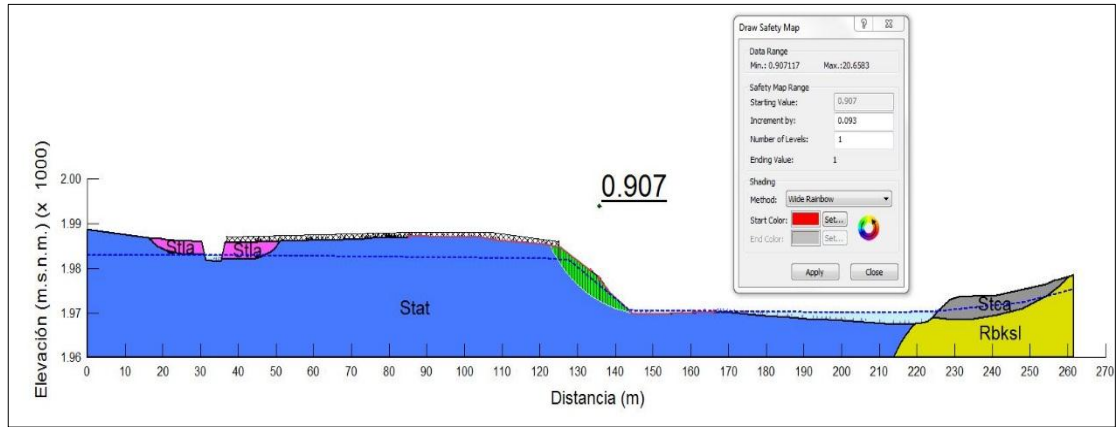


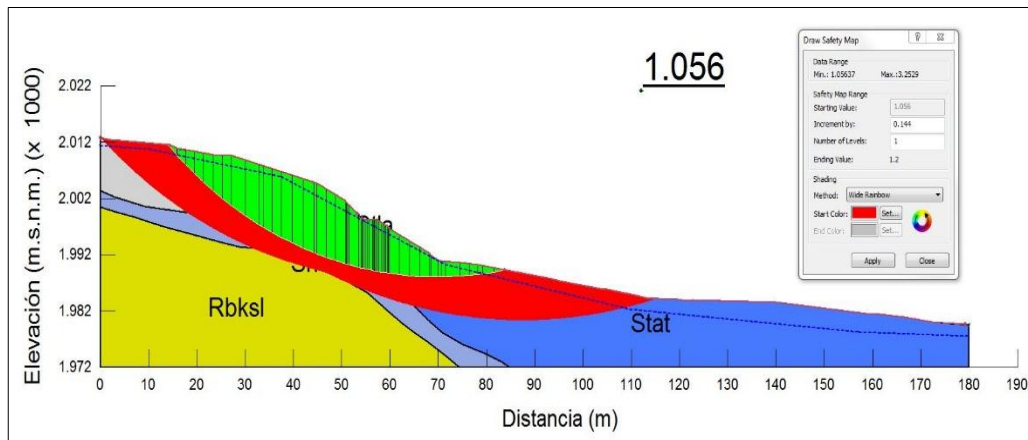
Figura 33. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza alta.



- **Perfil 6**

Se hace el análisis en la condición pseudo – estático parcialmente saturado para el Perfil 6 para el nivel de amenaza media.

Figura 34. Análisis de estabilidad para condición pseudo – estático parcialmente saturado con amenaza media.



En el desarrollo de la metodología determinística en la que se muestran los anteriores escenarios que se tuvieron en cuenta para realizar los análisis de

estabilidad. Se modelaron los perfiles geológicos en el software SLOPE/W, Versión 6.02, con las propiedades de los materiales como el ángulo de fricción, la cohesión, y el peso unitario; para posteriormente obtener los factores de seguridad, los cuales se tomaron en cuenta para determinar el nivel de amenaza de las laderas dentro del municipio, según lo define la Norma Geotécnica de la CDMB (2009) y de esta manera obtener el mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Charta-Santander, una vez calibrado el modelo con la exploración de campo realizada previamente.

6.9 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR FENOMENOS DE MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo al de inventario de movimientos en masa, en las áreas cuyas pendientes muestran mayor susceptibilidad y los resultados de los modelos de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite, se estableció el mapa de zonificación de la amenaza por procesos de movimientos en masa.

6.9.1 Amenaza Baja Son zonas relativamente estables, en donde no se observan procesos denudacionales severos, pero su estabilidad depende de su manejo y la estabilidad de las laderas adyacentes. Las zonas de amenaza baja corresponden a zonas con una baja probabilidad de ocurrencia de procesos de movimientos en masa, cuyos factores de seguridad son mayores a 1,5 en condición estática y mayores a 1,2 en condición pseudo estática.

Y las zonas de amenaza baja se encuentran en los depósitos aluviales de terraza alta, en donde se encuentra localizado el casco urbano del municipio.

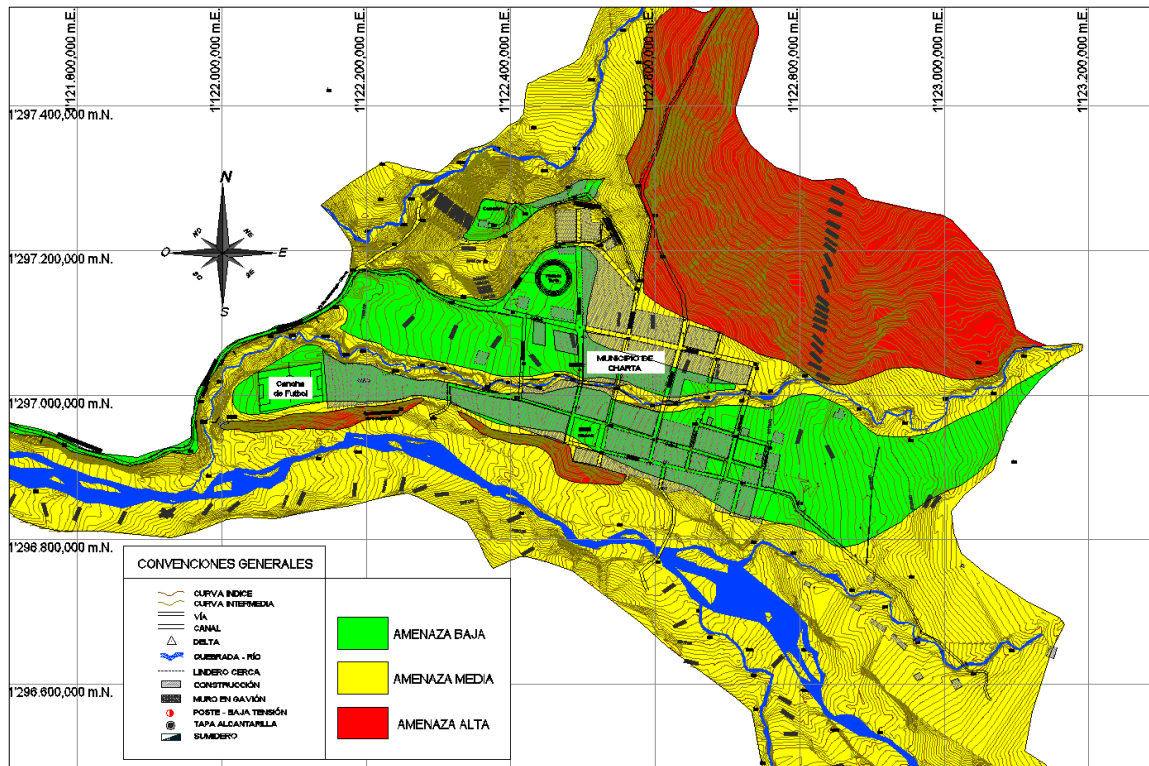
6.9.2 Amenaza Media Son zonas de estabilidad marginal susceptibles a procesos denudacionales por el mal manejo del terreno y de las aguas superficiales. Las zonas de amenaza media corresponden a zonas que presentan probabilidad de ocurrencia, cuyos factores de seguridad son superiores a 1,25 y menores o iguales a 1,5 en condición estática y 1,0 y menores o iguales a 1,2 en condición pseudo estática.

Las zonas de amenaza media se presentan principalmente en los márgenes de divagación del río Charta en los depósitos aluviales, de terraza baja y media.

6.9.3 Amenaza Alta Son zonas afectadas por procesos de inestabilidad activos. Las zonas de amenaza alta corresponden a zonas con alta probabilidad de ser afectadas por procesos de movimientos en masa, cuyos factores de seguridad son menores a 1,25. y menores a 1,0 en condición pseudo estática.

Las zonas de amenaza alta están relacionadas, principalmente a la formación la luna, de depósitos coluviales activo e inactivos y laderas abruptas. Y suelos transportados aluviales, expuestos en laderas escarpadas.

Figura 35. Mapa de amenaza por movimientos en masa



7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en la campaña de exploración geotécnica que se llevó a cabo en el municipio de Charta se puede concluir:

El área estudiada se encuentra localizada sobre rocas, Cretácicas (K) y depósitos cuaternarios (Q).

- Las unidades geológicas superficiales presentes en el área de estudio son:
 - Roca Blanda de la Formación Tablazo (RbKit).
 - Roca Blanda de la Formación La Luna (RbKsl).
 - Roca Blanda Saprolitizada de la Formación Tablazo (RbKit).
 - Roca Blanda Saprolitizada de la Formación La Luna (RbKsl).
 - Suelo Residual de la Formación Tablazo (SrKit).
 - Suelo Residual de la Formación Simiti (SrKis).
 - Suelo Residual de la Formación La Luna (SrKsl).
 - Suelos transportados de ladera: Coluvial Inactivo (Stci).
 - Suelos transportados de ladera: Coluvial Activo (Stca).
 - Suelos transportados Aluvial – Fluviotorrencial: Terrazas (Stat).
 - Suelos de llenos antrópicos de excavación y/o relleno (Stla).
 - Suelos de llenos antrópicos de terraceo (Stlat).
 - Suelos de llenos antrópicos de basura y escombros (Stlab).

- Las geoformas presentes en el área de estudio están asociadas a:
 - Depósitos de ladera de Coluviales inactivos (Dci).
 - Depósitos de ladera Coluviales activos (Dca).

- Laderas Suaves (DIs).
- Laderas Moderadas (DIIm).
- Laderas Abruptas (DIa).
- Laderas Escarpadas (DIE).
- Cauce Activo (Fca).
- Terrazas Bajas (Ftb).
- Terrazas Medias (Ftm).
- Terrazas Altas (Fta).
- Ladera Explanada (Alex).
- Llenos de Excavación y/o Relleno (Ale).
- Llenos de Basuras y Escombros (Albe).

En los sondeos realizados, no se encontró nivel freático, debido a que no se cuenta con un estudio hidrogeológico, se estima que el nivel freático puede fluctuar entre 5,0 y 10,0 metros de profundidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la caracterización de los materiales se identificó que los suelos antrópicos presentan un espesor variable entre 0,90 y 2,7 metros. El suelo transportado coluvial inactivo se identificó únicamente en los sondeos 1, 3 y 9 con un espesor aproximado de 1,9 metros, sin embargo en el sondeo 9 presento un espesor de 12,0 metros aproximadamente. Los sondeos que se realizaron junto a la quebrada Duran y al rio Charta se identificó un estrato de suelo transportado aluvial de terrazas, sin embargo en el sondeo 8 que se realizó junto al cementerio se identificó este material, asumiendo que hace parte de una antigua zona de inundación. Seguido del estrato aluvial se identifica roca blanda saprolitizada y roca blanda de las diferentes formaciones presente en el sector urbano del municipio de Charta con espesores variables entre 2,0 y 17,0 metros y entre 6,0 y 12,0 metros, respectivamente.

Al realizar los análisis de estabilidad para los diferentes escenarios se identificaron dos sectores que presentan amenaza alta a fenómenos de movimientos en masa en condición estática y pseudo estática parcialmente saturado, estos sectores son:

- Margen derecha del rio Charta.
- Talud sector nor oriental.

Las zonas de amenaza alta están relacionadas, principalmente a la formación la luna, de depósitos coluviales activo e inactivos y laderas abruptas. Y suelos transportados aluviales, expuestos en laderas escarpadas.

Las zonas de amenaza media se presentan principalmente en los márgenes de divagación del rio Charta en los depósitos aluviales, de terraza baja y media.

Y las zonas de amenaza baja se encuentran en los depósitos aluviales de terraza alta, en donde se encuentra localizado el casco urbano del municipio.

8. RECOMENDACIONES

Para mitigar la amenaza media y alta, se recomiendan las siguientes alternativas:

- **Sector Margen Derecha del Rio Charta**

De acuerdo a lo observado en campo y a la información obtenida en la exploración geotécnica este sector presenta problemas de erosión generados por la corriente del rio y las altas pendientes de las laderas, por lo que se requiere la construcción de obras de contención, para la protección de la estabilidad de los taludes y las viviendas que se encuentran en la parte alta de estos.

- **Talud Nor-Oriental**

El talud localizado en el sector nor-oriental presenta una disminución de los parámetros de resistencia, cuando los niveles de aguas subterráneas ascienden, razón por la cual se requiere de obras para evitar la saturación de los materiales superficiales, con el fin de disminuir la probabilidad de movimiento en masa (deslizamientos).

BIBLIOGRAFIA

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

CARVAJAL, H., CORTES, R., OLARTE, J., & CALDERÓN, Y. Proyecto compilación, levantamiento de la información Geo-Mecánica. INGEOMINAS. 2004

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

CHACON, J., IRIGARY, C., & FERNANDEZ, T. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2006

CLAVIJO J., ROYERO J. Mapa Geológico Generalizado de Santander: Memoria Explicativa, INGEOMINAS. 2001

CLAVIJO et. al., Evolución geológica de la serranía de San Lucas, norte del Valle Medio del Magdalena y noroeste de la Cordillera Oriental, Boletín de Geología, Vol 30 No.1 2008

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. 2010



ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (EOT), Documento técnico de soporte-etapa de formulacion. Alcaldía de Charta, Santander. 2002

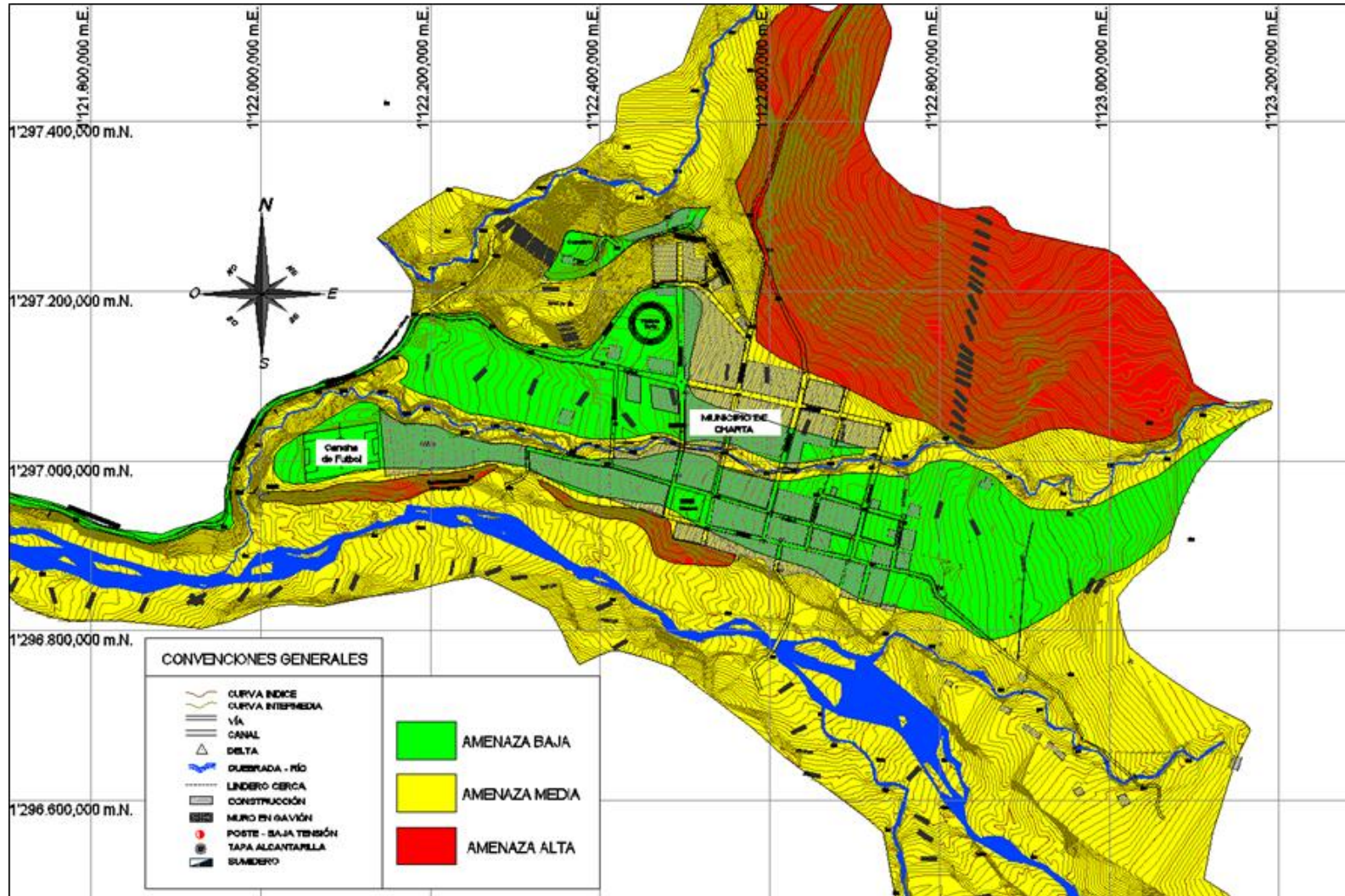
INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. Zonificación de amenaza por movimientos en masa tipo flujo en la cuenca del río Combeima-Ibague-Tolima; Proyecto Colombia-Suiza de prevención de desastres Glacio-Volcanicos e Hidro-Meteorologicos. INGEOMINAS. 2010

WARD, D., & et al. Mapa Geologico de la Plancha 110- Pamplona, Departamento de Santander. Bogotá INGEOMINAS,. 2010

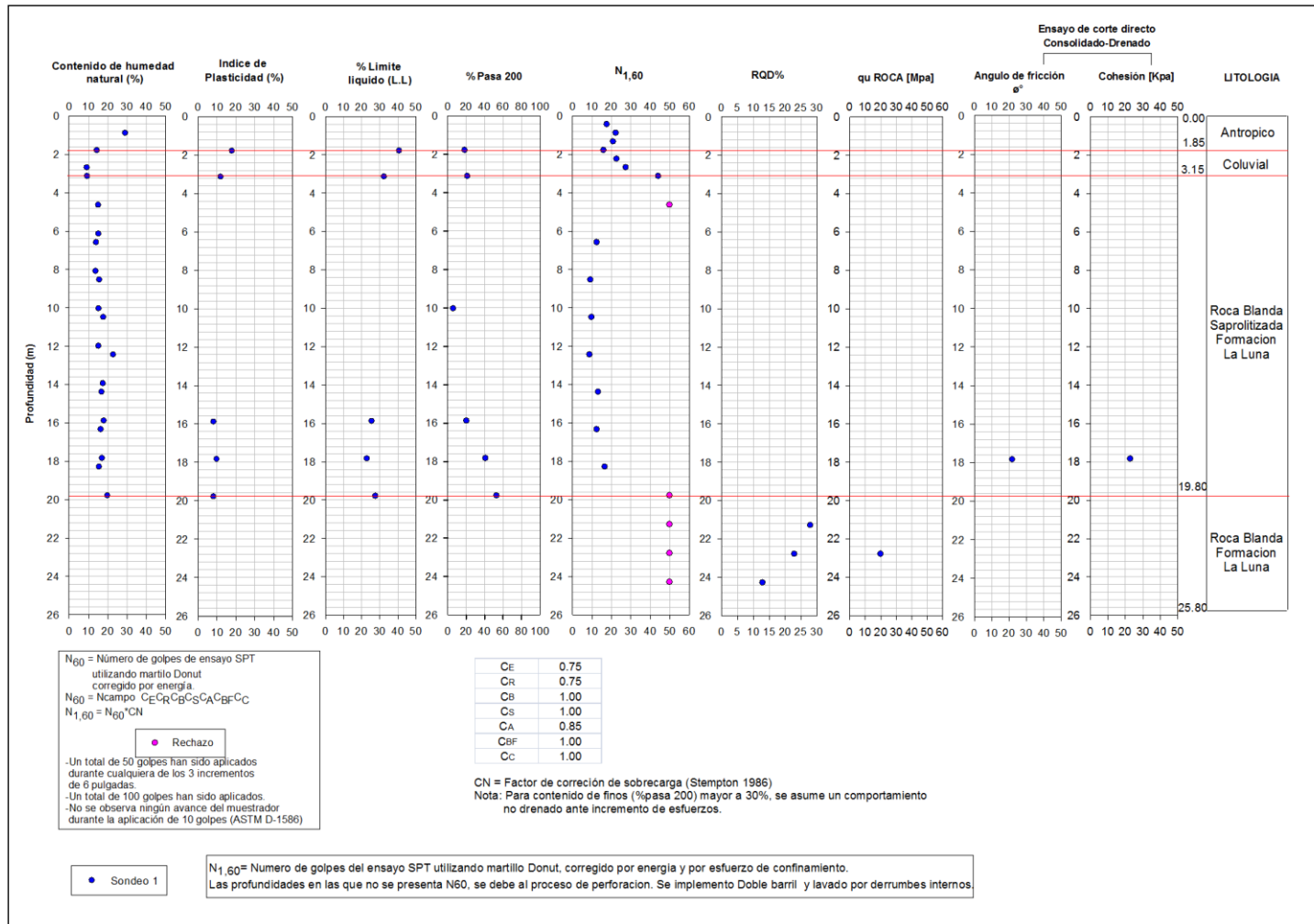


ANEXOS

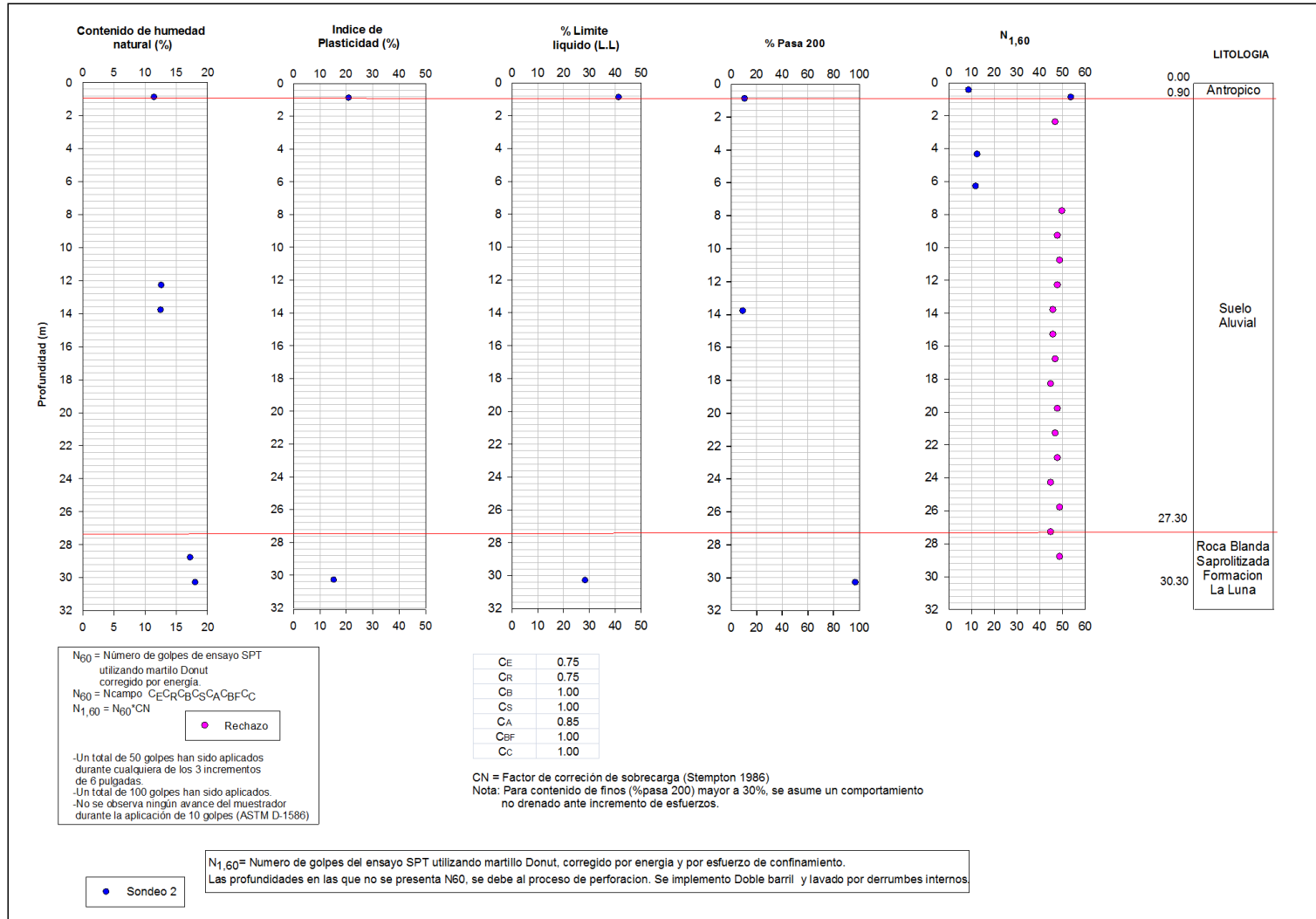
ANEXO E. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA



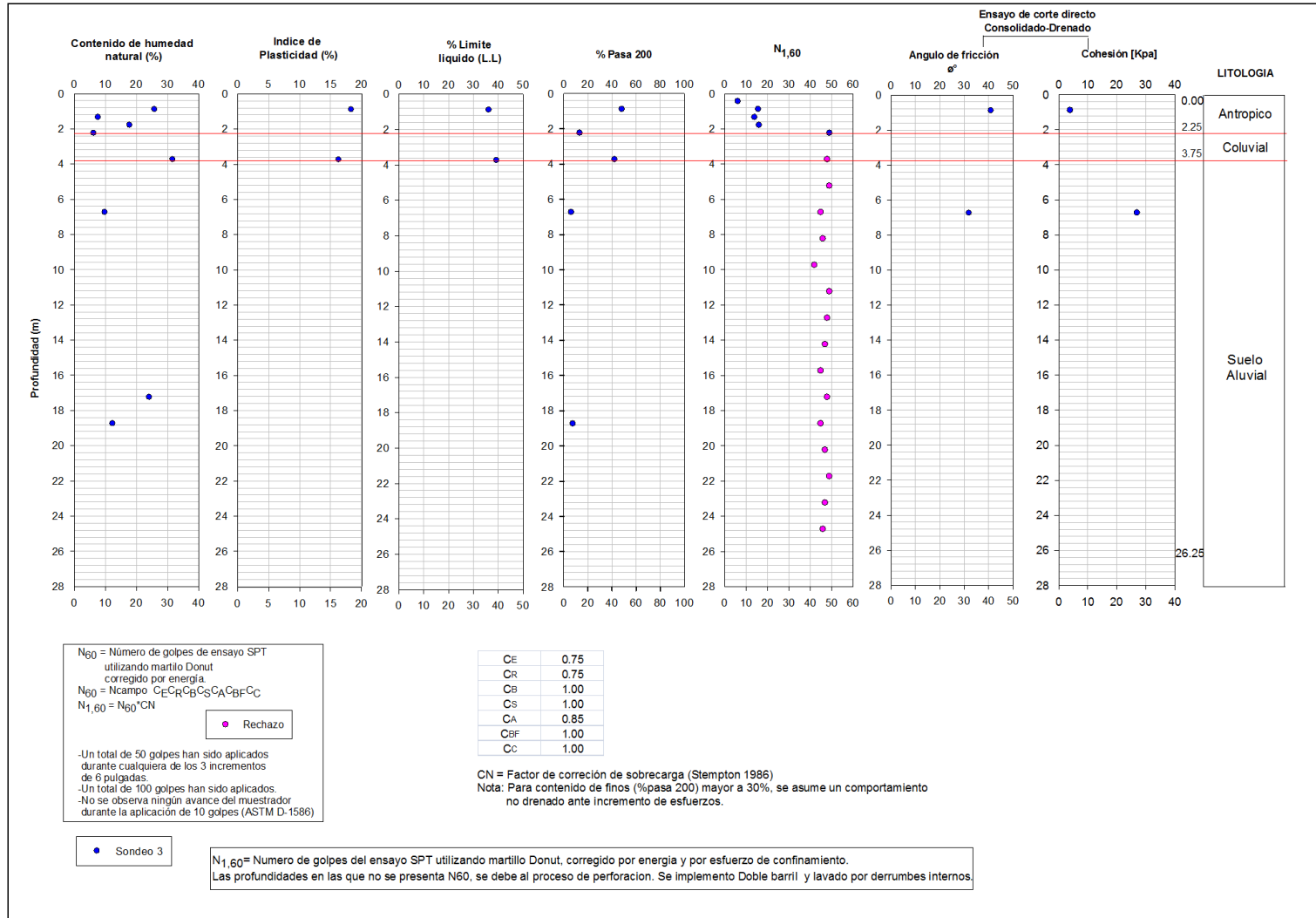
ANEXO F. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE PERFORACIONES SONDEO 1.



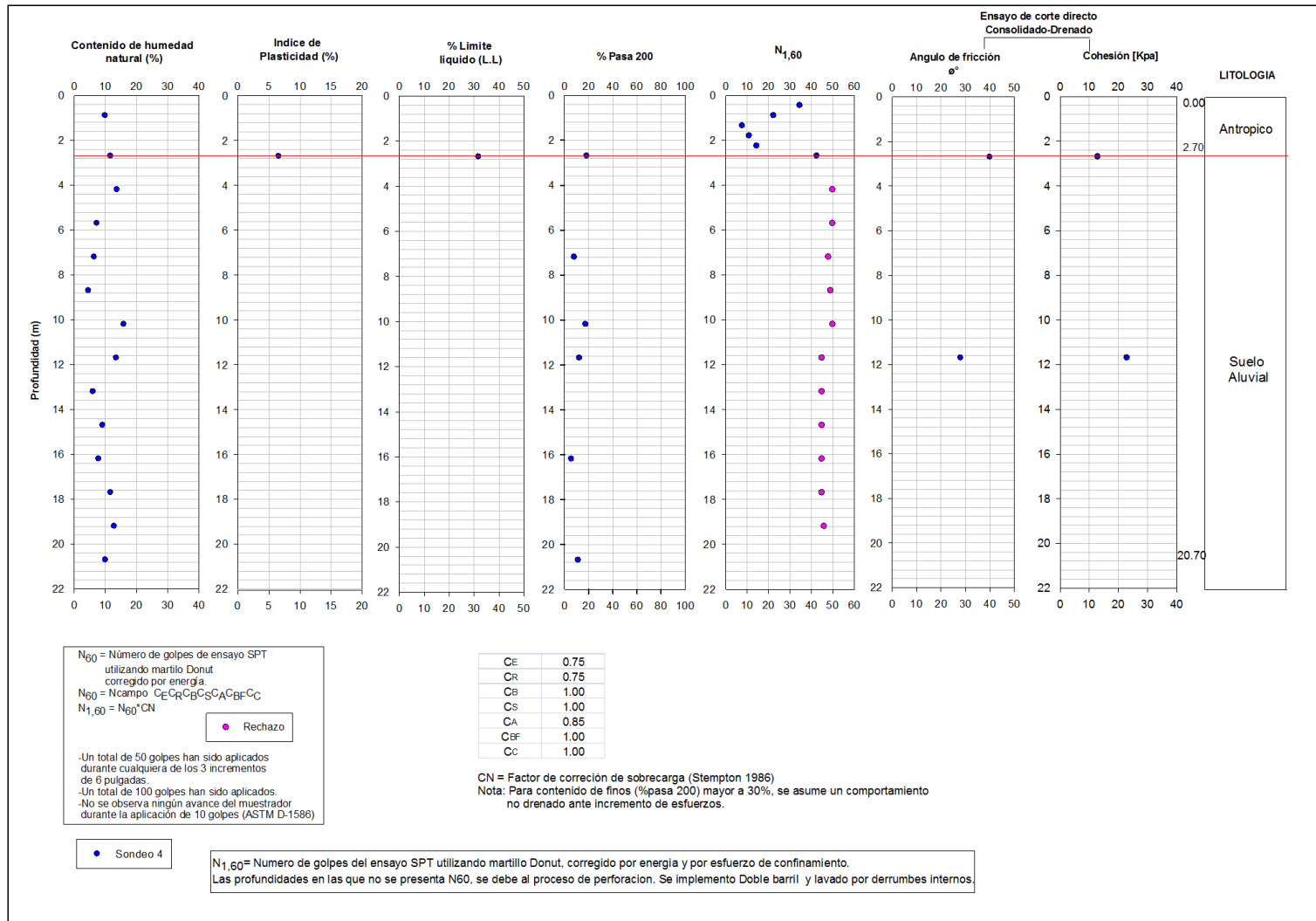
SONDEO 2.



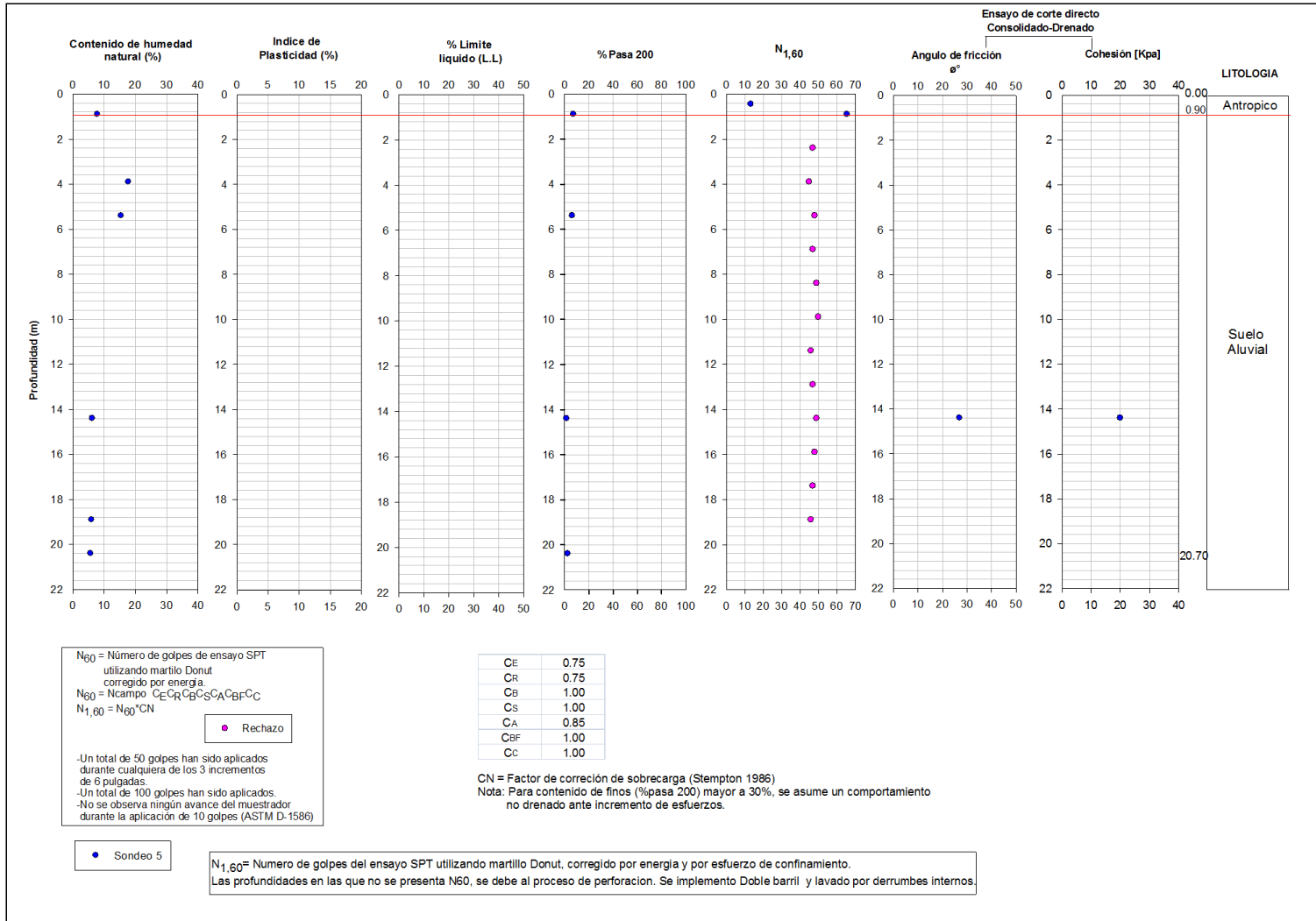
SONDEO 3.



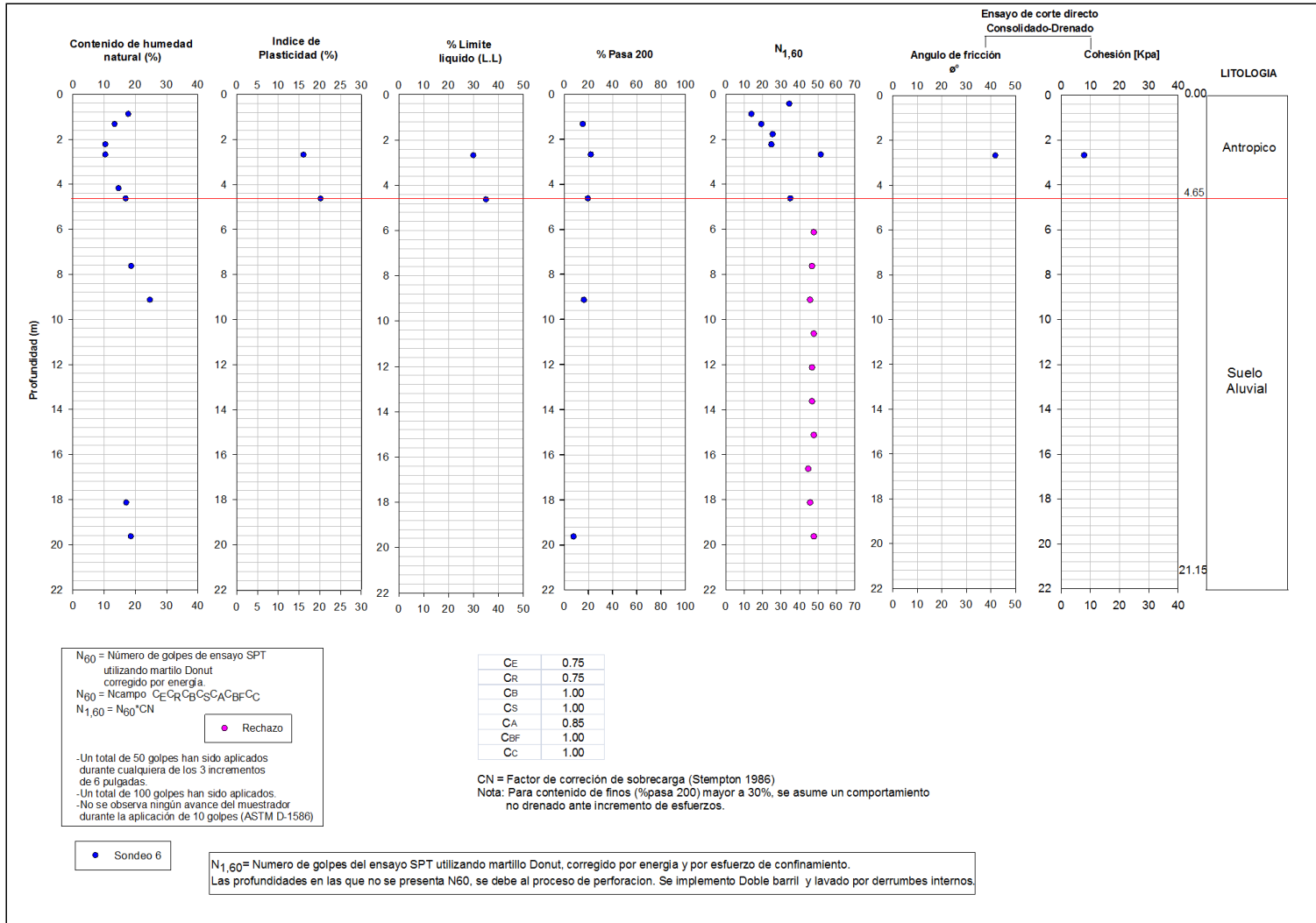
SONDEO 4.



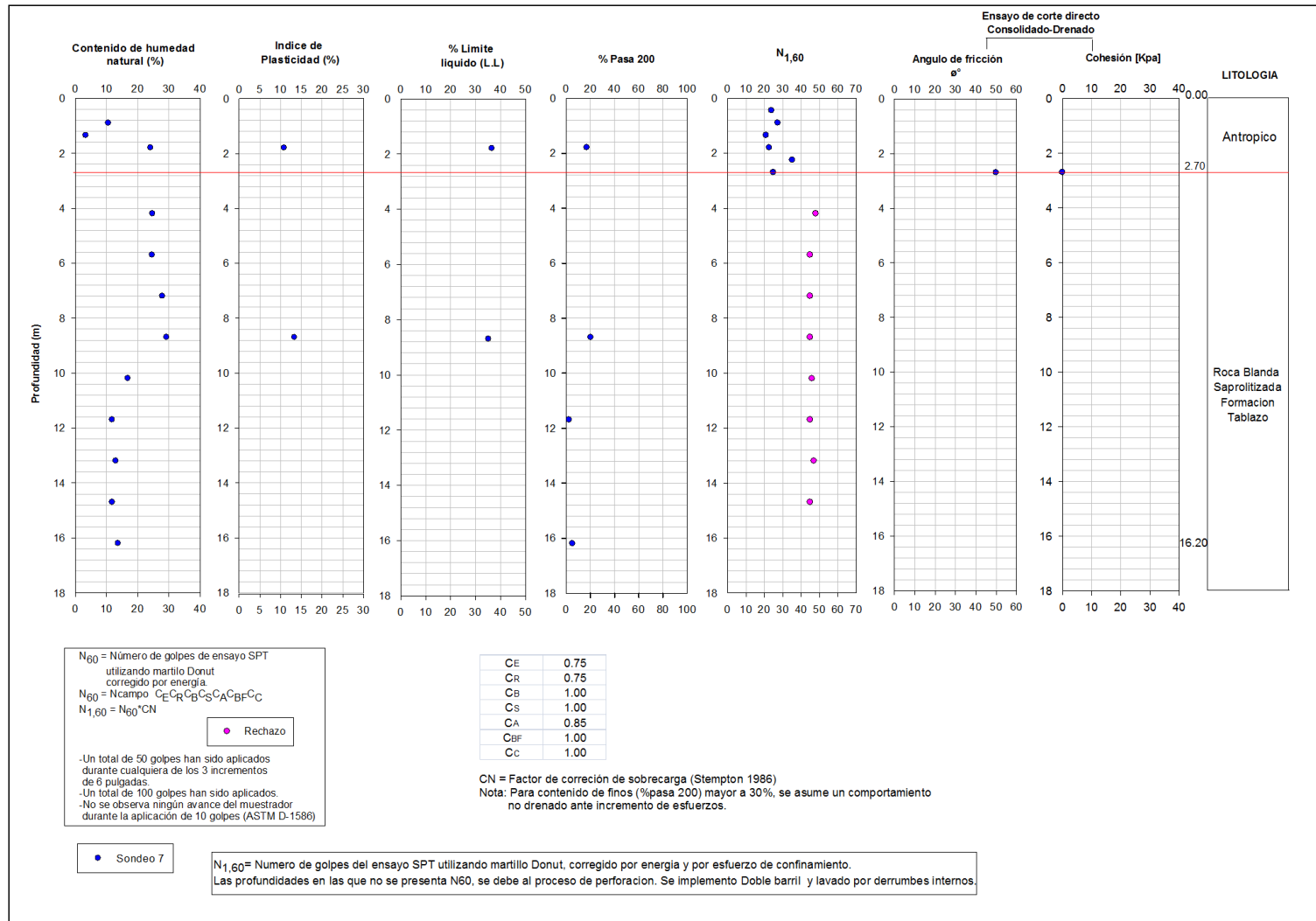
SONDEO 5.



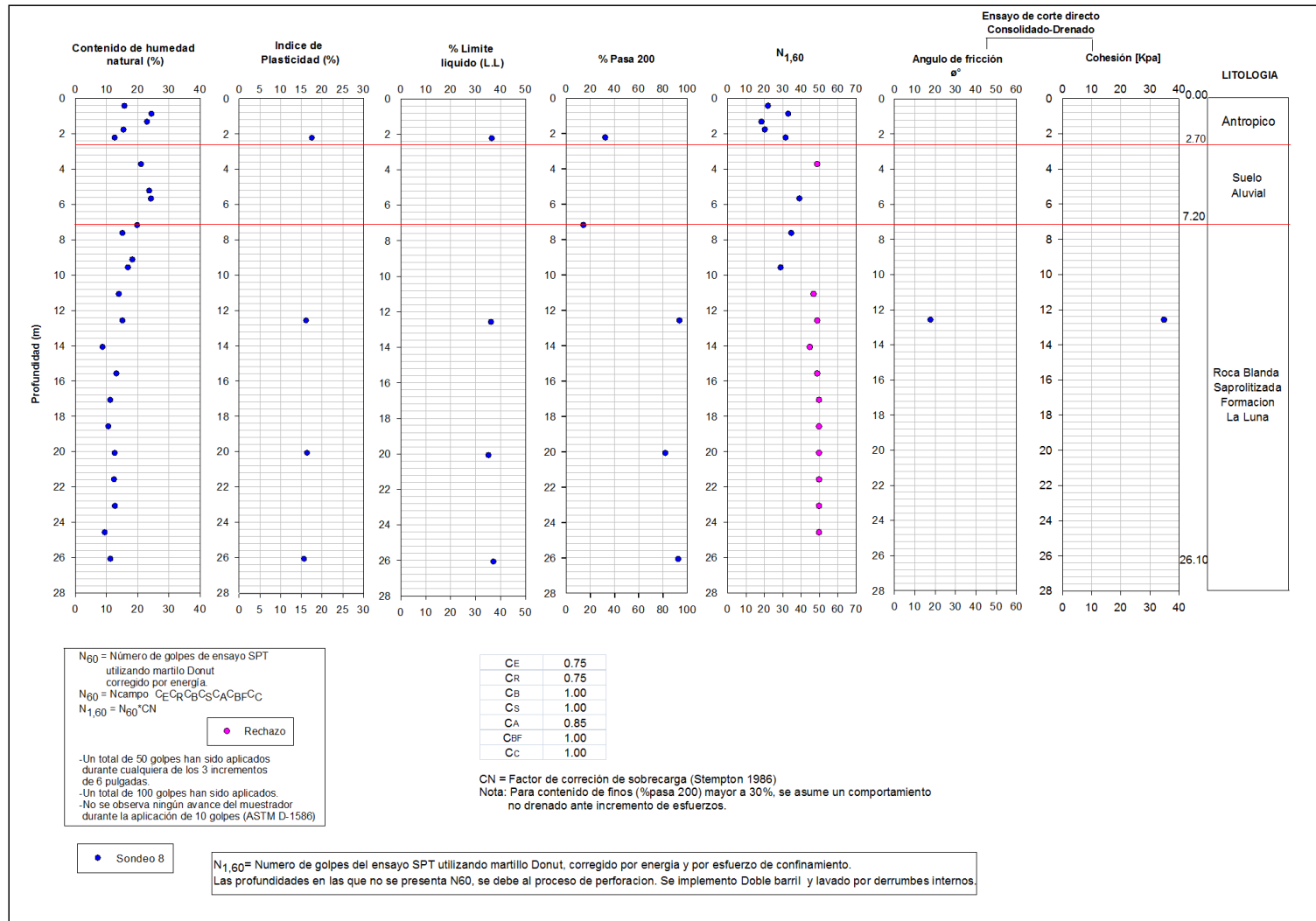
SONDEO 6.



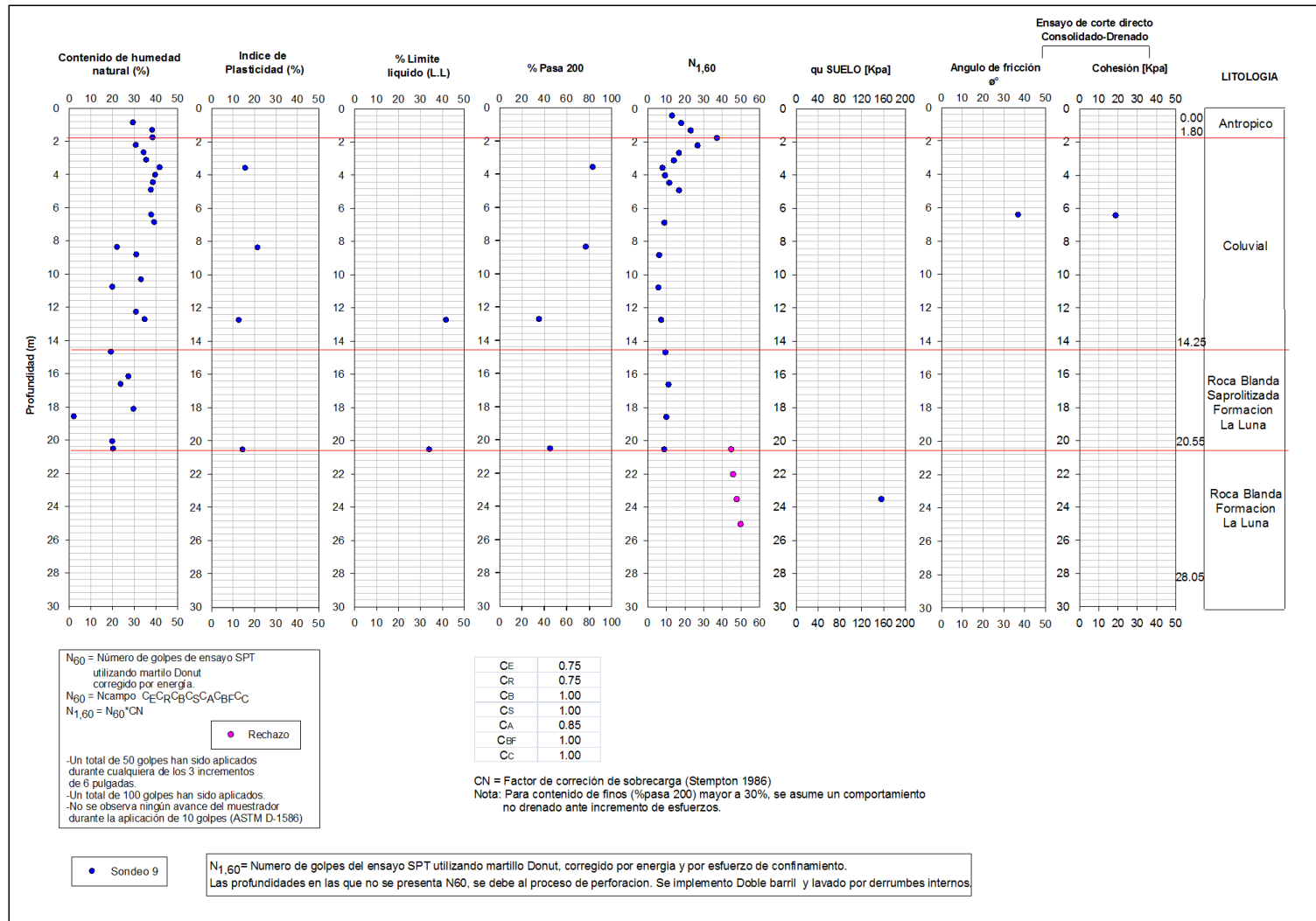
SONDEO 7.



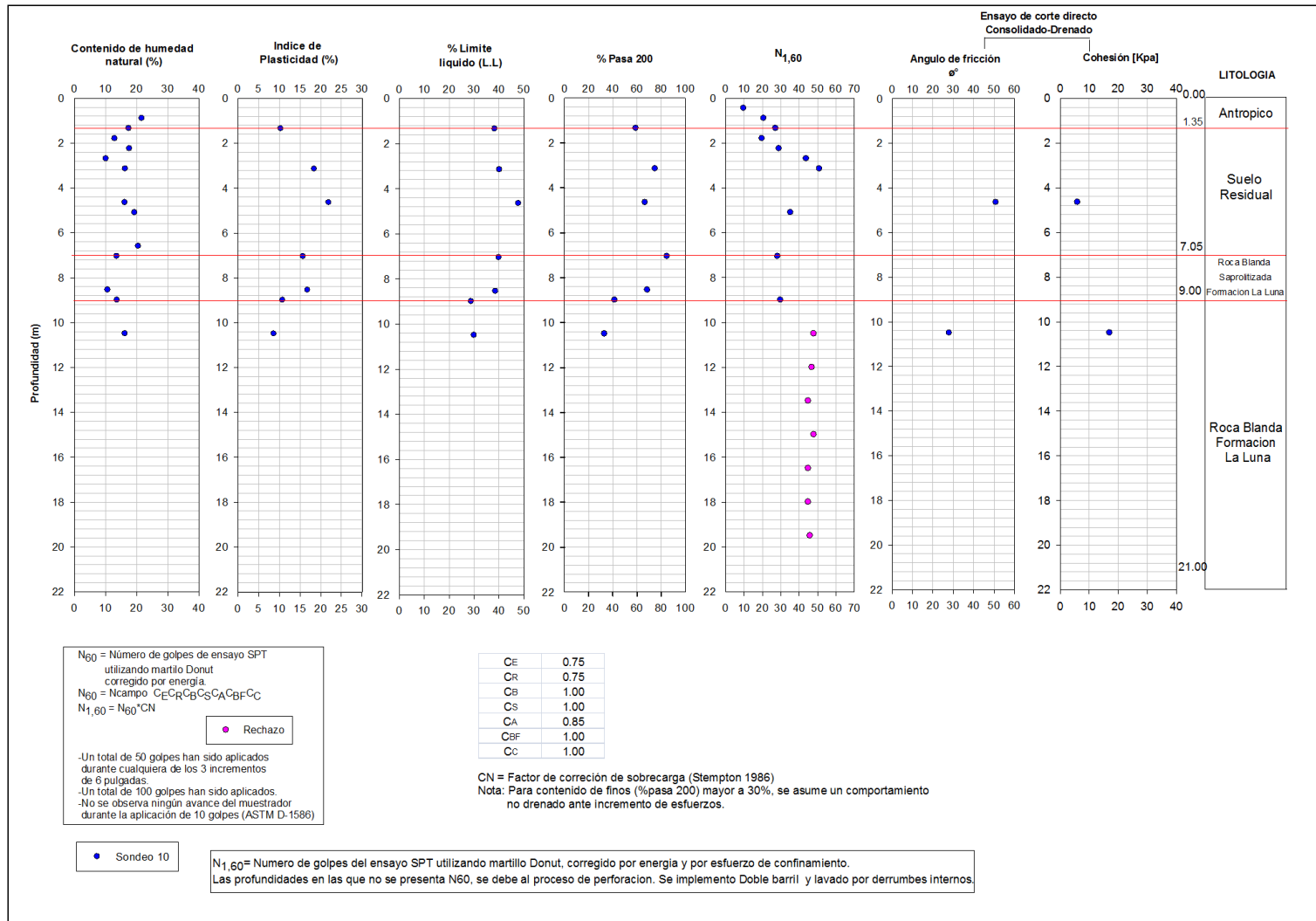
SONDEO 8.



SONDEO 9.



SONDEO 10.



ANEXO G. RESUMEN DE EXPLORACIÓN DE CAMPO

(Ver documentos adjuntos)

ANEXO H. ENSAYOS DE LABORATORIO

(Ver documentos adjuntos)

ANEXO I. LIBRETA DE CAMPO EXPLORACION GEOLOGICA

(Ver documentos adjuntos)

ANEXO J. PLANOS

(Ver documentos adjuntos)

ANEXO K. INTERPRETACIÓN DE LINEAS SISMICAS

(Ver documentos adjuntos)