

---

**Estudio de alternativas de obras para el control de la erosión del talud norte de la vía de  
acceso al barrio El Poblado (Girón)**

**Karen Natalia Pinzón Báez**

**Angélica Liceth Ríos Prieto**

**Trabajo de grado para optar al título de Geólogo**

**Director**

**Guillermo Vargas Pieschacón**

**Geólogo**



**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas**

**Escuela de Geología**

**Bucaramanga**

**2018**

**Dedicatoria**

*A Dios por ser mi fortaleza y mi guía cada día de este camino.*

*A mis padres Nelson Pinzón y Sandra Báez por su esfuerzo, sacrificio, dedicación e inagotable amor. Por apoyarme en cada paso de mi vida, guiarme y educarme para convertirme en la mujer que soy, por ser los padres más maravillosos y amorosos.*

*A mis hermanos Iván Pinzón y Nicolás por su apoyo, compañía y amor, e inclusive por desesperarme en algunos momentos, pues mi vida no sería la misma sin ustedes.*

*A Alejandro May por amarme, comprenderme, ayudarme y apoyarme en los momentos difíciles.*

*Por estar en los instantes buenos y malos, por sacarme cada día una sonrisa y por haber hecho de mi formación profesional una experiencia maravillosa.*

*A mi familia que con su ayuda y amor hicieron que este sueño se hiciera realidad.*

*A mis amigos Daniela, Rossy, Manuela, Juliana M, Juliana G, Silvia y Julián; la familia que tuve la hermosa oportunidad de escoger. Gracias por hacer de cada momento universitario, algo divertido, por llenarme de tanto cariño cada día y por dejarme recuerdos inolvidables en mi mente y en mi corazón.*

*A mi amiga Angélica, quien acepto este reto junto a mí, por ayudarme a en los momentos difíciles de este camino, compartir secretos, momentos divertidos y charlas interminables.*

*Karen Natalia Pinzón Báez.*

**Dedicatoria**

*A Dios por su amor, por ser mi guía, por cuidarme cada instante y permitirme culminar esta etapa de mi vida.*

*A mi madre Elsa Prieto Flórez por darme siempre lo mejor de ella, por sus consejos, por su apoyo, por su amor, por su sacrificio pues ha hecho de mí una mejor persona, pero más aún por nunca haber dejado de creer en mí.*

*A mi padre Javier Ríos Vera, por su tenacidad, consejos, amor y dedicación en cada etapa de mi vida.*

*A mi esposo Wilmer Javier Montero, quien ha sido un apoyo en cada momento, me ha motivado a ser mejor cada día, y aún más ha iluminado mi vida entera.*

*A mis hijos para que sepan que todo en la vida es posible si se va de la mano de Dios.*

*A mi familia por las sonrisas que robaron en mí, los buenos momentos y las enseñanzas que dejaron.*

*A mis amigos Silvia Aragón y Felet Mora porque me acompañaron, apoyaron, ayudaron cuando lo necesite y me brindaron los mejores recuerdos de mi vida universitaria, la cual está llena de sonrisas y más sonrisas.*

*A mi compañera y quien se convirtió en una amiga Natalia Pinzón, por las charlas, los almuerzos y la responsabilidad puesta en este trabajo.*

*Angélica Liceth Ríos Prieto.*

### Agradecimientos

A la alcaldía del Municipio de Girón por permitirnos realizar nuestra práctica empresarial y en especial a la ingeniera Sandra Milena Ramírez Álvarez por su confianza y ayuda durante este proceso.

Al docente Guillermo Vargas Pieschacón por guiarnos en este proceso de crecimiento profesional.

Al docente Juan Diego Colegial por su apoyo en la obtención de los permisos para la realización de los análisis en el Parque Tecnológico Guatiguará.

Al geólogo Héctor Hernández Osses por su tiempo, recomendaciones y acompañamiento durante el desarrollo de la práctica.

Al laboratorio de suelos de la escuela de Ingeniería Civil y en especial al laboratorista German Hernández por su colaboración, acompañamiento y apoyo durante la realización de los análisis.

Al laboratorio de Rayos X de la Universidad Industrial de Santander-Parque Tecnológico Guatiguará, al docente José Henao, Jhon Bonilla y a todo el personal por sus servicios y acompañamiento.

A la Universidad industrial de Santander, a la escuela de Geología y a todos los docentes que aportaron a nuestra formación, haciéndonos crecer de forma profesional y personal.

A nuestros amigos por acompañarnos en esta etapa de la vida, haciendo de ella una experiencia única e inolvidable.

---

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	18
1. Objetivos .....	19
1.1 Objetivo general .....	19
1.2 Objetivos específicos .....	19
2. Justificación .....	21
3. Generalidades .....	22
3.1 Localización .....	22
3.2 Antecedentes .....	24
4. Metodología .....	31
5. Marco teórico .....	33
5.1 Erosionabilidad .....	33
5.1.1 Factores que afectan la erosionabilidad .....	34
5.1.2 Tipos De Erosión .....	36
5.2 Ensayos geotécnicos .....	38
5.2.1 Análisis Granulométrico .....	38
5.2.2 Límites De Atterberg .....	38
5.2.3 Proctor Modificado .....	41

---

5.2.4 Corte Directo.....	43
5.2.5 Difracción De Rayos X.....	44
5.3 Técnicas de remediación.....	45
5.3.1 Concreto Lanzado o Gunita .....	45
5.3.2 Drenaje.....	47
5.3.3 Mallas Ancladas.....	48
5.3.4 Revegetalización .....	50
6. Marco geológico .....	53
6.1 Geología estructural .....	53
6.2 Unidades litoestratigráficas.....	56
6.2.1 Formación Girón (Jg).....	56
6.2.2 Formación Bucaramanga (Qb).....	58
6.3 Unidades geológicas superficiales .....	62
6.3.1 Suelos coluviales antiguos (Sco2) .....	62
6.3.2 Suelos de Llenos Antrópicos (Sla).....	63
6.4 Descripción de la zona de estudio.....	64
6.5 Proveniencia y ambiente depositacional.....	70
6.6 Geomorfología .....	74
7. Caracterización geotécnica de los materiales .....	75
7.1 Granulometría .....	76
7.2 Limites de Atterberg .....	76
7.3 Proctor.....	78
7.4 Corte directo.....	79

---

7.5 Análisis cualitativo de arcillas .....	79
7.6 Erosión de las cárcavas .....	82
7.7 Estabilidad del talud.....	86
8. Diagnostico geotécnico .....	96
9. Conclusiones .....	99
10. Recomendaciones .....	101
Referencias bibliográficas.....	103

### Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Localización general del municipio de Girón en el departamento de Santander.....	22
<i>Figura 2.</i> Ubicación satelital del talud.....	23
<i>Figura 3.</i> Talud de estudio en el barrio El Poblado (Girón).....	23
<i>Figura 4.</i> Tramos analizados en el estudio. El tramo de interés es el Tramo 1 T del Aeropuerto-Palenque.....	25
<i>Figura 5.</i> Fotografía panorámica del talud ubicado junto al conjunto Alcalá 1 y perteneciente al año 2015.....	26
<i>Figura 6.</i> Talud ubicado al conjunto residencial Alcalá I y perteneciente al año 2017. ....	27
<i>Figura 7.</i> Deterioro del muro de cemento. Ay B: Infiltración de agua y corrosión producida. C y D: Infiltraciones generales del talud. ....	27
<i>Figura 8.</i> Deterioro de la estructura de cemento. A) Grietas que se han formado y se encuentran en la parte frontal del muro. B) Caída del muro de roca seca a mano derecha del talud y por ende, exposición de la pila de sacos de arena utilizada posiblemente como refuerzo. C y D) Separación de los muros de concreto reforzados utilizados para el trabajo de estabilización. ....	28
<i>Figura 9.</i> Obras para la mitigación implementadas en Bellavista. ....	29
<i>Figura 10.</i> Estado actual de las obras que realizaron para mitigar la estabilidad del talud.....	30
<i>Figura 11.</i> Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas. ....	35

---

<i>Figura 12.</i> Distribución de las gotas en una lluvia. ....	37
<i>Figura 13.</i> Cuchara de Casagrande.....	39
<i>Figura 14.</i> Carta de plasticidad de Casagrande. ....	40
<i>Figura 15.</i> Sistema unificado de clasificación de suelos (USCS). En Lambe y Whitman. 1981. 41	41
<i>Figura 16.</i> Equipo utilizado para llevar a cabo el ensayo de Proctor modificado.....	42
<i>Figura 17.</i> Esquema del ensayo de corte directo.....	43
<i>Figura 18.</i> Esquema estructural del Departamento de Santander.....	54
<i>Figura 19.</i> Fotografía panorámica del talud en la cual se ubican las tres diferentes secciones encontradas. ....	64
<i>Figura 20.</i> Fotografía de la sección 1 con los contactos netos y erosivos entre cada uno de los niveles del talud. ....	65
<i>Figura 21.</i> Columna estratigráfica de la sección 1 del talud. Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y sus correspondientes en el Talud de estudio. ....	67
<i>Figura 22.</i> Suelos coluviales antiguos encontrado en el Talud y proveniente de la Formación Girón. ....	68
<i>Figura 23.</i> Relleno antrópico encontrado en el Talud. ....	69
<i>Figura 24.</i> Columna estratigráfica generalizada de las secciones 1, 2 y 3 del talud. ....	70
<i>Figura 25.</i> Laderas erosionadas y formación de tierras malas. Talud ubicado en El poblado, Girón.....	74
<i>Figura 26.</i> Llenos de escombros observados en el talud estudiado.....	75
<i>Figura 27.</i> Carta plasticidad de Casagrande en la cual se define la zona a la que pertenece cada muestra tomada del talud. ....	77

---

<i>Figura 28.</i> Cárcavas 3, 4 y 5 utilizadas para realizar el control de las medidas durante los periodos secos y de escorrentía registrados. ....	82
<i>Figura 29.</i> A mano derecha se puede observar el levantamiento topográfico realizado al talud y los respectivos cortes transversales realizados cada 5 metros, mientras que a mano derecha se observa el perfil resultante del talud en cada punto. ....	86
<i>Figura 30.</i> Condiciones actuales en las cuales se evidencia un FS de 1.408 según el método de Janbu .....	88
<i>Figura 31.</i> Condición con sísmica en las cuales se evidencia un FS de 1.113 según el método de Spencer.....	88
<i>Figura 32.</i> Condición con saturación en la cual se evidencia un FS de 1.042 según el método de Fellenius.....	89
<i>Figura 33.</i> Condición con sísmica y saturación en la cual se evidencia un FS de 0.708 según el método de Fellenius. ....	89
<i>Figura 34.</i> Condiciones actuales en las cuales se evidencia un FS de 1.703 según el método de Janbu. ....	91
<i>Figura 35.</i> Condición con sísmica en las cuales se evidencia un FS de 1.320 según el método de Bishop. ....	91
<i>Figura 36.</i> Condición con saturación en la cual se evidencia un FS de 0.905 según el método de Janbu. ....	92
<i>Figura 37.</i> Condición con sísmica y saturación en la cual se evidencia un FS de 0.708 según el método de Janbu. ....	92
<i>Figura 38.</i> Condición actual con un FS de 1.391 según el método de Spencer. ....	94

---

*Figura 39.* Condición con sísmica en al cual se evidencia un FS de 1.038 según el método de Bishop. .... 94

*Figura 40.* Condición con saturación de agua en la cual se evidencia un FS de 0.928 según el método de Fellenius. .... 95

*Figura 41.* Condición saturada y con sismo en la cual se evidencia un FS de 0.643 según el método de Fellenius. .... 95

*Figura 42.* Ubicación de la posible solución 1 en el talud. Imagen a mano izquierda. .... 97

*Figura 43.* Localización de la posible solución 2 en el talud. .... 98

### Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Relación de la ubicación de los picos “001”=<math>d</math> para los principales minerales arcillosos en el análisis de secado a temperatura ambiente, calcinación a 500°C y tratamiento con Etilenglicol. Realizada de la información suministrada en el laboratorio de difracción rayos x.</i>	45
Tabla 2. <i>Clasificación granulométrica de los niveles estratigráficos según el Software utilizado por los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.</i>	76
Tabla 3. <i>Resultados de los límites líquido y plástico realizados para cada una de las muestras.</i>	77
Tabla 4. <i>Resultados del Proctor modificado realizado para cada una de las muestras.</i>	78
Tabla 5. <i>Resultados análisis corte directo necesarios para realizar la caracterización de cada nivel y hacer el modelamiento en el software de Slide, y de tal forma analizar la estabilidad que presenta el talud.</i>	79
Tabla 6. <i>Registro de la erosión generada en las cárcavas del talud en los diferentes periodos del año.</i>	83
Tabla 7. <i>Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 1, nivel 2 y nivel 3.</i>	87
Tabla 8. <i>Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 1, nivel 3 y el lente de arena.</i>	90
Tabla 9. <i>Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 4.</i>	93

---

### Lista de apéndices

**(Ver apéndices adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Formatos especificados de Granulometría para cada muestra realizada.

Apéndice B. Formato de Límite líquido y plástico especificado para cada muestra realizada.

Apéndice C. Formato de Proctor especificado para cada muestra realizada.

Apéndice D. Formato de Corte Directo especificado para cada muestra realizada.

Apéndice E. Análisis cualitativo de arcillas.

Apéndice F. Slide

### Resumen

**Título:** Estudio de alternativas de obras para el control de la erosión del talud norte de la vía de acceso al barrio El Poblado (Girón)\*

**Autores:** Karen Natalia Pinzón Báez\*\*  
Angélica Liceth Ríos Prieto

**Palabras claves:** Erosión, Control, Geotecnia, Granulometría, Formación Bucaramanga, Miembro Órganos, Estabilidad.

#### Descripción:

En el presente documento se dará a conocer los resultados obtenidos en el trabajo de grado con modalidad de práctica empresarial denominado " Estudio de alternativas de obras para el control de la erosión del talud norte de la vía de acceso al barrio El Poblado (Girón)", el cual fue realizado para la alcaldía de Girón. El estudio tuvo como finalidad evaluar mediante un estudio detallado los procesos erosivos en el talud ubicado en la vía de acceso al barrio El Poblado al oriente del paso nivel de la autopista Bucaramanga –Girón y plantear a la administración Municipal de Girón alternativas de manejo y control de la erosión.

El proyecto inicio con la recopilación de información de estudios anteriores, la exploración en campo para el reconocimiento de las unidades geológicas superficiales (UGS), el levantamiento de topografía del talud, seguido de la caracterización sedimentológica y físico-mecánicas a través de los análisis de Granulometría, Densidad y compactación, Limites de Atterberg, Proctor, Corte directo y Análisis cualitativo de arcillas. Además, se observó la erosión producto de la precipitación en las cárcavas del talud y se realizó el modelamiento de tres perfiles para determinar la estabilidad del talud.

En la evaluación de la estabilidad del talud se estudiaron diversos parámetros como las condiciones reales, la carga sísmica y la saturación, para poder obtener los factores de seguridad del talud, se determinó el agua como el principal agente erosivo y desestabilizante del talud. Por ende, se propusieron la realización de diversas obras de seguridad como el concreto lanzado, la creación de drenajes, la malla anclada y la revegetalización, las cuales pueden controlar la erosión con un debido monitoreo para evitar su deterioro y lograr un óptimo resultado.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Geólogo

---

**Abstract**

**Title:** Study of alternatives of works for the control of erosion of the north slope of the route of access to the neighborhood El Poblado (Girón)\*

**Authors:** Karen Natalia Pinzón Báez\*\*  
Angélica Liceth Ríos Prieto

**Key words:** Erosion, Control, Geotechnics, Granulometry, Bucaramanga Formation, Member Organs, Stability.

**Description:**

In this document we present the results obtained in the degree work with a business practice modality called “Study of alternatives of works for the control of erosion of the north slope of the route of access to the neighborhood El Poblado (Girón)”, which was made for the mayor of Girón. The purpose of the study was to evaluate through a detailed study, the erosion processes in the slope located in the access road to the neighborhood El Poblado to the east of the level step of the Bucaramanga -Girón highway and to propose to the Municipal administration of Girón alternatives for the management and control of erosion.

The project started with the collection of information from previous studies, the field exploration for the recognition of surface geological units (UGS), the surveying of slope topography, followed by sedimentological and physical-mechanical characterization through Granulometry, Density and compaction analysis, Atterberg Limits, Proctor, Direct Cutting and Qualitative Analysis of Clays. In addition, erosion was observed as a result of precipitation in the gullies of the slope and modeling of three profiles was carried out to determine the stability of the slope.

In the evaluation of slope stability, several parameters were studied, such as the real conditions, the seismic load and the saturation, in order to obtain the safety factors of the slope, water was determined as the main erosive and destabilizing agent of the slope. Therefore, several safety works were proposed, such as cast concrete, the creation of drainages, anchored mesh and revegetation, which can control erosion with proper monitoring to avoid deterioration and achieve optimum results.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director: Guillermo Vargas Pieschacón, Geologist

## Introducción

El proyecto de grado con modalidad de práctica empresarial se realizó mediante el convenio oficiado por la Universidad Industrial de Santander y la alcaldía del Municipio de Girón mediante la secretaria de Medio ambiente y desarrollo sostenible con el fin de contemplar soluciones a los problemas de erosión presentados en el talud ubicado en la vía de acceso Bucaramanga- Girón (Poblado).

El área de estudio comprende tres secciones que se encuentran divididas en cinco niveles, estos se definen de base a techo como suelos arcillosos (Sf13), suelos arenosos (Sft4) y Suelos gravosos (Sft3) pertenecientes al Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga, además de suelos coluviales antiguos (Sco2) provenientes de la Formación Girón y suelos antrópicos(Sla).

En el trabajo se realizaron descripciones sedimentológicas y caracterizaciones geotécnicas necesarias para el desarrollo del modelamiento mediante el software SLIDE, versiones 5.0 y 6.0. Mediante la investigación, análisis y modelamiento del presente trabajo se diseñaron soluciones de prevención, remediación y control. Para aumentar el factor de seguridad en la zona de interés reduciendo los niveles de amenaza y riesgo.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Evaluar mediante un estudio detallado los procesos erosivos en el talud ubicado en la vía de acceso al barrio el Poblado al oriente del Paso Nivel de la autopista Bucaramanga – Girón y plantear a la administración Municipal de Girón alternativas de manejo y control de la erosión.

### 1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar sedimentológica los depósitos que componen el talud y su correlación con las unidades litoestratigráficas existentes en el sector de Girón.
- Establecer una hipótesis de la procedencia y el ambiente de depositación de los sedimentos encontrados en el talud.
- Identificar los agentes que producen los problemas de erosión presentes en el talud.
- Definir las características geotécnicas de los materiales del área de estudio por medio de análisis de granulometría, densidad, compactación, límites de Atterberg, y corte directo.
- Determinar la presencia de material esmectítico expandible a través del análisis cualitativo de arcillas.
- Realizar el modelamiento del talud mediante el programa Slide en donde se determinará el factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas y dinámicas.

- Proponer los diagnósticos adecuados para contrarrestar el problema de erosión detectado en la zona de estudio.
- Generar respuesta a la meta N° 6 (Desarrollar una estrategia para la reforestación y el control de la erosión) propuesta en el “Plan de Desarrollo de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible” del municipio de Girón.

## 2. Justificación

La erosión es un proceso dinámico que comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de las partículas que conforman el suelo generado por diversos agentes como: el viento (deflación), el agua (corrosión y abrasión), la gravedad (desprendimiento y caídas) y/o la acción de corrientes de agua (erosión fluvial) y/o hielo (erosión glaciaria).

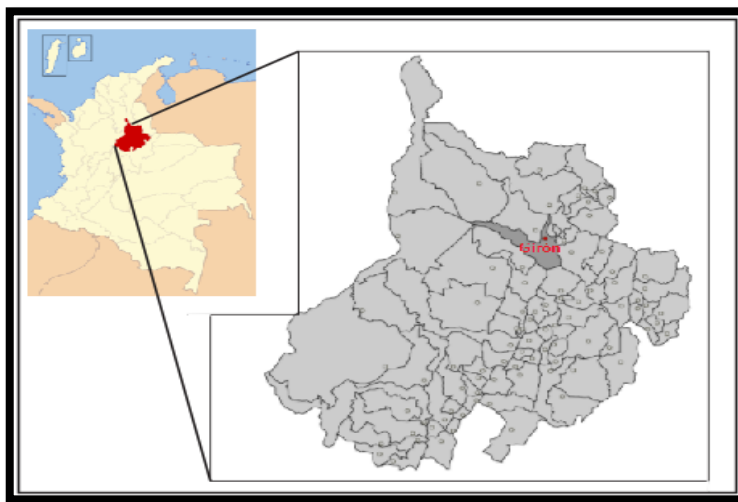
Se han desarrollado múltiples tecnologías para el manejo del control de la erosión, en donde es necesaria la caracterización adecuada de estos para poder desarrollar alternativas precisas para contrarrestar los daños severos causados por la erosión. (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 13).

El presente estudio permitirá plantear alternativas para el control de la erosión en el talud localizado en la vía de acceso al barrio El Poblado (Girón) al oriente de la autopista Girón – Bucaramanga, en donde se recopilará información geológica y geotécnica, que permitirá aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del pregrado de geología. A partir de ello se planteará un diagnóstico geotécnico para el área de interés.

### 3. Generalidades

#### 3.1 Localización

El municipio de Girón se encuentra localizado en el departamento de Santander a nueve (9) km de distancia de la ciudad Bucaramanga. Se ubica sobre el costado occidental de la cordillera Oriental, entre las coordenadas: X1: 1'253.000, X2: 1'290.000; Y1:1'060.000, Y2: 1'107.000. Tiene una extensión de 475.14 km<sup>2</sup> y se encuentra limitando al norte con Lebrija y Rionegro, al sur con Los Santos, Zapatoca y Betulia, al este con Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta y al oeste con Sabana de Torres (Centro de Estudios Regionales - UIS, pág. 1).



*Figura 1.* Localización general del municipio de Girón en el departamento de Santander. Adaptado de La Rochela. (Febrero2012). Ubicación geográfica Simacota - Santander. Disponible en: <http://lamasacrerochela.blogspot.com.co/p/ubicacion-geografica.html>

El talud sobre el cual se van a desarrollar los estudios se encuentra ubicado en la vía que conduce desde Bucaramanga hacia el barrio Poblado (Girón), debajo del puente vehicular, en las coordenadas  $7^{\circ}04'28.60''$  N y  $73^{\circ}10'16.02''$  O a una altura de 700 m.s.n.m., y tiene una extensión de 73.71 (m).



Figura 2. Ubicación satelital del talud. Adaptada de Google Earth (2017).



Figura 3. Talud de estudio en el barrio El Poblado (Girón).

### 3.2 Antecedentes

Para poder realizar un diagnóstico adecuado, se debe tener conocimiento de las características naturales del área en el cual se ubica el talud y las intervenciones realizadas anteriormente para el control de la estabilidad y/o erosión en los taludes adyacentes al caso de estudio. De esta manera, se podrán evitar probables errores en la formulación de las posibles alternativas de solución.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el año 2006 se suscribió un contrato de concesión entre el INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES “INCO” y AUTOPISTAS DE SANTANDER S.A en el que participó el grupo empresarial GRODCO para realizar los “ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS, GESTIÓN PREDIAL, GESTIÓN SOCIAL, GESTIÓN AMBIENTAL, FINANCIACIÓN, CONSTRUCCIÓN, REHABILITACIÓN, MEJORAMIENTO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROYECTO DE CONCESIÓN VIAL ZONA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA - ZMB”. (GRUPO EMPRESARIAL GRODCO y AUTOPISTAS DE SANTANDER S.A, 2006-2012, pág. 4). En este proyecto se diferenciaron 11 Tramos en donde el talud de estudio se puede localizar en el Tramo 1-T del Aeropuerto-Palénque” (Figura 4) y como taludes adyacentes, los localizados en el barrio Bellavista y Alcalá I.

En general, en el tramo 1 se encontraron taludes con mala estabilidad (al margen derecho de la vía el Aeropuerto y no en el Palénque) (INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES "INCO" y AUTOPISTA DE SANTANDER S.A, 2006-2012, pág. 9), por lo tanto en el Talud de Alcalá I se hizo un análisis geológico y geotécnico de los suelos presentes para posteriormente realizar un estudio de estabilización a cargo de CONSTRUSUELOS LTDA., y EDGAR LUCIANO BUENO fue el encargado de realizar una evaluación de las condiciones geológicas

del Talud de situado en el barrio Bellavista y produjo una valoración de los factores pasivos y activos que afectan la estabilidad en el sector.

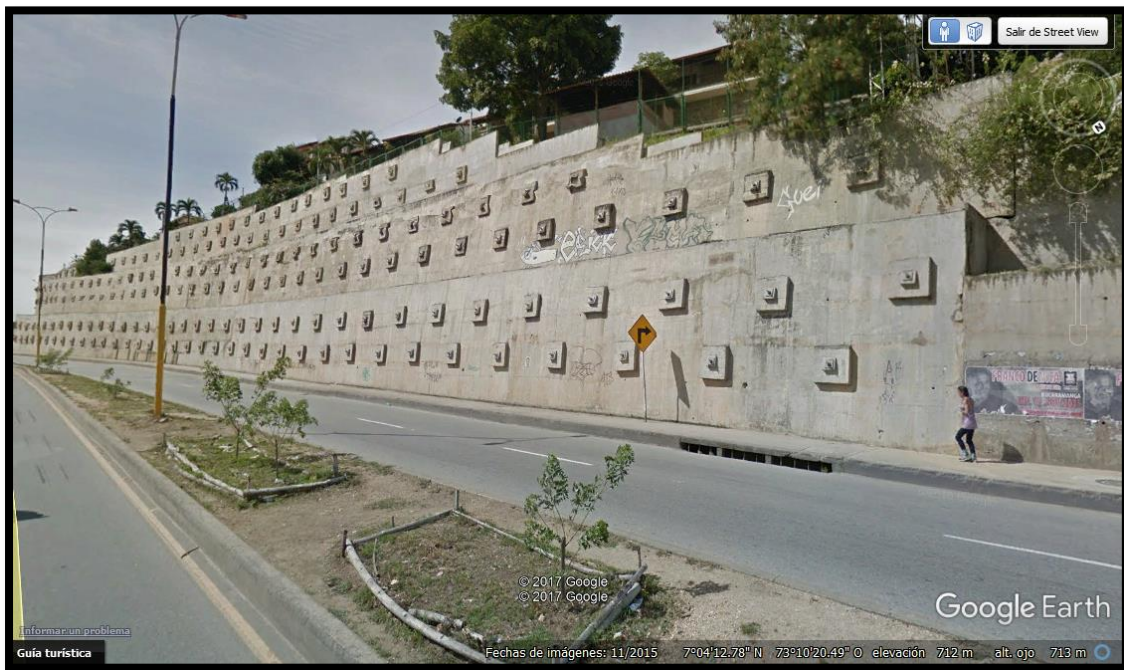


Figura 4. Tramos analizados en el estudio. El tramo de interés es el Tramo 1 T del Aeropuerto-Palenque. Adaptado de GRUPO EMPRESARIAL GRODCO y AUTOPISTAS DE SANTANDER S.A. (2006-2012). Memoria técnica tramo 1 - Zona metropolitana de Bucaramanga, Pág. 11

En los informes concedidos por el INSTITUTO NACIONAL DE CONCESIONES “INCO” y AUTOPISTAS DE SANTANDER S.A., a los autores, no se mencionan los resultados de los análisis geológicos, geotécnicos, ni el proceso realizado para la empedradización, el terraceo y el muro de cemento reforzado construido, por lo tanto, no se puede entender el porqué de las soluciones implementadas.

El talud localizado junto al conjunto residencial Alcalá I se le realizaron trabajos de estabilización por medio de terraceo, geotextiles, gaviones y la construcción de un muro de

cemento con acero reforzado (Figura 5 y 6). Actualmente se pueden observar grietas en el muro de cemento e infiltraciones que ocasionan la corrosión de las varillas ancladas (figura 7 y 8) producto del posible deterioro del cemento y del geotextil usado, ya que la durabilidad de los geotextiles depende principalmente de la exposición a los rayos ultravioletas (UV) y de forma secundaria, al ataque de los antioxidantes presentes en el ambiente de los estabilizadores de los rayos ultravioleta y otros aditivos que se implementan en el proceso de fabricación. Se debe tener en cuenta a la vez, que los geotextiles son propensos a la rotura cuando se estiran de manera excesiva o que se pueden rasgar cuando se colocan las varillas ancladas para el muro de cemento, generando la filtración del agua a la estructura.



*Figura 5.* Fotografía panorámica del talud ubicado junto al conjunto Alcalá 1 y perteneciente al año 2015. Adaptada de Google Earth.

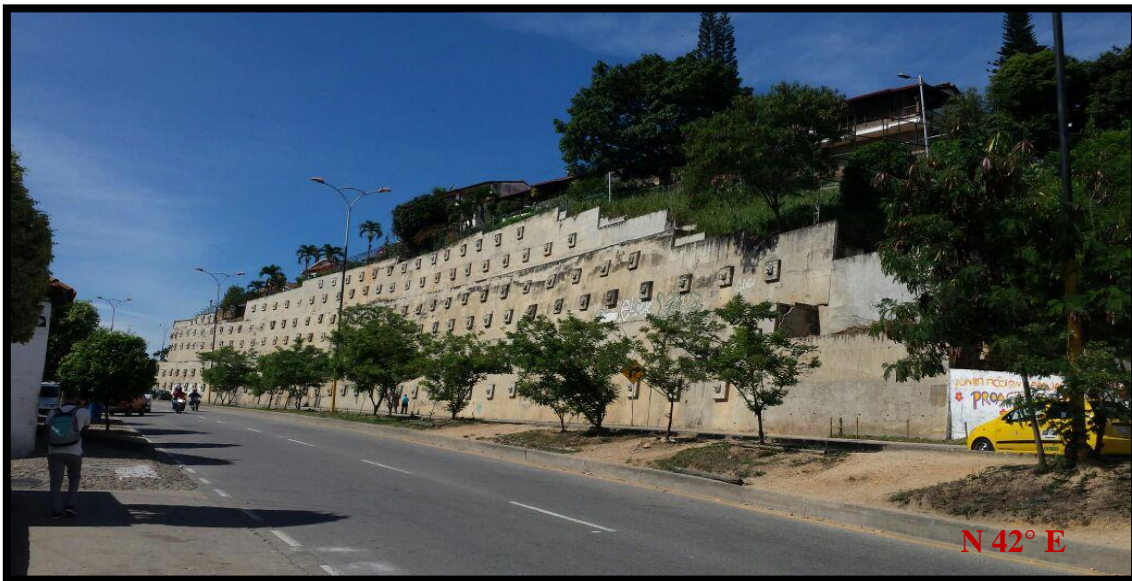
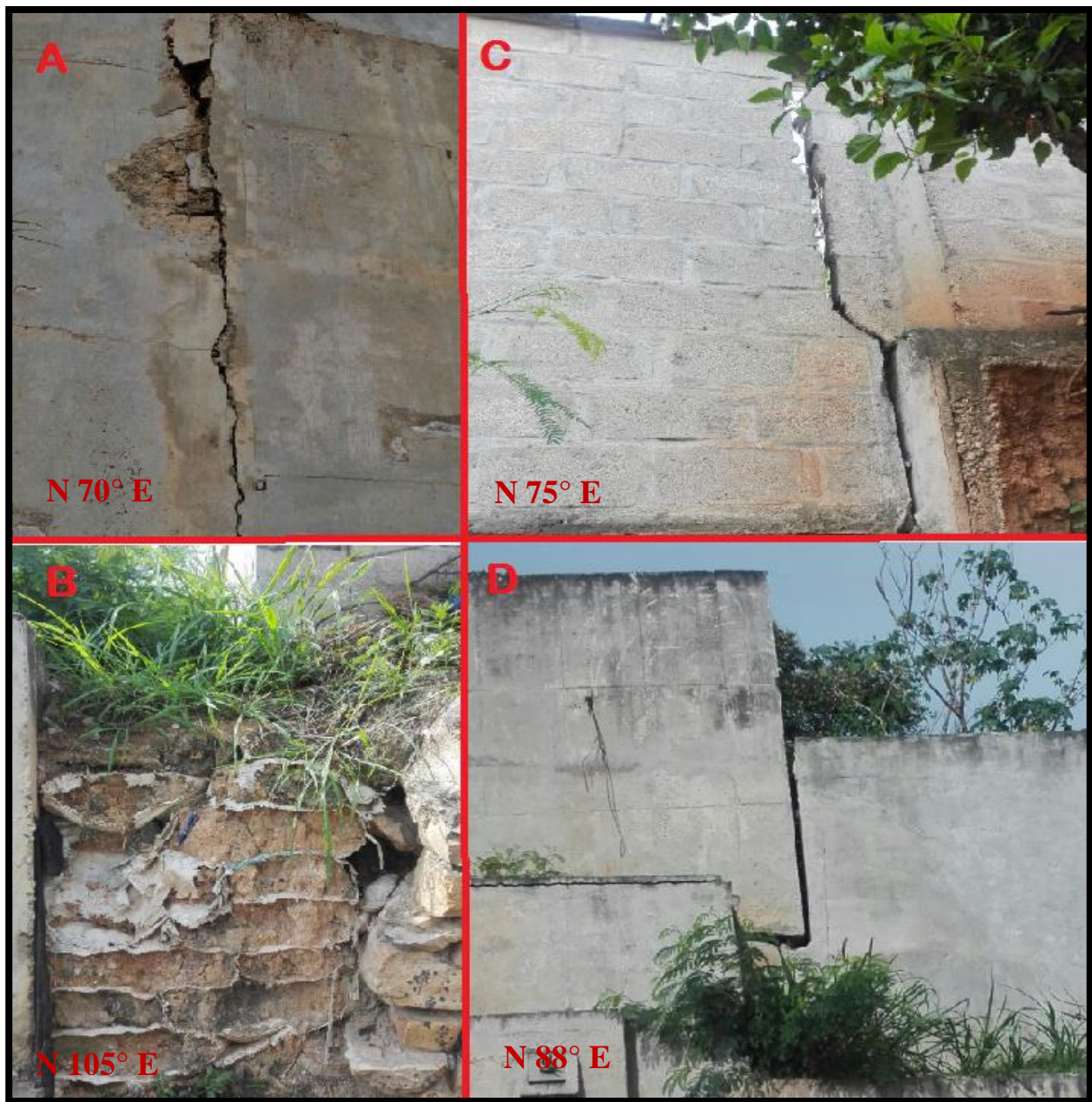


Figura 6. Talud ubicado al conjunto residencial Alcalá I y perteneciente al año 2017.



Figura 7. Deterioro del muro de cemento. Ay B: Infiltración de agua y corrosión producida. C y D: Infiltraciones generales del talud.



*Figura 8.* Deterioro de la estructura de cemento. A) Grietas que se han formado y se encuentran en la parte frontal del muro. B) Caída del muro de roca seca a mano derecha del talud y, por ende, exposición de la pila de sacos de arena utilizada posiblemente como refuerzo. C y D) Separación de los muros de concreto reforzados utilizados para el trabajo de estabilización.

En cuanto al talud situado en el sector de Bellavista, se implementó la empradización (Figura 9) como una opción de estabilizar el talud, pero, actualmente se encuentra en deterioro ya que la maya se ha roto y la especie vegetal implementada no se fijó de la forma correcta (Figura 10).



*Figura 9.* Obras para la mitigación implementadas en Bellavista. Adaptada de Google Earth, año 2014.



*Figura 10.* Estado actual de las obras que realizaron para mitigar la estabilidad del talud.

La rotura de la malla se pudo generar por la reacción química entre los componentes del suelo y los de la malla, mientras que el mal establecimiento del pasto puede estar asociado a una baja tolerancia al pisoteo o sequías, la mala implementación de los sistemas de siembra, abono protección durante el nacimiento y el crecimiento, o quizás, una posible faltante de materia orgánica en el suelo generando el mal asentamiento y la falta de nutrientes necesarios para que la especie vegetal se desarrolle (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 13).

#### 4. Metodología

El trabajo de grado con modalidad de práctica empresarial nombrado " Estudio de alternativas de obras para el control de la erosión del talud norte de la vía de acceso al barrio El Poblado (Girón)" consto de cinco fases, las cuales se definen a continuación.

##### **Fase 1: Recopilación bibliográfica**

Esta fase consiste en la consulta de los estudios anteriores realizados en el municipio de Girón como informes los elaborados por INVIAS, y, la CDMB en asociación con INGEOMINAS y las alcaldías de los municipios de Girón, Floridablanca, Bucaramanga y Piedecuesta. Además de la selección del material bibliográfico necesario como libros, artículos, memorias explicativas y mapas geológicos relacionados con el tema a desarrollar, y los cuales fueron obtenidos a través de Docentes, Ingenieros que laboran en la alcaldía de Girón y las bases de datos disponibles en la web como la del Servicio Geológico Colombiano.

##### **Fase 2: Reconocimiento de la zona de campo**

Esta fase comprende el reconocimiento del talud de estudio y los taludes adyacentes, ´para lo cual es necesario el acompañamiento del director del proyecto quien determinará el trabajo a realizar, la metodología de campo y los análisis de laboratorio necesario para caracterizar las rocas que afloran y así, generar las alternativas de solución adecuadas para el caso de estudio.

**Fase 3: Trabajo de campo**

Esta fase consiste en la recolección de muestras para la caracterización geotécnica de cada uno de los niveles pertenecientes al Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga e identificados en el talud, por medio de la descripción macro de los sedimentos y los análisis de laboratorios posteriores como lo son: granulometría, corte directo, densidad, compactación y límites de Atterberg.

Durante esta fase también se realizó un control en las medidas de las cárcavas existentes en el talud después de cada episodio de lluvia con el fin de analizar cómo afecta esta al talud y cuál es la velocidad de erosión de los sedimentos.

**Fase 4: Trabajo de laboratorio**

Esta fase consta de la elaboración de los ensayos de granulometría para realizar la clasificación y caracterización correcta de la roca, ensayos de límites de Atterberg para encontrar los límites líquidos y límites plásticos de cada estrato del talud, ensayos de densidad y compactación con el fin de determinar las propiedades geotécnicas como la resistencia al corte, la compresibilidad y la permeabilidad, y corte directo para definir la resistencia de una muestra al ser sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en la zona de estudio resultado de la aplicación de una carga.

Estos análisis se realizaron en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander mediante el uso de los diferentes equipos que ellos nos proporcionaron y bajo la supervisión del laboratorista Germán Hernández.

En el laboratorio de DRX del Parque Tecnológico de Guatiguará a cargo del docente José Antonio Henao se elaboraron los análisis cualitativos de arcillas para cada una de las muestras

tomadas al Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y de esta manera determinar la presencia de material esmectítico expandible.

Además, se empleó el software Slide versión 5.0 y 6.0 para determinar la estabilidad y los factores de seguridad mínimos que se obtienen a condiciones estáticas, dinámicas y saturadas en el talud.

### **Fase 5: Elaboración del informe final**

Esta fase consiste en la elaboración de un informe escrito con los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de laboratorio y la posterior interpretación de los mismos. Además de la caracterización estratigráfica y el diagnóstico geotécnico planteado para el talud de estudio a la Alcaldía de Girón.

## **5. Marco teórico**

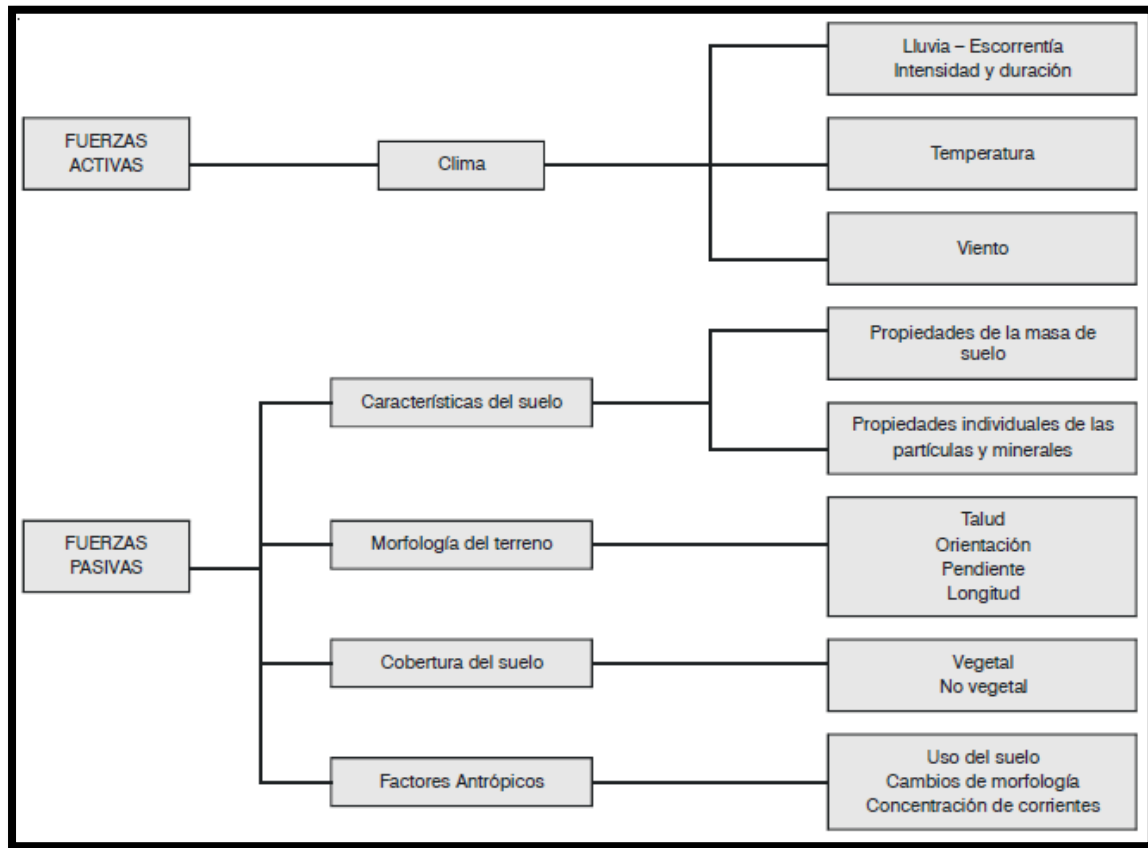
### **5.1 Erosionabilidad**

La erosionabilidad es definida como la facilidad con que un suelo es desprendido y transportado por los fenómenos erosivos. Se debe comprender que la erosión es un problema que involucra las fuerzas en la superficie del suelo; la influencia de la geometría y en donde la localización de las partículas, tienen gran influencia. (Suárez Díaz J. , 2001, págs. 13-16)

Las partículas en la superficie están expuestas a fuerzas netas menores que las que están debajo de la superficie y cuando existe orientación de la partícula, la erosión es mucho menor. Al comenzar el movimiento de una partícula de suelo producto de la acción hidráulica se determina como el momento en el cual las fuerzas generadas por el fluido arrancan y alzan la partícula generando su movimiento, excediéndose por lo tanto la fuerza estabilizante debida a la gravedad y las fuerzas de fricción y cohesión. (Suárez Díaz J. , 2001, págs. 13-16)

**5.1.1 Factores que afectan la erosionabilidad.** Los factores básicos que determinan la erosionabilidad de un suelo son: tamaño y distribución de las partículas; resistencia al corte (Cohesión); índice de plasticidad; contenido de arcilla, porcentaje de arena, limo y arcilla; tipo de arcilla; dispersibilidad de la arcilla; valencia de los iones absorbidos; tamaños de los iones absorbidos; porcentaje y tipo de los suelos disueltos; temperatura; orientación de las partículas; factores geométricos (estado de esfuerzos); humedad natural antes de la lluvia; área expuesta; intensidad de la lluvia; pendiente del terreno; rata de escorrentía; profundidad de la escorrentía; velocidad de la escorrentía; longitud de recorrido de la escorrentía; características de la cobertura vegetal. (Vanoni, 1975, pág. 20)

Suárez Díaz (2001) clasifica los factores más influyen en la erosión de taludes y laderas en:



*Figura 11.* Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión de los taludes y laderas. Adaptada de Suárez Díaz, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. División Editorial y de Publicaciones. Bucaramanga. Pág. 59

De acuerdo a Agena y Saad (1995), la erosionabilidad se cuantifica por medio de tres factores: dispersión de las arcillas, erosión propiamente dicha y granulometría del suelo. En general, la erosionabilidad es una propiedad cuyas causas específicas son muy complejas y dependiendo de las características del fenómeno en cada sitio, algunos de los factores indicados tienen importancia muy superior a los otros. (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 61) Por ejemplo, las regiones que se caracterizan por poseer suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos, pero con lluvias intensas ocasionales, padecen las mayores pérdidas por erosión.

Además, las frecuentes actividades humanas incrementan las ratas de erosión, especialmente por la deforestación y/o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial. (La Erosión - Conceptos Básicos , 2013, pág. 1)

**5.1.2 Tipos De Erosión.** Debido a la complejidad de los procesos de erosión y a lo habitual que es la acción conjunta de estos, se pueden definir en:

**Erosión por gotas de lluvia:**

La erosión causada por el golpeo de la lluvia se produce por el impacto de las gotas de agua encima de un área desprotegida. El choque genera el desprendimiento y la remoción de capas delgadas de suelo y las pequeñas partículas sueltas son posteriormente transportadas por la escorrentía. Parte de la lluvia que cae se infiltra y parte fluye sobre la superficie (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 61). La erosión producida por la lluvia se define por la cantidad, intensidad y duración de la misma. La intensidad de lluvia varía el diámetro de la gota entre 0.5 y 5 mm (Figura 12) aunque, los diferentes episodios de escorrentía pueden presentar varios tamaños de las gotas. Entre más alta sea la intensidad y cantidad de lluvia, más rápida será la erosión provocada. (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 61)

En cuanto a la velocidad de erosión, se debe tener en cuenta que las partículas grandes y pequeñas necesitan velocidades relativamente altas. Por ejemplo, los limos se erosionan con flujos de agua de 100 cm/seg aproximadamente debido a la fricción que hay entre las partículas muy pequeñas, mientras que las arenas se caracterizan por tener tasas de velocidad entre los 10 cm/seg y los 30 cm/seg.

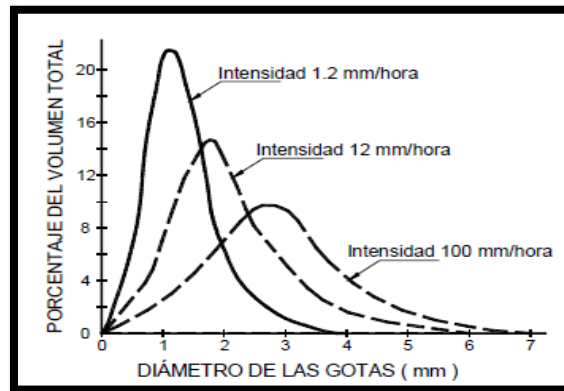


Figura 12. Distribución de las gotas en una lluvia. Adaptada de Suárez Díaz, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. División Editorial y de Publicaciones. Bucaramanga.

### **Erosión en cárcavas:**

Las cárcavas son canales de erosión que se diferencian de los surcos por poseer mayor magnitud y mayor capacidad de transporte de sedimentos, sin embargo, estas no pueden ser controladas por medio de siembra. Las cárcavas son características en geoformas de alta pendiente y suelos de gran espesores.

Las áreas más afectadas por cárcavamientos son aquellas que tienen suelos dispersivos o altamente erosionables. En el caso de suelos expansivos los procesos de humedecimiento y secamiento facilitan la formación de las cárcavas. (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 66)

Las cárcavas profundas y anchas alcanzan profundidades en algunos casos superiores a 50 metros, limitando en forma importante el uso de la tierra y generando grandes fuentes de sedimentos para las corrientes. (Suárez Díaz J. , 2001, pág. 66)

## 5.2 Ensayos geotécnicos

**5.2.1 Análisis Granulométrico.** Los análisis granulométricos indican con qué proporción se encuentra cada material en un suelo o matriz. Se debe usar la vía seca para partículas con tamaños superiores a 0.075 mm y la vía húmeda (granulometría por sedimentación mediante el hidrómetro) para los tamaños iguales o inferiores a 0.075 mm. (Gonzáles de Vallejo L. I., Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 22).

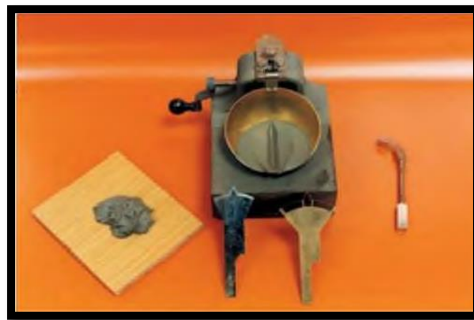
La granulometría por vía seca se realiza al secar y disgregar en seco las partículas que conforman la muestra, posteriormente se pasa por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2), se pesa lo que queda en cada tamiz y por medio del peso inicial de la muestra se puede determinar el porcentaje contenido de cada material (Gonzáles de Vallejo L. I., Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 22).

**5.2.2 Límites De Atterberg.** En un principio se trató de definir la consistencia de una muestra en función del contenido de agua a través de la determinación de la humedad, pero posteriormente, Atterberg definió tres límites: límite de retracción o consistencia en el cual se separa el estado sólido seco y el semisólido, el límite plástico ( $W_p$ ), que separa el estado semisólido del plástico y límite líquido ( $W_L$ ), que separa el estado plástico del semilíquido. Los dos últimos límites se determinan con el porcentaje de muestra que pasa por el tamiz n° 40 (0.1 mm) (Gonzáles de Vallejo , Ferrer, Ortuño, & Oteo, INGENIERIA GEOLOGICA, 2002, pág. 23)

Para determinar el límite plástico, se debe amasar muestra seca con un poco de agua, formar elipsoides y enroscar con la palma de la mano sobre una superficie que sea lisa hasta obtener un

diámetro de 3 mm con una longitud de 25-30 mm. Si los elipsoides se cuarteán en ese momento en fragmentos de unos 6 mm, la humedad contenida corresponde a la del límite plástico, de lo contrario, se debe enrollar nuevamente hasta que pierdan humedad y se cuarteen. (González de Vallejo , Ferrer, Ortuño, & Oteo, INGENIERIA GEOLOGICA, 2002, pág. 23)

En cuanto al límite líquido, para ser hallado se debe disgregar y amasar la muestra seca con bastante agua, y extenderla sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande (Figura 13). En el centro de la masa extendida se debe abrir con un acanalador un surco de 2 mm de ancho que forme un canal. El molde se sitúa en una base y se realizan golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12 mm, pero al ser difícil de determinar, se acude a la interpolación a partir de dos muestras con las cuales se debe conseguir que si se cierran los 12 mm con más y menos golpes de 25. (González de Vallejo , Ferrer, Ortuño, & Oteo, INGENIERIA GEOLOGICA, 2002, pág. 23)



*Figura 13.* Cuchara de Casagrande. Adaptada de González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo. (2002). Ingeniería geológica

El límite de plasticidad y el límite líquido pueden generar un punto específico en la carta de plasticidad (Figura 14) mostrando la relación con el Índice de Plasticidad ( $I_p$ ), el cual representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido. Se utiliza la ecuación  $I_p = W_L - W_p$ . Se definió como alta plasticidad las muestras con  $W_L > 50$  y de baja plasticidad las muestras con  $W_L < 50$ . Además, se detalló una línea "A" en la cual se ordenan las muestras de un mismo terreno. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, INGENIERIA GEOLOGICA, 2002, pág. 23)

Usando el criterio de baja y alta plasticidad y la línea "A" en la carta de Casagrande (Figura 14) se definen varias zonas; arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y muestras orgánicas de baja plasticidad (ML-OL) y limos y muestras orgánicas de alta plasticidad (MH-OH). Las zonas se encuentran bien identificadas y especificadas en el sistema unificado de clasificación de suelos (Figura 15) (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, INGENIERIA GEOLOGICA, 2002, pág. 23)

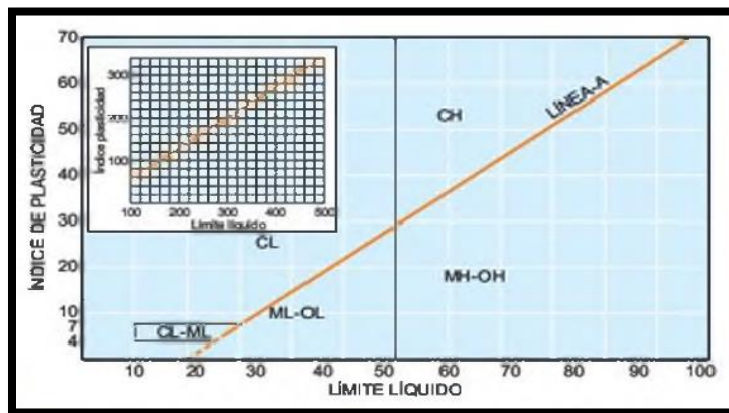


Figura 14. Carta de plasticidad de Casagrande. Adaptada de González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo. (2002). Ingeniería geológica. Pág. 24

Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm y basando las fracciones en pesos estimados)		Símbolo del grupo			Nombres típicos		
Suelos de grano grueso: más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Grava: más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.º 4	Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		<b>GW</b>	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos	
	Arenas: más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.º 4	Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)	Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)		<b>GM</b>	Gravas limpias, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo	
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)		<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla	
		Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios		<b>SW</b>	Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos	
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios		<b>SP</b>	Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos	
	Para la clasificación visual puede usarse que la abertura del tamiz N.º 4 es equivalente a medio centímetro	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)		<b>SM</b>	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas	
			Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)		<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas	
	Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.º 40						
	Suelos de grano fino: más de la mitad del material pasa por el tamiz N.º 200 (La abertura del tamiz N.º 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista)	Limos y arcillas con límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco (a la desgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (cohesión)	<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
<b>CL</b>							Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
							<b>OL</b>
Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50		Resistencia en estado seco (a la desgregación)	Distancia (reacción a la agitación)	Tenacidad (cohesión)	<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenas de finos arcillosos o con diatomáceas, suelos limosos	
						<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas gruesas
							<b>OH</b>
Suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa				<b>Pt</b>	Turba y otros suelos altamente orgánicos	
Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P.ej., GW-GC, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard							

Figura 15. Sistema unificado de clasificación de suelos (USCS). En Lambe y Whitman. 1981.

Adaptada de Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo. (2002). Ingeniería geológica. Pág. 24

**5.2.3 Proctor Modificado.** Proctor modificado es un ensayo que se realiza para obtener las propiedades geotécnicas apropiadas como la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad de un suelo, mezcla de suelos, agregados de suelos naturales finos o granulares, o mezcla de suelos naturales y procesados, o agregados tales como limos, arenas, gravas o roca triturada.

Además, los suelos de fundación son compactados frecuentemente para ayudar a mejorar sus propiedades geotécnicas, ya que los ensayos de compactación permiten determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua que se necesitan para alcanzar las propiedades geotécnicas requeridas al momento de llevar a cabo el levantamiento de una obra. (GRUPO DE GEOTECNIA (FACULTAD DE MINAS), pág. 4)

Para realizar el ensayo es necesario colocar la muestra con un contenido de agua ya determinado, en tres capas, en un molde cilíndrico con unas dimensiones específicas. Cada capa es compactada con un total de 25 golpes que se dan con un martillo de 44.5N (10lb) (Figura 16), el cual se deja caer desde una altura aproximada de 50 cm, generándole al suelo un esfuerzo de compactación y el peso unitario seco. Al graficar los datos obtenidos se generan una curva de compactación con la cual se haya el contenido óptimo de agua y el peso unitario seco máximo. (GRUPO DE GEOTECNIA (FACULTAD DE MINAS), pág. 4)



*Figura 16.* Equipo utilizado para llevar a cabo el ensayo de Proctor modificado. Adaptada de RICELI EQUIPOS y AMERICAN CUBE MOLD.

**5.2.4 Corte Directo.** Un ensayo de corte directo tiene como objetivo, determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en el terreno producto de una carga (VALPARAISO, 2004, pág. 3).

Normalmente el ensayo se trata de una caja de acero, usualmente cuadrada, que se encuentra dividida en dos mitades y en cuyo interior se coloca la muestra de suelo. Encima de esta se dispone una placa de reparto rígida sobre la que se puede aplicar una carga vertical ( $N$ ). Todo el conjunto se introduce en un recipiente de acero de mayores dimensiones (Figura 17). El procedimiento se puede realizar en dos condiciones; una es con saturación de agua y la otra es sin saturación de agua (González Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 24).

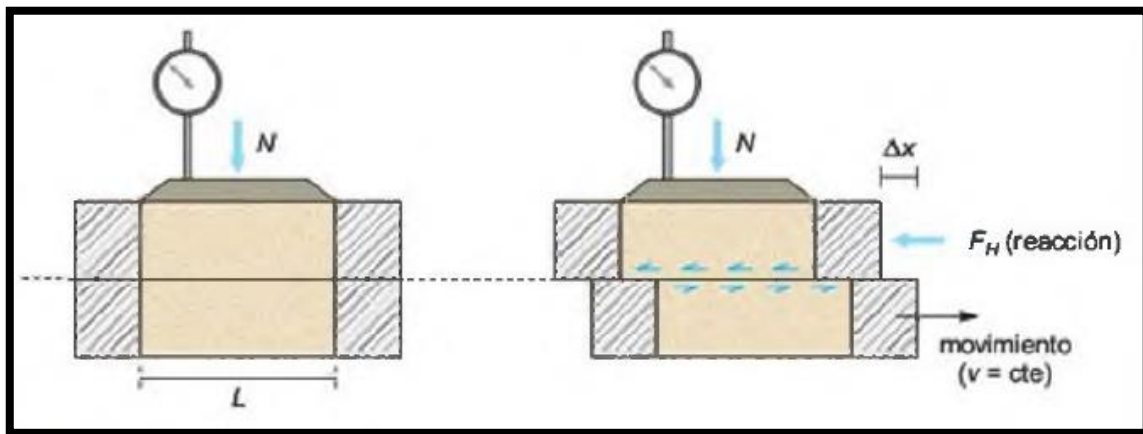


Figura 17. Esquema del ensayo de corte directo.

La inducción de tensiones cortantes en el suelo se logra trasladando horizontalmente la parte inferior de la caja de corte mientras que se impide totalmente el movimiento de la zona superior. Una prueba completa sobre un determinado suelo consiste en ensayar tres muestras idénticas del mismo material bajo tres cargas verticales distintas ( $N_1, N_2, N_3$ ), para obtener la tensión normal actuante a una velocidad constante. (González Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002, pág. 24)

**5.2.5 Difracción De Rayos X.** La difracción de rayos x permite la identificación cualitativa de compuestos cristalinos presentes en un sólido. Se caracteriza por la incidencia de un haz de rayos X sobre el material en donde los átomos que lo conforman hacen que la se disperse la onda incidente; en donde el fenómeno de interferencia construido puede ser destructivo o constructivo. La información obtenida revela la geometría de las direcciones de difracción generando información acerca del sistema cristalino.

El proceso de identificación cualitativa comienza buscando un mineral que pueda explicar el o los picos fuertes, después se confirma la elección encontrando la posición de los picos más débiles para el mismo mineral los cuales luego serán eliminados de la consideración; esto se hará hasta terminar de identificar cada uno de los picos en el espectro (Moore, 1997, pág. 65).

La identificación de los picos se hace teniendo en cuenta la literatura existente, donde se muestren los patrones y valores de referencia en perfiles de difracción de rayos-x y su definición para cada mineral, sea arcilloso o no; esto quiere decir que cada mineral tiene un perfil característico con valores ya establecidos y que sirven de referencia en el proceso de identificación de los distintos minerales que componen la roca (Moore, 1997, pág. 65).

Para la identificación de material esmectítico expandible se lleva a cabo el DRX “Air dried” o secado a temperatura ambiente, si se obtiene una señal para  $d=14$  es porque puede existir Montmorillonita, vermiculita o clorita y para  $d=7$  Caolinita. Para corroborar lo anterior se den realizar dos procesos; el primero está relacionado con la adición de etilenglicol y si se obtiene la señal en  $d=18$  se confirma la existencia del material expandible. Por otro, se puede saturar con K y a calcinar a  $500^{\circ}\text{C}$ , si la señal que se había obtenido en  $d=7$  desaparece es porque si hay caolinita en la muestra (Tabla 1).

Para realizar los procesos anteriores, es necesario que el etilenglicol y la saturación con K no se le realicen a la misma muestra ya que alteraría los resultados. Por eso se debe preparar dos veces la muestra que se desea analiza.

Tabla 1.

*Relación de la ubicación de los picos “00l”=d para los principales minerales arcillosos en el análisis de secado a temperatura ambiente, calcinación a 500°C y tratamiento con Etilenglicol. Realizada de la información suministrada en el laboratorio de difracción rayos x.*

Arcilla	Temperatura Ambiente	Tratamiento con Etilenglicol- Mg	Saturación con K a 500°C
Montmorillonita	14	18	10
Vermiculita	14	14	10
Clorita	14	14	14
Micas	10	10	10
Caolinita	7	7	---

### 5.3 Técnicas de remediación

**5.3.1 Concreto Lanzado o Gunita.** El concreto lanzado se denomina concreto proyectado al mortero colocado por bombeo a presión con agregados, cuyo principal objetivo es actuar como un refuerzo superficial para ayudar a minimizar el desprendimiento de bloques, la resistencia a la tensión y el deterioro de la superficie de los taludes (Suarez, 2009, pág. 344).

Está compuesto por una mezcla de cemento y agregados, los cuales deben prevenir la segregación y se pueden incorporar por medio de vía seca o húmeda adaptándose a las

superficies irregulares, en donde se coloca una malla de refuerzo preexistente al lanzamiento del concreto. La mezcla se puede preparar en el lugar o ser transportada en un saco para bombearla en el sitio, inyectando el agua y los aditivos en la boquilla (Suarez, 2009, pág. 40).

Es importante realizar una limpieza de la superficie del talud utilizando chorro de agua o de aire antes de situar el concreto para garantizar una buena unión de la membrana en las discontinuidades. Además, se deben remover los suelos o materiales sueltos antes de colocar el concreto. Para evitar las presiones de poros por represamiento del agua subterránea se deben realizar orificios o lloraderos, los cuales atraviesan la estructura de concreto lanzado facilitando el drenaje (Suarez, 2009, pág. 40).

#### Mantenimiento:

Los sistemas de control de movimientos de roca requieren de un programa de mantenimiento que incluya la inspección, monitoreo y seguimiento desde la etapa del diseño del talud. La frecuencia de las inspecciones va a depender del desgaste del talud y del desprendimiento de roca. Generalmente, se deben realizar mínimo dos veces por año, principalmente en época de lluvia. (Suarez, 2009, pág. 358)

El mantenimiento de los taludes debe incluir:

- La limpieza de la superficie de los taludes.
- La limpieza de los lloraderos.
- La limpieza de los subdrenes (Retiro de la vegetación).
- Retensionamiento de los anclajes.
- Reparación de las estructuras averiadas.

**5.3.2 Drenaje.** El drenaje tiene como objetivo principal reducir la presión de poros a través de la disminución del peso de la masa y del aumento de la resistencia del talud. También ayuda a aumentar la resistencia al corte, elimina las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes y mejora el factor de seguridad. (Suarez, 2009, pág. 429)

Los sistemas más comunes para el control del agua según Suarez, 2009 son:

- Zanjas de coronación o canales recolectores (drenaje superficial).
- Subdrenes de zanjas o subdrenes interceptores.
- Subdrenes horizontales o de penetración.

#### Drenaje superficial:

El principal objetivo del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud disminuyendo la infiltración e impidiendo la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales capta la escorrentía y lleva el agua a un sitio seguro lejos del talud que se va a proteger, pero para ellos es necesario que el agua de escorrentía se desvíe antes de que ingrese en el área del deslizamiento o se infiltre en dirección a talud. (Suarez, 2009, pág. 430)

Se debe hacer una conformación del terreno la cual consiste en la eliminación de áreas de infiltración que se encuentran arriba de la corona o dentro del área del talud. Estas acumulaciones de agua deben drenarse para disminuir los volúmenes de agua infiltrados que puedan aumentar las presiones de los poros en el talud, el objetivo principal es facilitar el drenaje sin realizar cortes ni rellenos de gran magnitud. (Suarez, 2009, pág. 50)

### Zanjas de corona:

Las zanjas ubicadas en la corona o en la parte superior del talud, son utilizadas para interceptar y conducir de manera adecuada la escorrentía y evitar su paso por el talud. La zanja de corona no se debe construir tan cerca del borde superior del talud ya que esta se puede convertir en activadora de un deslizamiento en cortes recientes o puede producir la falla de la corona del talud o escarpe. (Suarez, 2009, pág. 51)

Se recomienda que las zanjas de corona sean totalmente impermeabilizadas y con una pendiente suficiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. La impermeabilización se debe complementar con un apropiado mantenimiento debido a que con el tiempo se producen movimientos en el terreno que ocasionan grietas en la impermeabilización, produciendo infiltraciones. Se sugiere que por lo menos cada dos años, se reparen las zanjas de la corona para impermeabilizar las fisuras y las grietas que se presenten. (Suarez, 2009, pág. 51)

Las dimensiones y la localización de la zanja pueden cambiar de acuerdo con la topografía presente en la zona de interés y el cálculo previo de los caudales colectados. Para las áreas pequeñas de drenaje como la del talud, se recomienda una zanja rectangular mínimo de 40 centímetros de ancho y 50 centímetros de profundidad. Se debe hacer lo posible para que quede ubicado a lo largo de una curva de nivel, a fin de garantizar un correcto drenaje y que se encuentre detrás de las grietas de tensión de la corona. (Suarez, 2009, págs. 51,52)

**5.3.3 Mallas Ancladas.** Son mallas que se encuentran en exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos, esto evitara el desprendimiento de rocas. Los anclajes de malla anclada protegen la caída de bloques de roca superficiales y en ocasiones ayudan a atenuar el movimiento de grandes cantidades de roca (Suarez, 2009, pág. 342). Se recomienda mallas de

alambre galvanizado ya que este evita la corrosión, posee mayor vida útil y el mantenimiento no es costoso (Castro Fresno, 2000, págs. 2-53).

Las mantas de malla ancladas impiden el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1.0 metro de diámetro) o masas poco profundas delgadas de roca. La malla anclada actúa como membrana alrededor de las rocas inestables, se puede reforzar con cables, los cuales se amarran a los anclajes. Es recomendable utilizar alambres con calibres BWG 9 a BWG 11, además se pueden utilizar mallas electrosoldadas, de tejido en cadena o mallas hexagonales torsionadas que son las más comunes. (Suarez, 2009, pág. 342) Estas deben usarse en contacto directo con la superficie del talud para formar un contacto continuo en toda el área protegida de la fachada del talud. En los casos de bloques pequeños se debe aumentar los anclajes en esta área. En algunos casos las mallas se diseñan para guiar los bloques sueltos hasta el pie del talud. (Suarez, 2009, pág. 342)

Se debe tener en cuenta la longitud de los anclajes ya que este se determina para cada emplazamiento en función de las características del material que conforma la zona de anclaje. Como valores guía se fijan las longitudes mínimas recomendables de los anclajes: 3,50 m y anclajes interiores e inferiores 2,50 m en aquellos casos que el talud lo requiera, en zonas blandas o en pequeñas zonas con deslizamientos superficiales, se incrementa la longitud del anclaje. (Castro Fresno, 2000, págs. 2-70)

Según Jaime Suarez (2001) para el diseño de mallas se deben tener en cuenta el siguiente procedimiento:

**I.** Determinar la sección del cable vertical el cual sostendrá el peso de la roca que presente el mayor diámetro

- II. Definir la sección del cable horizontal encargado de resistir el peso de las rocas que pueden caerse distribuyendo este peso a todo lo largo del cable entre dos puntos del enclave.
- III. Decidir qué tipo de malla se va a utilizar dependiendo de las características que requiere cada estructura capaz de resistir el peso de las rocas.
- IV. Determinar la resistencia y diseñar el anclaje asumiendo que toda la carga de cada cable es transmitida al ancla.

**5.3.4 Revegetalización.** Para el control de la erosión de taludes se utiliza el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales. (Suarez, 2009, pág. 306)

La utilización de mantos orgánicos o sintéticos junto con la vegetación conforma una protección integral contra la erosión. Generalmente estos materiales se desintegran después de que las plantas crecen y se establecen en forma permanente. (Suarez, 2009, pág. 307) La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua de manera más eficiente el golpe de la lluvia y así la erosión producida. (Suarez, 2009, págs. 292,293)

Las diferentes partes de la planta cumplen funciones específicas desde el punto de vista geotécnico; las raíces absorben grandes cantidades de agua y minerales. Además, las plantas interactúan con el suelo reforzándolo. (Suarez, 2009, pág. 294)

#### Diseño de revegetalización:

La revegetalización es una interacción entre factores hidrológicos y mecánicos de difícil cuantificación. Establecer vegetación no es fácil y debe poseer consideraciones específicas para su diseño. (Suarez, 2009, pág. 306)

Como regla general se recomienda no plantar una sola especie, sino una sucesión de variedades en tal forma que se recupere el sistema vegetativo original. Además, se debe considerar un manejo adecuado de las técnicas de vegetación, tener en cuenta la tolerancia de la planta a las temperaturas de la zona, al pH del suelo y al clima del lugar en donde se va a realizar la revegetalización; ya que son factores muy importantes al seleccionar las especies (Suarez, 2009, págs. 306-308).

Debido al clima tropical presente en el municipio de Girón se recomiendan dos pastos. La primera opción se denomina comúnmente “Pasto Vetiever” o *Chrysopogon zizanioides* y la segunda opción es conocida como “Mani Forrajero” o *Arachis pintoi*.

❖ Pasto vetiever o *Chrysopogon zizanioides*.

Es una especie de pasto originario de Asia y utilizado con frecuencia para el control de la erosión y disminuir el potencial de deslizamiento en países tropicales. Esta planta es una gramínea perenne que posee apariencia de maleza, puede alcanzar una altura de 1.6 metros y posee un sistema de raíces con gran cantidad de cilindros fibrosos capaces de alcanzar profundidades de 4 a 5 metros. (Suarez, 2009, pág. 308)

Este pasto es óptimo para el clima del municipio de Girón ya que resiste a la sequía y la inmersión en agua debido a la profundidad de sus raíces. Es ideal para la exposición al sol y es adaptable a diferentes suelos desde arenas a arcillas, y diferentes altitudes climáticas. Además, el Vetiever crece en ambientes ácidos, alcalinos o salinos ( $4 < \text{pH} < 11$ ). (Suarez, 2009, pág. 308)

Estudios recientes de la universidad de kebangsaan (Malaysia), muestran que el pasto Vetiever puede atrapar 600 g/m<sup>2</sup> de pérdida de suelo superficial. Además, se debe agregar que resiste grandes concentraciones de contaminantes y no requiere de una fertilidad alta en el suelo y la

resistencia a la tensión de las raíces varia de 25 a 60 Mpa (Cazzuffi y otros 2006). El pasto Vetiever crece rápido en las pendientes pronunciadas o en los suelos altamente erosionables, llegando a funcionar en tan solo 3-5 meses. (Escobar González & Orduña Camacho , 2014, pág. 45).

El mantenimiento que se debe realizar es la poda que se hace de dos a tres veces al año a una altura de 30 a 40 cm y el follaje podado debe ser distribuido uniformemente como cobertura del suelo. En cuanto al fertilizante se debe usar 150 kg de nitrógeno por hectárea/ año y se pueden usar fertilizantes orgánicos. Este mantenimiento se debe extender durante los primeros seis meses de la empuadización, periodo necesario para garantizar el prendimiento de la Gramínea. (Escobar González & Orduña Camacho , 2014, pág. 64).

❖ Maní forrajero o *Arachis pintoi*

Es una leguminosa herbácea perene, especies promisorias en áreas húmedas de los trópicos, que se desarrolla bien en suelos de moderada fertilidad y tolerante a una alta saturación de aluminio. Es compatible con gramíneas de crecimiento agresivo. Su mejor saturación se obtiene en suelos de textura arcillosa o arenosa, la tolerancia a la sequía es moderada y presenta ciclos vegetativos y reproductivos bien diferenciados pero que se presentan en forma simultánea (Marín Nieto , Cardona Botero , & Suárez Vasquez, 1996, págs. 1,2).

El Maní forrajero se adapta bien en regiones tropicales con alturas de 0 a 1800 msnm y con precipitaciones de 2000 a 3500 mm anuales. Se desarrolla satisfactoriamente en diferentes tipos de suelo: ácidos, alcalinos y pobres en nutrientes. Esta planta produce abundantes estolones y genera nuevas plantas en los nudos favoreciendo a una cobertura rápida del suelo. (Rincon , 1999, pág. 1)

La disponibilidad del Maní forrajero depende de la fertilidad natural del suelo, de la precipitación y la fertilidad en el establecimiento y de mantenimiento. Los tallos que al inicio están postrados, llegan a crecer hasta alcanzar los 50 cm de altura (Rincon , 1999, págs. 1,2).

## **6. Marco geológico**

### **6.1 Geología estructural**

El territorio Santandereano es geológicamente complejo y tectónicamente dinámico, relacionado con las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramericana. (CDMB, y otros, 2007, pág. 25). Se caracteriza por presentar tres estilos estructurales en los cuales se identifican tres zonas estructuralmente bien definidas los cuales son: fallamiento en bloques en la región oriental, plegamiento en la región central y el graben del magdalena en la región occidental (Figura 18) (ROYERO GUTIÉRREZ & CLAVIJO, 2001, pág. 46).

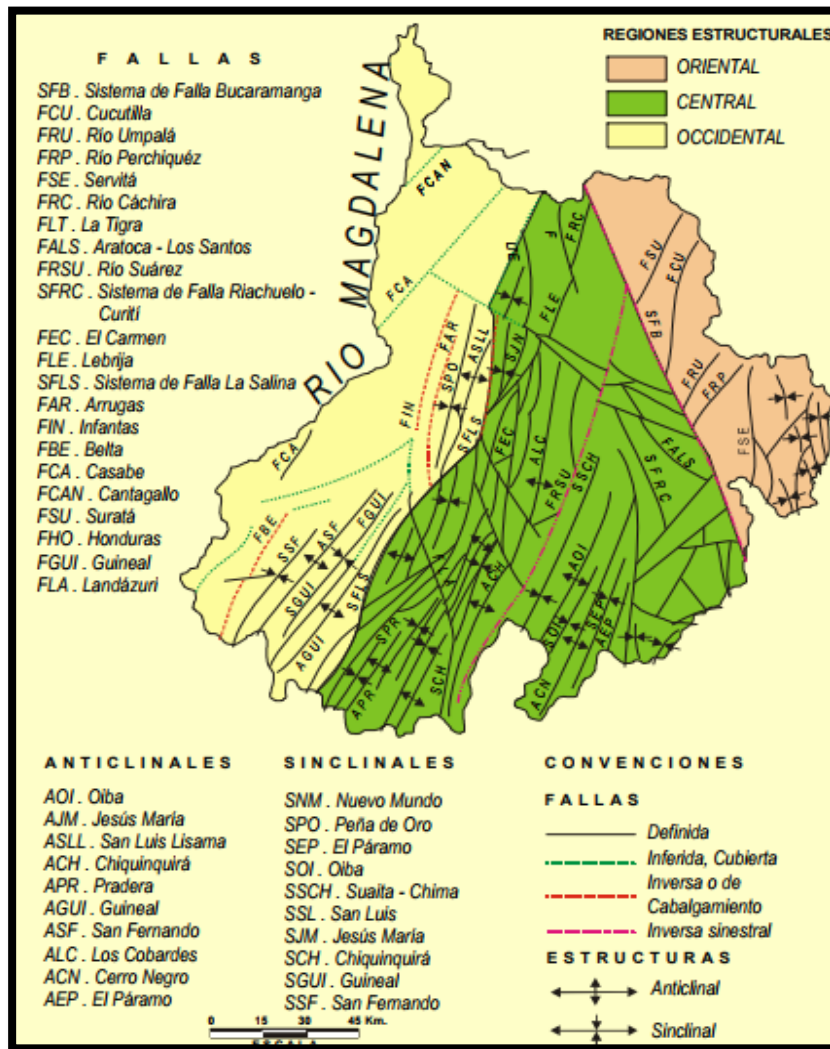


Figura 18. Esquema estructural del Departamento de Santander. Adaptada de Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993).

Según Niño y Vargas (1993) La cuenca de Bucaramanga se encuentra definida como una depresión tectónica o graben, estructuralmente se considera como un bloque hundido limitado al este por la Falla Bucaramanga-Santa Marta, al oeste por la Falla Suarez- Río de Oro, al norte por la intercepción de la falla los Angelinos con las Fallas anteriores y al sur por el sistema ortogonal

de la falla Bucaramanga. Con el levantamiento de las Mesas de Ruitoque y los santos se evidencia el hundimiento hacia el norte de la cuenca. (NIÑO & VARGAS, 1993, pág. 15)

La tectónica presente en la zona de estudio es simple ya que solo presenta un accidente notable, la falla Suarez. Se caracteriza por ser una importante fractura, la cual se extiende con una longitud de 120 km desde Barbosa hasta la falla Bucaramanga- Santa Marta, a unos 5 km al norte de Bucaramanga (ROYERO GUTIÉRREZ & CLAVIJO, 2001, pág. 51), presentando tres fallas inversas de alto ángulo las cuales se encuentran paralelas con la dirección de N50°E (CDMB, y otros, 2007, págs. 28-29).

La falla Suarez posee una orientación general N-S, pero localmente puede llevar la dirección NE-SW (Julivert, 1958, pág. 20). Esta falla sigue paralela al río Suarez en el sur, al norte de la confluencia del Suarez y el Chicamocha, luego el río toma la dirección NW por Chocó, para seguir hacia el norte orientándose paralelo al río de oro y al W de Bucaramanga. Este accidente no posee siempre el carácter de falla ya que este puede aparecer en ocasiones como una flexión dependiendo el punto que se considere (Julivert, 1958, págs. 20-21).

El sistema de fallas Suarez afecta en su trayectoria a rocas Jurásicas y cretácicas, de las formaciones Girón, Tambor, Rosa Blanca, Paja y cerca del final de la falla Bucaramanga- Santa Marta, afecta rocas del paleozoico como lo son las formaciones Floresta y Diamante (ROYERO GUTIÉRREZ & CLAVIJO, 2001, pág. 51)

En el área de estudio la falla Suarez coloca en contacto la Formación Girón de la plataforma de Lebrija con el Cuaternario de la terraza de Bucaramanga en donde se presenta un carácter de fractura del accidente pero también existe una adaptación en las capas concretas de Girón que tienden a comenzar una flexión. Este accidente se define como una falla de zocalo sobre la que se adapta la cobertura llegando a producirse o no fractura según los valores de saltos o niveles que

se observan, ya que mientras se manifiesta como falla en los niveles inferiores de Girón se presenta afectando como flexión en los niveles del cretácico (Julivert, 1958, págs. 20-21).

Presenta índices neotectónicos como lagos de falla y embalses aluviales según Paris et al. (2000). Al occidente del pueblo de Girón la falla del Suarez afecta capas de la formación Girón plegándose por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidas (ROYERO GUTIÉRREZ & CLAVIJO, 2001, pág. 51). La falla desplaza de forma vertical flujos de escombros en el área de Girón, desplazando una superficie de erosión terciaria (CDMB, y otros, 2007, págs. 28-29) Y divide las regiones de las mesas en dos unidades estructurales, una occidental formada por la plataforma de Lebrija y Macizo de Zapatoca y otra oriental que comprende a Bucaramanga, Ruitoque, Los Santos y el área de Barichara a San Gil. (Julivert, 1958, pág. 13)

## 6.2 Unidades litoestratigráficas

**6.2.1 Formación Girón (Jg).** Descrita inicialmente por Hettner (1892) como “Girón Series” en Ward et al., (1973). Se caracteriza por estar separada por el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta en el Macizo de Santander (INGEOMINAS, 2001, pág. 15)

Estratigráficamente infrayace la formación Tambor y suprayace la formación Jordán. Las mayores exposiciones ocurren en la margen izquierda del río de Oro, en el cerro de Palonegro, sobre la vía que comunica con el aeropuerto, donde consta de conglomerados y areniscas, de color amarillo-naranja, alternando con capas de lodolitas rojas violáceas (INGEOMINAS, 2001, pág. 15).

La Formación Girón tuvo se ha encontrado con un espesor total de 4650 m. y en general está constituida por areniscas de grano grueso, con intercalaciones de areniscas conglomeráticas y capas rojas interestratificadas de limolita y arcillolita, en estratos hasta de 1 m de espesor, areniscas de grano grueso conglomeráticas, gris claro, con estratificación cruzada y areniscas rojizas, de grano medio a grueso. Las capas conglomeráticas contienen guijos de cuarzo y de calizas hasta de 4 cm de diámetro (Cediel , 1968, pág. 29).

Al occidente del río de Oro se presenta en estratos gruesos con intercalaciones de conglomerados, areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada, y areniscas de grano grueso a medio, cuarzofeldespáticas, de colores crema, verde y rojo. También se observan intercalaciones de lodolitas masivas, violáceas, con bajo contenido de micas (INGEOMINAS, 2001, pág. 15).

Al occidente del río de Oro se encuentra cubierta, en su mayor parte, por depósitos sedimentarios de origen aluvial y coluvial, tales como la formación Bucaramanga y los flujos de escombros y detritos de Floridablanca y Piedecuesta, así como de otros provenientes del cerro de Palonegro (INGEOMINAS, 2001, pág. 16)

La procedencia de las rocas de la Formación Girón se encuentran asociadas a un origen fluvial debido a las abundantes lluvias, rocas limno fluviales producto de aguas tranquilas o corrientes débiles y sedimentos marinos (conjunto más joven de la serie de rocas), transportado y depositado en un medio marino (Cediel , 1968, pág. 54).

La morfología que presenta las rocas de la Formación Girón corresponde a escarpes fuertes, colinas y cerros aislados. Ward et al., (1973) le asigna una edad Jurásica a esta unidad litológica.

**6.2.2 Formación Bucaramanga (Qb).** Descrita inicialmente por De Porta (1958), donde diferencia tres niveles: el inferior, de mayor potencia, consta de conglomerados con intercalaciones de areniscas, un nivel intermedio de materiales finos que se extiende por toda la terraza y finalmente un nivel superior formado por elementos más groseros (POT Bucaramanga, pág. 21).

Los espesores de los sedimentos que forman este abanico aluvial están entre los 240 y los 290 metros. El abanico – terraza de Bucaramanga, ha sido depositado sobre un bloque que se ha hundido progresivamente, lo que explica el enorme espesor de los sedimentos y la progresiva inconformidad observada a lo largo de la autopista entre Girón y Lebrija (POT Bucaramanga, pág. 21).

Según Ingeominas (2007) la Formación Bucaramanga se encuentra formada por cuatro miembros, los cuales se definen a continuación.

- **Miembro Gravoso (Sft2)**

Los materiales que lo componen son en su mayor parte cantos y bloques de rocas sedimentarias de las formaciones Girón y Jordán, cuyas características litológicas ya se han perdido debido a su alteración, embebidos en una matriz arcillosa de colores rojo y amarillo (INGEOMINAS, 2007, pág. 63).

En el Vivero Nazareth del barrio Modelo, municipio de Bucaramanga, se observa una secuencia de materiales de consolidación intermedia, color amarillo naranja, material clasto-soportado, con un relación (30%-70%) de matriz areno-limosa a (70-30%) de clastos, estos se distribuyen en gravas (60%) y bloques (20%), compuestos por areniscas, neises y rocas ígneas,

con diámetros de hasta 1 m, subredondeados a redondeados, esporádicamente subangulares (CDMB, y otros, 2007, pág. 64).

La morfología que presenta el miembro Gravoso es similar a la del miembro Órganos en los sectores de los valles de las quebradas, pero hacia la parte sur de la quebrada La Iglesia, la morfología corresponde a colinas suaves onduladas, con un drenaje dendrítico. Los bajos porcentajes de humedad natural, el predominio granular y el grado de meteorización, sugiere que al menos la parte superficial de este miembro, tiene poca compactación y buena permeabilidad (CDMB, y otros, 2007, pág. 64).

- **Miembro Órganos (Qbo)**

Definido por Hubach (1952). Se localiza en la parte suroccidental de Bucaramanga, en los alrededores del municipio de Girón, anillo vial y autopista Bucaramanga – Girón. Su Geomorfología se caracteriza por presentar surcos, cárcavas y estoraques que alcanzan hasta 13 m de altura, dando origen a las llamadas tierras malas (AMB, 1997, pág. 25).

Suelo Gravoso (Sft3):

Depósito matriz soportado conformado por bloques y cantos redondeados de arenisca cuarzosa de grano fino, micácea, con grado de alteración moderada, friables. Se observan fragmentos de limolitas rojas alteradas, bloques de esquistos, cantos de cuarzo, conglomerados y cuarcitas frescas; este material está dispuesto caóticamente, la matriz es limo arcillosa de color gris claro, con tintes marrones y rojizos de alteración, altamente erodable (INGEOMINAS, 2007, pág. 65).

Dentro de estos depósitos se presentan lentes con espesores variables entre 1 y 3 m de espesor, con extensiones laterales que alcanzan varias decenas de metros. Estos lentes se componen de arcillas limo-arenosas que lateralmente varían a arenas gravosas, con líticas, plagioclasa, micas esporádicas y restos de materia orgánica; de consistencia dura y afectados por surcos (INGEOMINAS, 2007, pág. 66).

#### Suelo Arenoso (Sft4):

Corresponde a un suelo areno limo arcilloso, color blanco amarillento, grisáceo claro, con tamaño de grano medio a fino, rico en cuarzo, feldespato y líticas, de formas subangulares a subredondeados, con buena selección, clastosoportado, matriz limoarcillosa (CDMB, y otros, 2007, pág. 67).

Al occidente del barrio La Campiña y al occidente del barrio Balcones de Alejandría del municipio de Girón, se presentan arenas cuarzosas grises claras, cremosas, amarillentas con tintes rojizos por oxidación, compuestas por más del 90% de cuarzo, con menor proporción de líticas, feldespatos y minerales ferromagnesianos. Los granos son angulares a subangulares con diámetros hasta de 1 centímetro, predominando el tamaño arena (INGEOMINAS, 2007, pág. 69).

Son permeables, de consistencia firme, pero deleznable y fácilmente erodable, formando surcos estrechamente espaciados (INGEOMINAS, 2007, pág. 69)

#### Suelo Arcilloso (Sf13):

Conformados por arcillas arenosas laminadas, color gris verdoso, amarillentas, de consistencia firme, con intercalaciones de niveles arenosos, gravosos. La arena es de grano fino a

medio, color gris claro, cuarzosa, con buena selección y consistencia firme (INGEOMINAS, 2007, pág. 75).

- **Miembro Finos (Sf11)**

La unidad está conformada por arcillas y limos de color gris claro a verde con estratificación plano paralela; en algunos sectores se encuentran niveles areno-limosos de un color amarillo a pardo y el espesor varía ampliamente en diferentes partes del área de Bucaramanga, infrayaciendo al miembro gravoso (CDMB, y otros, 2007, pág. 70)

En general esta unidad es una extensa capa lenticular horizontal, más o menos continua, de unos 15 m de espesor promedio, donde alternan niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, de colores gris verdosos. La geometría de sus niveles es tabular a lenticular, con espesores que oscilan entre 5 y 40 cm, de estratificación plana paralela, cruzada y ondulosa (INGEOMINAS, 2007, pág. 71).

La secuencia del Miembro Finos se puede dividir en dos conjuntos: Un conjunto Arcilloso, localizado hacia la base, el cual se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de colores grises a verdes, con estratificación plana paralela, en donde el espesor varía ampliamente. El otro conjunto se caracteriza por ser Arenoso, localizado hacia el techo, donde muestra una alternancia de niveles areno-limosos con niveles limo-arenosos arcóscicos, de colores amarillento a pardo amarillento. Hacia la base de este conjunto predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro (INGEOMINAS, 2007, pág. 71).

La geomorfología corresponde a grandes escarpes, observándose un grado de alteración moderada con consistencia plástica para el conjunto arcilloso (CDMB, y otros, 2007, pág. 71).

- **Miembro Limos Rojos (Sf12)**

Se encuentra compuesto por arcillas y limos de color rojo, con contenido de arena en algunas partes, se pueden encontrar bloques de diferente tamaño principalmente de areniscas y neis. En la parte alta de la cuenca de la quebrada Las Papas, se observan pequeños relictos de niveles de esta unidad, hasta de 5 m de espesor, conformados por limos arenosos de color rojizo, con fragmentos angulares de cuarzo, cantos redondeados de arenisca cuarzosa, con diámetros entre 2 y 8 cm, predominando los de 2 cm. Presenta variaciones laterales y verticales a arcillas limosas, gris verdosas con tintes rojizos de oxidación (INGEOMINAS, 2007, pág. 74).

Geomorfológicamente este miembro constituye lo que anteriormente se denominaba como “Meseta de Bucaramanga”, con relieve semiplano; el drenaje es escaso, paralelo y superficial. La parte más superficial de este miembro se encuentra altamente meteorizada, formándose en algunos sectores niveles de oxidación que le ayudan a incrementar su compactación y resistencia a la erosión. Esta unidad Suprayace al segmento gravoso y su contacto con éste es gradacional (INGEOMINAS, 2007, pág. 75).

### **6.3 Unidades geológicas superficiales**

**6.3.1 Suelos coluviales antiguos (Sco2).** Los coluviones antiguos se caracterizan por presentar buena compactación, los fragmentos se encuentran alterados y no han presentado movimientos recientes (INGEOMINAS, 2007, pág. 58).

Se encuentran en diferentes sectores como en los barrios El Carmen de Floridablanca, Morrórico y Altos de Pan de Azúcar del municipio de Bucaramanga, relacionados con los depósitos de ladera de rocas y suelo. En el sector de Morrórico, por su cercanía al sistema de

fallas Bucaramanga-Santa Marta, están asociados a depósitos provenientes del Neis de Bucaramanga. En el sector del Carmen se componen de limolitas y arcillolitas de la formación Jordán, dentro de una matriz arenosa media a fina, mezclados con suelos del miembro gravoso y órganos. En el sector de Altos de Pan de Azúcar, municipio de Bucaramanga, está compuesto en su mayoría por suelos del miembro limos rojos y gravoso de la formación Bucaramanga, cubriendo una gran área de la ladera que bordea al barrio Terrazas (INGEOMINAS, 2007, pág. 58).

En el sector del municipio de Girón estos depósitos se asocian a la formación Girón, predominando hacia el occidente de este municipio. También se encuentran en la zona norte de Bucaramanga, asociados al miembro Órganos, donde conforman la mayor parte del gran deslizamiento antiguo sobre el cual se localiza Ciudad Norte, el cual ha sufrido reactivaciones en los últimos años motivando la reubicación de varias familias (INGEOMINAS, 2007, pág. 59).

**6.3.2 Suelos de Llenos Antrópicos (Sla).** 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 o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes. Están compuestos principalmente por materiales tamaño arena, arcilla, grava y son producto de residuos de construcción, excavaciones para minería o para adecuación de terrenos. Se incluyen los rellenos de basura (CDMB, y otros, 2007, pág. 77)

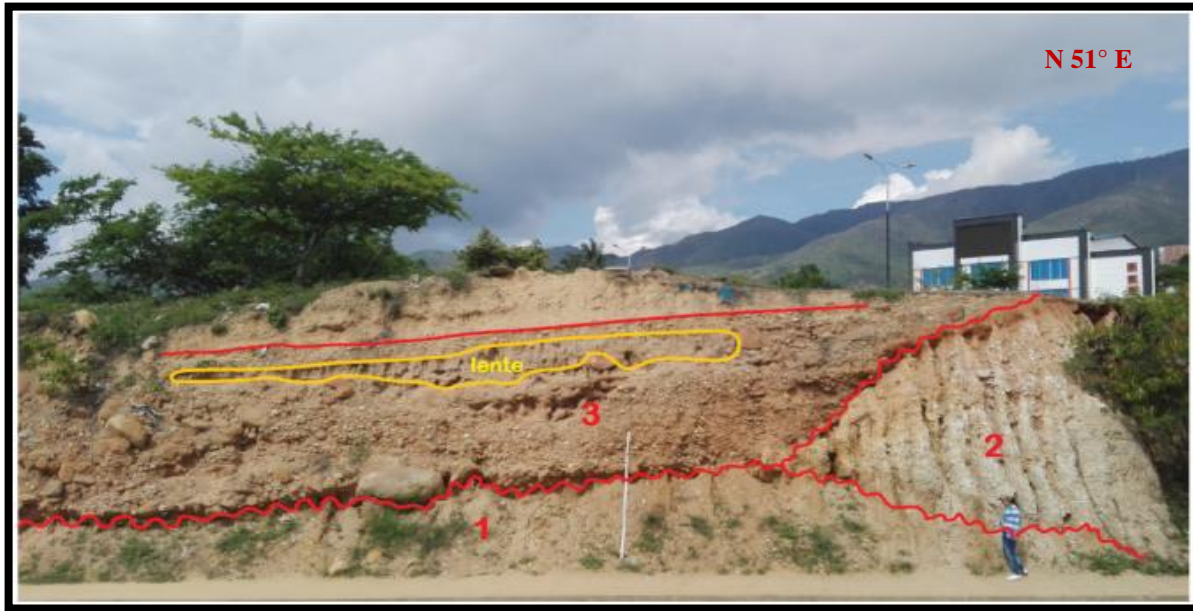
#### 6.4 Descripción de la zona de estudio

El talud se encuentra ubicado en la microcuenca de la quebrada las Macanas. Debido a las características superficiales observadas se dividió en tres secciones de occidente a oriente. La primera sección está conformada por tres niveles los cuales de base a techo se denominan suelos arcillosos (Sfl3), suelos arenosos (Sft4) y suelos gravosos (Sft3) pertenecientes al Miembro Órganos (Qbo) de la Formación Bucaramanga, y un lente de arena localizado en el tercer nivel, la segunda sección contiene un nivel de suelos coluviales antiguos (Sco2) y la tercera sección un suelo de llenos antrópicos (Sla).

Cabe destacar que cronológicamente lo más antiguo se encuentra hacia el costado occidental del talud y lo más reciente al margen oriental del talud.



Figura 19. Fotografía panorámica del talud en la cual se ubican las tres diferentes secciones encontradas.

**Sección 1:**

*Figura 20.* Fotografía de la sección 1 con los contactos netos y erosivos entre cada uno de los niveles del talud.

La sección uno se encuentra constituido por tres niveles (figura 20), los cuales se describen a continuación de base a techo.

**Nivel 1:**

Se caracteriza por un espesor máximo de ~2 m en el talud y se encuentra constituido por arcillas arenosas con coloración verde oscura, bien consolidada y arenas de grano fino a medio con armazón areno-soportada y matriz areno-arcillosa con calibración moderada, bien consolidada y de coloración amarillento a marrón. Mineralógicamente contiene cuarzo lechoso y translucido, fragmentos líticos y micas en pequeñas cantidades.

Según la literatura encontrada en Ingeominas (2007) y la descripción realizada por los autores anteriormente, se correlaciona el nivel uno del talud con el suelo arcilloso (Sf13) del Miembro Órganos (Qbo) de la Formación Bucaramanga.

#### Nivel 2:

Este nivel tiene un espesor máximo de ~3,5 m al occidente del talud de estudio. Está compuesto por arenas de grano fino a medio, armazón clasto-soportada y matriz areno-arcillosa, mal calibradas ya que los clastos van desde 0.5 cm hasta 29 cm. Las partículas en su mayoría son angulares-no esféricas, pero se encuentran clastos subangulares a subredondeados, de color amarillento a blanco. Mineralógicamente se encuentra compuesto de cuarzo, feldespato, líticos y materia orgánica.

Cabe resaltar que se disgrega con facilidad y es fácilmente erodable ya que existe la formación de cárcavas en este nivel.

Según la literatura encontrada en Ingeominas (2007) y la descripción realizada por los autores anteriormente, se correlaciona el nivel dos del talud con el suelo arenoso (Sft4) del Miembro Órganos (Qbo) de la Formación Bucaramanga.

#### Nivel 3:

El nivel tres aflora con un espesor máximo de ~5 m en la zona de estudio. Es un depósito conglomerático granocreciente con armazón clasto-soportada compuesta por arenas, gravas y bloques, matriz areno-soportada de grano fino a grueso de color gris claro, con matices marrones y rojizos. Los clastos están mal seleccionados con forma no esférica-subredondeada, no esférica-subangular, esférica-subredondeada y no esférica-redondeada. Los clastos están compuestos en

mayor cantidad por areniscas silíceas de grano medio bien cementada, y en menor proporción por rocas ígneas y neis micáceos.

Presenta un lente de arena con tamaño de grano fino a medio, matriz areno-soportada, bien calibrada, consolidada y de coloración grisácea. Mineralógicamente predomina el cuarzo, mientras que en menor cantidad hay plagioclasas y micas (moscovita).

Según la literatura encontrada en Ingeominas (2007) y la descripción realizada por los autores anteriormente, se correlaciona el nivel tres del talud con el suelo gravoso (Sft3) del Miembro Órganos (Qbo) de la Formación Bucaramanga.

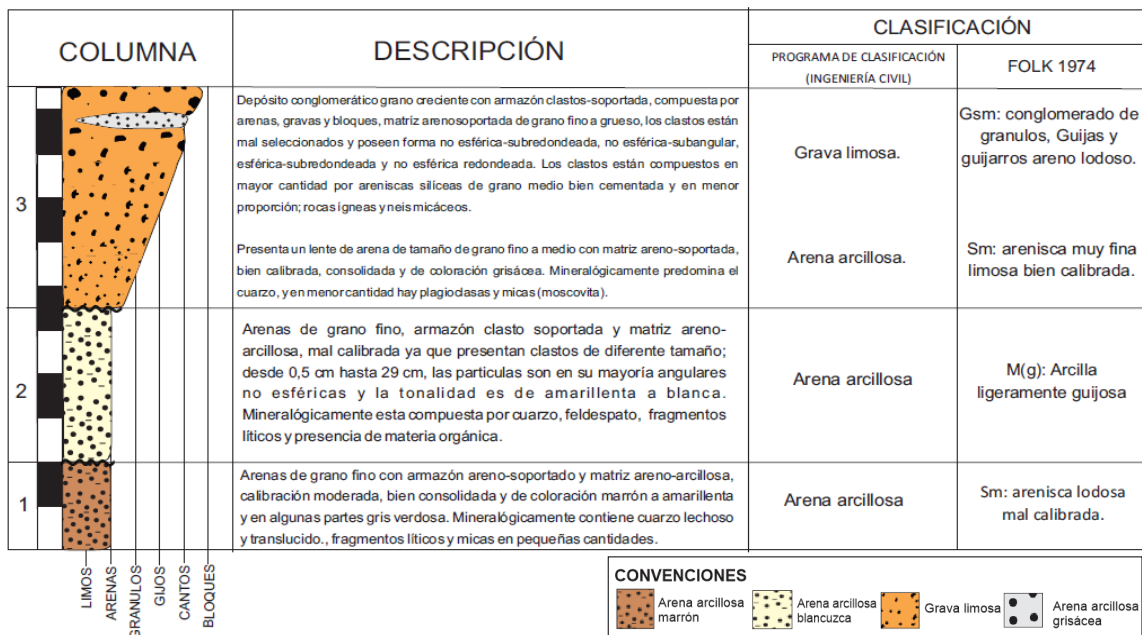


Figura 21. Columna estratigráfica de la sección 1 del talud. Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga y sus correspondientes en el Talud de estudio.

## Sección 2

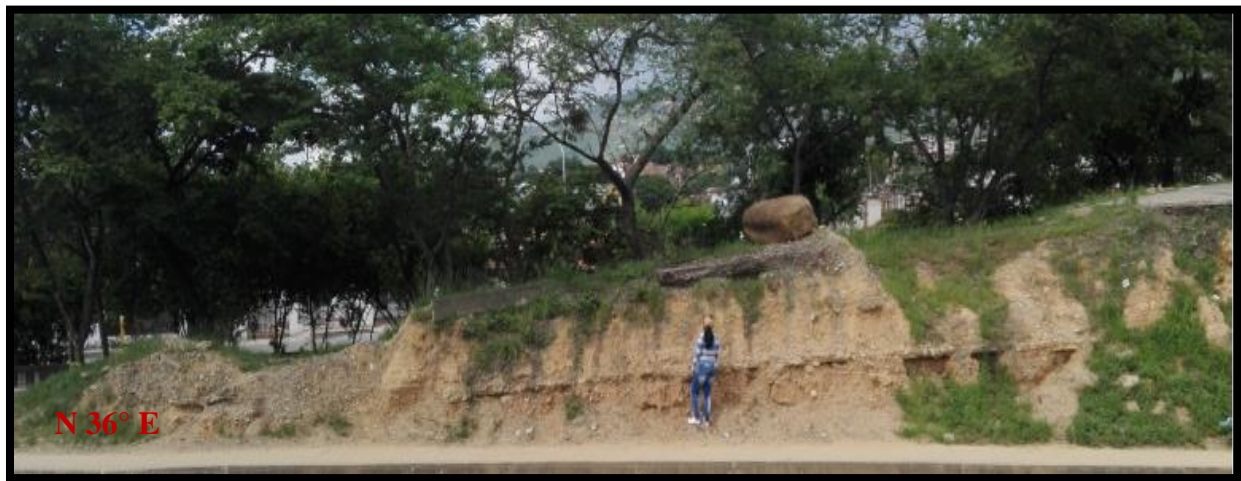


*Figura 22.* Suelos coluviales antiguos encontrado en el Talud y proveniente de la Formación Girón.

En esta sección se identifica un nuevo nivel, el cual se denomina como nivel 4. Posee dimensiones de ~27 m de longitud y ~5,40 m de alto y sedimentológicamente se caracteriza por una armazón clasto-soporta con clastos entre 30 cm y 1 m de tonalidades amarillentas claras a grises, compuestos en su mayoría por cuarzo, feldespatos, moscovita y fragmentos líticos. Según Folk 1974 se clasifican los diferentes clastos en arcosas líticas, subarcosas y arenas sublitoconglomeráticas. La matriz es areno-soportada de grano fino a grueso.

Según la literatura encontrada en Cediel (1968) y la descripción realizada por los autores anteriormente, se correlaciona el nivel cuatro del talud con el nivel arcósico superior de la Formación Girón (Jg) datado con una edad del Triásico- Jurásico.

### Sección 3



*Figura 23.* Relleno antrópico encontrado en el Talud.

En la sección tres del talud se identificó un quinto nivel, el cual es de occidente a oriente el más joven de todos y hace referencia a un relleno antrópico con una longitud de 28 m de ancho y 2,8 m de alto. Contiene heterogéneo producto de la actividad antrópica y dispuesto de forma caótica. Está compuesto por arena, arcilla y grava, siendo en su mayoría residuos de construcción o material utilizado para adecuaciones del terreno.

Según la literatura encontrada en Ingeominas (2007) y la descripción realizada por los autores anteriormente, se correlaciona el nivel cinco del talud con los suelos de llenos antrópicos (Sla) existentes en el municipio de Girón.

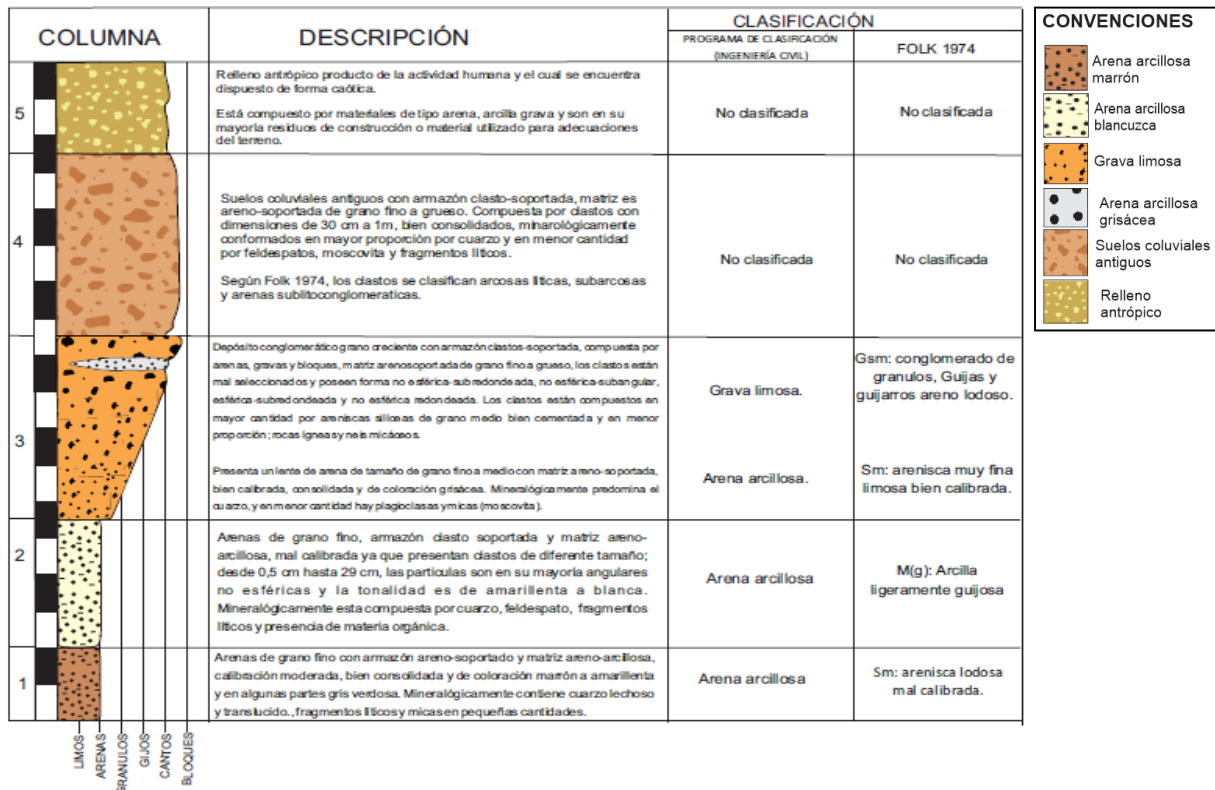


Figura 24. Columna estratigráfica generalizada de las secciones 1, 2 y 3 del talud.

### 6.5 Proveniencia y ambiente depositacional

#### Sección 1

La edad del Miembro Órganos puede abarcar el pleistoceno medio y según la granulometría, morfología, agentes de transporte y fuentes de los materiales, la formación Bucaramanga se depositó en un ambiente típicamente fluvial, donde alternan materiales de origen aluvial tipo cono de eyección, flujos de escombros, canal y laguna. El ambiente de depositación del miembro órganos está relacionado con flujo de escombros y flujos torrenciales (INGEOMINAS, 2001, pág. 143).

Según (Lima Amara & Mediana Ramos , 2015, pág. 25) dentro de los regímenes Paleoclimáticos se distinguen en el miembro órganos dos macro eventos cíclicos al momento de la depositación del sedimento los cuales son:

- Precipitaciones moderadas no estacionales que generaban fluctuaciones del nivel freático.
- Precipitaciones torrenciales estacionales que permiten procesos tipo flujos de escombros.

Según la interpretación de los autores, el material que se encuentra en la sección uno pertenece a la zona distal del abanico de Bucaramanga, ya que estos sedimentos se encuentran desde el escarpe de la Falla Bucaramanga a una altura de aproximadamente 1000 m y descienden hacia el oeste a un nivel de 750 m (parte distal) en donde termina contra las rocas de la Formación Girón en el escarpe de Palonegro/Cantalta, cubriendo una distancia longitudinal entre 5 y 14 km y un ancho de 26 Km (INGEOMINAS, 2008, pág. 28).

El Abanico de Bucaramanga estratigráficamente se caracteriza en gran parte por alternancias de gravas, arenas y limos generalmente bien consolidados, con características de flujos de lodo, flujos fluvio-torrenciales y formación de “tierras malas”. Las gravas consisten de clastos subredondeados a redondeados tanto matriz-soportados como clasto-soportados y son polimícticos. (INGEOMINAS, 2008, pág. 34)

En la zona distal predominan areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color blanco y a veces alternando niveles gravo-arenosos de color rojo vivo, con escasas intercalaciones de delgadas capas o lentes de conglomerados cuarzo-arenitas, haciendo referencia a depósitos de llanura de inundación o “floodplain deposits” (INGEOMINAS, 2008, pág. 36). Lo anteriormente nombrado coincide con las

diferentes rocas encontradas en la zona uno del talud por ende se sugiere como fuente las rocas ígneo- metamórficas y sedimentarias del Macizo de Santander.

El Río Suratá es considerado la principal fuente de aporte de sedimentos del Abanico de Bucaramanga, aunque actualmente se encuentre a 2,5 km al norte del ápice del Abanico. La desviación del cauce del Río Suratá se generó probablemente por la acumulación de sedimentos en el río, lo que lo condujo a buscar una salida por el flanco norte del cono del Abanico. El cese de la sedimentación en el Abanico por el abrupto desvío y la subsiguiente incisión del Río Suratá, también marco el inicio de la incisión y la migración hacia el oriente del Río de Oro para alcanzar su posición actual e iniciar de la erosión regresiva del Abanico que tuvo como resultado la formación de tierras malas en las zona media y distal del Abanico (INGEOMINAS, 2008, pág. 37).

Teniendo en cuenta lo anterior, el depósito de la zona uno perteneciente al Abanico de Bucaramanga pudo haber sido transportado y depositado probablemente por una quebrada de menor importancia denominada Las Macanas que desemboca en el Río de Oro y actualmente tiene un flujo intermitente.

## **Sección 2**

En el sector del municipio de Girón los depósitos coluviales antiguos están asociados a la Formación Girón y predominan hacia el occidente de dicho municipio (INGEOMINAS, 2007, pág. 97).

Según los Autores, el material que se encuentra en la sección dos fue transportado y depositado por quebradas de menor importancia que alcanza el río de oro por el este de la plataforma de Lebrija. Estas quebradas poseen un recorrido relativamente corto con pendientes violentas, su existencia se debe a la prolongación de la falla Suarez y hacen parte de la

plataforma de Lebrija. Se establece un régimen aluvial en donde se encuentran cantos rodados, los cuales se observan en el área de estudio (PORTA, 1959, pág. 32).

El ambiente que presenta la Formación Girón en la zona de interés es Fluvial el cual se encuentra controlado por diferentes variables como lo son el relieve de la superficie de sedimentación, la cantidad de material transportado, tipos y velocidad de corrientes entre otras. Las cargas solidas de estas corrientes están compuestas solamente por materiales del cauce. Los granos de tamaño superiores como los presentes en la zona de estudio son transportados como cargas de arrastre y depositados dentro del cauce del río. Entre otros factores que se deben considerar en la depositación es el clima el cual se atribuye a lluvias abundantes. (Cediel , 1968, pág. 36)

### **Sección 3**

Los materiales que se encuentran en esta sección son producto de los escombros generados en la obra de infraestructura vial realizada para el retorno al barrio El Poblado (Girón), en la vía que conduce de Bucaramanga a Lebrija.

## 6.6 Geomorfología

### Sección 1



*Figura 25.* Laderas erosionadas y formación de tierras malas. Talud ubicado en El poblado, Girón

Tierras malas: son de origen denudacional y se caracterizan por el desarrollo de cárcavas profundas, hondonadas estrechamente espaciadas y estoraques con escasa cobertura vegetal (CDMB, y otros, 2007, pág. 135).

Laderas erosionadas: son de origen denudacional y taludes con pendientes mayores a  $10^\circ$  en donde se presenta la erosión laminar y en surcos con una cobertura menor al 50% (CDMB, y otros, 2007, pág. 137).

### Sección 3



*Figura 26.* Llenos de escombros observados en el talud estudiado

Llenos de escombros: son de origen antropogénico y se relacionan a botaderos de desechos procedentes de minerías y construcciones. Se encuentran a lo largo del lecho de los cauces, laderas explanadas y pequeñas depresiones del terreno para igualar la zona (CDMB, y otros, 2007, pág. 147).

## 7. Caracterización geotécnica de los materiales

Para los siguientes análisis, se denominaron los niveles generados en la columna estratigráfica de la siguiente forma; Nivel 1= Muestra 1, Nivel 2= Muestra 2, Nivel 3 se dividió en = Muestra 3 matriz y Muestra 3 clastos, y Lente= Muestra 4, el cual hace referencia al lente identificado.

## 7.1 Granulometría

Los análisis realizados se presentan de forma detallada en el Apéndice A.

Tabla 2.

*Clasificación granulométrica de los niveles estratigráficos según el Software utilizado por los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander.*

Muestra		Clasificación granulométrica
Muestra 1		SC (Arena Arcillosa)
Muestra 2		SC (Arena Arcillosa)
Muestra 3	Matriz	SC (Arena Arcillosa)
	Clastos	GM (Grava Limosa)
Muestra 4		SM (Arena Limosa)

La arena arcillosa predomina en el Miembro Órganos (Qbo) de la sección uno que aflora en el talud de estudio y en menor cantidad se puede encontrar grava limosa.

## 7.2 Límites de Atterberg

Los análisis realizados se presentan de forma detallada en el Apéndice B.

Tabla 3.

Resultados de los límites líquido y plástico realizados para cada una de las muestras.

Muestras		Límite líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad
Muestra 1		32%	20%	12%
Muestra 2		35%	23%	12%
Muestra 3	Matriz	38%	22%	16%
Muestra 4		0%	0%	0%

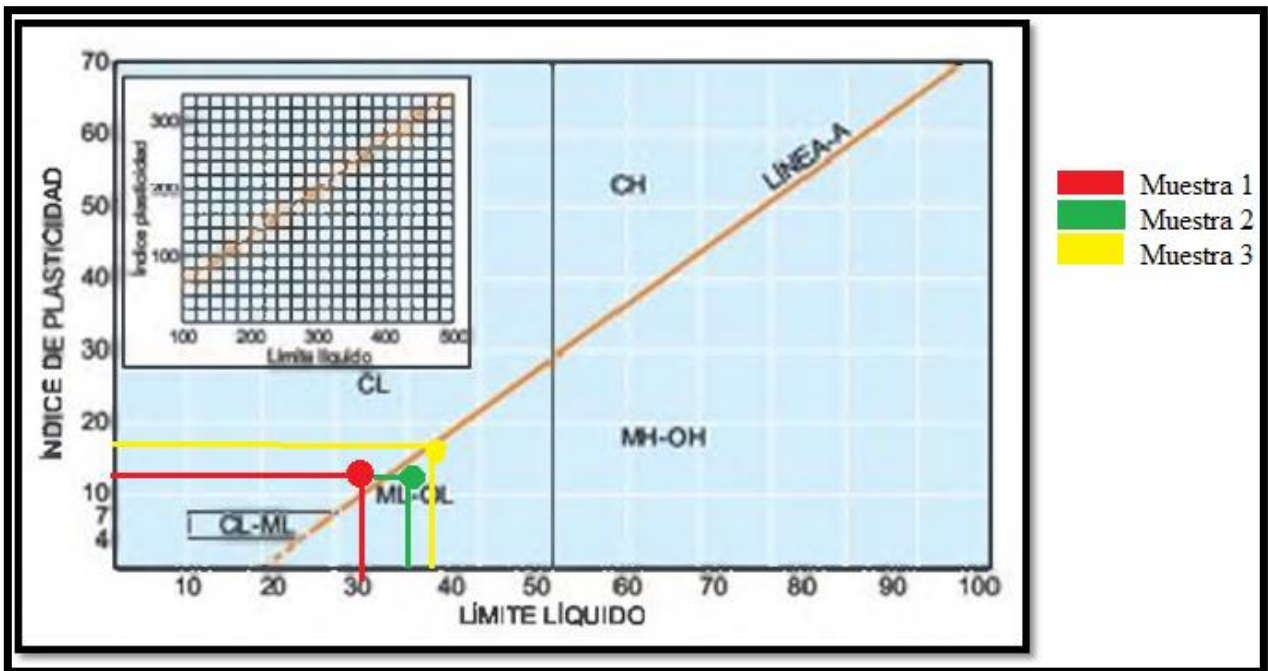


Figura 27. Carta plasticidad de Casagrande en la cual se define la zona a la que pertenece cada muestra tomada del talud.

Usando el criterio de baja y alta plasticidad, la línea “A” en la carta de Casagrande y el sistema unificado de clasificación de suelo se obtiene que para el Miembro Órganos de la sección uno la muestra 1 se define como una arcilla arenosa de plasticidad baja a media, mientras que las muestras 2 y 3 se clasifican como arcillas y arenas muy finas con ligera plasticidad.

### 7.3 Proctor

Los análisis realizados se presentan de forma detallada en el Apéndice C.

Tabla 4.

*Resultados del Proctor modificado realizado para cada una de las muestras.*

Muestra	Densidad máxima (Kg/m <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
Muestra 1	1,94	12
Muestra 2	2,08	6,74
Muestra 3	0,948	7,3
Muestra 4	0,990	7

La humedad óptima es la cantidad de agua necesaria para poder compactar un suelo y la densidad máxima que un suelo puede presentar para que sea apto para una construcción de infraestructura debe estar en el rango de 1,8 a 2,1 Kg/m<sup>3</sup>. Según lo anterior, para el Miembro Órganos que aflora en la sección uno, la muestra 1 y la muestra 2 presentan una densidad que los hace aptos para la realización de infraestructura, mientras que la muestra 3 y la muestra 4, al llevarlas al porcentaje de humedad optima presentan una densidad muy baja, lo cual hace que el suelo sea malo al momento de compactarlo.

## 7.4 Corte directo

Los análisis realizados se presentan de forma detallada en el Apéndice D.

Tabla 5.

*Resultados análisis corte directo necesarios para realizar la caracterización de cada nivel y hacer el modelamiento en el software de Slide, y de tal forma analizar la estabilidad que presenta el talud.*

Muestra	Ángulo fricción	Cohesión	
		(g/Cm <sup>2</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )
Muestra 1	28	616,37	6164
Muestra 2	54	69,275	693
Muestra 3	38	108,35	1084
Muestra 4	37	161,64	1616

## 7.5 Análisis cualitativo de arcillas

### DRX “Air Dried”

- Muestras sometidas a Calcinación

En la calcinación realizada para la muestra 1, muestra 2 y muestra 4 del Miembro Órganos que aflora en la sección uno del talud, se confirmó la presencia de caolinita.

Las gráficas con los resultados obtenidos para cada muestra se presentan en el Apéndice E.

- Muestras sometidas a la adición de Etilenglicol

Al adicionar etilenglicol a la muestra 1, muestra 2 y muestra 4 se corrobora la existencia de material esmectítico expandible lo cual puede representar un problema al utilizar los materiales para llevar a cabo obras de infraestructura urbana o vial; ya que ocasionaría agrietamientos, rotura de la cimentación, deformación en pavimentos e inclusive fracturas en las redes de agua.

Las gráficas con los resultados obtenidos para cada muestra se presentan en el Apéndice F.

### **DRX “Bulk”**

Según los resultados obtenidos en el DRX “Bulk”, los minerales presentes en cada una de las muestras son:

#### Muestra 1:

- Cuarzo = (SiO<sub>2</sub>)
- Moscovita = (K Al<sub>2</sub> 2 (Si<sub>3</sub> Al) 0.975 O<sub>10</sub> ((OH) 1.72 O<sub>0</sub> 28))
- Albita = (Al Si<sub>3</sub> O<sub>8</sub>)
- Ortoclasa = (K Al SiO<sub>3</sub> O<sub>8</sub>)
- Clorita = (Mg<sub>5</sub>O Al 0.96 Si<sub>3.04</sub> O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>)
- Montmorillonita = ( MgO Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 5 SiO<sub>2</sub> X H<sub>2</sub>O)
- Caolinita = (Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (OH)

#### Muestra 2

- Cuarzo = (SiO<sub>2</sub>)
- Moscovita = (K Al<sub>3</sub> Si<sub>3</sub> O<sub>10</sub> (OH)<sub>2</sub>)

- Albita =  $(Al Si_3 O_8)$
- Caolinita =  $(Si_2O_5) (OH)_4$
- Montmorillonita =  $(MgO Al_2 O_3 5 SiO_2 X H_2O)$

#### Muestra 3:

- Cuarzo =  $(SiO_2)$
- Moscovita =  $(K Al_2 (Al Si_3 O_{10} (OH)_2)$
- Caolinita =  $(Si_2O_5) (OH)_4$

#### Muestra 4:

- Cuarzo =  $(SiO_2)$
- Moscovita =  $(K Al_2 (Si_3 Al) O_{10} (OH)_2)$
- Caolinita =  $(Si_2O_5) (OH)_4$
- Microclina =  $(K Al Si_3 O_8)$
- Feldespato =  $(Al Si_3 O_8)$
- Albita =  $(Al Si_3 O_8)$

Se presentan minerales en común como el cuarzo, caolinita y moscovita para la muestra 1, muestra 2, muestra 3 y muestra 4. La albita es un mineral en común para la muestra 1, muestra 2 y muestra 4, mientras que la Montmorillonita solo aparece para la muestra 1 y muestra 2. Minerales específicos como la ortoclasa está presente en la muestra 1 y la microclina en la muestra 4.

Las gráficas con los espectros obtenidos para cada mineral en cada una de las muestras de la sección uno del talud se presenta en el Apéndice E.

### 7.6 Erosión de las cárcavas

Para el control de la erosión que se presenta en las cárcavas, se eligieron tres “cárcavas control” (Figura 28), las cuales fueron medidas después de periodos de lluvia bajos o intensos y en unos intervalos de tiempo seco en el nivel dos del Miembro Órganos que aflora en la sección uno (Tabla 6).

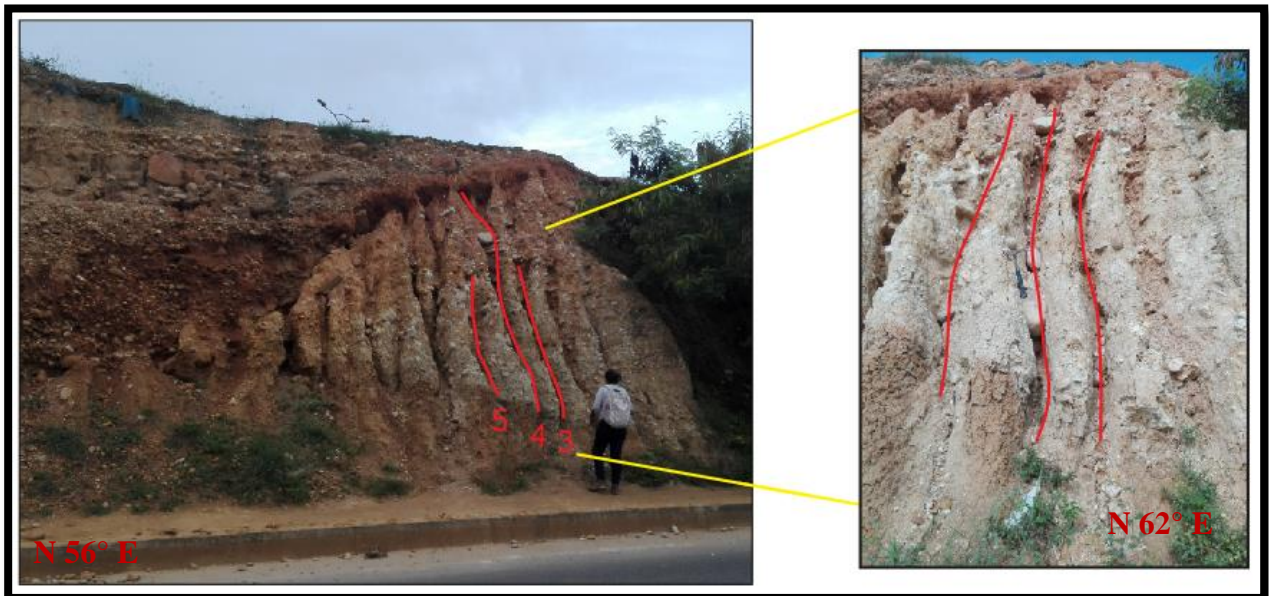


Figura 28. Cárcavas 3, 4 y 5 utilizadas para realizar el control de las medidas durante los periodos secos y de escorrentía registrados.

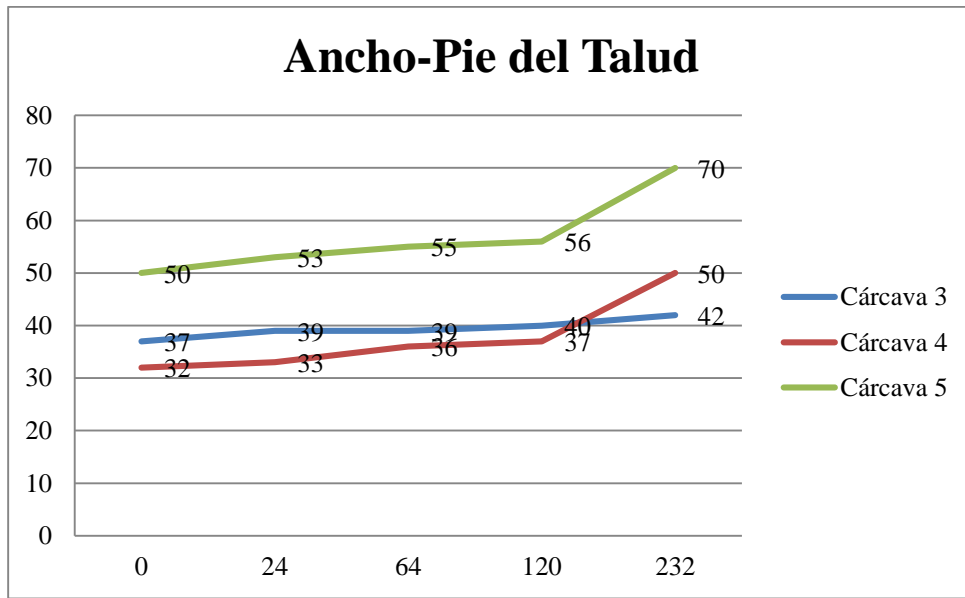
Según la (CLIMATE DATA.ORG, 2017), el Municipio de Girón presenta dos periodos de tiempo seco que van de Diciembre a Febrero y de Junio a Agosto, mientras que los dos periodos de lluvia se ubican de Marzo a Mayo y de Septiembre a Noviembre. Los meses con mayor precipitación registrada son: abril con 149 mm, Octubre con 182 mm y noviembre con 133 mm.

Tabla 6.

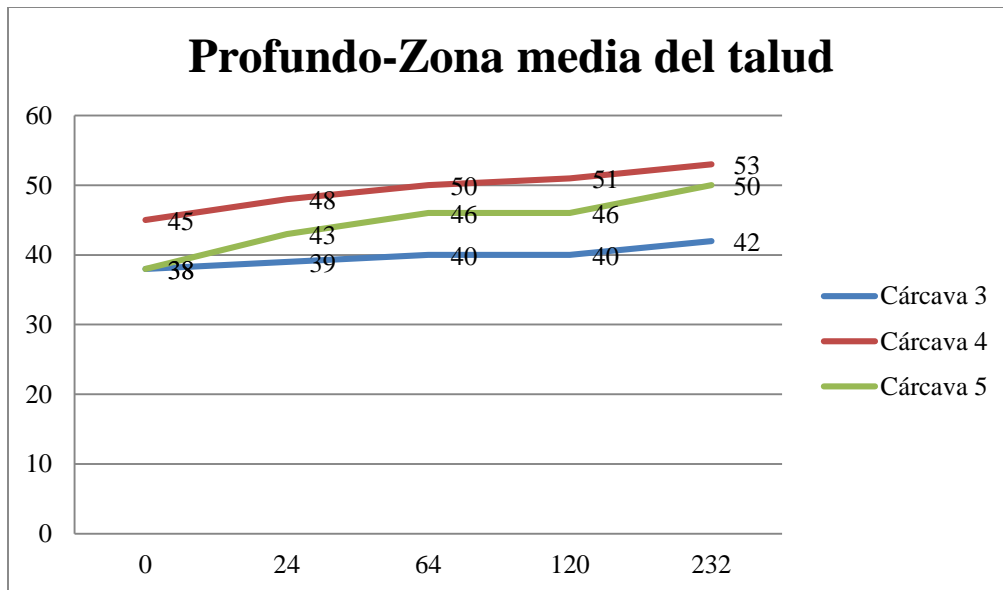
*Registro de la erosión generada en las cárcavas del talud en los diferentes periodos del año.*

Cárcava		Temporada de lluvia				Temporada seca				Temporada de lluvia	
		Abril 5		Abril 29		Junio 8		Agosto 3		Noviembre 23	
		Zona Media Talud (Cm)	Pie del Talud (Cm)	Zona Media Talud (Cm)	Pie del Talud (Cm)	Zona Media Talud (Cm)	Pie del Talud (Cm)	Zona Media Talud (Cm)	Pie del Talud (Cm)	Zona Media Talud (Cm)	Pie del Talud (Cm)
N°3	Ancho	39	37	40	39	41	39	41	40	50	42
	Profundo	38	40	39	42	40	43	40	43	42	46
N°4	Ancho	30	32	40	33	42	36	42	37	60	50
	Profundo	45	49	48	52	50	54	51	54	53	57
N°5	Ancho	47	50	50	53	52	55	53	56	67	70
	Profundo	38	41	43	46	46	47	46	48	50	60

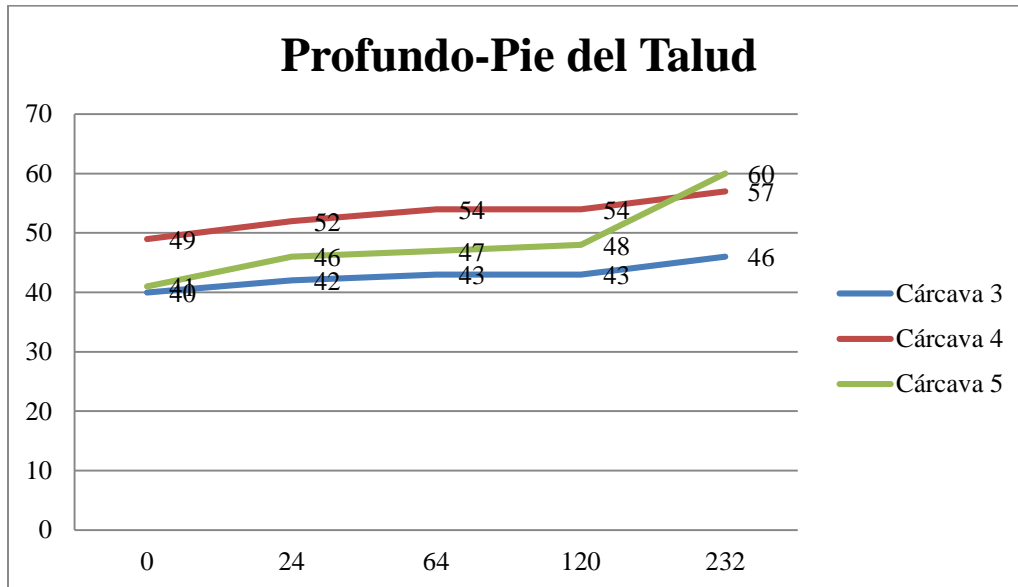
En la zona media del talud el ancho de la cárcava 3 incremento un 31,5%, de la cárcava 4 se acrecentó en un 100% y de la cárcava 5 aumentó un 57% en 232 días.



En el pie del talud el ancho de la cárcava 3 incremento un 13,5%, de la cárcava 4 se acrecentó en un 56,2% y de la cárcava 5 aumentó un 40% en 232 días.



En la zona media del talud la profundidad de la cárcava 3 incremento un 10,5%, de la cárcava 4 se acrecentó en un 17,7% y de la cárcava 5 aumentó un 31,57% en 232 días.



En el pie del talud la profundidad de la cárcava 3 incremento un 15%, de la cárcava 4 se acrecentó en un 16,3% y de la cárcava 5 aumentó un 46,34% en 232 días.

Los datos medidos anteriormente permiten identificar que la cárcava que sufrió mayor pérdida de material a lo ancho es la número 4, seguida de la cárcava 5 y posteriormente la cárcava 3. En cuanto a la profundidad, la cárcava que más se ahondo fue la número 5, y posteriormente estuvo la cárcava 4 y cárcava 3. Por lo anterior, se identifica el agua como el mayor agente erosivo en la zona y el principal factor a controlar.

## 7.7 Estabilidad del talud

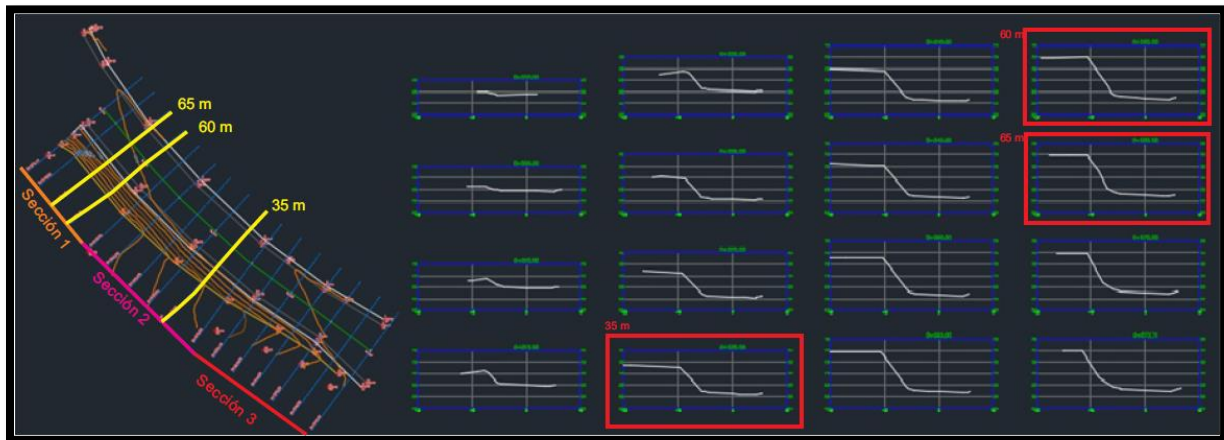


Figura 29. A mano derecha se puede observar el levantamiento topográfico realizado al talud y los respectivos cortes transversales realizados cada 5 metros, mientras que a mano derecha se observa el perfil resultante del talud en cada punto.

Debido a las diferentes características que se presentaban a lo largo del talud se realizó un levantamiento topográfico de oriente a occidente para tener una mayor certeza de las dimensiones de la sección 1, sección 2 y sección 3 (Figura 29). En total el talud tubo un largo de 73,71 m y un alto de 7 m aproximadamente en su punto más alto; en donde los suelo de rellenos antrópicos tiene una longitud de 28 m, el suelo coluvial antiguo con una longitud de 27 m, el miembro órganos una longitud de 11,5 m y la parte acuñada del miembro órganos una longitud de 7.21 m.

Para evaluar la estabilidad del talud, se escogieron 3 perfiles de los 16 realizados por el topógrafo; el primero pertenece al suelo coluvial antiguo y se ubica a 35 m de longitud, para el miembro órganos se tomaron dos perfiles, el primero no tiene en cuenta el acuñamiento y se localiza a 60 m y el segundo esta sobre el nivel acuñado y se encuentra a los 65 m.

A cada perfil se le evaluaron cuatro condiciones denominadas: condición actual, condición con sismo, condición con saturación y, condición con sismo y saturación. En cada condición se consideraron los Factores de Seguridad (FS) obtenidos a través de los métodos: Bishop, Janbu, Fellenius y Spencer.

El modelamiento se realizó utilizando el software de Slide, versión 5.0 y 6.0 y, bajo el direccionamiento del señor Héctor Hernández, Geólogo de la Alcaldía de Girón en el sector de planeación.

Para el modelamiento se necesitaron los datos obtenidos a través del laboratorio de corte directo; en el cual se encontró la cohesión, el ángulo de fricción y la densidad húmeda característica de cada material en el talud y teniendo en cuenta que el FS para un talud estático es mínimo de 1.2 y para un talud dinámico es mínimo de 1.05, se obtienen los siguientes resultados:

### Sección 1

- Miembro Órganos (Qbo). Perfil a 65 m de oriente a occidente en el talud.

Tabla 7.

*Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 1, nivel 2 y nivel 3.*

Perfil a 65 m			
Secciones	$C$ (Kn/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)	$\rho_{Hu}$ (Kn/m <sup>3</sup> )
Nivel 1	60,64	28	19,5
Nivel 2	6,8	40	18,3
Nivel 3	10,63	38	17,1

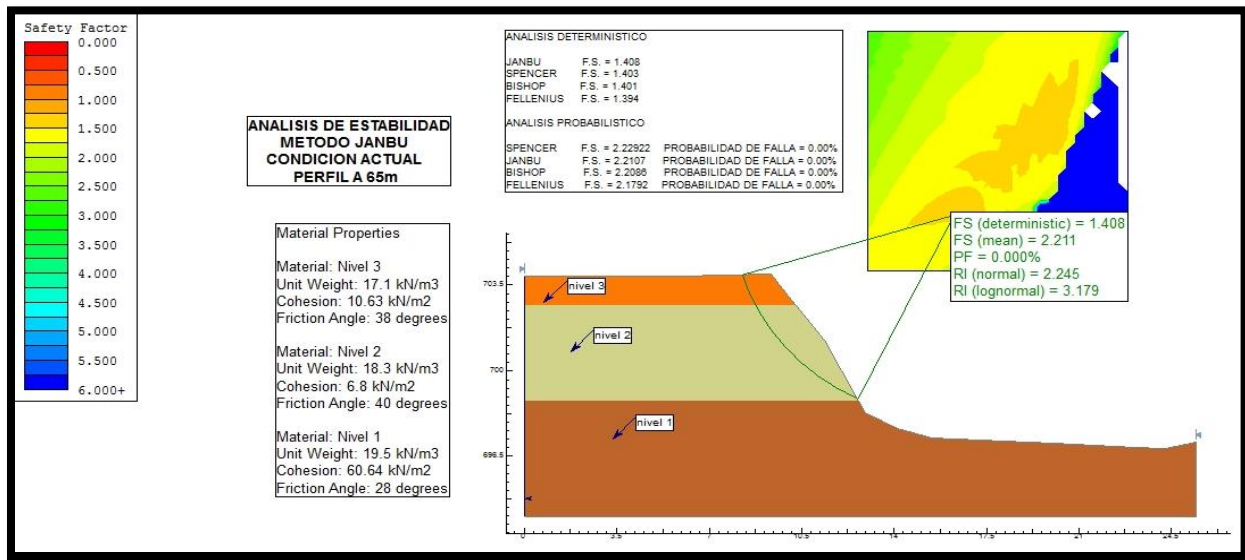


Figura 30. Condiciones actuales en las cuales se evidencia un FS de 1.408 según el método de Janbu

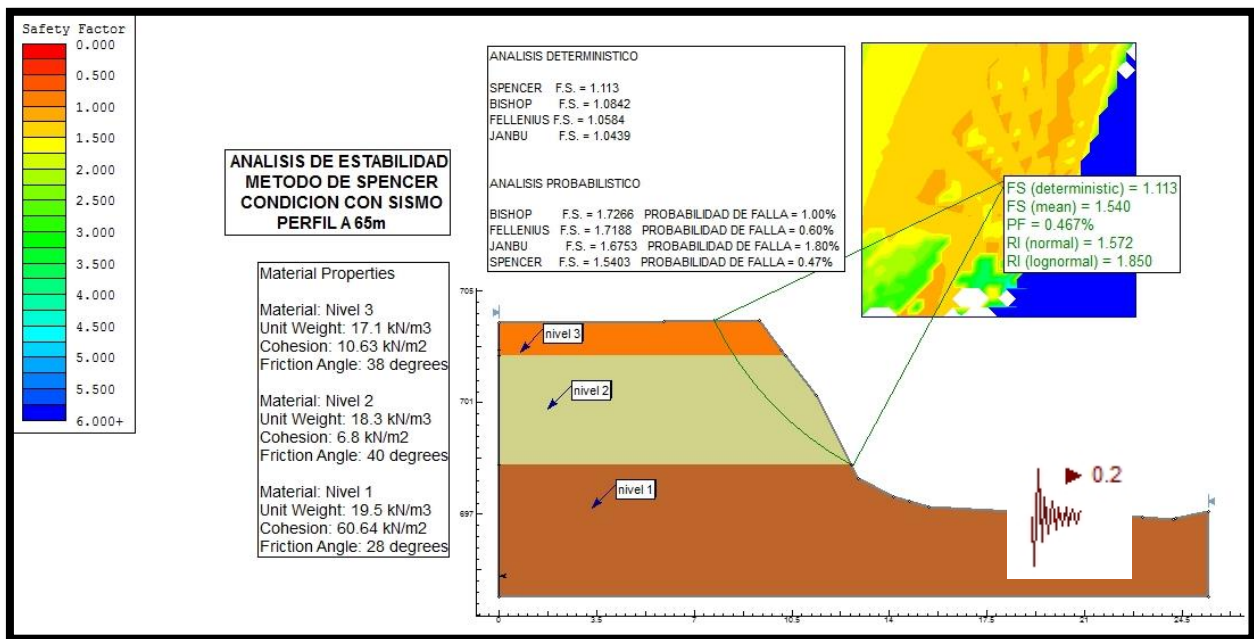


Figura 31. Condición con sísmica en las cuales se evidencia un FS de 1.113 según el método de Spencer.

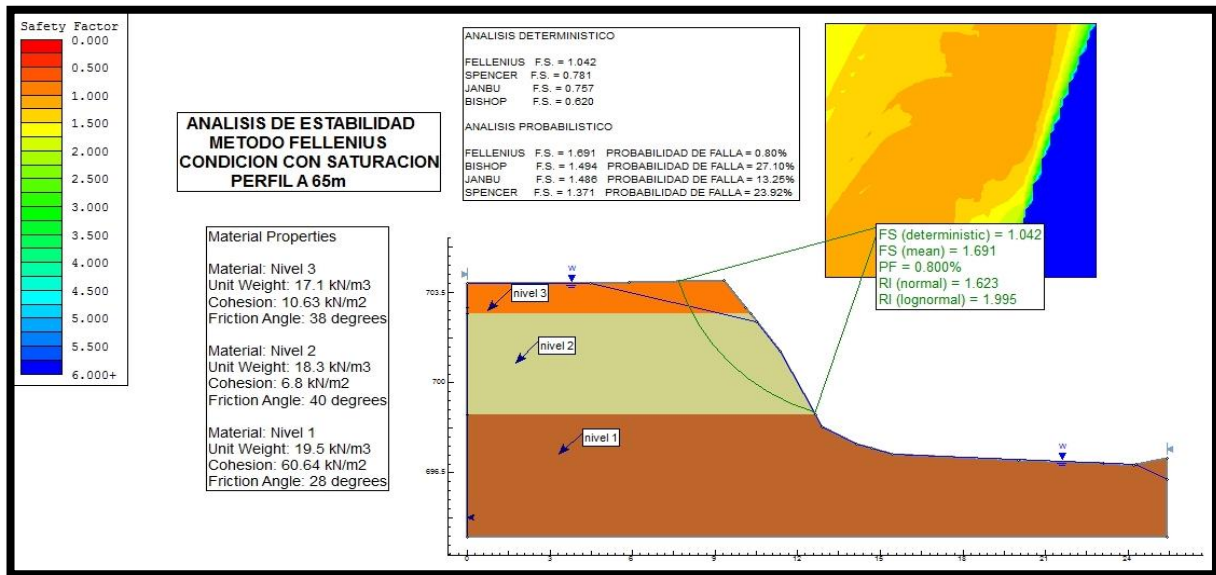


Figura 32. Condición con saturación en la cual se evidencia un FS de 1.042 según el método de Fellenius.

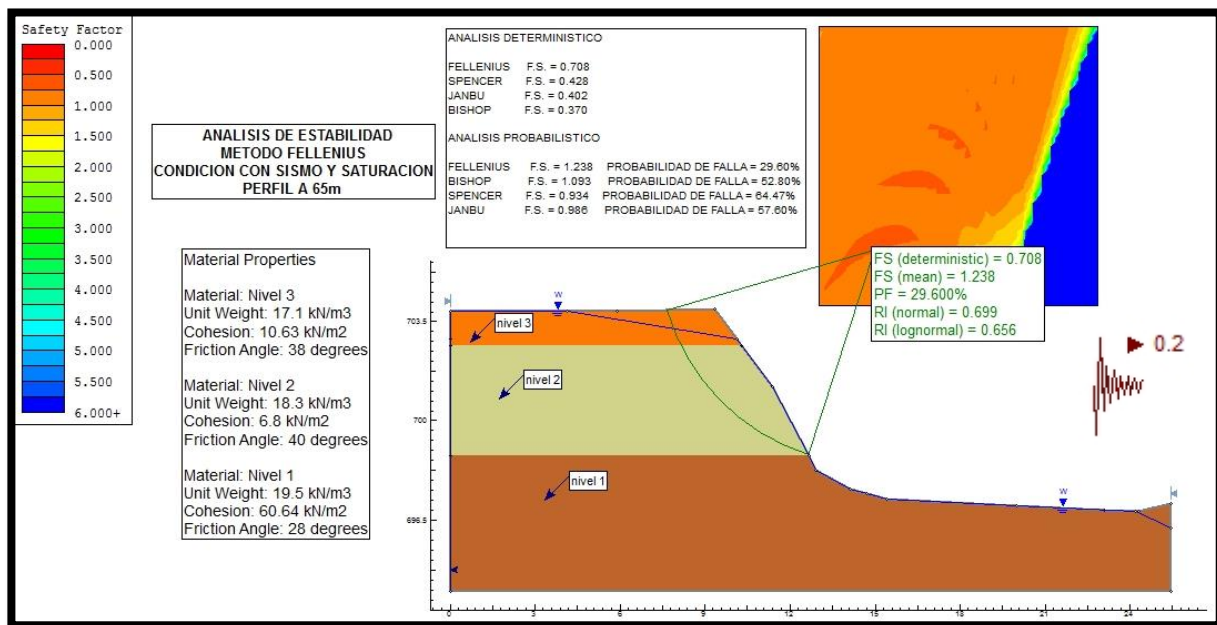


Figura 33. Condición con sísmica y saturación en la cual se evidencia un FS de 0.708 según el método de Fellenius.

Los factores de seguridad obtenidos para las condiciones estáticas o actuales son: 1.408, 1.403, 1.401 y 1.394 lo cual representa que el talud es estable. Para el modelamiento con sismica se registraron factores de seguridad de 1.113, 1.084 y 1.043 lo cual indica que el talud no presenta inestabilidad pero, para la posibilidad de saturación se registran FS de 1.042, 0.781, 0.757 y 0.620, y para el modelamiento con sismo-saturación se tienen FS de 0.708, 0.428, 0.402 y 0.370, lo cual representa para estos dos casos una inestabilidad del talud.

- Miembro Órganos (Qbo). Perfil a 60 m de oriente a occidente en el talud.

Tabla 8.

*Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 1, nivel 3 y el lente de arena.*

<b>Perfil a 60 m</b>			
<b>Secciones</b>	<b><math>C</math> (Kn/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Phi</math> (°)</b>	<b><math>\rho_{Hu}</math> (Kn/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Nivel 1</b>	60,64	28	19,5
<b>Nivel 3</b>	10,63	38	17,1
<b>Lente de Arena</b>	15,84	37	21,1

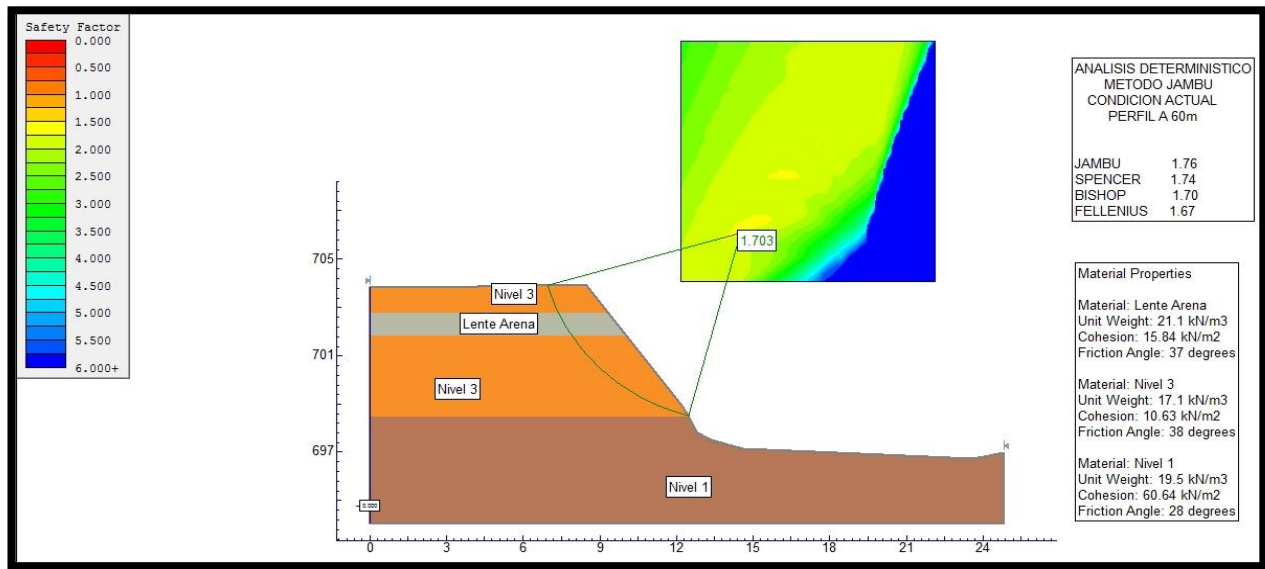


Figura 34. Condiciones actuales en las cuales se evidencia un FS de 1.703 según el método de Janbu.

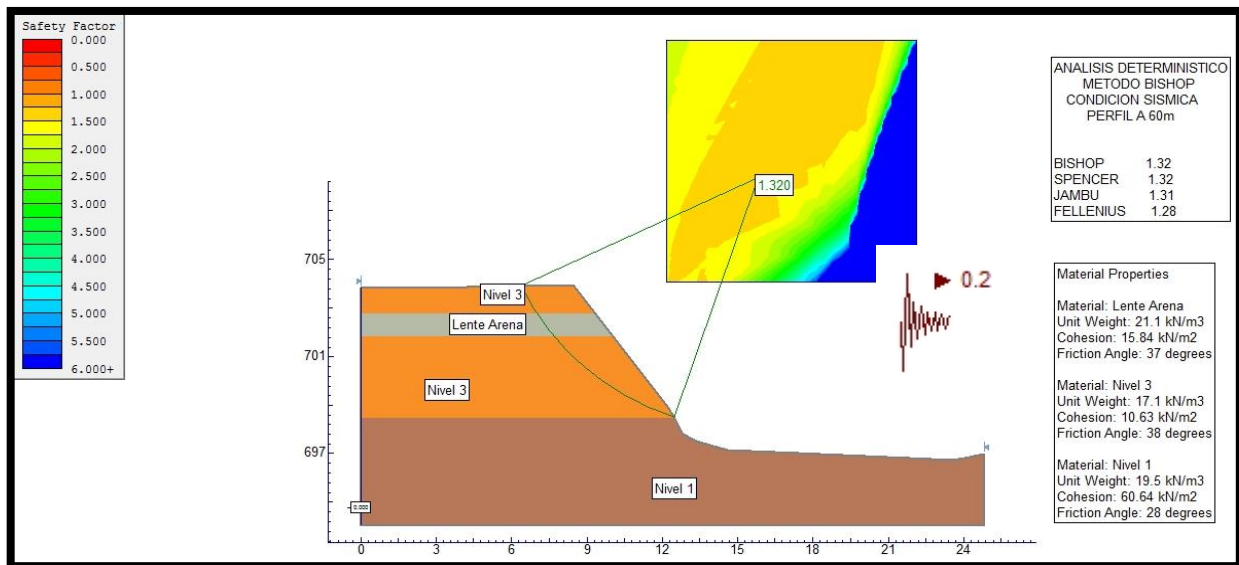


Figura 35. Condición con sísmica en las cuales se evidencia un FS de 1.320 según el método de Bishop.

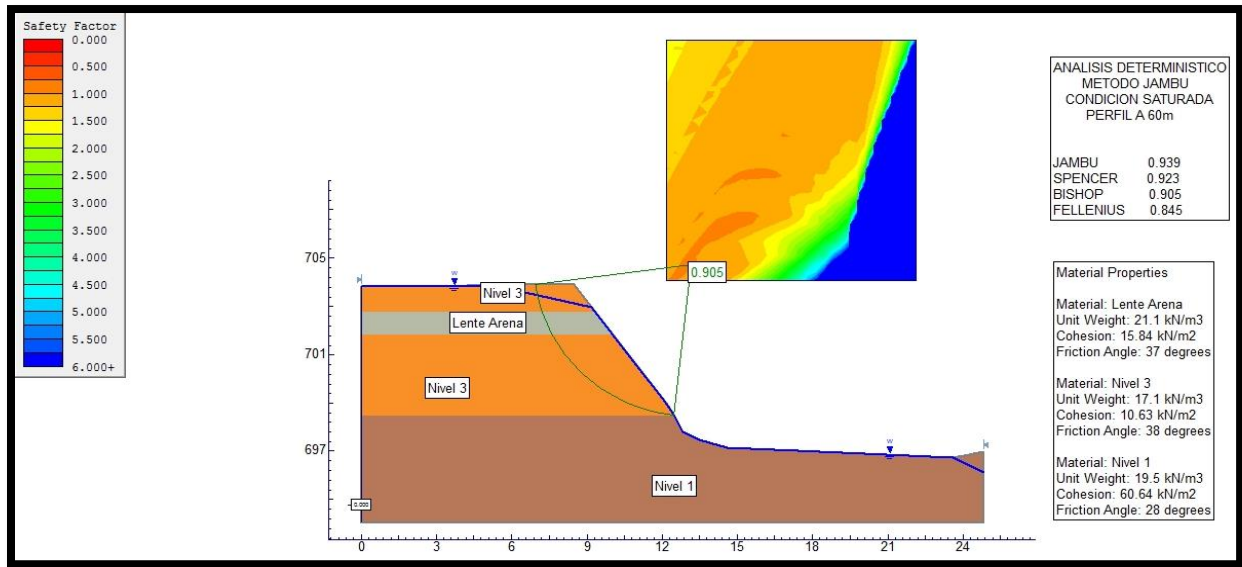


Figura 36. Condición con saturación en la cual se evidencia un FS de 0.905 según el método de Janbu.

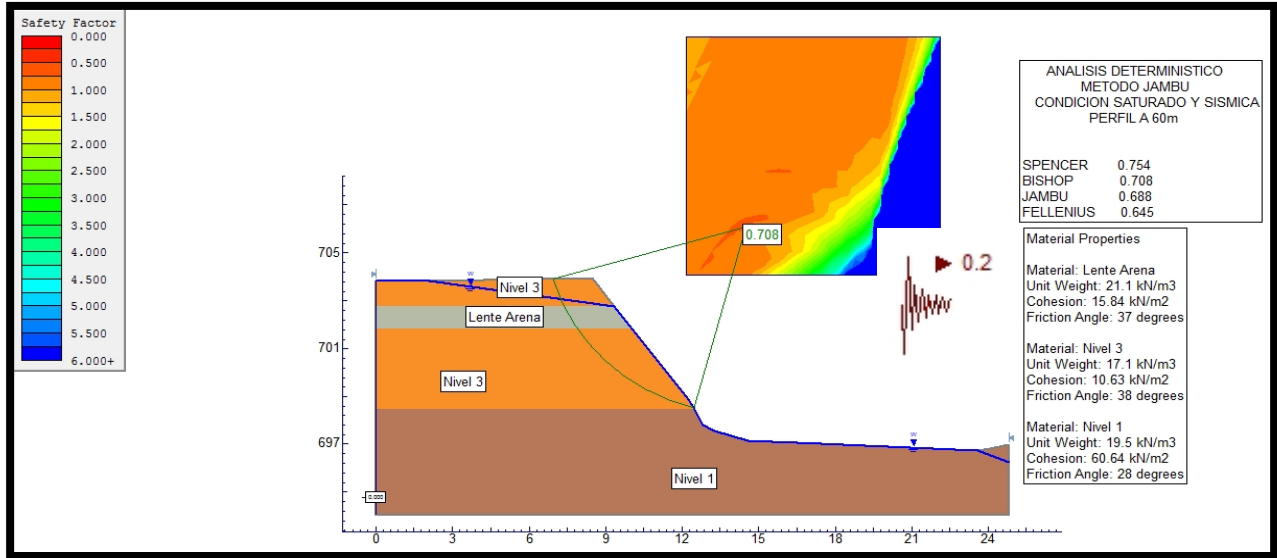


Figura 37. Condición con sísmica y saturación en la cual se evidencia un FS de 0.708 según el método de Janbu.

- Perfil a 35 m

Los factores de seguridad obtenidos para las condiciones estáticas o actuales son: 1.76, 1.74, 1.70 y 1.67 lo cual representa que el talud es estable. Para el modelamiento con sísmica se registraron factores de seguridad de 1.32, 1.31 y 1.28 lo cual indica que el talud no presenta inestabilidad pero, para la posibilidad de saturación se registran FS de 0.939, 0.923, 0.905 y 0.845, y para el modelamiento con sismo-saturación se tienen FS de 0.754, 0.708, 0.688 y 0.645, lo cual representa para estos dos casos una inestabilidad del talud.

## Sección 2

- Suelos Coluviales Antiguos (Sco2). Perfil a 35 m de oriente a occidente en el talud.

Tabla 9.

*Datos de cohesión, ángulo de fricción y densidad húmeda para el nivel 4.*

Perfil a 35 m			
Secciones	$C$ (Kn/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (°)	$\rho_{Hu}$ (Kn/m <sup>3</sup> )
Nivel 4	5	32	18,5

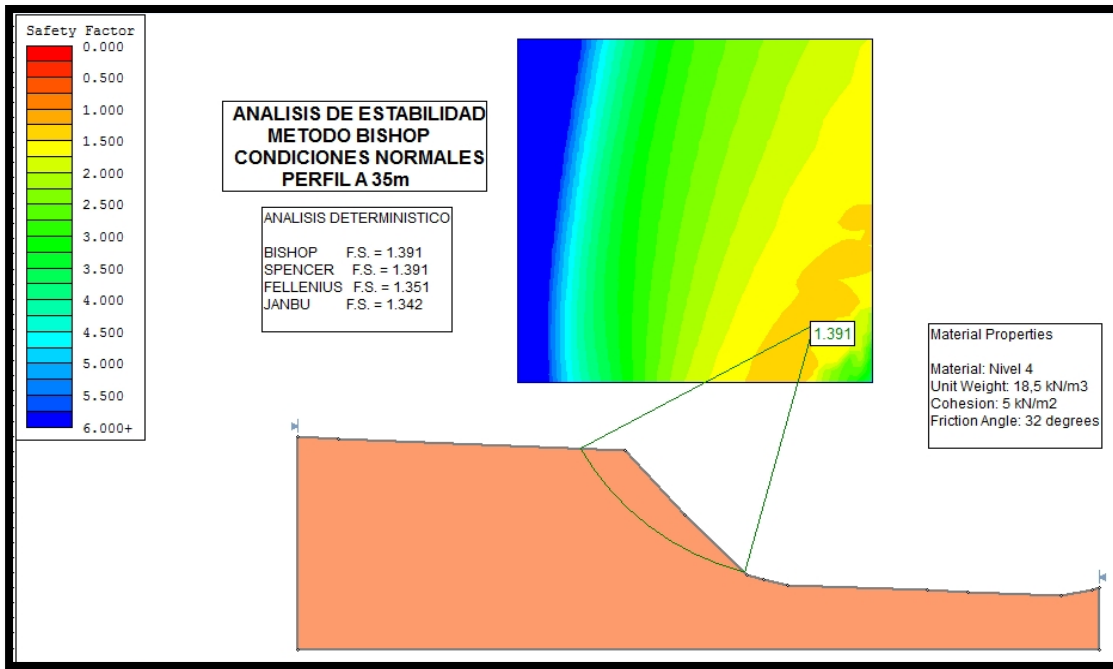


Figura 38. Condición actual con un FS de 1.391 según el método de Spencer.

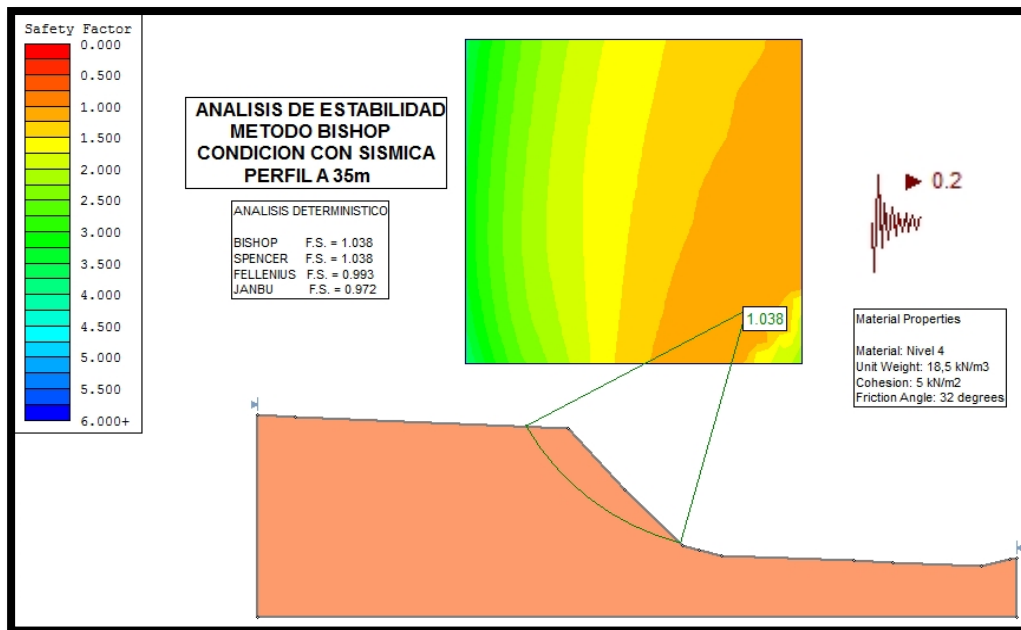


Figura 39. Condición con sísmica en la cual se evidencia un FS de 1.038 según el método de Bishop.

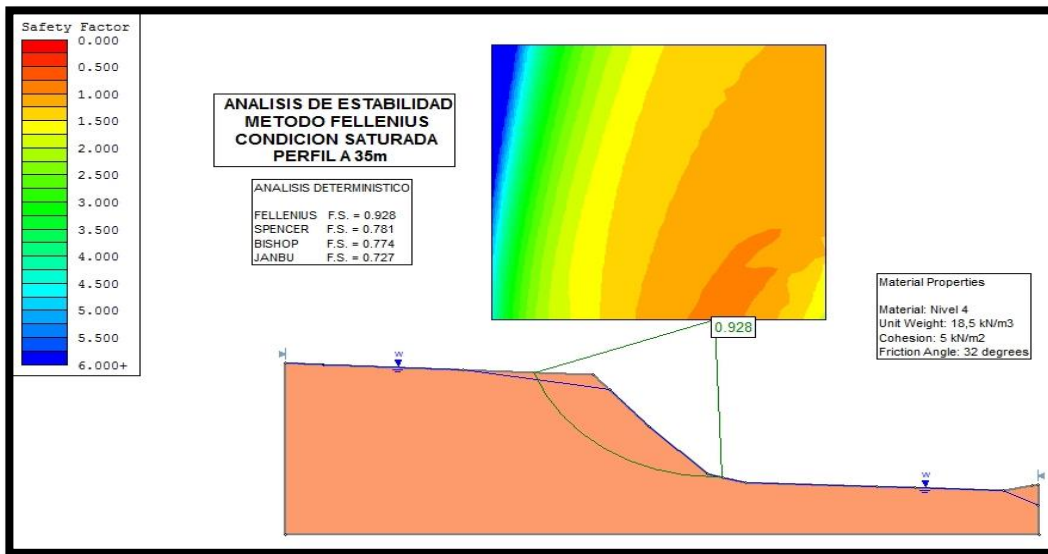


Figura 40. Condición con saturación de agua en la cual se evidencia un FS de 0.928 según el método de Fellenius.

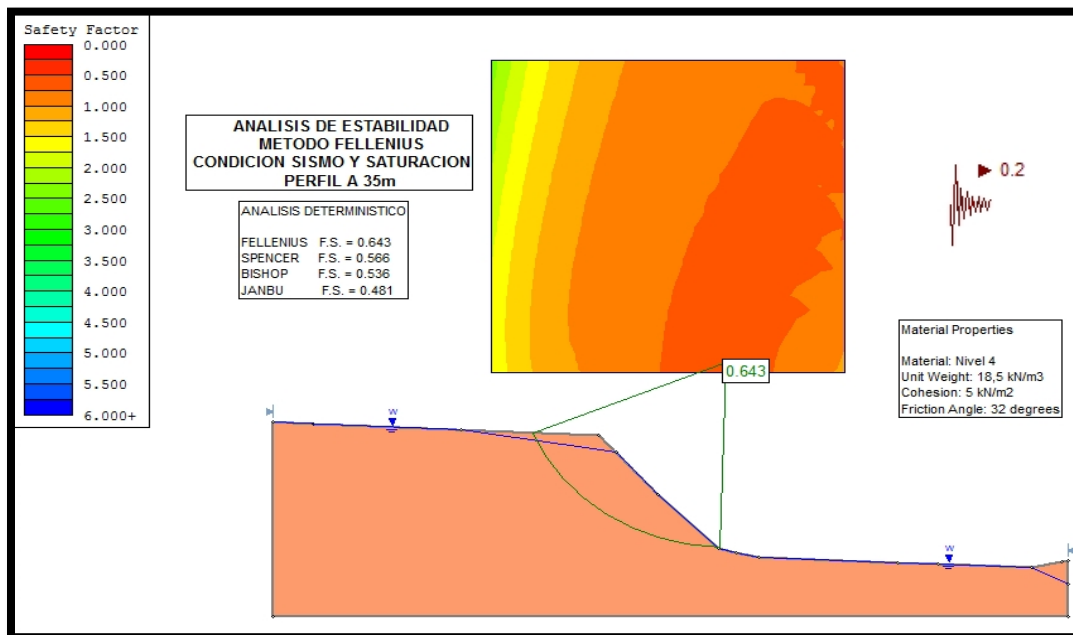


Figura 41. Condición saturada y con sismo en la cual se evidencia un FS de 0.643 según el método de Fellenius.

Los factores de seguridad obtenidos para las condiciones estáticas o actuales son: 1.76, 1.74, 1.70 y 1.67 lo cual representa que el talud es estable. Para el modelamiento con sismica se registraron factores de seguridad de 1.32, 1.31 y 1.28 lo cual indica que el talud no presenta inestabilidad pero, para la posibilidad de saturación se registran FS de 0.939, 0.923, 0.905 y 0.845, y para el modelamiento con sismo-saturación se tienen FS de 0.754, 0.708, 0.688 y 0.645, lo cual representa para estos dos casos una inestabilidad del talud.

Los datos totales obtenidos en cada uno de los modelamientos realizados para las secciones uno y dos se adjuntan en el Anexo 6.

## **8. Diagnostico geotécnico**

El talud se encuentra sometido a procesos erosivos producto de la esorrentía. Para controlar la erosión se deben diseñar obras de prevención, control y remediación las cuales aumentaran el factor de seguridad y disminuyen los niveles de amenaza y riesgo. (Suarez, 2009, pág. 305)

Existen diversos métodos sintéticos y naturales para mitigar el daño causado a un talud. Por ende, a partir de las características geotécnicas de los materiales presentes en el talud se proponen las siguientes soluciones; estas deben estar aprobadas por un ingeniero civil, quien elegirá la obra más adecuada para el control de la erosión.

- Concreto lanzado y diseño de drenaje

Se recomienda realizar un revestimiento de concreto lanzado sobre la superficie del talud cuyo principal objetivo es actuar como un refuerzo superficial para ayudar a minimizar el desprendimiento de bloques, la resistencia a la tensión y el deterioro de la superficie de los taludes (Suarez, 2009, pág. 344) Acompañado de orificios o lloraderos los cuales facilitarían el drenaje de aguas subterráneas. (Suarez, 2009, pág. 40), esta estructura se debe complementar con un drenaje superficial tipo zanjas de coronación para interceptar las aguas de escorrentía, conducir las al canal existente en la parte posterior del talud y que pertenece a la quebrada las Macanas.

El drenaje superficial no se debe construir tan cerca del borde superior del talud ya que esta se puede convertir en un agente erosivo (Suarez, 2009). Además, se debe tener cuidado con los niveles 1 y 2 al realizar esta obra de infraestructura ya que contienen material esmectítico expandible, lo cual podría ocasionar problemas de inestabilidad generando daños en la infraestructura recomendada.



Figura 42. Ubicación de la posible solución 1 en el talud. Imagen a mano izquierda. Adaptada de Google Earth

- Malla anclada, revegetalización y diseño de drenaje.

Se sugiere elaborar una revegetalización teniendo en cuenta una sucesión entre pasto Vetiever (*Chrysopogon Zizanioides*) y Maní Forrajero (*Arachis Pintoi*) sobre la superficie del talud. Estas especies son recomendadas debido a la tolerancia que presentan a las condiciones climáticas del municipio de Girón, a la adaptabilidad de suelos desde arcillas hasta gravas y a la tolerancia a ambientes tanto alcalinos como ácidos (Suarez, 2009, pág. 308). Se aconseja complementar con un drenaje superficial tipo zanja de corona el cual se debe ubicar en la parte superior del talud para interceptar y conducir de manera adecuada las aguas de escorrentía y así evitar el paso del agua al talud. (Suarez, 2009, págs. 428-430) Además, se recomienda la implementación de una malla anclada para impedir el movimiento de bloques de pequeño y gran tamaño a la vía pública.



Figura 43. Localización de la posible solución 2 en el talud. Adaptada de Google Earth

## 9. Conclusiones

En la zona de estudio se identificaron cinco niveles los cuales se describen de base a techo como suelo arcilloso (Sf13), suelo arenoso (Sft4) y suelo gravoso (Sft3) pertenecientes al miembro órganos, Suelo coluvial antiguo (Sco2) provenientes de la Formación Girón y Suelo de relleno antrópico (Sla).

El Miembro Órganos aflorante en la sección 1 está asociado a la zona distal del abanico de Bucaramanga, determinando como fuente principal de sedimentos las rocas ígneo- metamórficas y sedimentarias del macizo de Santander, asociándolas a un ambiente de tipo Fluvial. En cuanto a los suelos coluviales antiguos su procedencia deriva de la Formación Girón producto de las fuertes lluvias y el transporte por medio de quebradas secundarias, relacionado con un ambiente fluvial.

Según el análisis granulométrico obtenido a partir del software de clasificación del laboratorio de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, de la sección 1 perteneciente a los niveles del miembro órganos predominan las arenas arcillosas (Sc) y en menor cantidad las gravas limosas (Sm).

Por medio del ensayo de Límites de Atterberg se logró definir las plasticidades para cada uno de los niveles de la sección uno, teniendo como resultado de base a techo: una arcilla arenosa de plasticidad baja a media en el primer nivel y arcillas con arenas muy finas con ligera plasticidad en los niveles dos y tres.

Mediante el análisis de Proctor se obtuvieron los valores de densidad y humedad óptima para el talud, dando como resultado una variación de densidades entre 1,74 y 1,94 con una humedad

optima de 12% para el nivel 1; densidades entre 2,03 a 2,08 con una humedad optima de 6,74 para en el nivel 2; una alternancia de densidades entre 0,79 a 0,86 con una humedad optima de 7,3 en el nivel 3 y valores de densidades entre 0,82 a 0,99 con una humedad optima de 7 % en el nivel 4 correspondiente al lente de arena.

A través del análisis cualitativo de arcillas se realizó el reconocimiento de minerales arcillosos para el Miembro Órganos de la Formación Bucaramanga dando como resultado la presencia de caolinita para el nivel 1, nivel 2 y nivel 4. Además, se registra material esmectítico expandible en el nivel 1 y el nivel 2 lo cual generaría un problema en el momento de utilizarse para obras de infraestructura.

Por medio del software Slide versiones 5,0 y 6,0 se elaboró el modelamiento de 3 perfiles en condiciones dinámicas, estáticas y saturadas, estos dieron como resultado un factor de seguridad de 1,342 a 1,76 en condiciones estáticas, un FS en condiciones dinámicas entre 1,11 a 1,32, valores de factor de seguridad de 0,620 a 1,042 en condiciones de saturación y valores de factor de seguridad de 0,370 a 0,754 en condiciones de saturación y condiciones dinámicas. Como resultado el talud se mostró estable en los 3 perfiles en situaciones estáticas y dinámicas, solo presenta inestabilidad en el caso de solo saturación o al combinarla con carga sísmica.

Teniendo en cuenta que las variaciones en el ancho de las cárcavas control se encuentra entre 13,5% (cárcava 3) y 100% (cárcava 4), y que los cambios en la profundidad van desde 10,5% (cárcava 3) hasta 46,3% (cárcava 5); se concluye que los periodos que registran mayor erosionabilidad se relacionan directamente a los periodos de precipitación en el municipio de Girón, lo cual determina el agua como el principal agente erosivo del talud.

El talud en el área de estudio no muestra señales de inestabilidad, presenta efectos erosivos generados por la precipitación, para ello se propone desarrollar dos tipos de obra las consisten en:

- Mallas ancladas, revegetalización y diseño de drenaje.
- Concreto lanzado y diseño de drenajes.

## 10. Recomendaciones

Para llevar a cabo las obras para el control de la erosión se deben tener en cuenta los análisis realizados a los niveles del talud. Además, se recomienda hacer un estudio de caracterización de suelos, esto se realiza para asegurarse que los pastos tengo un correcto prendimiento.

Realizar obras de control de erosión e inspección en el talud principalmente en episodios de escorrentía para obtener los resultados deseados y con el menor margen de deterioro en el diseño elaborado. Si se decide optar por la revegetalización en la zona, es necesario que el mantenimiento del pasto se extienda los primeros seis meses para garantizar la adaptación al suelo.

Se recomienda a la escuela de Geología de la universidad industrial de Santander reevaluar el pensul de la carrera debido a que no se encuentran las materias necesarias para ejecutar diferentes actividades y esto dificulta el desempeño de los estudiantes. Por ende, es necesario que se brinden los espacios para el desarrollo profesional adecuado.

Se recomienda a la alcaldía del municipio de Girón realizar un mejoramiento de los registros cartográficos para poder contar con un adecuado banco de información.

### Referencias bibliográficas

AMB. (1997). Microzonificación Sísmica. Fase 1. Pág. 25

Castro Fresno, D. (2000). Estudio y analisis de las membranas. Santander: Universidad de Cantabria.

CDMB, & Geotecnología Ltda. (2005). Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro. Bucaramanga.

CDMB, & M&CI, C. (2010). plan general para el control de la erosión.

CDMB, INGEOMINAS, Alacaldia de Giron, Alacaldia de Bucaramanaga, Alacaldia de Piedecuesta, & Alacaldia de Floridablanca. (2007). Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Bucaramaga.

Cediel , F. (1968). Grupo Giron, una molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental. Boletin Geologico.

Centro de Estudios Regionales - UIS. (s.f.). Plan de Ordenamiento Territorial de San Juan de Girón 2000-2009.

CLIMATE DATA.ORG. (23 de Noviembre de 2017). Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/29211/>

Duque Escobar, G.. (2016). Manual de geologia para ingenieros. Manizales.

Escobar González, D. H., & Orduña Camacho , L. (2014). Viabilidad de la implementación del pasto vetiver.

- González de Vallejo , L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica Madrid: Pearson Education.
- Grupo de geotecnia (Facultad de Minas). (s.f.). Compactación proctor modificado. Pág. 4.
- Grupo Empresarial Grodco y Autopistas de Santander S.A. (2006-2012). memoria técnica tramo 1 - Zona Metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga. Pág. 4
- Howard, J. (1993). The statistics of counting clasts in ruditas: as review, with examples from the Paleogene of southern California: Sedimentology.
- INGEOMINAS. (2001). Zonificación sismogeotécnica indica del área metropolitana DE Bucaramanga . Bogota.
- INGEOMINAS. (2007). Zonificación de amenazas por movimientos en masas de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Florida, Giron y Piedecuesta. Bucaramanga.
- INGEOMINAS. (2008). Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. Bogotá.
- Instituto Nacional de CONCESIONES "INCO" y Autopista de Santander S.A. (2006-2012). Volumen I - Informes final de estudios y diseños zona metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga. Pág. 9.
- Julivert, M. (1958). La morfoestructura de la zona de las mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A). 13.
- La Erosión - Conceptos Básicos (2013) . Pág. 1.
- Lima Amara, M., & Mediana Ramos , J. (2015). Evolución climática registrada y estratigrafía del miembro organos de la formación Bucaramanga. Bucaramanga. Pág. 25.

- Marin Nieto , H., Cardona Botero , M., & Suárez Vasquez, S. (1996). Multiplicacion y establecimiento del mani forrajero en cafetales. Avances tecnicos . Pág. 1,2.
- Moore, D. &. (1997). X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay. New York: Oxford University Press. Pág. 65.
- Navas, J. (1963). Estudio Estratigrafico del Giron al W del Santander (Cordillera Oriental Colombia). Boletin de Geologia Univerdidad Industrail de santaner.
- Niño, A. E., & Vargas, G. (1993). Modelo de evolución para el abanico de Bucaramanga. Bucaramanga. Pág. 15.
- Porta, J. (1959). La terraza de Bucaramanga. Boletin Geologico .Pág 32.
- POT Bucaramanga. (s.f.). Obtenido de Plan de ordenamiento territorial del municipio de Bucaramanga: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf>.
- Rincon , A. (1999). Maní Forrajero (*Arachis pintoi*), La leguminosa para sistemas sostenibles de produccion agropecuaria. vilacencio.
- Rochela, L. (Febrero de 2012). La Rochela. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de <http://lamasacrerochela.blogspot.com.co/p/ubicacion-geografica.html>
- Royero Gutiérrez, J. M., & Clavijo, J. (2001). Memoria explicativa del Departamento de Santander.
- Schwab , G., Frevert, R., Edminster, T., & Barnes, K. (1981). Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley and Sons.
- Suárez Díaz , J. (2001). Control de erosion en zonas tropicales. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones.
- Suarez, J. (2009). Deslizamientos: Tecnica de Remediacion . U. Industrial de Santander.
- Valparaiso, U. C. (2004). Corte Directo. Valparaiso

Vanoni, V. (1975). Sedimentation Engineering.