

**DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN
EL KM 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA-TONA, SECTOR VEREDA
CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**KARLA LILIANA NIETO LOZA
XIMENA DEL PILAR DÍAZ DÍAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN
EL KM 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA-TONA, SECTOR VEREDA
CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**KARLA LILIANA NIETO LOZA
XIMENA DEL PILAR DÍAZ DÍAZ**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

**Director
LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA
Ingeniero Civil, M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

*Dedicado a Diosito, quien fue el labrador y guiador
de este camino, en todas las caídas
me dio la fuerza para seguir en pie.*

A mi mamá Edelmira, por ser mi ejemplo de superación y valentía.

A mi papí Carlos, por su apoyo y consejos.

A mi Papo, por ser mi alegría diaria y por sus oraciones.

A mi amigo Jaime, por aguantarme, escucharme y motivarme.

*A todos los ángeles que aportaron a
la culminación de esta meta.*

Karla Lilitiana Nieto Loza

*Dedicado inicialmente a Dios,
por brindarme protección, sabiduría y permitirme
lograr el sueño de ser ingeniera.*

*A mi madre Lilia Díaz y mi abuelo Fidel Díaz,
quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento,
agradezco por sus consejos, sus valores
y la motivación en los momentos más difíciles.*

*A mi hermana y demás familiares
por su gran apoyo y colaboración para poder sacar mi carrera.*

Ximena del Pilar Díaz Díaz

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a Dios por darnos la oportunidad de cumplir esta meta.

Al Director del Proyecto, Luis Alberto Capacho Silva, por compartirnos parte de sus conocimientos y por su acompañamiento en la elaboración de la tesis. Así mismo a los ingenieros Wilfredo del Toro Rodríguez y Héctor Torres por su colaboración y orientación.

También agradecemos a la Universidad Industrial de Santander por permitirnos la utilización de los laboratorios, y a Jairo y German por su cordial ayuda.

A todas aquellas personas que indirectamente fueron participes en cada una de las actividades realizadas.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. JUSTIFICACIÓN..... | 18 |
| 2. OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 19 |
| 3. METODOLOGÍA | 20 |
| 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE. | 20 |
| 3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL TALUD MEDIANTE VISITAS DE CAMPO. | 20 |
| 3.3 ANÁLISIS DE POSIBLES VARIABLES DE INESTABILIDAD. | 21 |
| 3.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN. | 21 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 22 |
| 4.1 GLOSARIO | 22 |
| 4.2 MOVIMIENTOS DE LADERA | 24 |
| 4.2.1 Desprendimientos: | 24 |
| 4.2.2 Deslizamiento:..... | 25 |
| 4.2.3 Expansiones Laterales: | 27 |
| 4.2.4 Flujos:..... | 28 |
| 4.3 FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO | 29 |
| 4.3.1 Factores condicionantes | 31 |
| 4.3.2 Factores desencadenantes | 34 |
| 5. GENERALIDADES DEL ÁREA EN ESTUDIO | 40 |
| 5.1 LOCALIZACIÓN | 40 |
| 5.2 TOPOGRAFÍA | 41 |
| 5.3 CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DEL TALUD Y LA ZONA | 43 |
| 5.4 CARACTERISTICAS CLIMATICAS..... | 45 |
| 5.4.1 Evapotranspiración:..... | 46 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.4.2 | Temperatura:..... | 46 |
| 5.4.3 | Precipitación:..... | 46 |
| 6. | CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS | 50 |
| 6.1 | GEOLOGÍA REGIONAL | 50 |
| 6.1.1 | Rocas metamórficas..... | 51 |
| 6.1.2 | Rocas ígneas | 52 |
| 6.2 | GEOLOGÍA LOCAL | 53 |
| 6.3 | GEOLOGÍA ESTRUCTURAL | 54 |
| 6.3.1 | Sistema de Fallas Bucaramanga..... | 54 |
| 6.3.2 | Sistema de Fallas Suratá | 55 |
| 6.3.3 | Sistema de Fallas Suarez | 56 |
| 6.3.4 | Sistemas de Falla Picacho y Rio Frio..... | 56 |
| 6.4 | GEOMORFOLOGÍA..... | 57 |
| 6.4.1 | Geformas de origen denudacional | 58 |
| 6.4.2 | Morfometría..... | 59 |
| 7. | CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA..... | 61 |
| 7.1 | INFORMACIÓN EXISTENTE | 61 |
| 7.2 | EXPLORACIÓN DE CAMPO..... | 64 |
| 7.2.1 | Ubicación de puntos de toma de muestras | 64 |
| 7.2.2 | Toma de muestras | 65 |
| 7.3 | ENSAYOS DE LABORATORIO..... | 68 |
| 7.3.1 | Procedimiento general | 69 |
| 7.4 | RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO | 74 |
| 7.4.1 | Ensayo de granulometría | 74 |
| 7.4.2 | Ensayo de límites de Atterberg | 75 |
| 7.4.3 | Humedad..... | 75 |
| 7.4.4 | Ensayo de Corte directo..... | 76 |
| 7.5 | CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL SUELO..... | 76 |
| 7.5.1 | Perfiles típicos..... | 78 |
| 8. | ANÁLISIS DE POSIBLES CAUSAS DE INESTABILIDAD..... | 80 |
| 8.1 | FACTORES CONDICIONANTES..... | 80 |
| 8.1.1 | Efecto de agua en la composición mineralógica de la roca..... | 80 |
| 8.1.2 | Pendiente del Terreno..... | 81 |

| | | |
|-------|--------------------------------|-----|
| 8.2 | FACTORES DETONANTES..... | 82 |
| 8.2.1 | Precipitaciones Intensas | 82 |
| 8.2.2 | Eventos sísmicos..... | 85 |
| 8.2.3 | Factor Antrópico | 86 |
| 9. | MODELACIÓN GEOTÉCNICA | 88 |
| 10. | RESULTADOS..... | 94 |
| 11. | MEDIDAS DE MITIGACIÓN | 95 |
| 11.1 | TERRACEO..... | 95 |
| 11.2 | CANALETA..... | 97 |
| 11.3 | VEGETACIÓN | 101 |
| 12. | CONCLUSIONES | 104 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 106 |
| | ANEXOS..... | 109 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Bosquejo desprendimiento de suelos | 25 |
| Figura 3. Esquema de esparcimiento lateral | 28 |
| Figura 4. Esquema de flujo. | 29 |
| Figura 5. Erosión en surcos paralelos..... | 38 |
| Figura 6. Erosión en cárcavas..... | 39 |
| Figura 7. Mapa Localización Talud en estudio. | 40 |
| Figura 8. Topografía Talud en estudio. | 41 |
| Figura 9. Perfiles Topográficos Talud en estudio. | 42 |
| Figura 10. Estado del Talud en estudio..... | 43 |
| Figura 11. Antes y después de la zona del talud en estudio. | 44 |
| Figura 12. Deslizamientos aledaños al talud en estudio. | 45 |
| Figura 13. Curva isoyetas de la microcuenca del río Tona. | 47 |
| Figura 14. Localización de estación La Galvicia, IDEAM. | 47 |
| Figura 15. Valores medios mensuales de precipitación, estación La Galvicia Santander. | 48 |
| Figura 16. Valores de precipitación total anual, estación La Galvicia Santander. | 49 |
| Figura 17. Mapa Geología Regional | 50 |
| Figura 18. Divison de la subcuenca del Río Tona con base en rasgos y comportamiento de los drenajes..... | 58 |
| Figura 19. Mapa de pendientes..... | 60 |
| Figura 20. Localización sondeos SPT, Estudio de suelos Finca el Porvenir. | 61 |
| Figura 21. Localización toma de muestras, Talud en estudio. | 64 |
| Figura 22. Toma de muestra 1..... | 65 |
| Figura 23. Toma de muestra 2..... | 65 |
| Figura 24. Toma de muestra 3..... | 66 |
| Figura 25. Toma de muestra 4..... | 66 |
| Figura 26. Toma de muestra 5..... | 67 |
| Figura 27. Toma de muestra 6..... | 67 |
| Figura 28. Ensayo de laboratorio 2. | 69 |
| Figura 29. Ensayo de laboratorio 3. | 69 |
| Figura 30. Ensayo de laboratorio 5. | 70 |
| Figura 31. Ensayo de laboratorio 6. | 70 |
| Figura 32. Ensayo de laboratorio 7. | 71 |
| Figura 33. Ensayo de laboratorio 9. | 71 |
| Figura 34. Ensayo de laboratorio 10. | 72 |
| Figura 35. Ensayo de laboratorio 11. | 72 |

| | |
|--|-----|
| Figura 36. Ensayo de laboratorio 12. | 73 |
| Figura 37. Ensayo de laboratorio 13. | 73 |
| Figura 38. Ensayo de laboratorio 15. | 74 |
| Figura 39. Perfil tipo – antes del deslizamiento. | 79 |
| Figura 40. Perfil tipo – después del deslizamiento. | 79 |
| Figura 41. Valores mensuales de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander. | 83 |
| Figura 42. Valores de precipitación máxima diaria precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander. | 83 |
| Figura 43. Número de días mensual con precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander. | 84 |
| Figura 44. Resumen de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander. | 85 |
| Figura 45. Pileta de agua. | 87 |
| Figura 46. Análisis Estático. | 89 |
| Figura 47. Análisis Dinámico. | 90 |
| Figura 48. Análisis Estático Saturado. | 90 |
| Figura 49. Análisis Dinámico Saturado. | 91 |
| Figura 50. Análisis Estático. | 91 |
| Figura 51. Análisis Dinámico. | 92 |
| Figura 52. Análisis Estático Saturado. | 92 |
| Figura 53. Análisis Dinámico Saturado. | 93 |
| Figura 54. Modelo con análisis estático en condición saturada. | 96 |
| Figura 55. Modelo con análisis dinámico en condición saturada. | 96 |
| Figura 56. Valores del coeficiente de escorrentía. | 98 |
| Figura 57. Canal propuesto. | 100 |
| Figura 58. Modelo medidas de mitigación. | 103 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Información general de estación La Galvicia. | 48 |
| Tabla 2. Morfometría según la clasificación del IGAC. | 60 |
| Tabla 3. Resultados de caracterización física, Estudio de suelos Finca el Porvenir. | 62 |
| Tabla 4. Resultados de caracterización mecánica, Estudio de suelos Finca el Porvenir. | 62 |
| Tabla 5. Propiedades Mecánicas Roca Neis, Embalse de Bucaramanga. | 63 |
| Tabla 6. Resultados de ensayos de Humedad. | 68 |
| Tabla 7. Resultados de ensayos de Granulometría. | 74 |
| Tabla 8. Resultados de ensayos de Límites de Atterberg..... | 75 |
| Tabla 9. Resultados de ensayos de Humedad. | 75 |
| Tabla 10. Caracterización Físico Mecánica. | 77 |
| Tabla 11. Caracterización medias de los estratos. | 78 |
| Tabla 12. Resumen de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander. | 84 |
| Tabla 13. Magnitud máxima y mínima en Bucaramanga. | 86 |
| Tabla 14. Magnitud máxima y mínima en Tona. | 86 |
| Tabla 15. Escenarios modelados..... | 89 |
| Tabla 16. Resultados modelación geotécnica. | 93 |
| Tabla 17. Resultados de la modelación geotécnica con el terraceo. | 97 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|-------------|
| ANEXO A. Sondeos SPT, Estudio de suelos Finca el Porvenir..... | 109 |
| ANEXO B. Ensayos de laboratorio..... | 114 |
| ANEXO C. Teoría Estabilidad de taludes..... | 124 |

RESUMEN

TITULO: DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL KM 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA-TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER¹.

AUTORES: KARLA LILIANA NIETO LOZA
XIMENA DEL PILAR DÍAZ DÍAZ²

PALABRAS CLAVE: Talud, deslizamiento, estabilidad, falla, mitigación.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo presenta el estudio de los posibles factores que generaron la falla del talud localizado en el Km 22, sobre la vía que conduce de Bucaramanga a Tona, con base en las condiciones climáticas, topográficas, sísmicas, geológicas y geotécnicas de la zona.

El estudio consistió en la descripción geológica, morfológica y climática de la zona y la caracterización geomecánica del talud realizada mediante ensayos de laboratorio, seguido de un análisis de eventos de precipitaciones y sismos en referencia a la fecha en que se presume ocurrió el deslizamiento; finalmente se realizó la modelación en el software Slope/w, incluyendo la superficie de falla más probable, de acuerdo al tipo de movimiento presentado. El talud se modeló en condición estática, dinámica y bajo saturación total; los modelos se analizaron en condición previa al deslizamiento y en situación actual.

Como los modelos con sismo y saturación total resultaron ser la situación más crítica, se llegó a la conclusión de que el agua infiltrada producto de las intensas lluvias, en la época invernal 2010-2011, fue la causante de la falla, y para prevención de futuros deslizamientos bajo el mismo efecto, se proponen medidas de mitigación que incluyen la canalización de las aguas de escorrentía, revegetalización y terraceo del talud.

¹ Trabajo de Grado.

² Facultad de Ingenierías Físico - mecánicas. Escuela de Ingeniería civil. Director Luis Alberto Capacho Silva.

ABSTRACT

TITLE: DIAGNOSIS OF THE FAULT ON THE SLOPE LOCATED AT KM 22 ON THE ROAD BUCARAMANGA-TONA, SECTOR SIDEWALK CARAGUA BAJO, ESTATE EL PORVENIR, DEPARTMENT OF SANTANDER³.

AUTHORS: Karla Liliana Nieto Loza
Ximena del Pilar Díaz Díaz⁴

KEYWORDS: Slope, glide, stability, mitigation, fail.

DESCRIPTION:

This work presents the study of possible factors driving slope failure located at Km 22 on the road from Bucaramanga to Tona, based on climatic, topographical, seismic, geological and geotechnical conditions in the area.

The study consisted in the description geological, morphological and climatic of the area, and the slope geomechanical characterization performed with laboratory tests; followed by an analysis of rainfall events and earthquakes in reference to the date on which it is assumed occurred slipping finally modeling was performed on the Slope / w software, including the surface most likely failure according to the type of submitted movement, the static, dynamic and total saturation situations, the models were analyzed precondition slip and the current status is modeled.

As a result earthquake models and total saturation correspond to the most critical situation, it was concluded that the water absorbed product of heavy rains in the winter 2010-2011 were the cause of the failure and to prevent future landslides under the same effect, mitigation measures, including revegetation, channel runoff and the slope terracear proposed.

³ Degree Project.

⁴ Physics-mechanics Engineering's Faculty. Civil Engineering school. Director Luis Alberto Capacho Silva.

INTRODUCCIÓN

La zona oriental de Colombia por su conformación montañosa característica de altas pendientes es muy susceptible a los fenómenos de remoción en masa, el municipio de Tona típico por su clima frío a templado y abrupta topografía ha presentado con los años una cantidad de daños ambientales y de infraestructura por la ocurrencia de inestabilidad de laderas.

En la finca el porvenir de la vereda Caragua bajo, en el año 2010, se presentó la falla de un talud ubicado sobre la vía principal entre Bucaramanga y Tona, el deslizamiento fue de gran dimensión en donde la parte superior de la masa se desplazó y la inferior obstaculizó el paso en la vía. Como no se tomaron medidas preventivas a fin de disminuir el riesgo de reactivación de la falla, la base del deslizamiento actualmente presenta avanzado estado de erosión.

Son muchas las causas que pueden facilitar la inestabilidad de un talud, pero dependiendo de las condiciones de la zona son más perjudiciales unas que otras. Por esto el presente trabajo pretende identificar las variables que potenciaron el deslizamiento y la que tuvo mayor incidencia en la falla, además de describir el estado actual, a fin de proponer medidas de mitigación que reduzcan el riesgo.

De acuerdo a las condiciones climáticas, topográficas, geológicas y geotécnicas de la zona, se analizaron los siguientes parámetros: eventos sísmicos, precipitaciones intensas y el efecto del agua en la composición mineralógica de la roca; seguidamente se realizaron modelos geotécnicos para la determinación del factor de seguridad en escenarios previo y actual a la falla, en condición estática, pseudoestática y saturación total. Para el análisis de las variables se necesitó de información geológica, topográfica, climática y geotécnica del talud, las tres primeras halladas de fuentes externas y la última de la realización de ensayos de laboratorio: como límites de Atterberg, granulometría, humedad y corte directo.

1. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación nace de la necesidad de identificar las posibles causas de la falla del talud, ya que el deslizamiento ocasionó dificultades tanto a los habitantes que viven cerca como a las personas que transitan por la vía principal, además del riesgo en que se encuentra la vía veredal, ubicada sobre la corona del talud, ante un eventual deslizamiento.

Aspectos como la economía, la educación, la salud, el turismo, la calidad de vida de los habitantes y las diferentes actividades que promueve el Municipio requieren de vías en buen estado que generen facilidad de traslado.

Es importante ubicar las causas que impulsaron la falla y analizarlas para la condición que actualmente presenta, con el fin de revisar que tanta afectación tienen y sus tendencias hacia el futuro si no se mitiga el problema que involucra las vías en cuestión.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer las posibles causas de inestabilidad para un talud localizado en el Km 22 sobre la vía Bucaramanga – Tona, sector de la vereda Caragua Bajo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información existente para establecer la caracterización geológica, geotécnica, cartográfica y climática relacionada con la zona de estudio.

Desarrollar la caracterización del perfil estratigráfico del talud mediante ensayos de laboratorio como: granulometría, límites y corte directo, como soporte para modelar escenarios que hubiesen influenciado en la inestabilidad del talud en estudio.

Definir los factores que intervinieron en la desestabilización del talud y proponer medidas de mitigación para la condición del talud en estudio.

3. METODOLOGÍA

Con el fin de lograr el objetivo de la presente investigación, se llevó a cabo la siguiente secuencia:

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.

La información recopilada de fuentes externas consistió en topografía, geología, clima e investigaciones de suelos relacionados con la zona de estudio, como son: La tesis, Valoración de diferentes opciones para estabilización del talud ubicado en el K8 +600 en la vía doble calzada Bucaramanga-Cúcuta por Aspirantes a Ingenieros civiles, Estudio de Suelos para el Diseño y Construcción de Estructuras de uno y dos niveles, Finca El Porvenir Vereda Caragua Bajo, desarrollado por la empresa LAC Suelos & ingeniería S.A.S, el Plan de Ordenamiento Ambiental territorial de la Microcuenca del río Tona elaborado por la CDMB, Información climática de las estaciones del IDEAM y la Topografía de la finca El Porvenir, además de la bibliografía recolectada.

3.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL TALUD MEDIANTE VISITAS DE CAMPO.

En las visitas de campo, se obtuvo información en cuanto al estado del talud, tipo de movimiento, presencia de grietas, tipo de erosión, clases de materiales, afloramiento de agua y amenazas locales.

Para conocer los tipos de suelo y las propiedades geomecánicas de los materiales observados en el cuerpo del talud, se efectuó la toma de muestras alteradas e inalteradas y se realizaron las pruebas de laboratorio de acuerdo a las respectivas

normas; los laboratorios fueron de granulometría, límites de atterberg, humedad y corte directo.

3.3 ANÁLISIS DE POSIBLES VARIABLES DE INESTABILIDAD.

Se escogieron las variables que afectan la estabilidad conforme a la susceptibilidad en situaciones climáticas, geológicas y sísmicas, y se determinó cual tuvo mayor incidencia en la falla.

Se identificaron tres situaciones de inestabilidad, la primera es el caso de extrema precipitación, para la que se revisó información de lluvias correspondiente a los años antes, durante y después del deslizamiento, la segunda es el caso de los efectos del agua en la composición mineralógica del suelo, y por último la ocurrencia de eventos sísmicos. Se realizaron modelaciones geotécnicas en el software Slope y se determinó el factor de seguridad para el escenario previo al deslizamiento, en condición estática, pseudoestática y saturación total.

3.4 MEDIDAS DE MITIGACIÓN.

Como las variables que inestabilizaron el talud puedan ocasionar un eventual deslizamiento, se realizó una modelación geotécnica para el escenario actual en condición estática, pseudoestática y saturación total, y con base en los resultados se propusieron medidas de mitigación para minimizar el riesgo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 GLOSARIO

Cabeza. Se encuentra en la parte superior de la masa que se desplaza, no corresponde a la cabeza del talud, ya que arriba de la cabeza se encuentra la cima.

Corona. Corresponde al material que está por arriba de la cabeza del talud, se presume que es inalterado.

Pie. Parte más baja del talud o ladera que corresponde al sitio donde la pendiente presenta un cambio brusco.

Escarpe principal. Extensión de tierra muy inclinada, ubicada en el límite del desplazamiento y causada por el material removido. Si se proyecta el escarpe bajo el material desplazado se puede encontrar la superficie de falla.

Cárcava. Cuneta que se forma por la erosión, generalmente continúa la pendiente máxima de la superficie por donde corre el agua que cae de lluvias.

Falla. Superficie fracturada presente en el terreno deslizado, originado por factores desequilibrantes que ocasionan la inestabilidad de esfuerzos.

Suelo expuesto. Suelo que no presenta cobertura vegetal.

Precipitación. Mecanismo utilizado para medir la cantidad de lluvia que cae y se deposita en la superficie de la tierra.

Buzamiento. Ángulo que hace una superficie estructural con la horizontal, medido sobre el plano vertical y perpendicularmente a su rumbo o dirección.

Estratificación. Es la forma en que se depositan las rocas a través del tiempo dependiendo del agente generador, formando capas una encima de otra.

Grieta. Es una abertura que se presenta en el suelo generalmente de poca separación, que surge de manera natural.

Geoforma. Características físicas visibles en la superficie de una zona.

Neis. Roca metamórfica de edad Proterozoico de grano grueso y apariencia pizarrosa.

Meteorización. Descomposición de las rocas a través del tiempo, ocasionado por procesos externos.

Muestra. Pequeña porción de suelo, recolectada para determinar las propiedades de un área determinada de territorio.

4.2 MOVIMIENTOS DE LADERA

Se entiende como movimiento de ladera, al desplazamiento de masas de roca, suelo o derrubios de una ladera en sentido descendente por efectos de la gravedad, debido a la inestabilidad de los materiales.

La clasificación de los movimientos de ladera se fundamenta de acuerdo a los mecanismos de propagación, para determinar los mecanismos es necesario estudiar la geomorfología, geometría y análisis de los desplazamientos en superficie y en profundidad. En algunas ocasiones no es posible reunir toda esta información, por tanto la identificación del mecanismo se realiza de acuerdo a la forma de la masa desplazada⁵. Se pueden diferenciar cuatro tipos de movimientos: desprendimientos, deslizamientos, expansiones laterales y flujos.

4.2.1 Desprendimientos:

Un desprendimiento se produce cuando una masa de suelo o roca se desune de una superficie empinada, desplazándose en caída libre hasta que se genera rebote, rodadura o sea detenida. **Figura 1.**

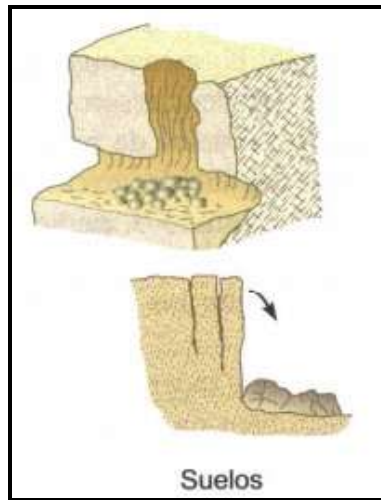
Para masas de suelos el desprendimiento es originado por socavación de laderas producto de factores antrópicos y/o erosión de quebradas.

Los desprendimientos en superficies con pendientes mayores a 76° se producen en caída libre, para laderas con ángulos por debajo de este, los rebotes contra el terreno son continuos, mientras que en las laderas con pendientes menores a 45° la masa rueda sobre el terreno⁶.

⁵ Del Río, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 7.

⁶ Ibid., p. 7-8.

Figura 1. Bosquejo desprendimiento de suelos



Fuente: Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de una ladera⁷.

4.2.2 Deslizamiento:

Es un movimiento de ladera que se da cuando la resistencia al soporte del material disminuye, haciendo que el desplazamiento de terreno se produzca sobre una o varias superficies de rotura bien definidas. La velocidad de desplazamiento varía de acuerdo al material que contenga la masa.

Los deslizamientos pueden ocurrir por procesos naturales o por factores antrópicos; los factores antrópicos involucran los cortes, rellenos, deforestación, mal uso de las aguas, cargas externas, entre otros.

Se pueden encontrar dos clases de deslizamiento: deslizamiento rotacional y deslizamiento traslacional, es de gran importancia diferenciarlos en lo que se refiere al análisis de estabilidad y diseño de medidas de control. Por la frecuencia

⁷ Jiménez, David. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de la ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada. Doctorado en Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Granada. 2005. p. 17.

con que se presenta este movimiento, los programas de estabilidad han dado un mayor desarrollado en cuanto a los métodos de análisis que los involucra⁸.

Deslizamientos Rotacionales: La superficie de falla se produce a lo largo de una sección curvilínea y cóncava; el material deslizante experimenta un giro alrededor de un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada.

El deslizamiento rotacional es típico de suelos cohesivos homogéneos y por su facilidad de análisis son los más estudiados. La velocidad de la masa para este tipo de deslizamiento va de lenta a moderada, teniendo gran influencia la inclinación de la superficie de rotura⁹.

El deslizamiento rotacional ocasiona en la parte superior de la ladera un hundimiento de masa mientras que en el pie se acumulan los restos de materiales, visto en planta el movimiento toma la forma de rupturas concéntricas y cóncavas en dirección del movimiento.

Dentro del deslizamiento comúnmente, el escarpe principal presenta una inclinación muy alta, lo cual facilita la presencia de nuevos deslizamientos, además internamente ocurren otros desplazamientos curvos que forman escarpes secundarios y terciarios¹⁰.

Deslizamientos traslacionales: El deslizamiento traslacional ocurre cuando la masa en movimiento se desplaza hacia abajo a lo largo de una superficie más o menos plana con movimientos mínimos o nulos de rotación y volteo¹¹.

Principalmente, para aplicar algún método de estabilización se debe distinguir la diferencia entre los movimientos de rotación y traslación; el movimiento rotacional

⁸ Del Rio, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 9.

⁹ Del Rio, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 9-10.

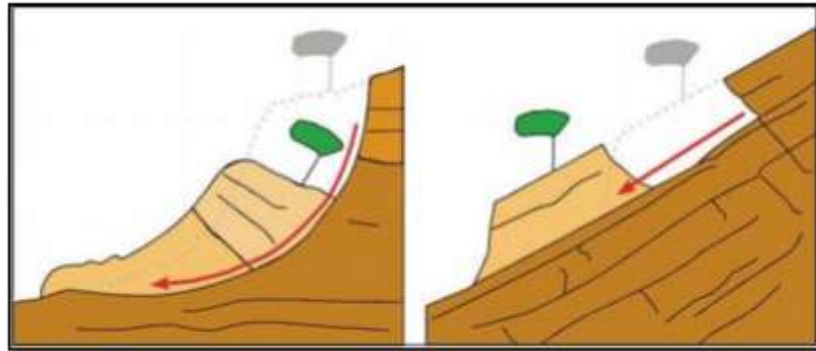
¹⁰ Suarez, Jaime. Capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 16-17.

¹¹ Del Rio. Op. cit. P. 10.

trata de autoestabilizarse, mientras que el traslacional puede continuar el desplazamiento a lo largo de la ladera hasta que una barrera lo detenga.

Comúnmente, en el periodo inicial de la falla, se originan rupturas de tracción con pequeños deslizamientos, después se observan escarpes recientes que dejan las masas desplazadas; en algunos casos este proceso deja sin vegetación el lugar deslizado, quedando material expuesto en la longitud de rotura y acumulado en el pie del talud¹².

Figura 2. Delizamiento rotacional (izquierda) y traslacional (derecha).



Fuente. Diagnóstico de taludes urbanos, universidad del Bío – Bío¹³

4.2.3 Expansiones Laterales:

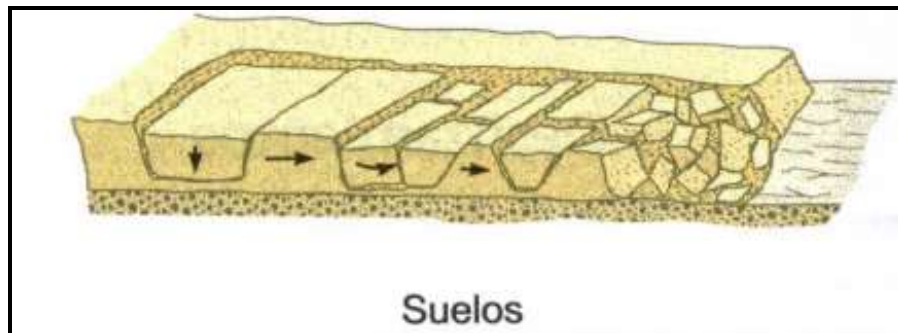
Este tipo de movimiento es de esparcimiento lateral, inicia en una área pequeña y termina esparciéndose en zonas grandes, incluye mecanismos de tipo rotacional, traslacional e inclusive de flujo, resultando un movimiento complejo y difícil de identificar.

¹² Suarez, Jaime. Capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 18.

¹³ Del Río, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 10.

La falla de este desplazamiento es generalmente progresiva de forma planar, puede ocurrir en rocas y suelos; para suelos generalmente la velocidad es súbita y rápida¹⁴.

Figura 3. Esquema de esparcimiento lateral



Fuente. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de una ladera¹⁵.

4.2.4 Flujos:

Es un movimiento continuo de material seco o húmedo, muy parecido a un material viscoso, la masa no conserva las propiedades originales del material desprendido, mientras se desplaza este se va adaptando a la forma de la pendiente que va encontrando y puede ir a velocidades lentas o rápidas¹⁶.

Generalmente la saturación de los materiales subsuperficiales conducen a la formación de un flujo, algunos suelos absorben agua muy fácilmente cuando son alterados, fracturados o agrietados por un deslizamiento inicial.

¹⁴ Del Río, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 11.

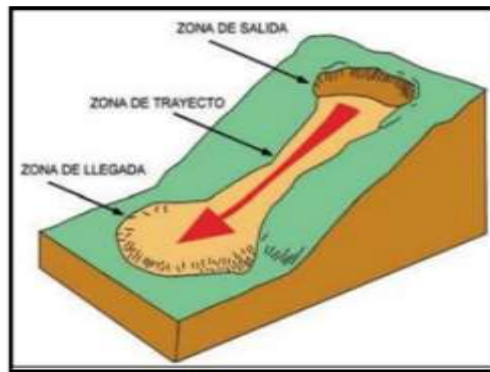
¹⁵ Jiménez, David. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de la ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada. Doctorado en Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Granada. 2005. p. 17.

¹⁶ Del Río. Ob. Cit. P. 11.

Flujo de suelo. Los flujos de suelo pueden ser secos y muy lentos dependiendo de la humedad y pendiente de la zona de ocurrencia. En zonas de alta montaña y desérticas ocurren flujos muy secos, por lo general pequeños pero de velocidades altas¹⁷.

Flujos de lodo. Los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas, características que hacen que el material sea viscoso, llegándose al punto de suelos suspendidos en agua. Los flujos de lodo poseen grandes fuerzas destructoras de acuerdo a su caudal y velocidad¹⁸. **Figura 4.**

Figura 4. Esquema de flujo.



Fuente. Diagnóstico de taludes urbanos, universidad del Bío – Bío¹⁹.

4.3 FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO

La estabilidad en taludes está sometida a factores naturales o antrópicos que tienden a provocar el deslizamiento del material que compone la ladera, y de los esfuerzos opuestos que contrarrestan dicho movimiento. El desequilibrio de los

¹⁷ Suarez, Jaime. Capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 22.

¹⁸ Ibid., p. 22.

¹⁹ Del Río, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 12.

esfuerzos sobre el terreno por los diferentes factores tiende a ocasionar los deslizamientos de masa de tierra.

Los factores que afectan la estabilidad de un talud de acuerdo a Coronado (2006), se clasifican en dos grupos según su función: Los factores condicionantes, que tienden a que el talud sea susceptible pero no accionan el deslizamiento por si solos, estos corresponden a las características del terreno como el relieve (topografía), geología, geomorfología, hidrología, clima y vegetación. Y los factores desencadenantes son los que potencian la dinámica del deslizamiento, los cuales tienen incidencia en el grado de avance del deslizamiento. Entre ellos se encuentran los eventos sísmicos, la lluvia y la actividad antrópica²⁰.

Domínguez (2003), define los factores condicionantes como aquellos que influyen en la aparición de inestabilidades con relación a la caracterización geológica, haciendo referencia a la propia naturaleza y estructura del terreno, factores como el relieve, la pendiente, la altitud, orientación, características litológicas, resistencia de los materiales, su estado tensional, comportamiento hidrogeológico del terreno²¹.

Para el desarrollo de este trabajo se consideran como factores condicionantes, la morfología y topografía, La geología, las condiciones hidrológicas y la vegetación, para el caso de los factores desencadenantes, la precipitación, la erosión y el efecto de los sismos; a continuación se profundiza en cada uno de ellos.

²⁰ Vega, Johnny. Estimación del riesgo por deslizamientos de laderas generados por eventos sísmicos en la ciudad de Medellín usando herramientas de la geomática. La Plata, Argentina. Magíster en Geomática. Universidad Nacional de La Plata. 2013. p. 41-42.

²¹ Ibid., p. 42.

4.3.1 Factores condicionantes

Topografía y morfología: La altura y pendiente de la ladera son factores que condicionan el proceso de deslizamiento de acuerdo con el material que lo conforme, además, son parámetros necesarios en la mayoría de los análisis realizados para la estabilidad de taludes. En suelos uniformes, cada material tiene su altura y pendiente crítica con las que se produce un desequilibrio respecto al centro de gravedad, facilitando una posible falla. En zonas con precipitaciones altas las características de forma no tienen que ser considerablemente elevadas para que materiales arcillosos generen un movimiento con velocidad rápida.

Aprovechando que la morfología proviene de procesos con constantes cambios y que las características de forma del talud pueden aumentar o disminuir su equilibrio, podrían ser de gran ayuda al tomarlos como indicadores de inestabilidad, por ejemplo, un relieve fuerte con valles hondos y taludes con forma cóncava, indican zonas de alto riesgo de inestabilidad.

Se han creado algunos métodos para identificar la falla de un talud, teniendo en cuenta los factores morfológicos y morfométricos del terreno, como: la altura, la pendiente, la superficie y la forma de la ladera²².

Geología: El análisis de materiales es de suma importancia en el estudio de procesos de remoción en masa, debido a que se debe tener en cuenta las propiedades mineralógicas, de textura, compactación, tamaño, forma y cementación de los materiales; por tanto los suelos poco cementados, con tamaños de grano fino (limo-arcilla o arenas limo-arcillosas), amplio rango granulométrico (derrubios de ladera) y alta meteorización, entre otras; resultan

²² Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno. En: http://www.habitatge.gva.es/estatico/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/litologia/48_54factor.pdf, [consulta 8 junio de 2016]. p. 65.

afectando la resistencia al corte y el terreno manifestara susceptibilidad a generar procesos de remoción en masa²³.

Según la resistencia, compactacion y permeabilidades de los materiales presentes en el terreno, se obtendran diversos resultados frente a la manifestacion de los factores externos, de igual manera que el espesor de cada material determina si el deslizamiento es superficial o profunda²⁴.

Hidrología: Representa variables de aspecto hidrológico de una zona el cual está relacionada con el proceso de remoción en masa, las características hidrológicas de un lugar pueden provocar deslizamientos de laderas debido a que el suelo se satura y el contenido de agua (presión de poros) aumenta ocasionando condiciones de inestabilidad en los materiales²⁵.

- **Nivel Freático:** Corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, ubicada donde la presión neta del sitio es igual a la presión atmosférica. Por encima del nivel freático se hallan las presiones de succión y por debajo se determina la presión hidrostática.

La línea del nivel de agua generalmente es paralela a la superficie del terreno, esta aumenta si el agua de infiltración es mayor; por debajo del nivel freático el material se encuentra saturado, ósea que los espacios entre partículas se encuentran llenos de agua²⁶.

²³ Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno. En: http://www.habitatge.gva.es/estatico/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/litologia/48_54factor.pdf, [consulta 8 junio de 2016]. p. 64.

²⁴ Ibid., p. 64

²⁵ Alcantara, Irasema y Murillo, Fran. Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. En: Investigaciones Geograficas. Agosto 2008. No 66. p. 52.

²⁶ Suarez, Jaime. Capitulo 7-Lluvias, presion de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 245-248.

- **Presión de poros:** Definida como la presión interna del agua de saturación. El aumento de presión de poros puede ocurrir con lluvias de intensidad alta y la velocidad de infiltración de agua.

Para analizar la presión de poros en la superficie de falla se debe tener en cuenta el drenaje, si hay presencia de drenaje, la presión de poros disminuye a la superficie del talud, por el contrario si no hay drenaje la presión de poros se aumenta en el pie del talud²⁷.

- **Infiltración:** Es el Agua proveniente de la precipitación, que se conduce desde la superficie del terreno hacia el interior del suelo o roca, a través de los poros o discontinuidades presentes en el terreno.

El resultado de la infiltración a su vez se puede dividir en dos, la primera corresponde a aquella porción que se deposite en la zona no saturada y la segunda la que recargue la zona saturada de agua subterránea.

Las infiltraciones de cuerpos de agua pueden presentarse masivamente, arriba del talud ya sea por presencia de un rio u otro factor dispensador de agua, como de concavidades topográficas y zonas de pendiente muy suave²⁸.

Vegetación: La cobertura vegetal aporta el mayor beneficio a la prevención de los problemas de remoción en masa, aunque por su importancia también condicionan la susceptibilidad de los suelos y un cambio en sus características produce considerables efectos. Además los suelos con vegetación son la mejor barrera contra la precipitación disminuyendo la erosión hídrica.

Las plantas desde sus raíces hasta sus hojas intervienen en la protección contra la pérdida de material superficial, las raíces favorecen el drenaje e infiltración del agua porque mantienen la porosidad y permeabilidad del suelo, sirven como sujetadores superficiales porque previenen el arrastre y aumentan la

²⁷ Suarez, Jaime. Capítulo 7-Lluvias, presión de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 248-249.

²⁸ Ibid., p. 237-238.

sedimentación, y además le dan resistencia actuando como refuerzo a la matriz. Las hojas reciben el golpe de las gotas de lluvia, las retienen y sueltan poco a poco demorando el tiempo y fuerza de caída al suelo, también absorben una parte del agua para su posterior transpiración, disminuyendo la cantidad de agua para escorrentía²⁹⁻³⁰.

En referencia a la erosión se ha encontrado que las zonas con presencia de árboles altos en lugar de arbustos pequeños presentan menor erosión y que la maleza en lugar de pastos tiende a proteger mejor³¹.

En general la vegetación realiza una serie de procesos que ayudan a mantener la estabilidad superficial disminuyendo la probabilidad de fenómenos de movimientos en masa.

4.3.2 Factores desencadenantes

Sismos: Los sismos son eventos impredecibles, rápidos y altamente dañinos, que se dan a grandes profundidades y se extienden a kilómetros. Categorizados como “uno de los fenómenos naturales más destructivos y temidos”³².

La vibración que se genera en el suelo, produce eventos relacionados con la compactación, hundimientos, deslizamientos y agrietamientos, entre otros. El grado de intensidad de los anteriores está en función de la magnitud del sismo.

Los deslizamientos vinculados con los sismos, se dan por fracturación, remoldeo de las partículas y aumento de presión de poros, factores relacionados con la

²⁹ Del Río, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p. 15.

³⁰ Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno. En: http://www.habitatge.gva.es/estatico/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/litologia/48_54factor.pdf, [consulta 8 junio de 2016]. p. 64.

³¹ Suarez, Jaime. Capítulo 8-Vegetación y Bioingeniería. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 281.

³² Sánchez, Francisco. Los terremotos y sus causas. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de desastres sísmicos. p. 17.

perdida de estabilidad del suelo y pueden activar o reactivar algún deslizamiento del pasado³³.

Precipitación: El agua de la lluvia puede ocasionar problemas en la ladera tanto superficiales como internos, cuando la intensidad de la lluvia supera la cantidad de agua que puede infiltrarse, el agua se convierte en escorrentía.

El agua que se infiltra afecta en diversas formas la estabilidad de las laderas, ocasiona un humedecimiento superficial que “puede determinar la posibilidad de agrietamiento de tensión en ciertos suelos arenolimosos y arenoarcillosos”³⁴, conduce a un aumento del nivel freático y de la presión de agua en los poros del suelo, reduciendo los esfuerzos efectivos y a su vez la resistencia cortante, y aumenta la sobrecarga por la cantidad de agua que ocupa los poros.

El agua de escorrentía afecta superficialmente a las laderas, desprende y arrastra las partículas de suelo, alterando la geometría y ocasionando la inestabilidad de las fuerzas que mantiene en equilibrio la masa de suelo.

El efecto de la precipitación en los deslizamientos va a depender de las estaciones climáticas y de la zona, el fenómeno se vuelve crítico en zonas húmedas y en temporadas invernales, puesto que en este periodo se dan las mayores y más largas intensidades³⁵.

Antrópico: Este factor es ocasionado por la acción del hombre en la superficie de la tierra y puede ser de las más grandes amenazas en la estabilidad del terreno, dado por cambios en la topografía, condiciones de humedad, vibraciones y cobertura vegetal, entre otras. Ciertas intervenciones influyen más que otras, pero

³³ Suarez, Jaime. capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 31.

³⁴ Suarez, Jaime. Capítulo 7-Lluvias, presión de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 236.

³⁵ Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno. En: http://www.habitatge.gva.es/estatico/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf/litologia/48_54factor.pdf, [consulta 8 junio de 2016]. p. 66.

no siempre son motivo de inestabilidad, por el contrario generan estabilidad producto de un tipo de obra u estudios realizados.

Entre los casos de inestabilidad más comunes se encuentran: sobrecargas generadas por rellenos, edificaciones, zonas de explotación; cortes para vías o edificaciones, infiltraciones de agua ocasionadas por la rotura de redes de agua, entre otras.

Erosión: La erosión es la manifestación de una secuencia de procesos que conllevan a la pérdida de suelo por acción de factores desencadenantes, agua, viento y la mano del hombre, que aumentan o disminuyen su agresión de acuerdo al clima.

El desgaste del suelo se da en tres fases, inicialmente se produce el arranque de las partículas del suelo, seguido de su transporte hasta que finalmente son depositadas, convirtiéndose en material sedimentado³⁶.

Cuando la erosión es producto del agua se le llama erosión hídrica, cuando es el viento el causante, se le llama erosión eólica, y cuando es el ser humano es quien interviene negativamente, se le llama antrópica. A la primera de estas se le ha tomado especial importancia debido a que según (Walling y Fang, 2003) “se estima que una sexta parte del suelo mundial se encuentra afectado por erosión hídrica”³⁷; por tal razón se enfocará en esta.

La erosión hídrica es dependiente de 5 factores principales:

1. La precipitación: es el principal detonador de erosión en laderas y al que no se le puede hacer ningún control, pues no hay forma de minimizarlo, sino de prevenir sus efectos; las características como la intensidad de lluvia, cantidad y periodo de duración son fundamentales en la incidencia de suelo.

³⁶ Dumas, África. Riesgo de Erosión Hídrica en la cuenca Hidrográfica del río mundo. Tesis para Master en Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid. Universidad Complutense. 2012. p 6.

³⁷ Ibid., p.6.

2. Los materiales: el tamaño, forma, naturaleza, meteorización y estado de los materiales controlan la susceptibilidad de la ladera a erosionarse, además del efecto en el tipo de erosión que se pueda generar³⁸.
3. La vegetación: es un factor que arroja excelentes resultados en los procesos de prevención, porque cuando hay mayor densidad de vegetación actúa como un colchón amortiguando los golpes de las gotas de lluvia contra el suelo, además disminuye la velocidad de flujo superficial.
4. La topografía: la longitud y la pendiente son características físicas que ayudan a aumentar la velocidad de escorrentía y cantidad de suelo erosionado³⁹.
5. El uso del suelo: un buen uso de suelo puede retrasar la caída de lluvia, ya que entre más volumen de follaje tenga la vegetación, más camino debe recorrer y menos fuerza tendrá en la caída.

De acuerdo a las características en las que se encuentren los factores mencionados, se pueden generar diferentes tipos de erosión hídrica, clasificados por la forma en cómo actúa la erosión en el terreno y los resultados que deja.

- **Erosión laminar:** es el efecto del agua en movimiento que produce el desprendimiento de material por el impacto de las gotas de agua lluvia contra el suelo seguido del arrastre que realiza la fuerza del agua de escorrentía producto de la salpicadura de las gotas⁴⁰. Desprende el suelo aparentemente en capas pero en realidad se forman surcos muy pequeños que dan una apariencia lisa.

³⁸ Suarez, Jaime. Capítulo 7-Lluvias, presión de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 266.

³⁹ Tayupanta, Jorge. La erosión hídrica: Proceso, factores y formas. Iniap. No. 229. Santa Catalina. 1993. p. 7.

⁴⁰ Suarez, Jaime. Capítulo 2-Procedimientos de investigación. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 64-65.

- **Erosión en surcos:** son canales de profundidad baja que se forman aproximadamente paralelos a los otros, cuando un surco gana profundidad reúne a sus vecinos más pequeños y forman cavernas de mayor tamaño que tienden a desestabilizar la ladera⁴¹.

Figura 5. Erosión en surcos paralelos.



Fuente. La bioingeniería en la protección y estabilidad de talud⁴².

- **Erosión en cárcavas:** Es la evolución de la erosión en surcos cuando por el producto de continuo desprendimiento de suelo e incremento de las pendientes. Se alcanzan cárcavas de cráter profundo, menor anchura que los cauces estables y con mayor capacidad para transportar sedimentos. (Morgan, 1997)⁴³.

⁴¹ Suarez, Jaime. capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 9.

⁴² Seminario de Bioingeniería. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas. En: <http://www.idiger.gov.co/documents/10180/57156/La+bioingenieria+en+la+proteccion+y+estabilidad+de+talud.pdf/75692199-c3da-4ccf-98fb-5e3a292feedc>. p 5.

⁴³ Leonardo, Vega. Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo. Tesis para Ingeniero Forestal. Chile. Universidad de Talca. 2008. p. 6-7.

Figura 6. Erosión en cárcavas.



Fuente. La bioingeniería en la protección y estabilidad de talud⁴⁴.

- **Erosión interna:** se da con el agua infiltrada que al encontrar ductos genera erosión interna que genera hundimientos, debilitamiento, colapsos que pueden terminar en cárcavas o por su intensidad en deslizamientos⁴⁵.

Cualquiera de los anteriores tipos de erosión puede impulsar la inestabilidad de las laderas y producir deslizamientos de masa al modificar su geometría y ocasionar pérdida de soporte en la base, entre otros; en suelos tropicales tiene importancia el papel que juega la microestructura de la mezcla de partículas granulares y arcillosas que forman un suelo residual, porque en durante el evento de lluvia, se lava la parte fina quedando prácticamente sueltas las partículas granulares⁴⁶.

⁴⁴ Seminario de Bioingeniería. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas. En: <http://www.idiger.gov.co/documents/10180/57156/La+bioingenieria+en+la+proteccion+y+estabilidad+de+talud.pdf/75692199-c3da-4ccf-98fb-5e3a292feedc>. p 5.

⁴⁵ Suarez, Jaime. capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 10.

⁴⁶ Suarez, Jaime. Capitulo 7-Lluvias, presión de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 254.

5. GENERALIDADES DEL ÁREA EN ESTUDIO

5.1 LOCALIZACIÓN

El talud en estudio está localizado en la finca El Porvenir sector bajo de la Vereda Caragua del Municipio de Tona, departamento de Santander, se encuentra aproximadamente a 22 km sobre la vía principal de ingreso a la cabecera Municipal de Tona desde Bucaramanga, georreferenciado con coordenadas cartesianas $7^{\circ}09'01.6''N$, $73^{\circ}03'04.9''W$.

El Municipio de Tona limita al norte con los municipios de Charta y Vetas, al este con el departamento de Norte de Santander, al oeste con Bucaramanga y al sur con Santa Bárbara, Piedecuesta y Floridablanca.

Hidrológicamente pertenece a la subcuenca del río Tona, una de las seis subcuencas que dan origen a la cuenca Superior del río Lebrija, además conforma una de las zonas de paramo que integran a la unidad de Páramo Santurbán.

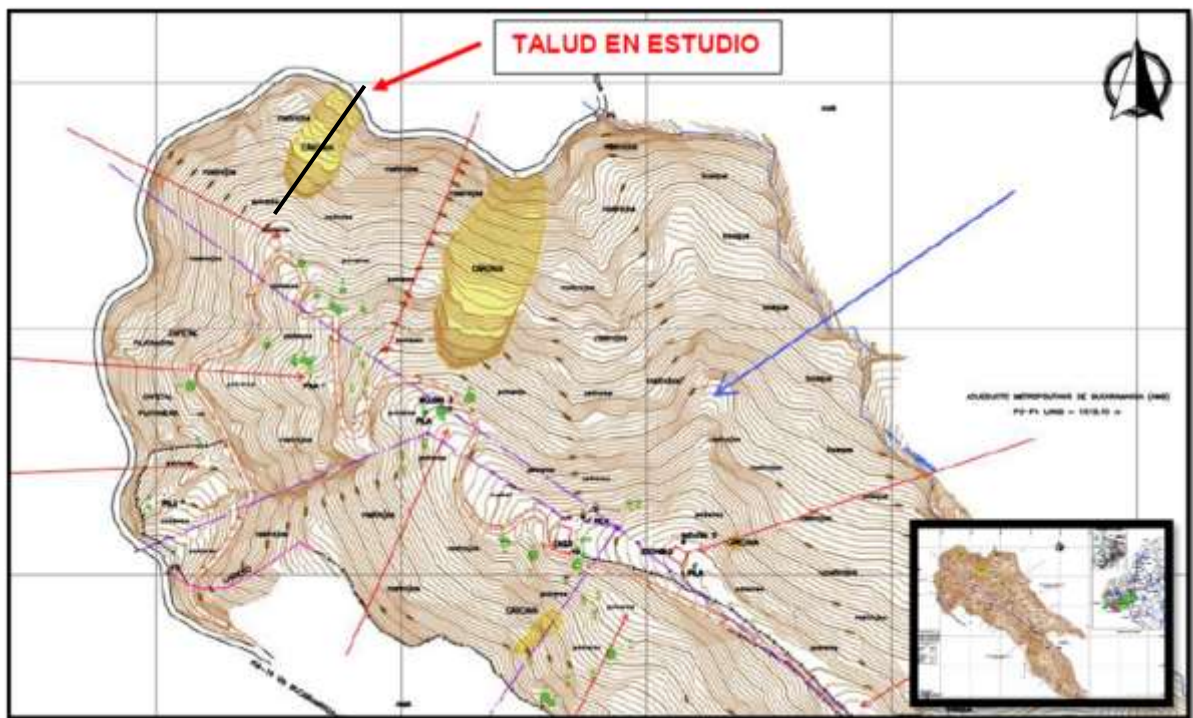
Figura 7. Mapa Localización Talud en estudio.



5.2 TOPOGRAFÍA

Se cuenta con información de un levantamiento topográfico a escala 1:2.000, plano suministrado por el dueño del predio, topografía realizada por Hummez LIC. 01-0733 C.P.N.T.; como esta información fue levantada luego de que ocurriera la falla de la ladera, fue necesario recurrir a Google Earth para revisar el historial de imágenes y al plano topográfico del Agustín Codazzi, para ver las condiciones en las que se encontraba la ladera antes del deslizamiento e idealizar la topografía original del terreno mediante una aproximación de las curvas de nivel.

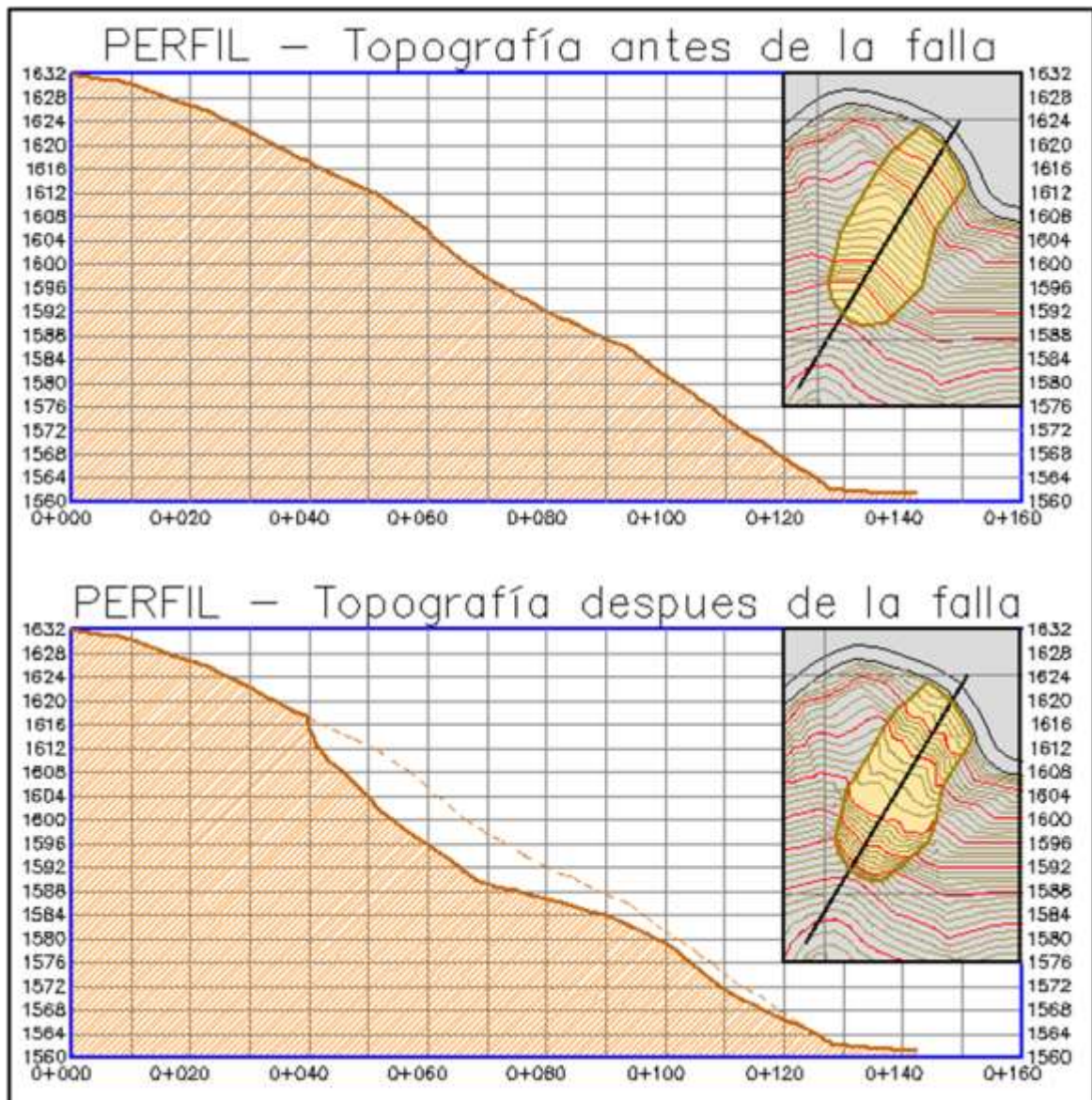
Figura 8. Topografía Talud en estudio.



Se realizaron perfiles en la mitad de la ladera, el primero con la topografía intacta y el segundo con la topografía de la ladera fallada, esto con el fin de conocer la profundidad del deslizamiento y la forma aproximada de la superficie de falla.

El deslizamiento se presentó desde la cota 1562 m.s.n.m. hasta la cota 1618 m.s.n.m. con una altura de 56 m, la longitud de la masa deslizada es de 106 m, el ancho de la rotura es de 42 m y la diferencia máxima del perfil antes y después de la falla es de 8 m. Todos los datos son aproximados.

Figura 9. Perfiles Topográficos Talud en estudio.



5.3 CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DEL TALUD Y LA ZONA

Actualmente el talud desde la parte media hacia abajo se encuentra sin cobertura vegetal y fuertemente erosionado con presencia de cárcavas profundas por el arrastre de material que produce el agua de escorrentía, en la parte media se presenta abundante vegetación sobre la masa de terreno que fue desplazada como resultado de la falla, y en la parte superior, el escarpe principal se encuentra con suelo expuesto. **Figura 10.**

Figura 10. Estado del Talud en estudio.



En base a la consulta realizada a los habitantes vecinos al talud y el historial de imágenes de Google Earth, el deslizamiento ocurrió aproximadamente en el año 2010.

Con el fin de identificar los cambios en la morfología y vegetación como resultado de las inestabilidades de las laderas aledañas al talud, se escogieron dos imágenes satelitales de Google Earth con fecha de antes (sept/2009) y de después (feb/2011) del año del deslizamiento, notándose que se presentaron procesos de remoción en masa sobre la vía principal del municipio de Tona, aproximadamente entre el km 20+00 y el km 22+200, posteriormente por medio de una visita al lugar, se identificaron algunos de los deslizamientos reflejados en las **Figura 11 y 12.**

Figura 11. Antes y después de la zona del talud en estudio.



Figura 12. Deslizamientos aledaños al talud en estudio.



5.4 CARACTERISTICAS CLIMATICAS

El Municipio de Tona presenta climas fríos a muy fríos, ecológicamente se encuentran el bosque húmedo premontano, bosque húmedo montano bajo y el páramo subandino. El piso térmico del municipio es muy frío con variaciones importantes de temperatura.

En el *Plan de Ordenamiento Ambiental territorial de la Microcuenca del río Tona* elaborado por la CDMB⁴⁷, se realizó un análisis Climatológico utilizando información hidrológica y meteorológica disponible en el área de estudio con base en los datos registrados por 13 estaciones del IDEAM.

⁴⁷ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Río Tona. Capítulo 2- Caracterización. P. 1-12.

De acuerdo al anterior estudio las principales características del clima encontradas en la zona son las siguientes:

5.4.1 Evapotranspiración:

De acuerdo al mapa de isoevapotranspiración realizado por la CDMB, aproximadamente el sector del talud en estudio presenta una evapotranspiración alrededor de los 1130 mm/año.

5.4.2 Temperatura:

En La microcuenca los valores medios máximos de temperatura oscilan entre los 22 y 23 °C, los meses con mayores temperaturas medias son mayo y julio, y el de menor temperatura media es el mes de noviembre⁴⁸. Según el mapa de isotemperatura realizado por la CDMB, aproximadamente el sector del talud en estudio presenta valores medios máximos de temperatura que varían entre los 19,5 y 20,5 °C.

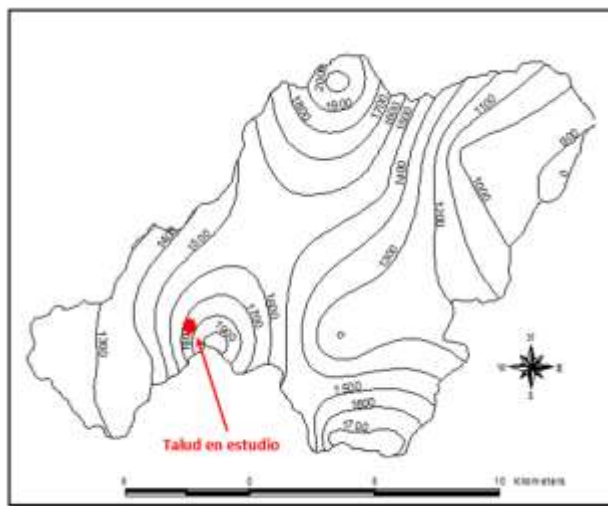
5.4.3 Precipitación:

En La microcuenca el régimen de lluvias es bimodal, con periodos de invierno comprendidos entre los meses de abril a mayo y de septiembre a noviembre, los valores están entre los 130 y 300 mm mensuales, los meses de menor precipitación se presentan en el periodo diciembre-febrero con valores entre los 30 y 100 mm mensuales⁴⁹. Según el mapa de isoyetas realizado por la CDMB, aproximadamente el sector del talud en estudio presenta valores de precipitación media anual que varían entre los 1700 y 1900 mm. **Figura 13.**

⁴⁸ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Rio Tona. Capítulo 2- Caracterización. P. 3.

⁴⁹ Ibid., p. 2.

Figura 13. Curva isoyetas de la microcuenca del río Tona.



Fuente. Cdmb⁵⁰.

Con el fin de apoyar la información de la CDMB sobre la precipitación del sector en estudio, se realizó un análisis de información extraída de la base de datos de estaciones registradas al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); La estación considerada para el análisis se eligió porque es muy cercana al talud y se encuentra en estado activo, su ubicación respecto al talud se presentan en la **Figura 14** y en la **tabla 1** se presentan datos generales.

Figura 14. Localización de estación La Galvicia, IDEAM.



⁵⁰ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Río Tona. Capítulo 2- Caracterización. P. 3.

Tabla 1. Información general de estación La Galvicia.

| | |
|-----------------------|---------------|
| Estación | LA GALVICIA |
| Municipio | Floridablanca |
| Corriente | Tona |
| Cota Msnm | 1779 |
| Inf. Analizada | 1968 - 2015 |
| Latitud | 7.124 |
| Longitud | -73.057 |

- **Precipitación**

Los valores de Precipitación media mensual muestran que el valor promedio es de 160,8 mm, en el mes de octubre se presenta la precipitación media máxima con 235,5 mm y en el mes de diciembre la media mínima con 90,2 mm. Se observa presencia de un ciclo bimodal, con dos periodos secos y dos lluviosos, conformados así: entre los meses de diciembre a marzo y de junio a agosto corresponde a época seca y entre los meses abril a mayo y de septiembre a noviembre corresponde a época de lluvias, **Figura 15**, La precipitación media anual es de 1900 mm, **Figura 16**.

Figura 15. Valores medios mensuales de precipitación, estación La Galvicia Santander.

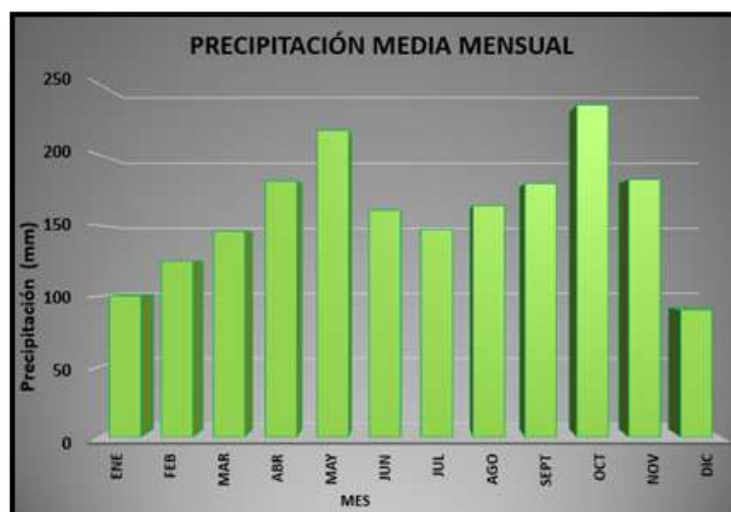
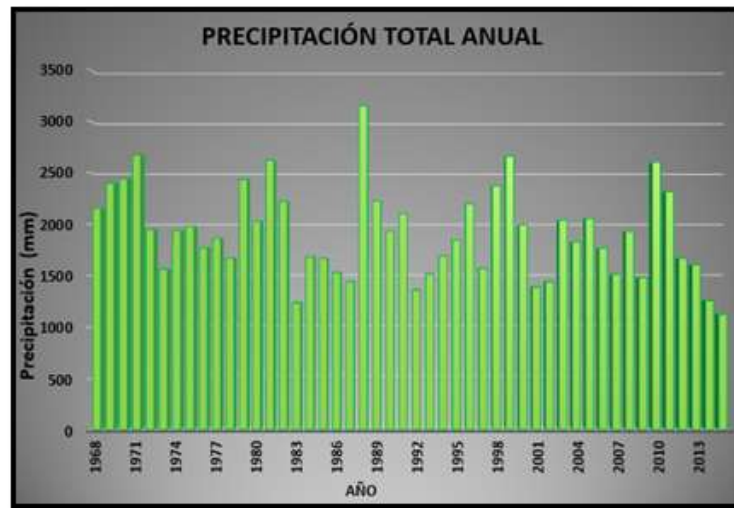


Figura 16. Valores de precipitación total anual, estación La Galvicia Santander.



6. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

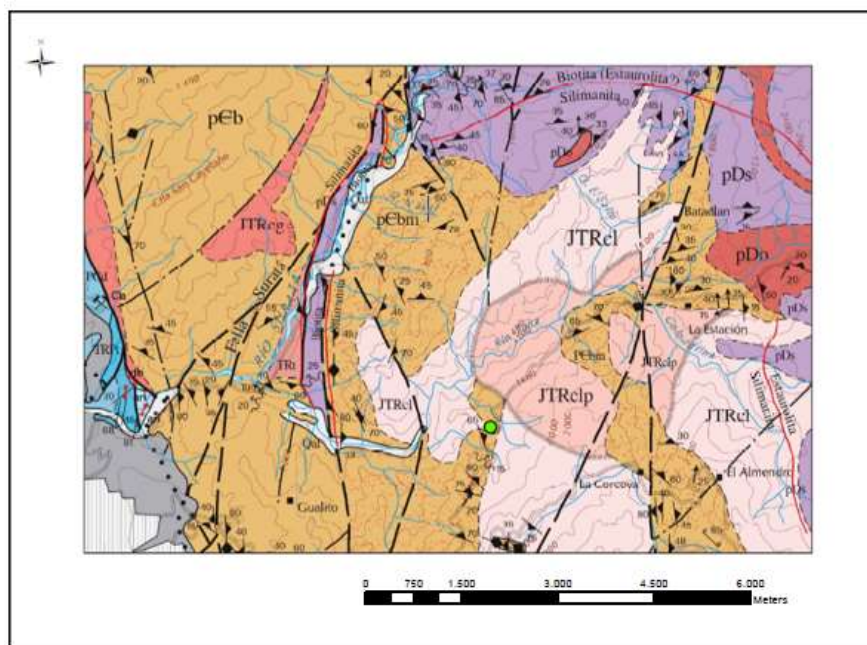
6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

A continuación se hace una descripción de las unidades geológicas aledañas al talud en estudio, en base a observaciones e investigaciones realizadas en zonas cercanas al área de estudio.

Geológicamente el Talud se ubica en la parte oriental del macizo de Santander, en la cordillera oriental del sistema orogénico de los andes colombianos.

Litológicamente afloran roca ígnea (la cuarzomonzonita de la Corcova), y roca metamórfica (Ortoneis, Paraneis y Silgará). Las edades de estas rocas oscilan entre el pre-cambriano y el pre-devoniano.

Figura 17. Mapa Geología Regional



Fuente. Plancha H-12 Bucaramanga de Ingeominas⁵¹.

⁵¹ Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. 1977.

6.1.1 Rocas metamórficas.

- **Neis de Bucaramanga (p**eb**)**, Son rocas metamórficas de origen sedimentario, de alto y medio grado de metamorfismo que se hallan expuestas en la parte oeste de la región en estudio, son de grano medio a muy grueso, de bandas claras y oscuras hasta de 5 cm, sus constituyentes principales son plagioclasa y cuarzo, y en menor proporción anfíbol, ortoclasa y biotita; Esta unidad está conformada por paraneis, neis migmatítico predominantemente, esquistos pelíticos y arenáceos, anfíbolita y mármol. El neis migmatítico es de grano grueso con bandas muy plegadas, y de alto porcentaje en máficos. Los esquistos pelíticos – arenosos se presentan finamente laminados y en colores que varían entre gris claro y gris oscuro. La Anfíbolita, de color verde oscuro lustroso y el mármol, de color gris oscuro con ligeras variaciones a rosado, se presentan como pequeños lentes inferiores a 50 cm de espesor.

Los suelos residuales del neis son formados en el sitio por la fuerte meteorización de las rocas y también por estar cerca al sistema de falla Bucaramanga – Santa Marta, lo que facilita la desintegración de la roca, haciendo que se formen suelos residuales en la zona. Generalmente son suelos de color amarillo a ocre, con algunas franjas rojizas de textura limoarenosa y arenosa⁵²⁻⁵³.

- **Neis con abundantes masas de ortoneis (p**ebm**)**, Esta unidad tiene una composición intermedia entre el paraneis (p**eb**) y el Ortoneis; rocas descritas en esta misma sección.

- **Ortoneis (P**Do**)**, Son rocas metamórficas de origen ígneo, encontradas en la parte noreste de la región en estudio, presentan una gran variación de textura y

⁵² Osorio, Lina y Salazar, Oscar. Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Tona. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p. 71-74.

⁵³ Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga. Diagnostico dimensión Biofísico-Ambiental. En: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf> p. 12-13.

composición, poseen estructura néisica y carácter no estratificado de composición principalmente Neis cuarzo feldespático, variando desde granito hasta tonalita, está ampliamente distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado de metamorfismo de edad Pre-Devónico que forman el núcleo del macizo. Estas rocas son en general masivas pero contienen tabiques de rocas meta-sedimentarias foliadas y cortinas delgadas de neis hornbléndico y anfibolita, algunas de las cuales parecen diques metamorfoseados⁵⁴.

- **Formación Silgara (PDs)**, Conjunto de rocas de grado de metamorfismo medio, ubicadas al noreste de la región en estudio. Comprende una secuencia de rocas clásticas meta-morforseadas, esquistos micáceos, cuarcitas, meta-areniscas y meta-limolitas.

Los esquistos micáceos y cuarcitas son las rocas más abundantes en esta formación, los esquistos varían de grano fino a grueso, presentando una excelente foliación y color entre gris y gris verdoso, localmente se presentan segregaciones de cuarzo de forma lenticular. La cuarcita es muy dura de color rosado y blanco grisáceo; localmente presenta niveles moscovíticos muy delgados y variaciones a meta-arenisca, alcanzando espesores hasta de 25 metros⁵⁵.

6.1.2 Rocas ígneas

- **Cuarzo Monzonita La Corcova (JTRcl)**, La cuarzomonzonita típica de La Corcova es de grano fino a medio, principalmente equigranular y de textura sacaroide, con biotita uniformemente diseminada, ubicada al noreste y sureste de la región en estudio. En estado fresco es de color gris y meteorizada es de color gris claro o gris amarillento. En algunos sitios muestra una débil estructura fluidal. Al encontrarse masiva, tiende a meteorizar esferoidalmente, formando cantos con

⁵⁴ Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Memoria Explicativa del Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga y cuadrángulo H-13 Pamplona. Vol. XXI. No 1-3. 1973. p 21-33.

⁵⁵ Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga. Diagnostico dimensión Biofísico-Ambiental. En: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf> p. 13-14.

núcleo rocoso. “La roca está compuesta de 30 a 35% de cuarzo, 25 a 45% de pligoclasa, 30 a 45% de Ortoclasa, predominantemente microclina, un 3% de biotita y trazas hasta 2% de moscovita”⁵⁶.

- **Cuarzo Monzonita La Corcova, porfirítica (JTRclp)**, Se encuentra ubicada al noreste de la región, presenta características similares a la cuarzomonzonita de la corcova (JTRcl), incluyendo en su composición roca porfirítica.

La roca está compuesta de cristales separados, parcialmente grandes, insertados en una masa de cristales afaníticos. En algunas rocas porfiríticas la masa es una mezcla de finos granos de minerales y de vidrios no cristalinos⁵⁷.

- **Cuarzo Monzonita y granito, biotita. (JTRcg)**, Roca exhibida en la parte noroeste de la región en estudio, contiene Intrusiones pequeñas de cuarzomonzonita, granito, pórfido cuarzoso y escaso de granodiorita, de colores gris rosado a gris claro.

Algunas rocas de color gris claro se asemejan a la cuarzomonzonita de la Corcova (JTRcl) ya que tienen la misma textura sacaroide y la biotita uniformemente diseminada, de grano medio⁵⁸.

6.2 GEOLOGÍA LOCAL

De acuerdo a la información que se encuentra en el cuadrángulo H-12 de Bucaramanga elaborado por Ingeominas⁵⁹ y según la investigación “ Cartografía

⁵⁶ Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Memoria Explicativa del Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga y cuadrángulo H-13 Pamplona. Vol. XXI. No 1-3. 1973. p 32-33.

⁵⁷ Ibid., p. 33.

⁵⁸ Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Subdirección de amenazas geológicas y entorno ambiental. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. P. 23.

⁵⁹ Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. 1977.

Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Toná, Macizo de Santander⁶⁰, en la zona de estudio se presenta un contacto inferido y/o gradacional entre la roca ígnea (Cuarzomonzonita de la Corcova (JTRcl)) de edad triásico-jurásico y la roca metamórfica (Neis de Bucaramanga (pebm)) de edad Pre-cámbrico, definidas en el literal Geología regional.

6.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El departamento de Santander se encuentra ubicado en una región tectónica compleja y dinámica, exactamente en la zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del caribe y la suramericana. Localmente el área de estudio pertenece a la tectónica de la cordillera oriental y macizo de Santander, y está enmarcada por numerosas fallas que ejercen un control estructural a los principales ríos y quebradas que la atraviesan. A continuación se describen unas de las más importantes.

6.3.1 Sistema de Fallas Bucaramanga

Es una falla de desplazamiento de rumbo lateral izquierdo, trazo rectilíneo y dirección aproximada N20°W que cruza toda la región centro-oriental del departamento de Santander. Es considerada un sistema de fallas de rumbo, con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz (1974)⁶¹, en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa.

La historia geológica de la falla Bucaramanga es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al

⁶⁰ Osorio, Lina y Salazar, Oscar. Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Tona. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p. 71-74.

⁶¹ Ibid., p.96.

Gnéis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander). Boinet et al. (1989)⁶², considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla, y que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

En el territorio del Departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamiento, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la falla Bucaramanga, (donde afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica) de edad Plioceno-Pleistoceno, según Julivert (1963)⁶³.

Asociadas al sistema de la falla de Bucaramanga, se pueden distinguir otras fallas de direcciones noreste, más jóvenes o casi contemporáneas a esta, algunas de las cuales la han desplazado en sentido lateral derecho, como es el caso de la de Suratá.

6.3.2 Sistema de Fallas Suratá

Presenta un rumbo predominante N15°E, y su trazo sigue el curso del Río Suratá, prolongándose en el Departamento de Norte de Santander. Falla inversa de ángulo alto, donde geomorfológicamente las evidencias de la actividad de esta falla se expresan en facetas triangulares, sillas de falla y cerros aislados, al igual que plegamientos en las diferentes formaciones.

La evolución tectónica de esta falla es compleja, con movimientos relativos pre-cretácicos de distensión en donde el bloque occidental se hunde y post-cretácicos de tipo compresivo relacionado con la orogénesis terciaria, según Julivert y Téllez

⁶² Osorio, Lina y Salazar, Oscar. Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Tona. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p. 96.

⁶³ Ibid., p. 96.

(1963)⁶⁴. La Falla de Suratá actualmente es inversa con el bloque noroccidental levantado y desplazamiento de rumbo lateral derecho, y afecta la Falla Bucaramanga por lo menos en unos 750 m, (WARD, et al., 1973)⁶⁵.

6.3.3 Sistema de Fallas Suarez

Este sistema consta de fallas paralelas ubicadas al borde del Rio de Oro, tiene una longitud de 170 Km, con una tasa de movimiento baja (0.01 a 0.1 mm/año), con dirección N45/60E de tipo sinextral inverso, con un plano de falla inclinado 60° - 90° al W-NW. Este sistema de fallas se prolonga hasta el trazo de la falla Bucaramanga.

Topográficamente la falla principal genera un escarpe distintivo, el plano de falla presenta un buzamiento principal hacia el NW, con un ángulo aproximado de 60° (Ward et al., 1973)⁶⁶. La falla del Río de Oro pertenece a este sistema de fallas caracterizado por una fuerte componente vertical asociada con unos movimientos menores laterales izquierdos.

6.3.4 Sistemas de Falla Picacho y Rio Frio

Fallas que parecen corresponder al sistema más antiguo y son fallas de alto ángulo y movimiento lateral derecho, desplazan los contactos entre las rocas ígneas y metamórficas, su actividad reciente es poco evidente.

⁶⁴ Subdirección Gestión Ambiental Urbana Sostenible. Estudio detallado de la amenaza por fenómenos de remoción en masa Municipio Surata. En: http://www.surata-santander.gov.co/apc-aa-files/39613739373265373736343034633962/Amenazas_Remosion_masas_surata_1_.pdf.p.36.

⁶⁵ Ibid., p.36.

⁶⁶ Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga. Diagnostico dimensión Biofísico-Ambiental. En: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf> p. 70-71.

6.4 GEOMORFOLOGÍA

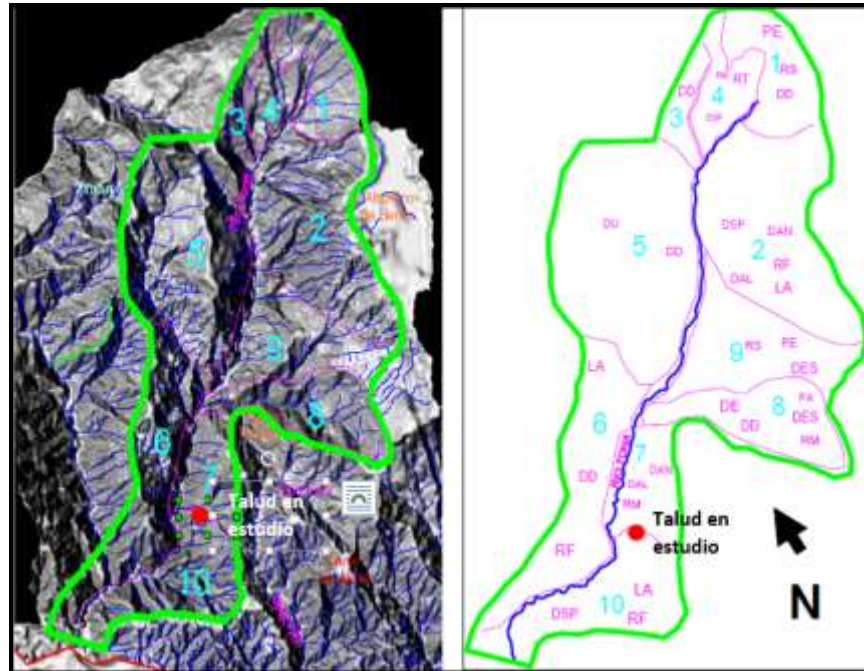
Santander es uno de los departamentos más montañosos del país y gran parte de su territorio corresponde a la cordillera Oriental, donde predominan relieves de la superficie terrestre que van de moderado a escarpado.

El talud en estudio se encuentra dentro del área que abarca la subcuenca del río Toná, que fisiográficamente corresponde a zonas de alta montaña con elevaciones entre los 1000 y 4200 m.s.n.m. aproximadamente.

En la investigación, *Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Toná, macizo de Santander*, se realizó una configuración geomorfológica clasificando la subcuenca en 12 zonas, definidas teniendo en cuenta el estado de la deformación estructural, cambios en la dirección de los cerros, tipo de drenaje, pendientes y topografía. La zona 10, lugar donde se encuentra el talud en estudio se destaca por presentar topografía fuerte, de altas pendientes, presenta lomas alineadas y drenajes subparalelos posiblemente afectados por callamientos y caracterizado por ser el relieve más fuerte de toda la zona⁶⁷.

⁶⁷ Osorio, Lina y Salazar, Oscar. *Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Tona*. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p. 50.

Figura 18. Divison de la subcuenca del Rio Tona con base en rasgos y comportamiento de los drenajes.



Fuente. Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca del rio Tona⁶⁸.

6.4.1 Geoformas de origen denudacional

El paisaje de montaña denudativa, como ocurre en este caso, está compuesto por rocas ígneas y metamórficas, dentro de esta unidad se encuentran laderas moderadas y nichos denudacionales, donde el principal proceso geomorfológico corresponde a la erosión laminar y dependiendo de la cobertura y uso del suelo puede convertirse en, erosión en cárcavas y/o remoción de masas⁶⁹.

⁶⁸ Osorio, Lina y Salazar, Oscar. Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del rio Tona. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p. 50.

⁶⁹ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Rio Tona. Capítulo 2- Caracterización.P.68-70.

Laderas moderadas: Superficie natural del terreno, producto de procesos principalmente denudacionales, caracterizada por presentar pendientes moderadas con inclinaciones entre 10° y 40°. Por lo general estas zonas presentan buena cobertura vegetal y son comunes en toda el área de estudio⁷⁰.

Nichos denudacionales: Microcuencas cerradas con forma de cubetas semicirculares a ovaladas, donde los procesos denudacionales han venido trabajando sobre materiales que no han sido provocados por cargas sobre su masa⁷¹.

6.4.2 Morfometría

La morfometría está relacionada con la cuantificación de parámetros generales de forma (área, perímetro, ancho) y de relieve (pendiente), utilizados para identificar zonas con similares características, asignarles una clasificación porcentual y un color representativo.

La morfometría tiene su mayor uso en la elaboración de mapas de pendiente ya que la pendiente del terreno es un factor primordial respecto a la estabilidad de las laderas, porque proporciona información sobre la magnitud de las fuerzas gravitatorias actuantes sobre el bloque deslizante.

Según el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), los valores de pendiente del terreno se hallan en porcentaje y se clasifican de acuerdo a los rangos de la **Tabla 2**.

La superficie del terreno del talud en estudio tiene forma cóncava, con pendientes que varían desde fuertemente inclinadas hasta escarpadas.

⁷⁰ Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Subdirección de amenazas geológicas y entorno ambiental. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. http://www.academia.edu/9015630/SUBDIRECCI%C3%93N_DE_AMENAZAS_GEOL%C3%93GICAS_Y_ENTORNO_AMBIENTAL_INFORME_FINAL. p. 93.

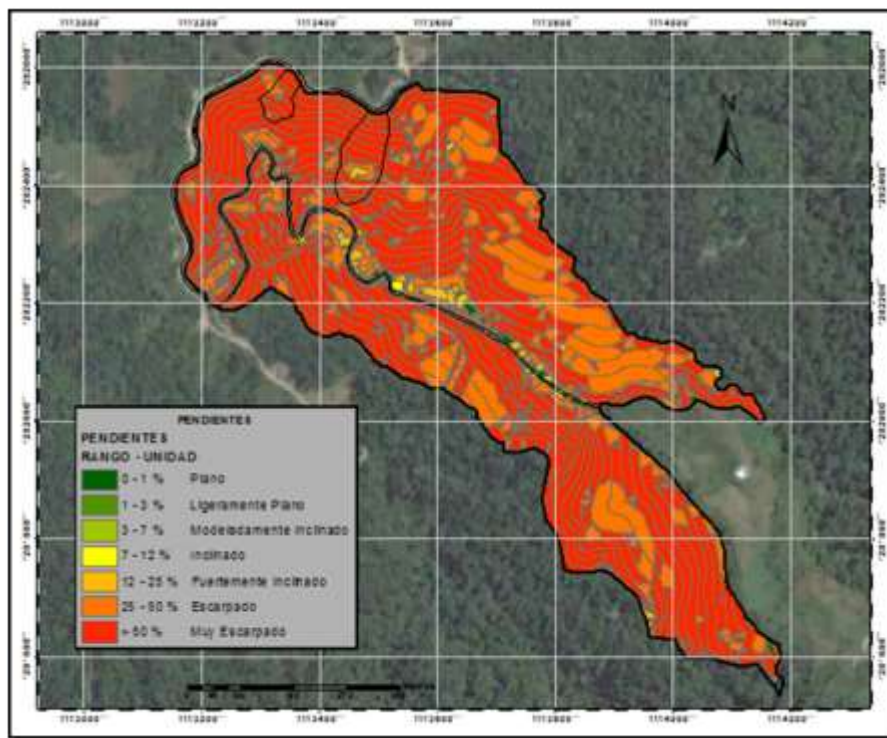
⁷¹ Ibid., p. 92.

El mapa de pendientes muestra la forma del relieve de la superficie del terreno en el que se ubica el talud en estudio, **Figura 19**. Según el mapa de pendientes se puede distinguir la forma del relieve de la superficie del terreno antes del deslizamiento, obteniendo una forma cóncava, con pendientes que varían desde escarpado hasta muy escarpado.

Tabla 2. Morfometría según la clasificación del IGAC.

| PENDIENTES | | |
|--|-----------|-------------------------|
| PENDIENTES FINAL | RANGO | UNIDAD |
|  | 0 - 1 % | Plano |
|  | 1 - 3 % | Ligeramente Plano |
|  | 3 - 7 % | Moderadamente Inclinado |
|  | 7 - 12 % | Inclinado |
|  | 12 - 25 % | Fuertemente Inclinado |
|  | 25 - 50 % | Escarpado |
|  | > 50 % | Muy Escarpado |

Figura 19. Mapa de pendientes.



7. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

7.1 INFORMACIÓN EXISTENTE

En el *Estudio de Suelos para el Diseño y Construcción de Estructuras de uno y dos niveles, Finca El Porvenir Vereda Caragua Bajo*, desarrollado por la empresa LAC Suelos & ingeniería S.A.S.⁷², se realizaron 10 sondeos de perforaciones mecánicas con penetración continua a percusión en tramos de 50 centímetros de longitud con profundidad variable entre 6 a 10 m, repartidos en toda el área de la finca.

Como se muestra en la **figura 20**, el sondeo 8 es el más cercano al deslizamiento en estudio y por la similitud en las características físicas con los sondeos 6 y 7 son unificados en un solo perfil tipo **Anexo A**. Es importante destacar que las características geotécnicas halladas en el proyecto de Suelos respecto a las propias evidencian valores semejantes. La información resultante de la exploración de campo y de laboratorio se muestra en las **tablas 3 y 4**.

Figura 20. Localización sondeos SPT, Estudio de suelos Finca el Porvenir.



Fuente: Adaptado de Estudio suelos⁷³.

⁷² Suelos & Ingenierías S.A.S. Estudio de Suelos para el diseño y construcción de estructuras de uno y dos niveles. Finca el Porvenir. Municipio Tona. 2015.

⁷³ Ibid., p.35.

Tabla 3. Resultados de caracterización física, Estudio de suelos Finca el Porvenir.

| SONDEO | 6 | 7 | 8 | DATOS | | | | | | |
|-----------|----|----|----|-------|-------|------|-------|------------|------------|-----------|
| | | | | PROF. | N | N | N | Gravas (%) | Arenas (%) | Finos (%) |
| 0.0 a 0.5 | 3 | 2 | 5 | 11,68 | 15,62 | 72,1 | 55,27 | 43,33 | 12 | CH |
| 0.5 a 1.0 | 4 | 6 | 4 | | | | | | | |
| 1.0 a 1.5 | 11 | 7 | 7 | | | | | | | |
| 1.5 a 2.0 | 13 | 11 | 10 | 0,44 | 23,77 | 75,8 | 32,71 | 26,47 | 7 | ML |
| 2.0 a 2.5 | 14 | 12 | 11 | | | | | | | |
| 2.5 a 3.0 | 19 | 16 | 15 | | | | | | | |
| 3.0 a 3.5 | 18 | 19 | 15 | | | | | | | |
| 3.5 a 4.0 | 20 | 13 | 23 | 0 | 33,13 | 66,9 | N.P. | N.P. | N.P. | ML |
| 4.0 a 4.5 | 21 | 20 | 21 | | | | | | | |
| 4.5 a 5.0 | 22 | 26 | 27 | | | | | | | |
| 5.0 a 5.5 | 24 | 27 | 27 | | | | | | | |
| 5.5 a 6.0 | 28 | 31 | 24 | | | | | | | |
| 6.0 a 6.5 | 22 | RT | 33 | | | | | | | |
| 6.5 a 7.0 | 24 | | RT | 0 | 10,95 | 89,1 | N.P. | N.P. | N.P. | ML |
| 7.0 a 7.5 | 28 | | | | | | | | | |
| 7.5 a 8.0 | RT | | | | | | | | | |

Tabla 4. Resultados de caracterización mecánica, Estudio de suelos Finca el Porvenir.

| Muestra Remoldeada | | |
|--------------------|--------------------|-------|
| Parámetro | unidad | valor |
| Cohesión | Kg/m ² | 5338 |
| Fricción | ° | 18 |
| Peso Unitario | Ton/m ³ | 1,5 |

En el Estudio *Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del Rio Tona - Embalse de Bucaramanga*⁷⁴, los taludes analizados se asientan sobre la formación Neis de Bucaramanga y buscando determinar la envolvente de falla del macizo rocoso, utilizaron el software Rocklab con el criterio de rotura de Hoek & Brown, utilizando los siguientes datos:

GSI – Índice de resistencia geológica: 50

Mi – factor dependiente del tipo de roca: 28

D – grado de alteración de la roca a los efectos de voladura: 0,7

Sigci – Resistencia a la compresión inconfiada: 44 Mpa

El programa arroja los valores de cohesión y fricción de la roca, y el peso unitario lo determinaron en base a pruebas previas realizadas por el proyecto del Embalse.

Tabla 5. Propiedades Mecánicas Roca Neis, Embalse de Bucaramanga.

| MATERIAL | C (KPa) | ϕ (°) | γ (KN/m3) |
|-----------------|----------------|------------------------------|--|
| Roca Neis | 218 | 31,15 | 27 |

En el Estudio *Valoración de diferentes opciones para estabilización del talud ubicado en el K8 +600 en la vía doble calzada Bucaramanga-Cúcuta*⁷⁵, el talud se asienta sobre la formación Neis de Bucaramanga y afloramientos de roca constituidos por Paraneis, en el análisis el Saprolito fue encontrado a una profundidad aproximada de 10 metros.

⁷⁴ Prada, Leonel y Serrano, Andres. Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del Rio Tona - Embalse de Bucaramanga. Tesis para Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2009.

⁷⁵ Caballero, Jesus. Valoración de diferentes opciones para estabilización del talud ubicado en el k8 +600 en la vía doble calzada Bucaramanga-Cúcuta Tesis para Ingeniero Civil. Bogota. Universidad Militar Nueva Granada. 2014.

7.2 EXPLORACIÓN DE CAMPO

Para efectuar la caracterización física se recolectaron muestras alteradas de forma manual, algunas conservadas en bolsas plásticas y otras envueltas con papel aluminio y vinipel, las ultimas utilizadas en los ensayos de humedad. Para la caracterización mecánica se recolectaron muestras inalteradas penetrando el suelo con anillos cortantes, además de la extracción de muestras con tubo PVC de 4 pulgadas y medio metro de longitud, cubierto con parafina y vinipel para evitar cambios en la humedad natural.

Nivel Freático, En la visita a campo no se encontró nivel freático visible y en el estudio de suelos se expone que en los sondeos SPT tampoco se encontró nivel freático⁷⁶.

7.2.1 Ubicación de puntos de toma de muestras

Se realizó la toma de muestras en 5 puntos, 3 ubicados dentro del deslizamiento y 2 ubicados metros arriba del escarpe principal, dentro del deslizamiento las muestras fueron tomadas en la parte que se encontraba el suelo expuesto sin capa orgánica, ya que se hizo muy dispendiosa la toma de muestra en la parte que tiene vegetación. La localización de los puntos se muestra en la **Figura 21**.

Figura 21. Localización toma de muestras, Talud en estudio.



⁷⁶ Suelos & Ingenierias S.A.S. Estudio de Suelos para el diseño y construcción de estructuras de uno y dos niveles. Finca el Porvenir. Municipio Tona. 2015. P. 53.

7.2.2 Toma de muestras

- **Muestras en el deslizamiento**, Inicialmente se remueve el suelo superficial, en la foto no se observa capa orgánica porque es la parte del deslizamiento que esta el suelo expuesto.

Figura 22. Toma de muestra 1.



Se entierra el anillo en el suelo a golpes con una porra, se utiliza una barra de acero puesta sobre el anillo que permita golpear en el centro y de esta forma entre al suelo derecho, luego de enterrado completamente se remueve el suelo de los lados intentando producir las mínimas alteraciones.

Figura 23. Toma de muestra 2.



Extraído el anillo con el espécimen, se envuelve en papel aluminio y vinipel, finalmente se toma del mismo punto una cantidad aproximada de 1,5 kg de suelo en bolsas, para ensayos de granulometría y límites y 50 g envuelto en papel aluminio y vinipel, para el ensayo de humedad.

Figura 24. Toma de muestra 3.



- **Muestras fuera del deslizamiento,** Inicialmente se remueve parte superficial de la capa orgánica, se elige un lugar que no tenga tanta densidad de vegetación.

Figura 25. Toma de muestra 4.



Se entierra el tubo por el lado que tiene forma de punta, se utiliza la barra puesta encima para poder golpear en el eje del tubo y que este entre al suelo derecho. Luego de hincado completamente se remueve el suelo de los lados intentando producir las mínimas alteraciones.

Figura 26. Toma de muestra 5.



Se prepara la parafina para cubrir los extremos del tubo y posteriormente sean envueltos con vinipel.

Figura 27. Toma de muestra 6.



7.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

La exploración de campo se utiliza para la caracterización del suelo por medio de ensayos de laboratorio, tales como: granulometría, límites de Atterberg, humedad y corte directo, siendo estos necesarios para obtener la clasificación SUCS y los parámetros de resistencia del suelo, **Tabla 6.**

Tabla 6. Ensayos de laboratorio.

| Ensayo | Norma | No. de ensayos |
|--|--|-----------------------|
| Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123 | 5 |
| Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado | ASTM D2216 I.N.V.E. 122 | 5 |
| Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos | ASTM D4318 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E. 126 | 5 |
| Resistencia al Corte Directo Consolidado y Drenado | ASTM D3080 – AASHTO T236 I.N.V.E. 154 | 5 |
| Clasificación de suelos (SUCS) | ASTM D 2487 | 5 |

7.3.1 Procedimiento general

- **Granulometría,** Se escoge la cantidad de material a ensayar, aproximadamente 1000 g, y se seca en el horno por 1 día. Después de tener el suelo seco, se deja en agua para ablandar los terrones de material fino.

Figura 28. Ensayo de laboratorio 2.



Cuando el material este blando se lava por el tamiz no. 200 hasta que el agua salga limpia y posteriormente se introduce al horno por 1 día, tomando su peso antes y después de secado.

Se realiza el tamizado a través de una batería de tamices desde el No. 2” Hasta el No. 200.

Figura 29. Ensayo de laboratorio 3.



- **Límites de Atterberg**

Se escoge la cantidad de material a ensayar aproximadamente 200 g y se seca al aire libre por 1 día.

Figura 30. Ensayo de laboratorio 5.



Después de seco el material se machaca en un mortero y se tamiza por el tamiz No.40, se conserva la fracción de suelo que ha pasado.

Figura 31. Ensayo de laboratorio 6.



Para el límite líquido se pone parte del material en un mortero, poco a poco se va agregando agua y mezclando hasta que se forme una pasta homogénea, luego se toma una porción y se inician a formar rollitos de 3 mm de diámetro revisando que se cuartee lo más próximo a este diámetro, recogiendo en dos taras aproximadamente 15 g de los rollitos.

Figura 32. Ensayo de laboratorio 7.



Para el límite líquido se pone parte del material en un mortero, se inicia poniendo poca agua y mezclando hasta formar una pasta homogénea, la mezcla se extiende en la cuchara de Casagrande, se le hace un corte y se comienza a dar vueltas a la manivela contando los golpes hasta que las dos partes de muestra se junten. Se realiza este procedimiento agregando poco a poco agua y así encontrar los números de golpes requeridos.

Luego de recoger el material en taras se lleva al horno, tomando el peso antes y después de secado.

Figura 33. Ensayo de laboratorio 9.



- **Humedad**

Se pone el material en taras y se seca en una estufa eléctrica a baja temperatura, tomando el peso antes y después de secado.

Figura 34. Ensayo de laboratorio 10.



- **Corte directo**

Se prepara la muestra, perfilando con un cuchillo el suelo en las dos caras del anillo, luego se introduce en la caja de corte poniendo las piedras porosas correctamente. Se toma el peso de la muestra con el anillo y el anillo.

Figura 35. Ensayo de laboratorio 11.



La caja con la muestra se monta a la máquina de corte directo, en la primera parte del ensayo se aplica la carga vertical, inicialmente se pone un peso pequeño y el deformimetro vertical en cero e inmediatamente se termina de poner el resto de peso y se inician a tomar los datos de asentamiento por 1 hora.

Figura 36. Ensayo de laboratorio 12.



En la segunda parte la muestra es sometida a un corte horizontal en donde la mitad móvil de la caja se desplaza a una velocidad de 0,5 mm/min, arrojando en el tablero los valores de carga y deformación.

Figura 37. Ensayo de laboratorio 13.



Los valores son grabados en videos para asegurar mejor precisión en la toma de datos. Después del corte las muestras son pesadas y secadas en el horno.

Figura 38. Ensayo de laboratorio 15.



7.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

7.4.1 Ensayo de granulometría

Este ensayo permite determinar la distribución de los tamaños que conforman el suelo de acuerdo al porcentaje de finos, arenas y gravas, para su posterior clasificación. Al lavar el material de ensayo por el tamiz No. 200 se observa que pasa gran cantidad de muestra, constatando que el suelo de estudio es de grano fino. La norma que se utilizó es la I.N.V. E-123. Los resultados del tamizado se dan en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Resultados de ensayos de Granulometría.

| muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Gravas (%) | 3,4 | 0,7 | 1,2 | 0,1 | 0,1 |
| Arenas (%) | 31,1 | 40 | 36 | 26,5 | 26,4 |
| Finos (%) | 65,5 | 59,3 | 62,8 | 73,4 | 73,5 |

7.4.2 Ensayo de límites de Atterberg

Este ensayo permite determinar el comportamiento de los suelos según el contenido de humedad que tienen, determinando los porcentajes de agua que requiere para que tenga la capacidad de deformarse sin quebrarse y para que no se comporte como un fluido.

La determinación de los límites se realizó en base a la norma I.N.V. E-126 y sus resultados se dan en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Resultados de ensayos de Límites de Atterberg.

| muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| Límite Líquido | 46,1 | 42 | 42,2 | 54,6 | 56,1 |
| Límite Plástico | 32,5 | 33,8 | 31,3 | 42,6 | 42,1 |
| Índice Plástico | 13,6 | 8,2 | 10,9 | 12 | 13,7 |

7.4.3 Humedad

Este ensayo permite conocer el contenido de agua en peso que presenta el suelo, la determinación de la cantidad de humedad natural en porcentaje se realizó en base a la norma I.N.V. E-122 y sus resultados se dan en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Resultados de ensayos de Humedad.

| muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-------|-------|-------|------|------|
| Humedad (%) | 21,41 | 22,28 | 27,92 | 30,5 | 24,3 |

7.4.4 Ensayo de Corte directo

El corte directo que se realizó fue consolidado no drenado (CU) por control de deformaciones, en este ensayo se determina la resistencia al corte de una muestra de suelo cuando se ha sometido a una carga de consolidación y posteriormente a la aplicación de una fuerza horizontal de corte, con una velocidad constante de 0,5 mm/min.

Se realizaron ensayos de resistencia al corte con muestras de material intacto en las proximidades del escarpe principal y en muestras dentro del deslizamiento, para las que se determinó parámetros pico y próximos a la condición residual.

Se ensayaron 3 anillos por muestra, cada uno con una carga de consolidación diferente (8, 16 y 32 Kg), dejando que las placas se desplazaran, aun después de la falla hasta 14 mm, con el fin de conseguir la condición residual.

Para el cálculo de esfuerzos se realizó la corrección del área de contacto donde se formuló una ecuación que disminuye el área en función del desplazamiento que tienen las placas durante el proceso de corte, **ecuación 1**.

$$\text{Area contacto} = \pi R^2 - dR \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{d}{2R}\right)\right) - 2R^2 \sin^{-1}\left(\frac{d}{2R}\right) \quad (1)$$

Los resultados de los ensayos se muestran en el **Anexo B**.

7.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO MECÁNICA DEL SUELO

Según los resultados de los ensayos y con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) las muestras ensayadas son Limos de baja plasticidad (ML) y Limos de alta plasticidad (MH), **Tabla 10**.

Tabla 10. Caracterización Físico Mecánica.

| MUESTRA | SUCS | DESCRIPCIÓN | C (KPa) | ϕ (°) | γ (KN/m³) |
|----------------|-------------|---|--------------------|------------------------------|---|
| 1 | ML | Suelo Residual suelto Alterado, conformado de Limo Inorgánico de baja plasticidad, color naranja, húmedo, pobremente consolidado. | 44,7 | 23,3 | 15,5 |
| 2 | ML | Suelo Residual suelto Alterado, conformado de Limo Inorgánico de baja plasticidad, color naranja, húmedo, pobremente consolidado. | 36,6 | 21,8 | 14,5 |
| 3 | ML | Suelo Residual suelto Alterado, conformado de Limo Inorgánico de baja plasticidad, color naranja, muy húmedo, pobremente consolidado. | 40,0 | 22,6 | 14,8 |
| 4 | MH | Suelo Residual suelto, conformado de Limo Inorgánico de Alta plasticidad, color marrón con naranja, húmedo, regularmente consolidado. | 51,8 | 28,4 | 15,8 |
| 5 | MH | Suelo Residual suelto, conformado de Limo Inorgánico de baja plasticidad, color marrón con naranja, húmedo, regularmente consolidado. | 61,4 | 30,5 | 16,1 |

7.5.1 Perfiles típicos

De acuerdo a la caracterización físico mecánica se puede observar que la masa deslizada por la falla tiene propiedades menos resistentes respecto al suelo que no sufrió alteraciones, por tal razón se estiman dos tipos de estratos, el suelo Residual, sin alteraciones y el suelo Residual alterado.

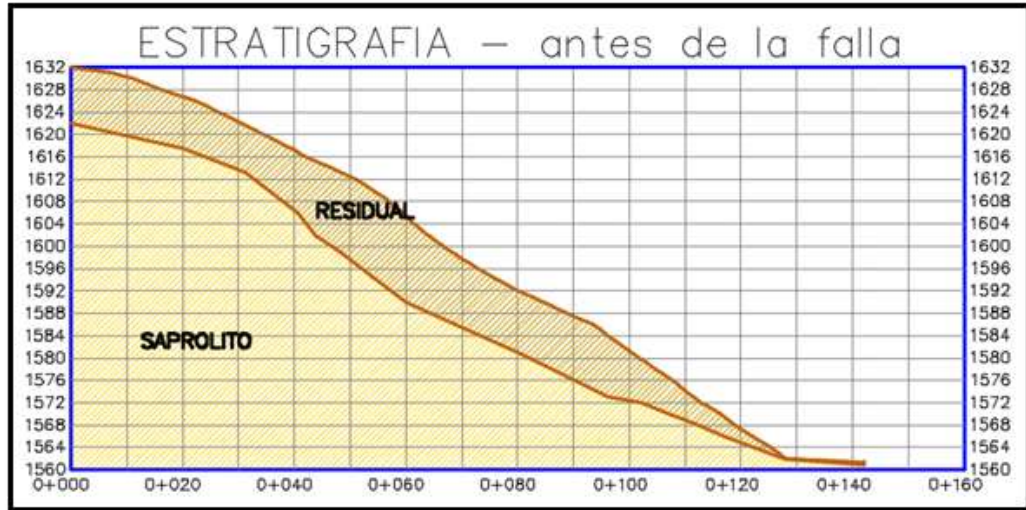
La condición de la estratigrafía antes y después de la falla del talud, se determina con base en el análisis de información secundaria, topografía, visitas de campo y caracterización físico mecánica del suelo.

Tabla 11. Caracterización medias de los estratos.

| ESTRATO | CARACTERÍSTICA | C (KPa) | ϕ (°) | γ (KN/m3) |
|-------------------------|--|--------------------|------------------------------|--|
| Suelo Residual | Limo inorgánico de alta plasticidad, color marrón y naranja | 56,6 | 29,4 | 16 |
| Suelo Residual Alterado | Limo inorgánico de Baja plasticidad, color naranja | 40,4 | 22,6 | 15 |
| Saprolito | Suelo meteorizado de la roca Neis de Bucaramanga con intrusiones de ortoneis | 218 | 31,2 | 27 |

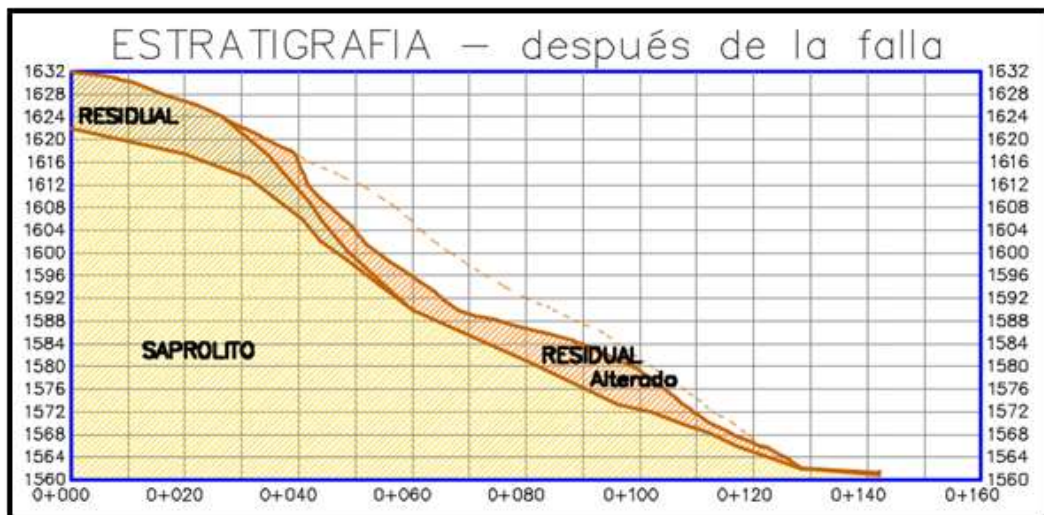
- Perfil estratigráfico – antes del deslizamiento.

Figura 39. Perfil tipo – antes del deslizamiento.



- Perfil estratigráfico – después del deslizamiento

Figura 40. Perfil tipo – después del deslizamiento.



8. ANÁLISIS DE POSIBLES CAUSAS DE INESTABILIDAD

8.1 FACTORES CONDICIONANTES

8.1.1 Efecto de agua en la composición mineralógica de la roca.

La Cuarzomonzonita de La Corcova es una roca Ignea compuesta fundamentalmente por silicatos, se encuentra de grano fino a medio y de composición grano diorita, los minerales dominantes son: Cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, rica en sodio y en calcio.

Los feldespatos son los minerales que tienen la mayor participación dentro de la Cuarzomonzonita, estos presentan en su aspecto químico el problema de la caolinización, alteración mediante el proceso de hidrólisis que da lugar a arcillas y caolines; El proceso inicia por la separación del mineral en cristales de SiO₂ y silicatos aluminicos, los últimos por la diferencia de carga entre el silicio y el aluminio permiten la inclusión de uno o más de los iones potasio, sodio y calcio a la red cristalina, donde por el tamaño del ion potasio a diferencia de los otros, se presenta la formación de dos tipos de estructuras feldespáticas: Las ortoclasas (potásico) y las plagioclasas (sodo-cálcicos)⁷⁷, el proceso de meteorización química termina cuando estas últimas por la presencia de agua se descomponen en minerales arcillosos.

El proceso de hidrólisis en las rocas consiste en la reacción de un mineral con el agua, en donde las moléculas de agua se disocian para formar iones muy reactivos de hidrógeno (H⁺) e hidroxilo (OH⁻), los primeros son los que sustituyen

⁷⁷ Universidad de Oviedo, España, Tipos de piedras. Citado 21 de junio de 2016. En:<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.RocasOrnamentales.Tipos.Piedras.6.3.5.pdf>

a los iones positivos que forman la red cristalina del mineral (potasio, sodio y calcio), produciendo la descomposición⁷⁸.

A diferencia del agua pura, el agua que se encuentra en la naturaleza contiene otras sustancias que aumentan los iones hidrógenos y aceleran la hidrólisis, la más común de esas sustancias es el dióxido de carbono (CO₂), que se disuelve en agua para formar ácido carbónico (H₂CO₃) y este a su vez se ioniza formando iones hidrogeno (H⁺) e iones bicarbonato (HCO₃⁻)⁷⁹.

Por tal motivo el agua lluvia es un potenciador de la meteorización química de los minerales de la roca, porque adquiere CO₂ en la atmósfera y otras cantidades adquiridas a medida que se infiltra por el suelo, cosa que le es favorable en la cuarzomonzonita de La Corcova porque esta presenta propiedades favorables para la infiltración, gracias a la presencia de diaclasas que le proporcionan una porosidad secundaria^{80 81}.

8.1.2 Pendiente del Terreno

El talud tiene una pendiente aproximada de 33 grados que de acuerdo al mapa de pendientes el relieve se encuentra dentro de la clasificación de escarpada a muy escarpada, y zonas de pendientes altas y conformadas por materiales finos tienden a sufrir más fácilmente de inestabilidades.

⁷⁸ Tarbuck, Eduard y Lutgens Frederick. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Octava edición. Pearson Educación. Universidad Autónoma de Madrid. 2005. P.179 y 182.

⁷⁹ Tarbuck, Eduard y Lutgens Frederick. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Octava edición. Pearson Educación. Universidad Autónoma de Madrid. 2005. P. 182.

⁸⁰ Ibid., p 182.

⁸¹ Coronado y Mejía. Cartografía Geológica y Caracterización Estructural con fines hidrológicos en el sector nororiental de la cuenca del Río de Oro Tesis para Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2006.

8.2 FACTORES DETONANTES

8.2.1 Precipitaciones Intensas

La precipitación con los años ha demostrado que es un factor muy influyente en los procesos de remoción en masa, aún más en laderas que se encuentran en relieve montañoso.

Santander es un departamento muy susceptible a los deslizamientos y esto se intensifica en épocas invernales donde las fuertes lluvias conllevan a pérdidas humanas y económicas, además de la obstrucción en la red vial por efecto de las masas de tierra y roca que son desplazadas en el momento de la falla de las laderas.

En el presente estudio se da especial importancia a la precipitación dado que en base a la fecha del deslizamiento y a las imágenes satelitales revisadas antes y después, la época coincide con la ola invernal del 2010 – 2011, temporada que generó una alarma por los numerosos problemas de inestabilidades de suelos detonados por las intensas lluvias.

Por tal razón se revisaron los datos de precipitación total mensual, precipitación mensual máxima en 24 horas y el número de días mensual con precipitación para los años 2009, 2010 y 2011, con el fin de revisar el incremento de los valores y cantidades pico de lluvia, con información sacada de la estación La Galvicia. **(Figuras 41 a 44)**

En las gráficas se puede apreciar que como se esperaba por la ocurrencia del Fenómeno de la Niña, los valores de precipitación aumentaron significativamente entre el 2010 y 2011. Las máximas, medias y mínimas precipitaciones para cada año se presentan en la **Tabla 12**.

Figura 41. Valores mensuales de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander.

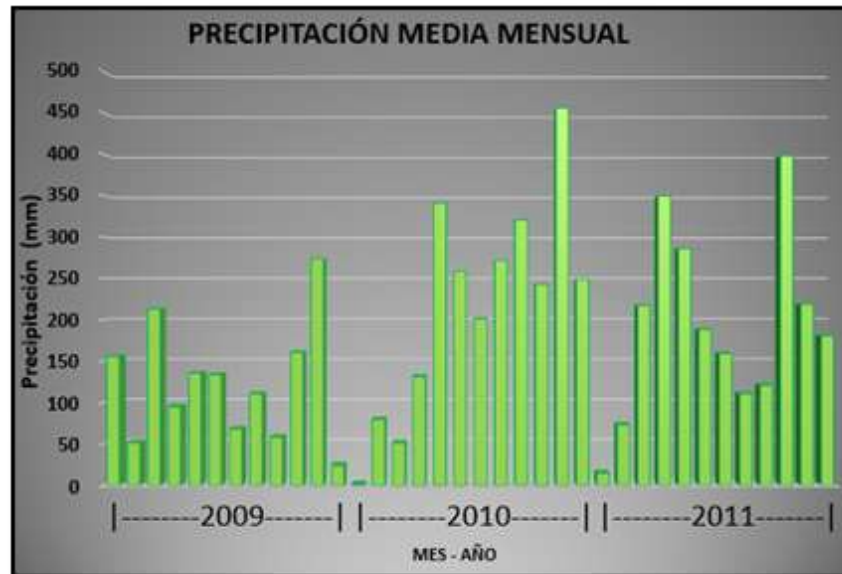


Figura 42. Valores de precipitación máxima diaria precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander.

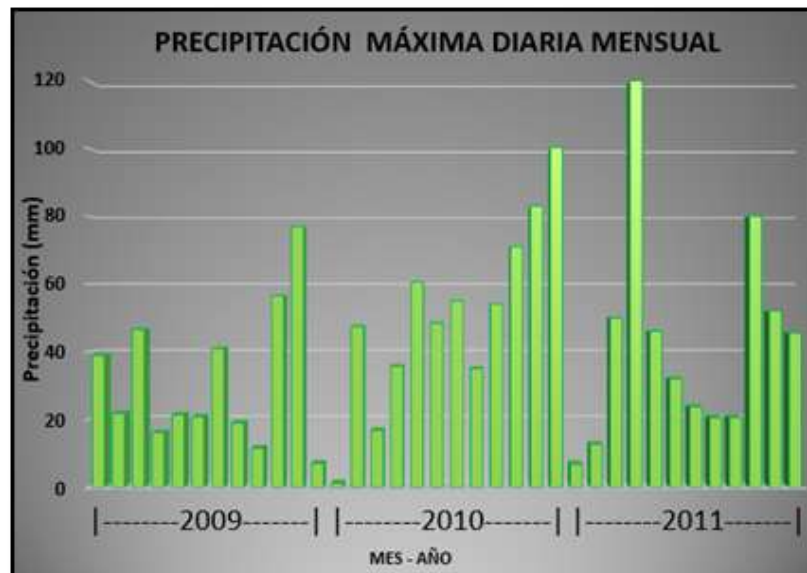


Figura 43. Número de días mensual con precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander.

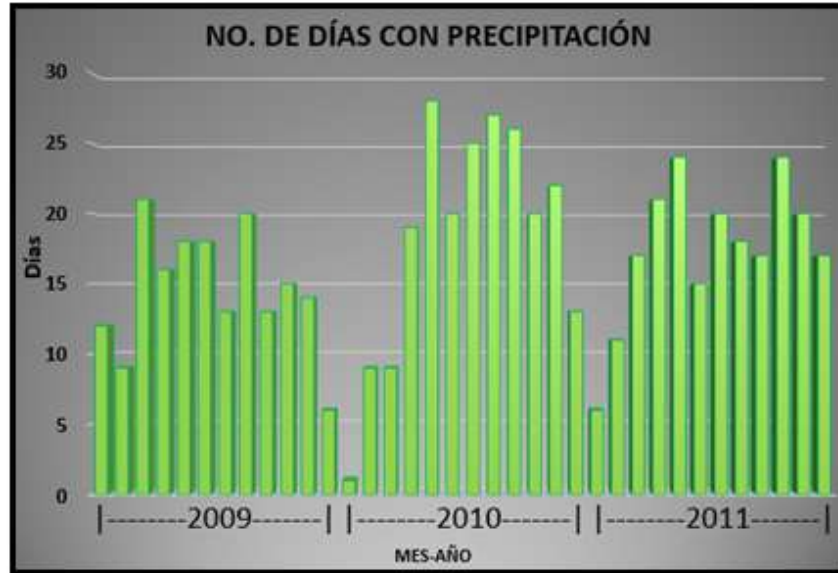
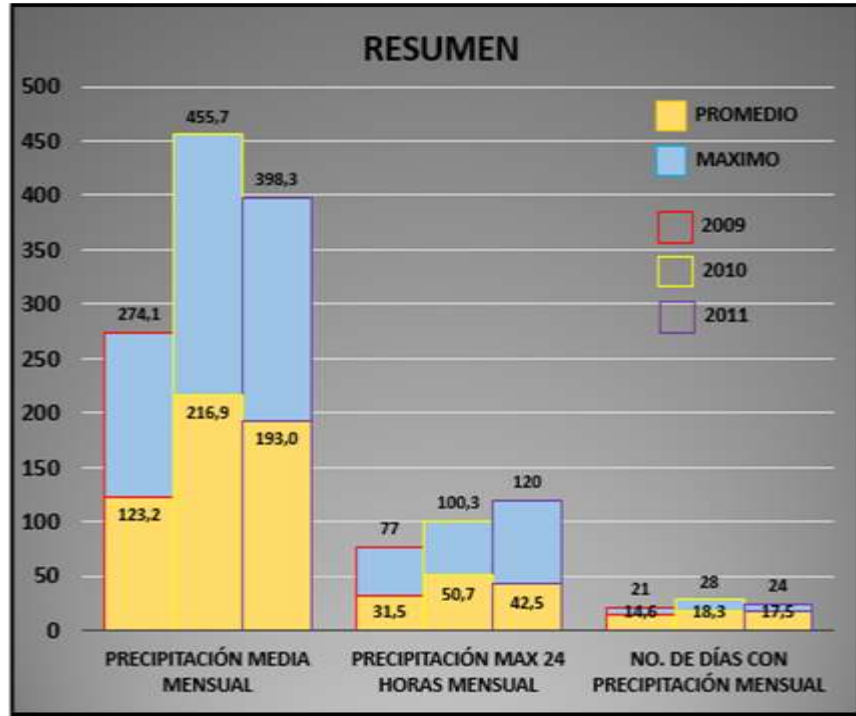


Tabla 12. Resumen de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander.

| PARÁMETRO | AÑO | 2009 | | 2010 | | 2011 | |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | Dato | VALOR | MES | VALOR | MES | VALOR | MES |
| Precipitación media mensual | Prom | 123,2 | -- | 216,9 | -- | 193,0 | -- |
| | Mín | 23,9 | DIC | 1,1 | ENERO | 14,4 | ENERO |
| | Máx | 274,1 | NOV | 455,7 | NOV | 398,3 | OCT |
| Precipitación máx. 24 horas mensual | Prom | 31,5 | -- | 50,7 | -- | 42,5 | -- |
| | Mín | 7 | DIC | 1,1 | ENERO | 6,8 | ENERO |
| | Máx | 77 | NOV | 100,3 | DIC | 120 | ABRIL |
| No. de días con precipitación mensual | Prom | 14,6 | -- | 18,3 | -- | 17,5 | -- |
| | Mín | 6 | DIC | 1 | ENERO | 6 | ENERO |
| | Máx | 21 | MARZO | 28 | MAYO | 24 | MAY-OCT |

Figura 44. Resumen de precipitación 2009, 2010 y 2011, estación La Galvicia Santander.



8.2.2 Eventos sísmicos

De acuerdo al catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano, para los Municipios de Bucaramanga y Tona, en el periodo comprendido entre Enero de 2009 y Diciembre de 2011 se tiene la siguiente información:

La zona de estudio presento una actividad sísmica frecuente con un total de 45 sismos, 22 ocurridos en Bucaramanga y 23 en el Municipio de Toná, geográficamente el área en estudio se encuentra cerca de Bucaramanga por tal razón se tienen en cuenta los sismos de ambas zonas.

Tabla 13. Magnitud máxima y mínima en Bucaramanga.

| Municipio B/manga | MAGNITUD MAXIMA (MA) | | |
|----------------------------|----------------------|---------|---------|
| | 2009 | 2010 | 2011 |
| Valor | 2.5 | 2.4 | 2.2 |
| Fecha | 10-03 | 02-08 | 26-09 |
| Hora | 20:23:5 | 20:32:1 | 0:15:46 |
| Longitud (°) | -73.096 | -73.059 | -73.123 |
| Latitud (°) | 7.161 | 7.177 | 7 |
| Profundidad (km) | 115.9 | 150.2 | 142.6 |
| No. Total de Sismos | 22 | | |

Tabla 14. Magnitud máxima y mínima en Tona.

| Municipio Tona | MAGNITUD MAXIMA (MA) | | |
|----------------------------|----------------------|----------|----------|
| | 2009 | 2010 | 2011 |
| Valor | 2 | 2.6 | 2.6 |
| Fecha | 18-02 | 13-03 | 05-02 |
| Hora | 5:40:44 | 20:42:47 | 22:18:01 |
| Longitud (°) | -73.071 | -73.017 | -72.946 |
| Latitud (°) | 7.215 | 7.206 | 7.161 |
| Profundidad (km) | 152.1 | 156 | 164 |
| No. Total de Sismos | 23 | | |

8.2.3 Factor Antrópico

Por medio de una visita al talud, en la parte superior de la cabeza se notó actividad desarrollada por el hombre, tal como la inadecuada disposición del agua que se rebosa de piletas, piletas que son usadas para recolectar agua mediante mangueras; como no se tiene un control, esta agua se convierte en escorrentía manteniendo en constante humedecimiento el suelo, tal hecho propicia que el suelo presente cambios en la resistencia e incremente la susceptibilidad a un deslizamiento.

Además que ayuda a la saturación del suelo en épocas invernales como para la que se detono la falla.

Figura 45. Pileta de agua.



9. MODELACIÓN GEOTÉCNICA

El software utilizado para la modelación fue SLOPE/W 2007 de la casa GEOSTUDIO. (ver anexo C)

Los metodos de analisis escogidos utilizan la teoria de equilibrio limite son los siguientes:

- Ordinario o fellenius
- Bishop simplificado
- Janbú simplificado
- Morgenstern – Price

Se realizaron modelos antes de la falla con el fin de analizar las situaciones que posiblemente detonaron el deslizamiento, saturacion total del suelo y condición sismica, esto como efecto de una acumulacion de las intensas lluvias presentadas para el fenomeno del niño 2010-2011 y la posibilidad de que algunos de las vibraciones sismicas para esas fechas hubiecen intervenido en la inestabilidad; pero un diagnostico incluye el evaluar la situacion de riesgo actual y sus tendencias hacia el futuro, por tal razón se realizaron modelos de la condicion actual del terreno incluyendo las mismas situaciones anteriormente mencionadas.

Al programa se le incluyo una superficie de falla asumida de acuerdo al tipo de deslizamiento y de la conformación del terreno alterado en campo. Con el fin de revisar si la superficie de falla asumida era adecuada, se realizó un modelo con autolocalizacion de la superficie y los resultados dieron muy similares, por tal motivo esta superficie fue utilizada en todos los modelos previos a la falla.

De acuerdo al criterio especificado por la Norma Geotécnica de la CDMB⁸², Resolución 1294 de 2009, para los análisis de estabilidad, los factores de seguridad en condición estática deben ser mayor a 1.5 y para condición dinámica,

⁸² Corporación de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Manual de Normas Técnicas para el control de la Erosión y la realización de estudios geológicos. Resolución 1294 de 2009. p. 40.

mayor a 1,2, además en los análisis pseudoestáticos el valor del coeficiente sísmico utilizado debe ser mínimo de 0.15g.

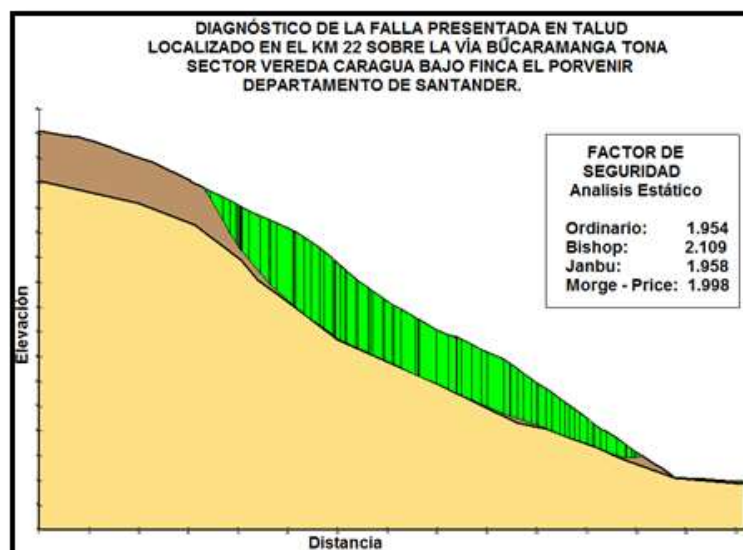
Los analisis realizados son los siguientes:

Tabla 15. Escenarios modelados.

| | | | |
|---------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| Modelos antes del deslizamiento | a | Análisis Estático | superficie de falla definida |
| | b | Análisis Dinámico | |
| | c | Análisis Estático con Saturación Completa | |
| | d | Análisis Dinámico con Saturación Completa | |
| Modelos con condición actual | e | Análisis Estático | superficie de falla auto localizada |
| | f | Análisis Dinámico | |
| | g | Análisis Estático con Saturación Completa | |
| | h | Análisis Dinámico con Saturación Completa | |

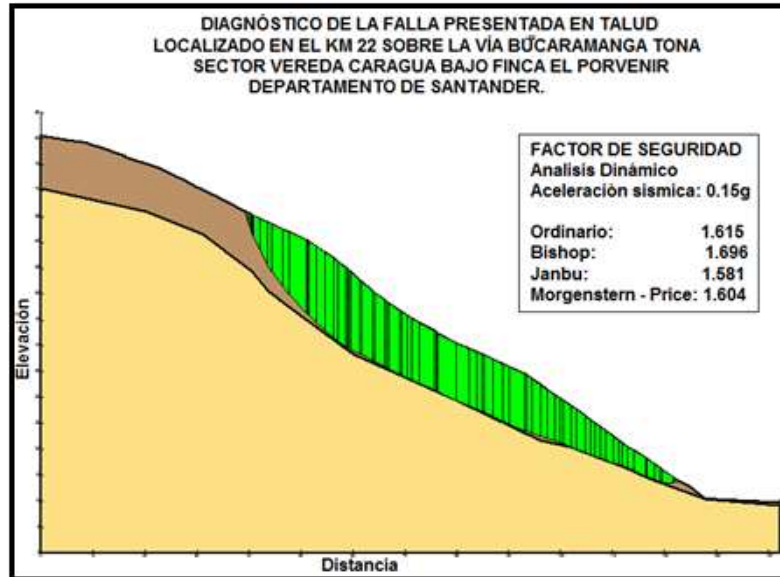
a. Análisis Estático – Antes del deslizamiento

Figura 46. Análisis Estático



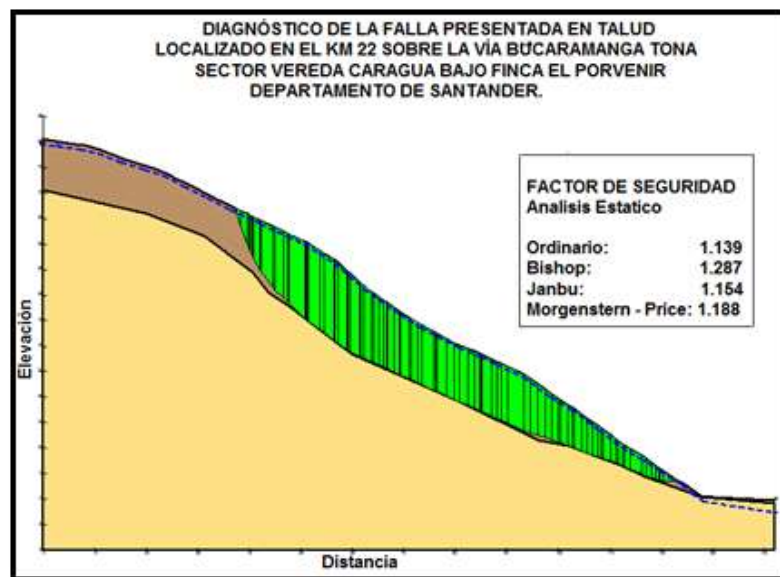
b. Análisis Dinámico – Antes del deslizamiento

Figura 47. Análisis Dinámico



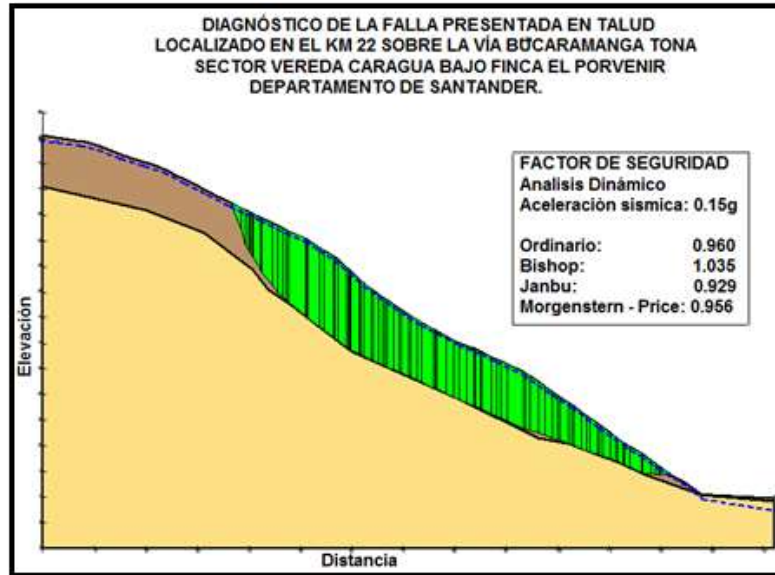
c. Análisis Estático Saturado – Antes del deslizamiento

Figura 48. Análisis Estático Saturado.



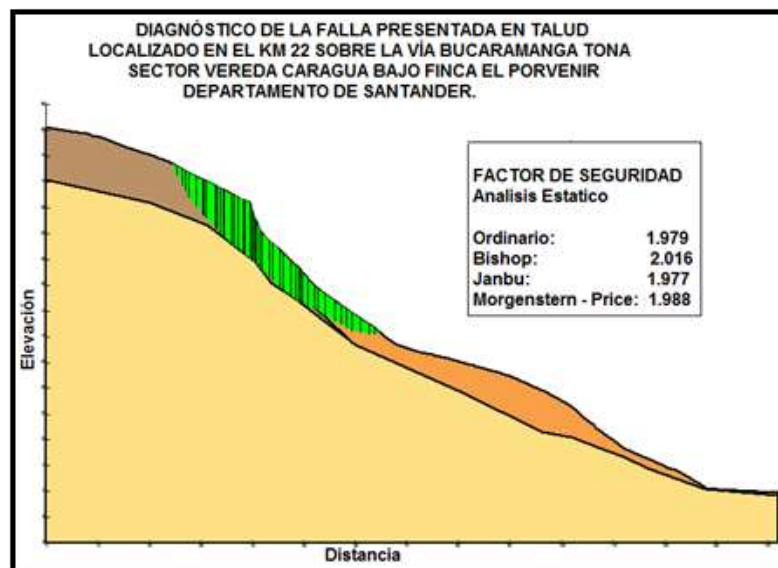
- d. Análisis Dinámico Saturado – Antes del deslizamiento

Figura 49. Análisis Dinámico Saturado.



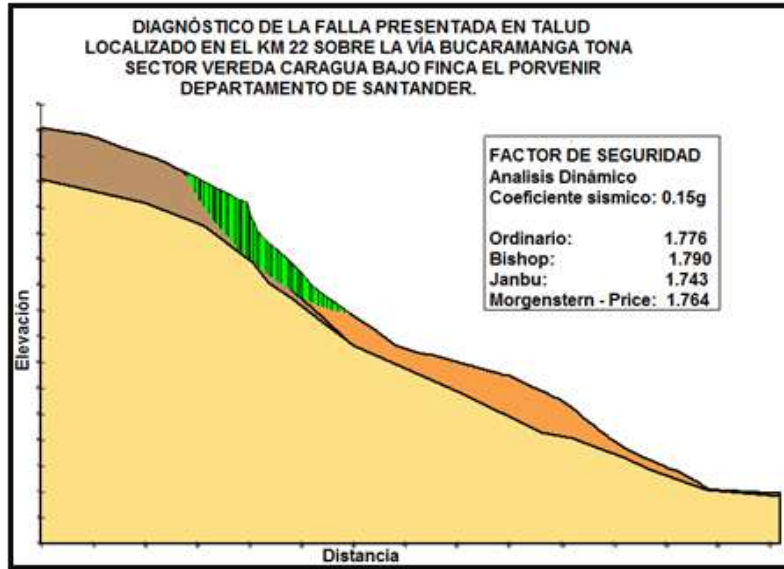
- e. Análisis Estático – Después del deslizamiento

Figura 50. Análisis Estático



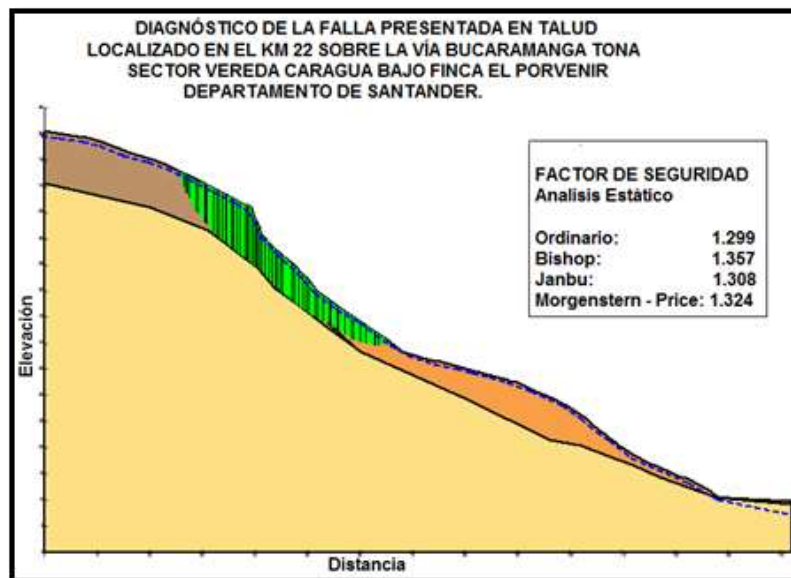
f. Análisis Dinámico – Después del deslizamiento

Figura 51. Análisis Dinámico



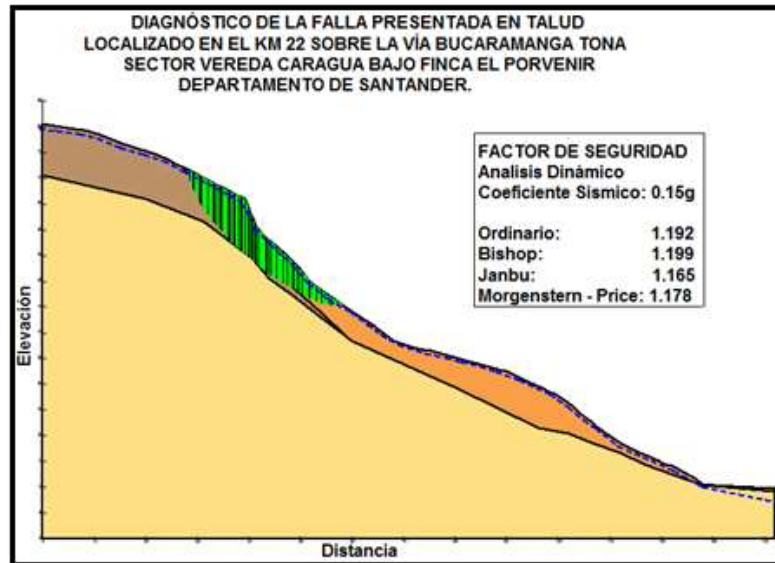
g. Análisis Estático Saturado – Después del deslizamiento

Figura 52. Análisis Estático Saturado.



h. Análisis Dinámico Saturado – Después del deslizamiento

Figura 53. Análisis Dinámico Saturado.



Resumen de factores de seguridad

Tabla 16. Resultados modelación geotécnica.

| | No | ANÁLISIS | FELLENIUS | BISHOP | JANBÚ | MORG-PRICE |
|--------|-------|----------------------------------|-----------|--------|-------|------------|
| | ANTES | a | Estático | 1,954 | 2,109 | 1,958 |
| b | | Dinámico | 1,615 | 1,696 | 1,581 | 1,604 |
| c | | Estático con Saturación Completa | 1,139 | 1,287 | 1,154 | 1,188 |
| d | | Dinámico con Saturación Completa | 0,960 | 1,035 | 0,929 | 0,956 |
| ACTUAL | e | Estático | 1,979 | 2,016 | 1,977 | 1,988 |
| | f | Dinámico | 1,776 | 1,790 | 1,743 | 1,764 |
| | g | Estático con Saturación Completa | 1,299 | 1,357 | 1,308 | 1,324 |
| | h | Dinámico con Saturación Completa | 1,192 | 1,199 | 1,165 | 1,178 |

10. RESULTADOS

La modelación geotécnica para el análisis previo a la falla, hace visible la disminución del factor de seguridad, de aproximadamente 2.0 a 1.0, por efectos de la saturación total del talud y de la aceleración sísmica, además de que geológicamente la roca se meteoriza en arcillas o en su defecto al material que se encontró en el presente estudio, Limos de Alta plasticidad, que son materiales que atrapan gran cantidad de agua lo que conlleva a un sobrepeso en el talud; estas variables junto con la alta pendiente del terreno y el factor antrópico fueron las detonantes de la inestabilidad.

Se deja en manifiesto la susceptibilidad del talud frente a los procesos erosivos por el tipo de material que compone el suelo del talud, actualmente se presenta erosión acelerada producto de las continuas lluvias y la falta de vegetación.

De acuerdo a la modelación geotécnica para el estado actual, el talud se encuentra inestable en el caso de saturación total, con un factor de seguridad de 1,2, dado a esto existe el riesgo de un eventual deslizamiento en épocas de precipitaciones intensas y la continuación de la erosión, por tal motivo se hace necesario disminuir la infiltración y el agua de escorrentía con la implementación de captaciones arriba del talud, complementado de una vegetalización como medida de protección a la erosión hídrica, y una conformación de la superficie del terreno, como disminución de la masa de suelo con pendiente inestable.

11. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

A continuación, se describen tres medidas de mitigación, recomendadas al dueño de la Finca El Porvenir, donde se encuentra localizado el talud en estudio; estas medidas se proponen con el fin de evitar la continuación del deslizamiento y con la posibilidad de implementarse en aquellas laderas aledañas que presenten características similares.

11.1 TERRACEO

El terraceo cumple la función de generar un área firme, mediante la construcción de escalones en las zonas medias del talud, con el fin de mejorar su estabilidad por reducción del peso del talud.

Se propone esta medida de mitigación con el objetivo de disminuir las pendientes y el peso de la ladera, reduciendo el riesgo de amenaza a un eventual deslizamiento. Para aplicar esta medida de mitigación se debe tener en cuenta la composición, estructura y meteorización de los materiales que conforman el talud. Cuando el tipo de deslizamiento es rotacional, es importante la construcción de terrazas en la parte superior del talud, ya que disminuye el momento actuante y controla los movimientos de masa; si los suelos son residuales es importante revisar si el material presenta discontinuidades estructurales, ya que estas son difíciles de manejar, y si la zona presenta un alto evento en el flujo de escorrentía es recomendable utilizar cunetas revestidas intermedias en cada grada⁸³.

Para el diseño de las terrazas se tomó el modelo actual más crítico, correspondiente al análisis pseudoestático con saturación total, se propuso construir 3 terrazas con pendiente de 1H:1V y bermas de ancho mayor a 5 metros.

⁸³ Suarez, Jaime. Capítulo 10 - Control de Erosión en taludes y obras de ingeniería. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 350-352.

En las **Figuras 54 y 55** se muestra la modelación geotécnica del escenario con el terraceo propuesto y en la **Tabla 17**. los resultados del factor de seguridad.

Figura 54. Modelo con análisis estático en condición saturada.

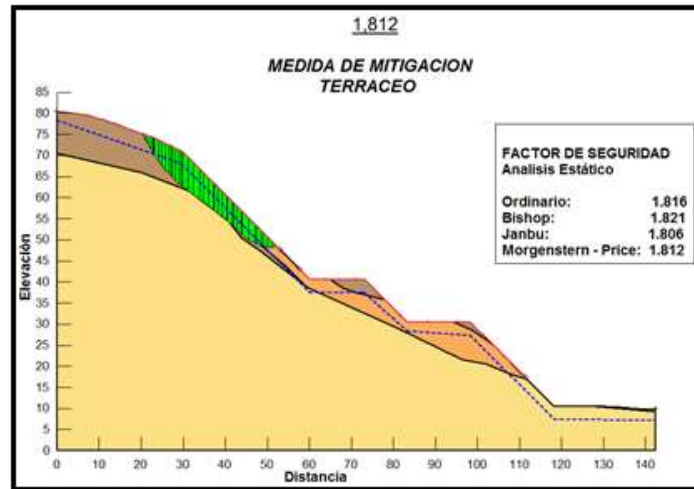


Figura 55. Modelo con análisis dinámico en condición saturada

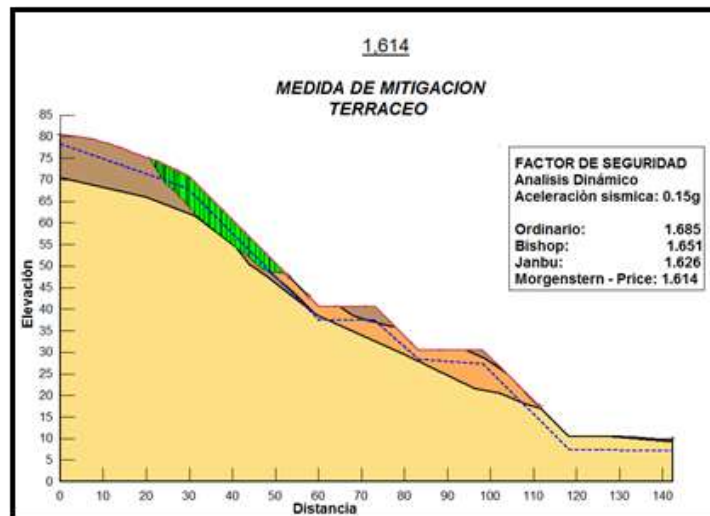


Tabla 17. Resultados de la modelación geotécnica con el terraceo.

| ANÁLISIS | Fellenius | Bishop | Janbú | Morg-Price |
|-------------------------------|------------------|---------------|--------------|-------------------|
| Estático con Saturación Total | 1,816 | 1,821 | 1,806 | 1,812 |
| Dinámico con Saturación Total | 1,685 | 1,651 | 1,626 | 1,614 |

11.2 CANALETA

Es un elemento de compensación, que recolecta las aguas superficiales de drenaje arriba del talud, disminuyendo el paso del agua por la ladera y la infiltración, evitando la formación de surcos y cárcavas en la superficie del talud y el aumento del nivel freático⁸⁴.

Los sistemas de flujo de agua se diseñan para recolectar caudales de una precipitación determinada, teniendo en cuenta el periodo de retorno.

Se recomienda este mecanismo de mitigación con el propósito de reducir las aguas de escorrentía en el talud, evitando que el agua se infiltre y el nivel freático aumente, se describen algunas especificaciones importantes del sistema:

En el diseño del canal es necesario obtener el caudal que le llega al sistema, para el cálculo de este parámetro se utilizó la ecuación del método racional⁸⁵:

$$Q = C \times I \times A \quad (2)$$

Donde

Q = Caudal recolectado (volumen/tiempo)

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de Lluvia de diseño (mm/hora)

⁸⁴ Suarez, Jaime. Capitulo 10 - Control de Erosión en taludes y obras de ingeniería. En: Control de erosión en zonas tropicales. 1998. p. 360.

⁸⁵ Ibid., 357.

A = Área a drenar.

De acuerdo a la **Figura 56** el coeficiente de escorrentía para el talud en estudio está entre 0.4 y 0.65, por el dominio de suelo fino; se realizó un promedio de estos obteniendo el coeficiente de escorrentía de 0.52

Figura 56. Valores del coeficiente de escorrentía.

| Superficie | Características | Coefficiente C |
|--------------------------------------|------------------|----------------|
| Superficie de carretera | Pavimentada | 0.7 a 0.95 |
| | Destapada | 0.3 a 0.7 |
| Talud | Suelo fino | 0.4 a 0.65 |
| | Suelo Grueso | 0.1 a 0.3 |
| | Roca dura | 0.7 a 0.85 |
| | Roca blanda | 0.5 a 0.75 |
| Pastizales en suelos arenosos | Pendiente 0 a 2% | 0.05 a 0.1 |
| | 2 a 7% | 0.1 a 0.15 |
| | Más de 7% | 0.15 a 0.25 |
| Pastizales en suelos arcillosos | Pendiente 0 a 2% | 0.13 a 0.17 |
| | 2 a 7% | 0.18 a 0.22 |
| | Más de 7% | 0.25 a 0.35 |
| Escarpes de fuerte pendiente en Roca | | 0.75 a 0.95 |
| Arenas intermedias | | 0.20 a 0.40 |
| Parques con árboles y pastos | | 0.10 a 0.25 |
| Montañas de pendientes suaves | | 0.30 |
| Montañas de pendientes fuertes | | 0.50 |

Fuente. Control de Erosión en taludes y obras de ingeniería ⁸⁶.

La intensidad de la lluvia se determina de acuerdo a las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), en este caso se tuvo encuentra los datos de la precipitación obtenidos por la estación la Galvicia, con una duración de 20 min y periodo de retorno de 100 años.

$$Intensidad = 0.042 \frac{mm}{Seg}$$

El área de drenaje se obtuvo de acuerdo al plano de curvas de nivel, determinando las áreas que aportan agua al sistema de drenaje.

⁸⁶ Suarez, Jaime. Capítulo 10 - Control de Erosión en taludes y obras de ingeniería. En: Control de erosión en zonas tropicales. 1998. p. 356.

$$A = 2476.9 \text{ m}^2$$

De acuerdo a la ecuación (2) el caudal que se recolecta en la canaleta es de:

$$Q = 0.054 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Con el caudal arrojado, se recomienda diseñar una canaleta, con las especificaciones requeridas, además, tener en cuenta una pendiente suficiente para garantizar un rápido drenaje del agua captada. Para el dimensionamiento del canal se usa la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (3)$$

Donde:

Q= Caudal de la cuneta m³/s.

n= Coeficiente de rugosidad de Manning, depende del tipo de material.

A= Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m²).

R= Radio hidráulico, relación del canal A y el perímetro mojado.

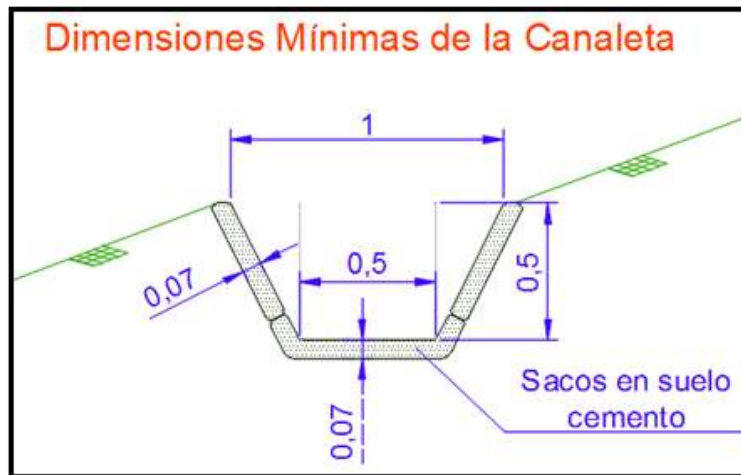
P= Perímetro mojado (m).

S=Pendiente del canal (m/m).

La localización y medidas de la canaleta varían de acuerdo a la topografía de la zona y del caudal de diseño a continuación se propone las siguientes medidas mínimas para la construcción del canal, estas dimensiones soportan el caudal que debe recolectar la canaleta. Ver **Figura 57**.

Se recomienda fabricar las canaletas con sacos en suelo-cemento, proporción 6:1 respectivamente.

Figura 57. Canal propuesto.



Canal Colector o disipador, El canal disipador es el encargado de llevar el agua que recoge la canaleta a un sitio alejado lo más posible del talud.

Para su diseño y construcción se proponen dos alternativas; el canal rápido o el canal de gradería, el canal rápido se construye con una pendiente igual a la del talud, en ocasiones se debe colocar un disipador de energía al final del canal ya que por la pendiente puede generar altas velocidades. El canal de gradería es un sistema eficiente a la hora de disipar energía por su formación en gradas dentro del canal.

Se recomienda que la construcción de la canaleta quede a una distancia considerable del borde de la superficie del talud, para evitar que se convierta en el comienzo de un deslizamiento⁸⁷.

⁸⁷ Suarez, Jaime. Capítulo 8-Vegetación y Bioingeniería. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. P. 365.

11.3 VEGETACIÓN

La vegetación es una componente importante para la estabilización de laderas, se presentan algunos beneficios:

- Intercepta la lluvia.
- Extrae la humedad del suelo.
- Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al corte.
- Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
- Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

El efecto más importante de la vegetación en la estabilidad de laderas es el control de la erosión; para la presente investigación es importante determinar que plantas se pueden seleccionar teniendo en cuenta el clima y las características de los materiales del suelo.

Es importante tener en cuenta que a medida que las raíces de la vegetación se desgastan en el tiempo, la erosión empieza a aumentar, por tal motivo se debe tener control del estado de la vegetación por si se requiere nueva plantación.

Como regla general no debe utilizarse plantas de un solo tipo, es recomendable plantar de diferentes variedades para recuperar el sistema vegetativo actual. En la parte alta del talud es importante tener en cuenta las plantaciones livianas y en el pie del talud se recomienda arboles altos⁸⁸.

Cuando una zona se vegetaliza para controlar la erosión del terreno, se está disminuyendo la inestabilidad y aumentando el Factor de seguridad. Por esto se sugiere este mecanismo de mitigación a fin de controlar la erosión en el deslizamiento ocurrido.

A continuación se proponen tres tipos de plantas como recomendación para la revegetalización del talud:

⁸⁸ Suarez, Jaime. Capítulo 8-Vegetación y Bioingeniería. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. P. 275-276.

Pasto Vetiver

Es una gramínea que ha generado gran interés en la estabilización y el control de erosión, crece hasta una altura de 2 m, con un sistema radical fuerte de profundidades hasta de 5 m. La temperatura de supervivencia se encuentra entre 9°C y 45°C. La altitud debe estar entre el nivel del mar y más de 2800 m.s.n.m., teniendo en cuenta que crece mejor bajo condiciones húmedas.

Es aconsejable sembrar el pasto durante la época lluviosa ya que el suelo debe estar bien húmedo, la distancia entre plántulas es de 10 a 15 cm y la distancia entre surco es de 5 a 40 m.

Maní forrajero (Arachis pintoi)

Es una leguminosa que permite asociaciones persistentes con cualquier gramínea, se adapta en regiones tropicales con alturas hasta 2000 m.s.n.m. y con precipitación de 2000 a 3500 mm anuales. Es una planta que produce gran cantidad de estolones que generan nuevas plantas, favoreciendo cobertura rápida del suelo y evita la erosión del suelo.

Si se utiliza semilla botánica para la siembra, se utilizan dos semillas por hueco a una distancia de 50 cm y entre surcos de 1m.

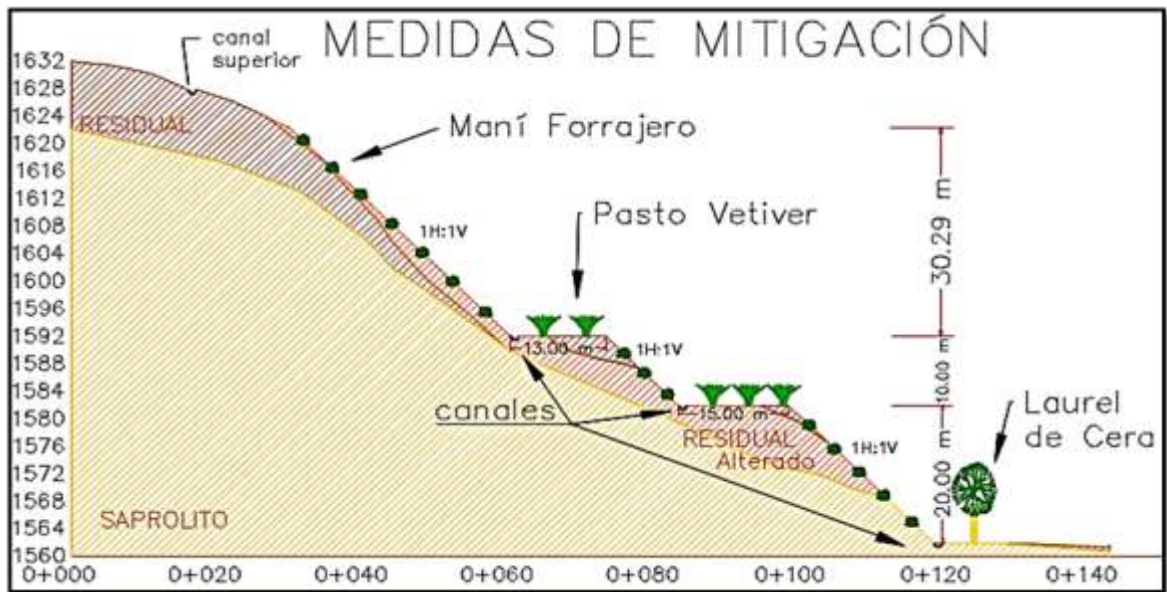
Laurel de cera (Myrica pubescens)

Especie que favorece la conservación cuencas hidrográficas, además protege el suelo especialmente aquellos que están erosionados.

Es un árbol pequeño de unos 5 a 10 m. de copa redondeada, que se adapta en zonas con alturas entre 900 y 2000 m.s.n.m. Para la siembra, la dimensión entre plantas es de 4 m.

A continuación, se presenta el modelo final de las medidas de mitigación propuesto para implementar en el área del talud en estudio, y así evitar posible continuación del deslizamiento **Figura 58**.

Figura 58. Modelo medidas de mitigación.



12. CONCLUSIONES

De acuerdo con el registro histórico de imágenes satelitales de Google-earth, se pudo determinar que el deslizamiento ocurrió entre el año 2010 e inicios del 2011, época en la que el país pasaba por la temporada del fenómeno del niño, que causó alerta por los innumerables problemas relacionados con la inestabilidad de laderas, además se pudo revisar que el talud en estudio no fue el único afectado y que taludes aledaños presentaron alteraciones en su relieve debido a procesos de remoción en masa durante el mismo periodo de tiempo.

El agua producto de las intensas lluvias fue la causa que incidió significativamente en la ocurrencia de la falla del talud, esto acompañado de la capacidad de acumulación de agua de los materiales y la pendiente del terreno.

El factor antrópico reflejado en el mal uso de las aguas de escorrentía, es un factor desencadenante que junto con las demás variables muy posiblemente llevaron a la ocurrencia de la falla, se asume que al no tenerse control de las aguas que se rebosan de la pileta, el suelo tiene mayor susceptibilidad a ser desestabilizado cuando se presenten eventos de precipitaciones intensas y/o sismos.

Las propiedades de los materiales que conforman los estratos, cuando el suelo se encuentra seco, presentan propiedades mecánicas buenas que conducen a Factores de Seguridad confiables, pero cuando el material se satura totalmente estas propiedades fácilmente se debilitan, generando posibles procesos de remoción en masa.

En la modelación el efecto de la aplicación del coeficiente de aceleración sísmica no fue tan significativo en la disminución del factor de seguridad en comparación con la saturación total, tanto para la condición previa a la falla como para el estado actual.

Actualmente el talud se encuentra en riesgo de un eventual deslizamiento ya que la mayor parte del anterior deslizamiento presenta zonas sin cobertura vegetal, situación que facilita la condición de saturación total del suelo en épocas con precipitaciones intensas. Por otra parte, es posible que con las constantes lluvias se continúe la pérdida de material, por efecto de la erosión hídrica que se evidencia. Por tales motivos se recomienda se ejecuten las medidas de mitigación propuestas en el presente estudio y de esta forma se reduzca el riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

África, Dumas. Riesgo de Erosión Hídrica en la cuenca Hidrográfica del río mundo. Tesis para Master en Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid. Universidad Complutense. 2012. p 48.

Alcantara. Irasema y Murillo, Fran. Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. En: Investigaciones Geográficas. Agosto 2008. No 66. p 19.

Blanco, Diana y Jiménez, Sebastian. Evaluación de Amenaza por fenómenos de remoción en masa en algunos sectores de la comuna 14 del Municipio de Bucaramanga utilizando el método estadístico con variables locales. Tesis de Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2012. p 103.

Caballero, Jesús. Valoración de diferentes opciones para estabilización del talud ubicado en el k8 +600 en la vía doble calzada Bucaramanga-Cúcuta Tesis para Ingeniero Civil. Bogota. Universidad Militar Nueva Granada. 2014. p 69.

Coronado y Mejía. Cartografía Geológica y Caracterización Estructural con fines hidrológicos en el sector nororiental de la cuenca del Río de Oro Tesis para Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2006. p 125.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Rio Tona. Capítulo 2- Caracterización. p 101.

Corporación de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Manual de Normas Técnicas para el control de la Erosión y la realización de estudios geológicos. Resolución 1294 de 2009. p. 79.

Del Rio, Eduardo. Diagnóstico de taludes Urbanos, en base a catastro de carácter visual, para la comuna de Chiguayante. Trabajo de grado para Ingeniero civil. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío. 2013. p 29.

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. 1977.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Memoria Explicativa del Mapa Geológico de Colombia. Cuadrángulo H-12 Bucaramanga y cuadrángulo H-13 Pamplona. Vol. XXI. No 1-3. 1973. p 132.

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Subdirección de amenazas geológicas y entorno ambiental. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. http://www.academia.edu/9015630/SUBDIRECCION_DE_AMENAZAS_GEOLOGICAS_Y_ENTORNO_AMBIENTAL_INFORME_FINAL. p 593.

Jiménez, David. Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de la ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada. Doctorado en Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Granada. 2005. p 48.

Leonardo, Vega. Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo. Tesis para Ingeniero Forestal. Chile. Universidad de Talca. 2008. p 138.

Osorio, Lina y Salazar, Oscar. Cartografía Geológica y caracterización estructural de la subcuenca del río Tona. Tesis para Geólogo. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2006. p 197.

Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga. Diagnostico dimensión Biofísico-Ambiental. En: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga4.pdf>. p 134.

Prada, Leonel y Serrano, Andrés. Análisis y determinación de la amenaza de inestabilidad de los taludes, generado por su saturación y desembalse, en el proyecto de regulación del Río Tona - Embalse de Bucaramanga. Tesis para Ingeniero Civil. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2009. p 154.

Sánchez, Francisco. Los terremotos y sus causas. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de desastres sísmicos. p 24.

Seminario de Bioingeniería. La bioingeniería en la protección y estabilidad de taludes, laderas y cauces en zonas urbanas. En: <http://www.idiger.gov.co/documents/10180/57156/La+bioingenieria+en+la+proteccion+y+estabilidad+de+talud.pdf/75692199-c3da-4ccf-98fb-5e3a292feedc>. p 18.

Suarez, Jaime. Capítulo 1- Caracterización de los movimientos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p 540.

Suarez, Jaime. Capítulo 2-Procedimientos de investigación. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p 540.

Suarez, Jaime. Capítulo 7-Lluvias, presión de poros y sus efectos. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p. 540.

Suarez, Jaime. Capítulo 8-Vegetación y Bioingeniería. En: Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. 1998. p 540.

Suarez, Jaime. Capítulo 10 - Control de Erosión en taludes y obras de ingeniería. En: Control de erosión en zonas tropicales. 1998. p. 548.

Subdirección Gestión Ambiental Urbana Sostenible. Estudio detallado de la amenaza por fenómenos de remoción en masa Municipio Surata. En: http://www.surata-santander.gov.co/apc-aa-files/39613739373265373736343034633962/Amenazas_Remosion_masas_surata_1_.pdf. p 83.

Suelos & Ingenierías S.A.S. Estudio de Suelos para el diseño y construcción de estructuras de uno y dos niveles. Finca el Porvenir. Municipio Tona. 2015. p 107.

Tarbut, Eduard y Lutgens Frederick. Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física. Octava edición. Pearson Educación. Universidad Autónoma de Madrid. 2005. p 685.

Tayupanta, Jorge. La erosión hídrica: Proceso, factores y formas. Iniap. No. 229. Santa Catalina. 1993. p 15.

Universidad de Oviedo, España, Tipos de piedras. Citado 21 de junio de 2016. En:<http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.RocasOrnamentales.Tipos.Piedras.6.3.5.pdf> p 5.



Vega, Johnny. Estimación del riesgo por deslizamientos de laderas generados por eventos sísmicos en la ciudad de Medellín usando herramientas de la geomática. La Plata, Argentina. Magíster en Geomática. Universidad Nacional de La Plata. 2013. p 169.

ANEXOS

ANEXO A. Sondeos SPT, Estudio de suelos Finca el Porvenir

Tabla No. 4. Perfil típico de suelo de la zona de estudio.

| NIVEL - metros | | SONDEO 6, 7 y 8 | DETALLE |
|----------------|-------|---|---|
| Desde | Hasta | | |
| 0.0 | 1.5 |  | <p>Suelo – Aluviales - Coluviales, consiste en un Arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH), suelo muy blando, no consolidado.</p> <p>Distribución granulométrica: %Grava = 11.68 %Arenas = 15.62 %Finos = 72.71 Índice de Plasticidad = 12</p> <p>Limitaciones geotécnicas: Suelos NO competentes para la cimentación de estructuras.</p> |
| 1.5 | 3.0 |  | <p>Suelos Aluviales - Coluviales, consiste en un Limo inorgánico de baja plasticidad, regularmente consolidados y pobremente resistentes.</p> <p>Distribución granulométrica: %Grava = 0.44 %Arenas = 23.77 %Finos = 75.78 Índice de Plasticidad = 7</p> <p>Limitaciones geotécnicas: suelos algo competentes para la cimentación de estructuras.</p> |

| | | | |
|-----|-----|---|---|
| 3.0 | 4.5 |  | <p>Suelo Aluvial, continúa el mismo estrato de Limos inorgánicos de baja plasticidad (ML), suelo más consolidado y resistente.</p> <p>Distribución granulométrica: %Grava = 0.0 %Arenas = 33.13 %Finos = 66.87 Índice de Plasticidad = No presentó.</p> <p>Limitaciones geotécnicas: suelos moderadamente competentes para la cimentación de estructuras.</p> |
| 4.5 | 6.0 |  | <p>Suelo Aluvial, continúa el mismo estrato anterior. Suelos muy finos y de media a alta consistencia.</p> <p>Limitaciones geotécnicas: suelos competentes para la cimentación de estructuras.</p> |
| 6.0 | 7.5 |  | <p>Suelo - Aluviales - Coluviales, continúa un estrato de limos inorgánicos de baja plasticidad (ML), suelo consolidado.</p> <p>Distribución granulométrica: %Grava = 0.00 %Arenas = 10.95 %Finos = 89.05 Índice de Plasticidad = No presentó.</p> <p>Limitaciones geotécnicas: Suelos competentes para la cimentación de estructuras.</p> |

PROYECTO: CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES LIVIANAS
 LOTE: FINCA PORVENIR - VEREDA CARAGUA BAJO

MUNICIPIO DE TONA

SONDEO No. 6

FECHA : ABRIL 29 DE 2015
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO : NO PRESENTE
 MÉTODO DE PERFORACIÓN : PERCUSIÓN
 PESO : 140 LBS
 CAIDA : 30"
 JEFE DE PERFORACION : ING. LUIS ALBERTO CAFACHO

| Prof. Mts | Cód. Mtra. | SUCC | No DE GOLPES | | | Golpes/ft | DESCRIPCION | Rec. (cm) |
|--------------|---------------|------|--------------|----|----|-----------|---|--------------|
| | | | 6 | 12 | 18 | | | |
| 0-0,5 | | | 0 | 1 | 2 | | | |
| 0,5-1 | M1 | CH | 2 | 2 | 2 | | Suelo Aluvial Suelto, consiste en un estrato de Arcilla Inorgánica de ALTA plasticidad (CL), pobremente consolidado, muy baja resistencia. | 36 |
| 1-1,5 | | | 2 | 4 | 7 | | | |
| 1,5-2 | | | 6 | 6 | 7 | | | |
| 2-2,5 | M2 | | 7 | 7 | 7 | | | 44 |
| 2,5-3 | | | 7 | 9 | 10 | | | |
| 3-3,5 | | | 6 | 9 | 9 | | | |
| 3,5-4 | M3 | ML | 10 | 10 | 10 | | Suelo Aluvial Medianamente Consolidado, consiste en un estrato de Limos Inorgánicos de baja plasticidad (ML), regularmente consolidado o medianamente resistente, suelos densos algo permeables. El perfil de suelo aumenta su dureza a partir de una profundidad de 3,5 m. | 50 |
| 4-4,5 | | | 11 | 10 | 11 | | | |
| 4,5-5 | | | 9 | 11 | 11 | | | |
| 5-5,5 | M4 | | 11 | 11 | 13 | | | 50 |
| 5,5-6 | | | 14 | 14 | 14 | | | |
| 6-6,5 | | | 12 | 11 | 11 | | | |
| 6,5-7 | M5 | ML | 11 | 12 | 12 | | Suelo Aluvial Consolidado, continua el estrato de Limos Inorgánicos de baja plasticidad (ML), altos porcentajes de finos, consolidada y resistente. | 50 |
| 7-7,5 | | | 13 | 12 | 16 | | | |

RT: Rebote Mtra.: Muestra Rec.: Recuperación de Muestra

CAPACIDAD PORTANTE EN EL SITIO DEL SONDEO

$$Q_a = \left(\frac{B + 0.3}{B} \right)^2 * \frac{N}{12}$$

Qa : Presión Admisible en Kg/cm²
 B : Ancho del Cimiento en metros
 N : Número de Golpes por pie

B = 1,20 mt
 N = 13,0 Golpes/pie A PARTIR DE UNA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE DE 1,5 METROS

PROYECTO: CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES LIVIANAS
 LOTE: FINCA PORVENIR - VEREDA CARAGUA BAJO

MUNICIPIO DE TONA

SONDEO No. 7

FECHA : ABRIL 29 DE 2015
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO : NO PRESENTE
 MÉTODO DE PERFORACION : PERCUSIÓN
 PESA : 140 LBS
 CAIDA : 30"
 JEFE DE PERFORACION : ING. LUIS ALBERTO GAPACHO

| Prof. Mts | Cód. Mtra. | SUCS | No DE GOLPES | | | Golpes/ft | | | | | DESCRIPCION | Rec. (cms) |
|--------------|---------------|------|--------------|----|----|-----------|----|----|----|----|--|---------------|
| | | | 6 | 12 | 18 | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | | |
| 0-0.5 | | OH | 0 | 0 | 2 | | | | | | Suelo Aluvial Suelto, consiste en un estrato de Arcilla Inorgánica de ALTA plasticidad (CL), pobremente consolidado, muy baja resistencia. | 35 |
| 0.5-1 | M1 | | 3 | 3 | 3 | | | | | | | |
| 1-1.5 | | | 3 | 3 | 4 | | | | | | | |
| 1.5-2 | | M2 | 3 | 5 | 6 | | | | | | 41 | |
| 2-2.5 | | | 6 | 6 | 6 | | | | | | | |
| 2.5-3 | | | 7 | 8 | 8 | | | | | | | |
| 3-3.5 | | | 10 | 10 | 9 | | | | | | | |
| 3.5-4 | M3 | ML | 8 | 6 | 7 | | | | | | 42 | |
| 4-4.5 | | | 9 | 10 | 10 | | | | | | | |
| 4.5-5 | | | 12 | 13 | 13 | | | | | | | |
| 5-5.5 | M4 | | 14 | 13 | 14 | 45 | | | | | | |
| 5.5-6 | | | 14 | 15 | 15 | | | | | | | |

RT: Rebote Mtra.: Muestra Rec.: Recuperación de Muestra

CAPACIDAD PORTANTE EN EL SITIO DEL SONDEO

$$Q_a = \left(\frac{B + 0.3}{B} \right)^2 * \frac{N}{12}$$

Qa : Presión Admisible en Kg/cm²

B : Ancho del Cimiento en metros

N : Número de Golpes por pie

B = 1,20 mt

N = 12,0 Golpes/pie A PARTIR DE UNA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE DE 1,5 METROS

**PROYECTO: CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES LIVIANAS
 LOTE: FINCA PORVENIR - VEREDA CARAGUA BAJO**

MUNICIPIO DE TONA

SONDEO No. 8

FECHA : ABRIL 29 DE 2015
 PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO : NO PRESENTE.
 MÉTODO DE PERFORACION : PERCUSIÓN
 PESA : 140 LBS
 CAIDA : 30"
 JEFE DE PERFORACION : ING. LUIS ALBERTO GAPACHO

| Prof. Mts | Cód. Mtra. | SUCS | No DE GOLPES | | | Golpes/ft | DESCRIPCION | Rec. (cms) | | |
|--------------|---------------|------|--------------|----|----|-----------|--|---------------|--|----|
| | | | 6 | 12 | 18 | | | | | |
| 0-0,5 | M1 | OH | 0 | 0 | 5 | | Suelo Aluvial Suelto, consiste en un estrato de Arcilla inorgánica de ALTA plasticidad (CL), pobremente consolidado, muy baja resistencia. | 33 | | |
| 0,5-1 | | | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| 1-1,5 | | | 2 | 3 | 4 | | | | | |
| 1,5-2 | M2 | OH | 4 | 4 | 6 | | | | 39 | |
| 2-2,5 | | | 4 | 5 | 6 | | | | | |
| 2,5-3 | | | 5 | 8 | 7 | | | | | |
| 3-3,5 | M3 | ML | 7 | 8 | 7 | | | | Suelo Aluvial Medianamente Consolidado, consiste en un estrato de Limos inorgánicos de baja plasticidad (ML), regularmente consolidado o medianamente resistente, suelos densos algo permeables. El perfil de suelo aumenta su dureza a partir de una profundidad de 3,50 m. | 47 |
| 3,5-4 | | | 9 | 12 | 11 | | | | | |
| 4-4,5 | | | 11 | 11 | 10 | | | | | |
| 4,5-5 | M4 | ML | 10 | 11 | 16 | | | | | |
| 5-5,5 | | | 18 | 16 | 11 | | | | | |
| 5,5-6 | | | 11 | 12 | 12 | | | | | |
| 6-6,5 | | | 14 | 16 | 17 | | | | | |

RT: Rebote Mtra.: Muestra Rec.: Recuperación de Muestra

CAPACIDAD PORTANTE EN EL SITIO DEL SONDEO

$$Q_a = \left(\frac{B + 0.3}{B} \right)^2 * \frac{N}{12}$$

Qa : Presión Admisible en Kg/cm2

B : Ancho del Cimiento en metros

N : Número de Golpes por pie

B = 1,20 mt

N = 11,0 Golpes/pie A PARTIR DE UNA PROFUNDIDAD DE DESPLANTE DE 2,0 METROS

ANEXO B. Ensayos de Laboratorio.

Ensayos de Corte Directo

Muestra 1.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

| | |
|------------------|---|
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER |
|------------------|---|

| | | | | | | |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|
| SONDEO | 1 | Muestra | 1 | Profundidad | 0.5 | mts |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|

Descripción del suelo: Arenas arcillosas, gruesas, mal gradadas, húmedas, permeables color marrón claro

Estado de la muestra Alterada Humeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: MARZO-JUNIO DE 2016

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA | | | | | |
|---------------------------|------|----|-----------------|-------|-----------------|
| Diámetro: | 6.00 | cm | Area: | 28.27 | cm ² |
| Altura: | 2.32 | cm | Volumen: | 65.60 | cm ³ |

Punto 1

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 230.80 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 207.80 | grs |
| Peso anillo: | 114.40 | grs | Peso suelo seco + tara: | 181.90 | grs |
| Peso muestra: | 116.40 | grs | Peso tara: | 84.60 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.77 | grs/cm ³ | Humedad: | 26.62 | % |

Punto 2

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 229.10 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 142.60 | grs |
| Peso anillo: | 109.90 | grs | Peso suelo seco + tara: | 115.30 | grs |
| Peso muestra: | 119.20 | grs | Peso tara: | 12.90 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.82 | grs/cm ³ | Humedad: | 26.66 | % |

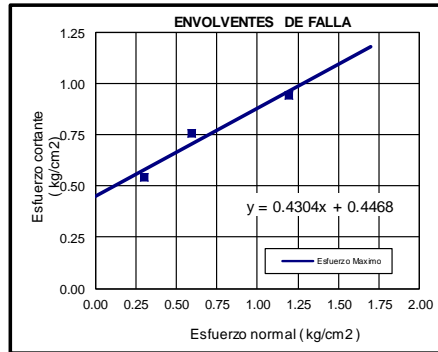
Punto 3

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 228.60 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 136.70 | grs |
| Peso anillo: | 104.20 | grs | Peso suelo seco + tara: | 111.80 | grs |
| Peso muestra: | 124.40 | grs | Peso tara: | 9.60 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.90 | grs/cm ³ | Humedad: | 24.36 | % |

| | | | | | |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|
| Densidad Húmeda: | 1.83 | grs/cm ³ | Densidad Seca: | 1.51 | grs/cm ³ |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

| Prueba | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | Esfuerzo Cortante Kg/cm ² |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.3002 | 0.5403 |
| 2 | 0.5935 | 0.7553 |
| 3 | 1.1972 | 0.9447 |



| Parámetros | Máximos |
|-------------------------------------|---------|
| Angulo de fricción int ^o | 23.286 |
| Cohesión kg/cm ² | 44.679 |

Muestra 2.

**PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236**

| | |
|------------------|---|
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER |
|------------------|---|

| | | | | | | |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|
| SONDEO | 2 | Muestra | 1 | Profundidad | 0.5 | mts |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|

Descripción del suelo : Arenas arcillosas, gruesas, mal gradadas, húmedas, permeables color marrón claro

Estado de la muestra Alterada Húmeda
Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: MARZO-JUNIO DE 2016

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA | | | | | |
|---------------------------|------|----|-----------------|-------|-----------------|
| Diámetro: | 6.00 | cm | Area: | 28.27 | cm ² |
| Altura: | 2.32 | cm | Volumen: | 65.60 | cm ³ |

Punto 1

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 226.10 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 136.00 | grs |
| Peso anillo: | 107.50 | grs | Peso suelo seco + tara: | 113.60 | grs |
| Peso muestra: | 118.60 | grs | Peso tara: | 9.80 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.81 | grs/cm ³ | Humedad: | 21.58 | % |

Punto 2

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 225.10 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 124.60 | grs |
| Peso anillo: | 103.30 | grs | Peso suelo seco + tara: | 104.60 | grs |
| Peso muestra: | 121.80 | grs | Peso tara: | 12.50 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.86 | grs/cm ³ | Humedad: | 21.72 | % |

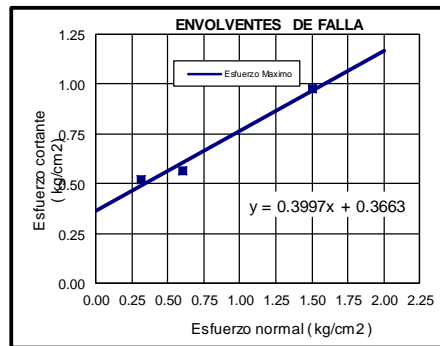
Punto 3

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 226.60 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 118.20 | grs |
| Peso anillo: | 107.70 | grs | Peso suelo seco + tara: | 98.50 | grs |
| Peso muestra: | 118.90 | grs | Peso tara: | 9.90 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.81 | grs/cm ³ | Humedad: | 22.23 | % |

| | | | | | |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|
| Densidad Húmeda: | 1.83 | grs/cm ³ | Densidad Seca: | 1.49 | grs/cm ³ |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

| Prueba | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | Esfuerzo Cortante Kg/cm ² |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.3093 | 0.519698538 |
| 2 | 0.6043 | 0.568433273 |
| 3 | 1.5029 | 0.976864871 |



| Parámetros | Máximos |
|-----------------------------|---------|
| Angulo de fricción int | 21.788 |
| Cohesión kg/cm ² | 36.634 |

Muestra 3.

**PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236**

| | |
|------------------|---|
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER |
|------------------|---|

| | | | | | | |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|
| SONDEO | 3 | Muestra | 1 | Profundidad | 0.5 | mts |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|

Descripción del suelo : Arenas arcillosas, gruesas, mal gradadas, húmedas, permeables color marrón claro

Estado de la muestra
 Alterada Humeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: MARZO-JUNIO DE 2016

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA | | | | | |
|---------------------------|------|----|----------|-------|-----------------|
| Diámetro: | 6.00 | cm | Area: | 28.27 | cm ² |
| Altura: | 2.32 | cm | Volumen: | 65.60 | cm ³ |

Punto 1

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 226.80 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 128.50 | grs |
| Peso anillo: | 102.70 | grs | Peso suelo seco + tara: | 102.45 | grs |
| Peso muestra: | 124.10 | grs | Peso tara: | 9.70 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.89 | grs/cm ³ | Humedad: | 28.09 | % |

Punto 2

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 227.50 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 126.50 | grs |
| Peso anillo: | 102.50 | grs | Peso suelo seco + tara: | 97.90 | grs |
| Peso muestra: | 125.00 | grs | Peso tara: | 10.00 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.91 | grs/cm ³ | Humedad: | 32.54 | % |

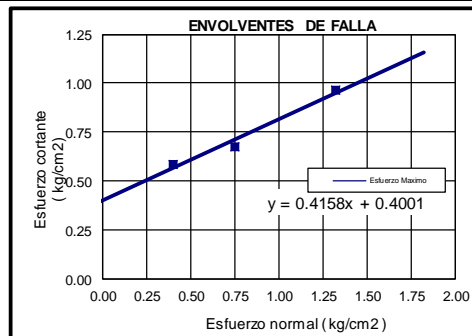
Punto 3

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 227.30 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 127.29 | grs |
| Peso anillo: | 102.50 | grs | Peso suelo seco + tara: | 105.20 | grs |
| Peso muestra: | 124.80 | grs | Peso tara: | 10.10 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.90 | grs/cm ³ | Humedad: | 23.23 | % |

| | | | | | |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|
| Densidad Húmeda: | 1.90 | grs/cm ³ | Densidad Seca: | 1.49 | grs/cm ³ |
|------------------|------|---------------------|----------------|------|---------------------|

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

| Prueba | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | Esfuerzo Cortante Kg/cm ² |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.400978568 | 0.587944729 |
| 2 | 0.751 | 0.678264383 |
| 3 | 1.3242 | 0.963577316 |



| Parámetros | Máximos |
|-----------------------------|---------|
| Angulo de fricción interna | 22.577 |
| Cohesión kg/cm ² | 40.007 |

Muestra 4.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

| | |
|------------------|---|
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER |
|------------------|---|

| | | | | | | |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|
| SONDEO | 4 | Muestra | 1 | Profundidad | 0.5 | mts |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|

Descripción del suelo : Arenas arcillosas, gruesas, mal gradadas, húmedas, permeables color marron claro

Estado de la muestra Alterada Húmeda
Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: MARZO-JUNIO DE 2016

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA | | | |
|---------------------------|------|----|---------------------------------------|
| Diámetro: | 6.00 | cm | Area: 28.27 cm ² |
| Altura: | 2.32 | cm | Volumen: 65.60 cm ³ |

Punto 1

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|------------|
| Peso muestra + anillo: | 222.90 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 132.70 grs |
| Peso anillo: | 102.10 | grs | Peso suelo seco + tara: | 111.60 grs |
| Peso muestra: | 120.80 | grs | Peso tara: | 9.90 grs |
| Densidad Húmeda: | 2.03 | grs/cm ³ | Humedad: | 20.75 % |

Punto 2

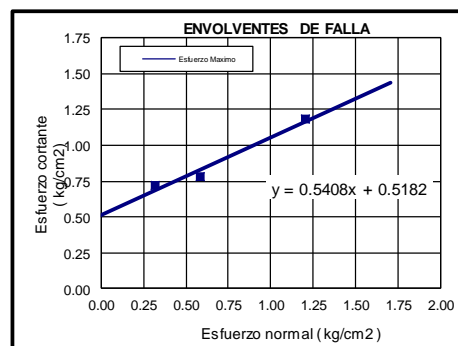
| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|------------|
| Peso muestra + anillo: | 228.90 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 132.00 grs |
| Peso anillo: | 110.40 | grs | Peso suelo seco + tara: | 108.40 grs |
| Peso muestra: | 118.50 | grs | Peso tara: | 8.00 grs |
| Densidad Húmeda: | 1.99 | grs/cm ³ | Humedad: | 23.51 % |

Punto 3

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| Peso muestra + anillo: | 189.50 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 116.70 grs |
| Peso anillo: | 73.70 | grs | Peso suelo seco + tara: | 90.40 grs |
| Peso muestra: | 115.80 | grs | Peso tara: | 9.50 grs |
| Densidad Húmeda: | 1.94 | grs/cm ³ | Humedad: | 32.51 % |
| Densidad Húmeda: | 1.98 | grs/cm ³ | Densidad Seca: | 1.60 grs/cm ³ |

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

| Prueba | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | Esfuerzo Cortante Kg/cm ² |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.3161 | 0.723693 |
| 2 | 0.586 | 0.785575 |
| 3 | 1.2056 | 1.185255 |



| Parámetros | Máximos |
|-----------------------------|---------|
| Angulo de fricción | 28.405 |
| Cohesión kg/cm ² | 51.822 |

Muestra 5.

PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080 - AASHTO T236

| | |
|------------------|---|
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER |
|------------------|---|

| | | | | | | |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|
| SONDEO | 5 | Muestra | 1 | Profundidad | 0.5 | mts |
|---------------|---|----------------|---|--------------------|-----|-----|

Descripción del suelo : Arenas arcillosas, gruesas, mal gradadas, húmedas, permeables color marrón claro

Estado de la muestra
 Alterada Húmeda
 Inalterada Saturada

Fecha Ensayo: MARZO-JUNIO DE 2016

| DIMENSIONES DE LA MUESTRA | | | | | |
|---------------------------|------|----|-----------------|-------|-----------------|
| Diámetro: | 6.00 | cm | Area: | 28.27 | cm ² |
| Altura: | 2.32 | cm | Volumen: | 65.60 | cm ³ |

Punto 1

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 232.00 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 133.30 | grs |
| Peso anillo: | 114.00 | grs | Peso suelo seco + tara: | 101.20 | grs |
| Peso muestra: | 118.00 | grs | Peso tara: | 7.20 | grs |
| Densidad Húmeda: | 1.98 | grs/cm ³ | Humedad: | 34.15 | % |

Punto 2

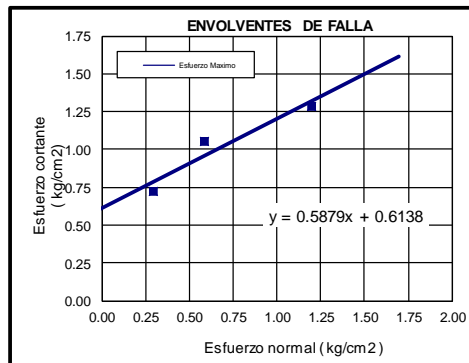
| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-----|
| Peso muestra + anillo: | 234.00 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 137.00 | grs |
| Peso anillo: | 112.80 | grs | Peso suelo seco + tara: | 104.60 | grs |
| Peso muestra: | 121.20 | grs | Peso tara: | 7.30 | grs |
| Densidad Húmeda: | 2.03 | grs/cm ³ | Humedad: | 33.30 | % |

Punto 3

| DENSIDAD HUMEDA | | | HUMEDAD DE LA MUESTRA | | |
|------------------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|---------------------|
| Peso muestra + anillo: | 236.00 | grs | Peso suelo húmedo + tara: | 140.00 | grs |
| Peso anillo: | 110.00 | grs | Peso suelo seco + tara: | 104.80 | grs |
| Peso muestra: | 126.00 | grs | Peso tara: | 7.40 | grs |
| Densidad Húmeda: | 2.31 | grs/cm ³ | Humedad: | 36.14 | % |
| Densidad Húmeda: | 2.11 | grs/cm ³ | Densidad Seca: | 1.61 | grs/cm ³ |

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

| Prueba | Esfuerzo Normal Kg/cm ² | Esfuerzo Cortante Kg/cm ² |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.2938 | 0.721681408 |
| 2 | 0.5884 | 1.055868052 |
| 3 | 1.1969 | 1.286038471 |



| Parámetros | Máximos |
|-----------------------------|---------|
| Angulo de fricción int | 30.451 |
| Cohesión kg/cm ² | 61.377 |

Ensayos de Granulometría, límites y humedad

Muestra 1.

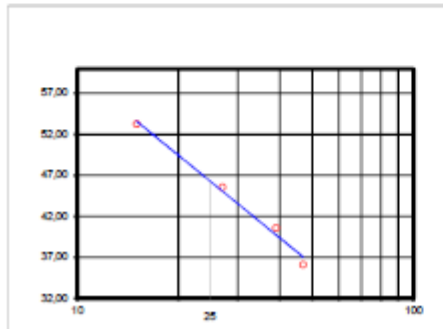
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | |
|---|--|--------------|-------|
| LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN | | | |
| I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126 | | | |
| PROYECTO: | DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA, BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER | PROFUNDIDAD: | 0.5 M |
| | | SONDEO: | 1 |
| | | FECHA: | |
| | | MUESTRA | 1 |

LÍMITES DE CONSISTENCIA

| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de Golpes | 47 | 39 | 27 | 15 |
| Recipiente No. | 44 | 2 | 1 | 3 |
| P _W | 35 | 34,4 | 35,1 | 34,2 |
| P _S | 27,6 | 25,4 | 26,4 | 25,2 |
| P _r | 7,1 | 6,7 | 7,3 | 8,3 |
| P _W | 7,40 | 8,00 | 8,70 | 9,00 |
| P _S | 20,50 | 19,70 | 19,10 | 16,90 |
| W% | 36,10 | 40,61 | 45,55 | 53,25 |

| LÍMITE PLÁSTICO* | | | Humedad Natural |
|------------------|-------|-------|-----------------|
| Recipiente No. | 2 | 3 | 1 |
| P _W | 18,10 | 18,90 | 59,50 |
| P _S | 15,40 | 16,30 | 50,50 |
| P _r | 7,10 | 8,30 | 8,00 |
| P _W | 2,70 | 2,60 | 9,10 |
| P _S | 8,30 | 8,00 | 42,50 |
| W% | 32,53 | 32,50 | 21,41 |

P_{W} = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P_{S} = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_{r} = Peso Recipiente, en g
 P_{W} = Peso del Agua, en g $P_{W} = P_{1} - P_{2}$
 P_{S} = Peso Suelo Seco, en g $P_{S} = P_{3} - P_{4}$
 W = Contenido de agua, en % $w = (P_{W} / P_{S}) \times 100$



*No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

GRADACIÓN

| Peso Inicial: | 600,00 | gr | Peso final: | 207,10 | gr |
|---------------|-----------|-----------|-------------|------------|--------|
| Tamiz, µg | Tamiz, mm | Peso (gr) | % Reten | % Ret Acum | % Pasa |
| 3" | 76,10 | | | | |
| 2 1/2" | 64,00 | | | | 100,0% |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% |
| 1 1/2" | 38,10 | | | | 100,0% |
| 1" | 25,40 | | | | 100,0% |
| 3/4" | 19,00 | 17,0 | 2,8% | 2,8% | 97,2% |
| 1/2" | 12,70 | | | 2,8% | 97,2% |
| 3/8" | 9,51 | | | 2,8% | 97,2% |
| 4 | 4,76 | 3,6 | 0,6% | 3,4% | 96,6% |
| 8 | 2,38 | | | 3,4% | 96,6% |
| 10 | 2,00 | 3,6 | 0,6% | 4,0% | 96,0% |
| 16 | 1,19 | | | 4,0% | 96,0% |
| 20 | 0,84 | 8,2 | 1,4% | 5,4% | 94,6% |
| 30 | 0,56 | | | 5,4% | 94,6% |
| 40 | 0,42 | 35,8 | 6,0% | 11,4% | 88,6% |
| 60 | 0,25 | 49,6 | 8,3% | 19,6% | 80,4% |
| 80 | 0,18 | | | 19,6% | 80,4% |
| 100 | 0,15 | 43,6 | 7,3% | 26,9% | 73,1% |
| 200 | 0,07 | 45,7 | 7,6% | 34,5% | 65,5% |
| Pasa 200 | | 392,9 | 65,5% | 100,0% | 0,0% |
| Total | | 600,0 | | | |

RESULTADOS

Límite Líquido = 45,1 %
 Límite Plástico = 32,5 %
 Índice Plástico = 13,5 %

Gravas = 3,4%
 Arenas = 31,1%
 Finos = 65,5%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo = 9
 A.A.S.H.T.O. = A-7-E
 U.S.C = ML

OBSERVACIONES:

Karla Nieto
REALIZÓ

Ximena Diaz
REALIZÓ

Muestra 2.

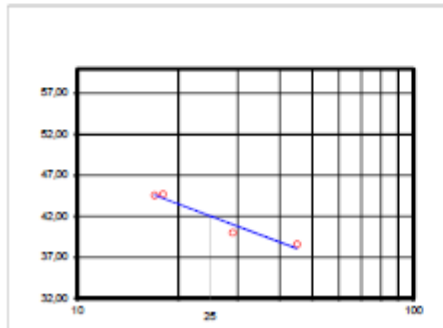
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | |
|---|---|--------|--------------------|
| LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN | | | |
| I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126 | | | |
| PROYECTO: | DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER | | PROFUNDIDAD: 0.5 M |
| | | | SONDEO: 2 |
| | | FECHA: | MUESTRA 1 |

LÍMITES DE CONSISTENCIA

| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de Golpes | 45 | 29 | 18 | 17 |
| Recipiente No | 12 | 30 | 7 | 26 |
| P _w | 42,7 | 34 | 39,5 | 40,3 |
| P _{rs} | 32,7 | 26,4 | 29,4 | 30 |
| P _r | 6,8 | 7,4 | 6,8 | 6,9 |
| P _{ss} | 10,00 | 7,60 | 10,10 | 10,30 |
| P _s | 25,90 | 19,00 | 22,60 | 23,10 |
| W _L | 38,61 | 40,00 | 44,69 | 44,59 |

| LÍMITE PLÁSTICO* | | | Humedad Natural |
|------------------|-------|-------|-----------------|
| Recipiente No. | 21 | 4 | 2 |
| P _w | 22,30 | 20,30 | 159,10 |
| P _{rs} | 18,60 | 16,30 | 131,90 |
| P _r | 7,60 | 6,90 | 9,80 |
| P _{ss} | 3,70 | 3,40 | 27,20 |
| P _s | 11,00 | 10,00 | 122,10 |
| W _N | 33,64 | 34,00 | 22,28 |

P_w = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P_{rs} = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_r = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_{ss} = Peso Suelo Seco, en g P_{ss} = P₃ - P₄
 W = Contenido de agua, en % W = (P_w / P_s) x 100



*No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

GRADACIÓN

| Peso inicial: | 600,00 | gr | Peso final: | 244,50 | gr |
|---------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------|
| Tamiz, µg | Tamiz, mm | Peso (gr) | % Reten. | % Ret.Acum. | % Pasa |
| 3" | 76,10 | | | | 100,0% |
| 2 1/2" | 64,00 | | | | 100,0% |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% |
| 1 1/2" | 38,10 | | | | 100,0% |
| 1" | 25,40 | | | | 100,0% |
| 3/4" | 19,00 | | | | 100,0% |
| 1/2" | 12,70 | | | | 100,0% |
| 3/8" | 9,51 | | | | 100,0% |
| 4 | 4,76 | 4,5 | 0,8% | 0,8% | 99,3% |
| 8 | 2,38 | | | 0,8% | 99,3% |
| 10 | 2,00 | 6,2 | 1,0% | 1,8% | 98,2% |
| 15 | 1,19 | | | 1,8% | 98,2% |
| 20 | 0,84 | 11,8 | 2,0% | 3,8% | 96,3% |
| 30 | 0,56 | | | 3,8% | 96,3% |
| 40 | 0,42 | 41,5 | 6,9% | 10,7% | 89,3% |
| 60 | 0,25 | 58,5 | 9,8% | 20,4% | 79,6% |
| 80 | 0,18 | | | 20,4% | 79,6% |
| 100 | 0,15 | 54,5 | 9,1% | 29,5% | 70,5% |
| 200 | 0,07 | 67,5 | 11,3% | 40,8% | 59,3% |
| Pasa 200 | | 355,5 | 59,3% | 100,0% | 0,0% |
| Total | | 600,0 | | | |

RESULTADOS

Límite Líquido = 42,0 %
 Límite Plástico = 33,8 %
 Índice Plástico = 8,2 %

Gravas = 0,7%
 Arenas = 40,0%
 Finos = 59,3%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo = 4
 A.A.S.H.T.O. = A-5
 U.S.C = ML

OBSERVACIONES:

Karla Nieto
REALIZO

Ximena Diaz
REALIZO

Muestra 3.

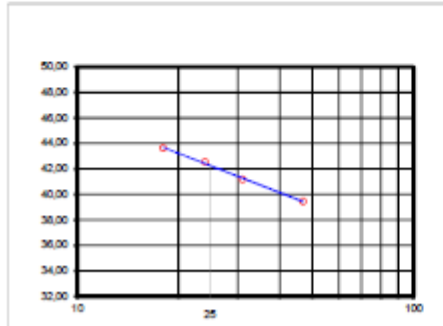
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | |
|---|---------------------------|-------------------|--|
| LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN | | | |
| I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126 | | | |
| PROYECTO: DIAGNOSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJO FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER | PROFUNDIDAD: 0.5 M | SONDEO: 3 | |
| | FECHA: | MUESTRA: 1 | |

LÍMITES DE CONSISTENCIA

| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de Golpes | 47 | 31 | 24 | 18 |
| Recipiente No | 23 | 18 | 31 | 14 |
| P _w | 42,1 | 30,8 | 39,3 | 38,7 |
| P _{rs} | 32,2 | 23,8 | 29,6 | 29,1 |
| P _r | 7,1 | 6,8 | 6,8 | 7,1 |
| P _w | 9,90 | 7,00 | 9,70 | 9,60 |
| P _s | 25,10 | 17,00 | 22,80 | 22,00 |
| W% | 39,44 | 41,18 | 42,54 | 43,64 |

| LÍMITE PLÁSTICO* | | | Humedad Natural |
|------------------|-------|-------|-----------------|
| Recipiente No | 3 | 17 | 33 |
| P _w | 20,60 | 21,20 | 80,19 |
| P _{rs} | 17,30 | 17,80 | 64,50 |
| P _r | 6,80 | 6,90 | 8,30 |
| P _w | 3,30 | 3,40 | 15,69 |
| P _s | 10,50 | 10,90 | 56,20 |
| W% | 31,43 | 31,19 | 27,92 |

P_w = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P_{rs} = Peso Recipiente + Suelo Seco , en g
 P_r = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua , en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₃ - P₄
 W = Contenido de agua, en % W = (P_w/P_s) x 100



*No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

GRADACIÓN

| Peso Inicial: | 600,00 | g | Peso final: | | 223,00 | g |
|---------------|-----------|-----------|-------------|--------------|--------|---|
| Tamiz, µg | Tamiz, mm | Peso (gr) | % Reten. | % Ret. Acum. | % Pasa | |
| 3" | 76,10 | | | | | |
| 2 1/2" | 64,00 | | | | 100,0% | |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% | |
| 1 1/2" | 38,10 | | | | 100,0% | |
| 1" | 25,40 | | | | 100,0% | |
| 3/4" | 19,00 | | | | 100,0% | |
| 1/2" | 12,70 | 2,9 | 0,5% | 0,5% | 99,5% | |
| 3/8" | 9,51 | 1,0 | 0,2% | 0,7% | 99,4% | |
| 4 | 4,76 | 3,1 | 0,5% | 1,2% | 98,8% | |
| 8 | 2,38 | | | 1,2% | 98,8% | |
| 10 | 2,00 | 4,4 | 0,7% | 1,9% | 98,1% | |
| 16 | 1,19 | | | 1,9% | 98,1% | |
| 20 | 0,84 | 15,1 | 2,5% | 4,4% | 95,6% | |
| 30 | 0,56 | | | 4,4% | 95,6% | |
| 40 | 0,42 | 44,4 | 7,4% | 11,8% | 88,2% | |
| 60 | 0,25 | 53,2 | 8,9% | 20,7% | 79,3% | |
| 80 | 0,18 | | | 20,7% | 79,3% | |
| 100 | 0,15 | 45,9 | 7,7% | 28,3% | 71,7% | |
| 200 | 0,07 | 53,0 | 8,8% | 37,2% | 62,8% | |
| Pasa 200 | | 377,0 | 62,8% | 100,0% | 0,0% | |
| Total | | 600,0 | | | | |

RESULTADOS

Límite Líquido = 42,2 %
 Límite Plástico = 31,3 %
 Índice Plástico = 10,9 %

Gravas = 1,2%
 Arenas = 36,0%
 Finos = 62,8%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo = 6
 A.A.S.H.T.O. = A-7-E
 U.S.C = ML

OBSERVACIONES:

Karis Nieto
REALIZO

Ximena Diaz
REALIZO

Muestra 4.

| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN | | | |
|---|---|-------|------------|
| LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN | | | |
| I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126 | | | |
| PROYECTO: | DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJA FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER | | SONDEO: 4 |
| | PROFUNDIDAD: | 0.5 M | MUESTRA: 1 |
| | FECHA: | | |

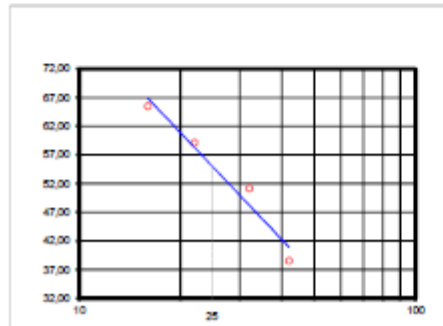
LÍMITES DE CONSISTENCIA

| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de Golpes | 42 | 32 | 22 | 16 |
| Recipiente No | 23 | 31 | 4 | 10 |
| P _w | 24,7 | 19,7 | 21,7 | 21,1 |
| P _{rs} | 19,8 | 15,3 | 16,2 | 15,6 |
| P _r | 7,1 | 6,7 | 6,9 | 7,2 |
| P _{su} | 4,90 | 4,40 | 5,50 | 5,50 |
| P _s | 12,70 | 8,60 | 9,30 | 8,40 |
| W% | 38,58 | 51,16 | 59,14 | 65,48 |

| LÍMITE PLÁSTICO* | | | Humedad Natural |
|------------------|-------|-------|-----------------|
| Recipiente No | 20 | 9 | 1 |
| P _w | 15,60 | 14,60 | 94,30 |
| P _{rs} | 13,00 | 12,30 | 74,60 |
| P _r | 6,90 | 6,90 | 10,00 |
| P _{su} | 2,60 | 2,30 | 19,70 |
| P _s | 6,10 | 5,40 | 64,60 |
| W% | 42,62 | 42,59 | 30,50 |

P_{w} = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P_{rs} = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_r = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g
 P_s = Peso Suelo Seco, en g
 W = Contenido de agua, en %

$P_{w1} = P_1 - P_2$
 $P_{s1} = P_3 - P_3$
 $w = (P_{w1} / P_{s1}) \times 100$



*No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

GRADACIÓN

| Peso Inicial: | 872,80 | g | Peso final: | 232,40 | g |
|---------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------|
| Tamiz, µg | Tamiz, mm | Peso (gr) | % Reten. | % Ret Acum. | % Pasa |
| 3" | 76,10 | | | | |
| 2 1/2" | 64,00 | | | | 100,0% |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% |
| 1 1/2" | 38,10 | | | | 100,0% |
| 1" | 25,40 | | | | 100,0% |
| 3/4" | 19,00 | | | | 100,0% |
| 1/2" | 12,70 | | | | 100,0% |
| 3/8" | 9,51 | | | | 100,0% |
| 4 | 4,76 | 0,8 | 0,1% | 0,1% | 99,9% |
| 8 | 2,38 | | | 0,1% | 99,9% |
| 10 | 2,00 | 8,6 | 1,0% | 1,1% | 98,9% |
| 16 | 1,19 | | | 1,1% | 98,9% |
| 20 | 0,84 | 43,3 | 5,0% | 6,0% | 94,0% |
| 30 | 0,56 | | | 6,0% | 94,0% |
| 40 | 0,42 | 69,2 | 7,9% | 14,0% | 86,0% |
| 60 | 0,25 | 46,5 | 5,3% | 19,3% | 80,7% |
| 80 | 0,18 | | | 19,3% | 80,7% |
| 100 | 0,15 | 32,5 | 3,7% | 23,0% | 77,0% |
| 200 | 0,07 | 31,5 | 3,6% | 26,6% | 73,4% |
| Pasa 200 | | 640,4 | 73,4% | 100,0% | 0,0% |
| Total | | 872,8 | | | |

RESULTADOS

Límite Líquido = 54,6 %
 Límite Plástico = 42,6 %
 Índice Plástico = 12,0 %

Gravas = 0,1%
 Arenas = 26,5%
 Finos = 73,4%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo = 12
 A.A.S.H.T.O. = A-7-E
 U.S.C. = MH

OBSERVACIONES:

Karla Nieto
REALIZO

Ximena Diaz
REALIZO

Muestra 5.

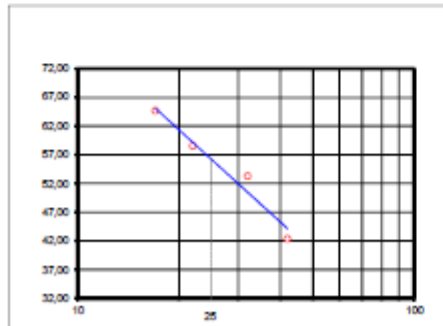
| ENSAYO DE CLASIFICACIÓN LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126 | | | |
|---|---|--------|--------------------|
| PROYECTO: | DIAGNÓSTICO DE LA FALLA PRESENTADA EN EL TALUD LOCALIZADO EN EL Km 22 SOBRE LA VÍA BUCARAMANGA- TONA, SECTOR VEREDA CARAGUA BAJA FINCA EL PORVENIR, DEPARTAMENTO DE SANTANDER | | PROFUNDIDAD: 0,5 M |
| | | | SONDEO: 5 |
| | | FECHA: | MUESTRA: 1 |

LÍMITES DE CONSISTENCIA

| LÍMITE LÍQUIDO | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Determinación No | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Número de Golpes | 42 | 32 | 22 | 17 |
| Recipiente No | 16 | 2 | 21 | 1 |
| P _w | 24,8 | 20,9 | 24,5 | 21,2 |
| P _s | 19,5 | 16 | 18 | 15,7 |
| P _r | 7 | 6,8 | 6,9 | 7,2 |
| P _u | 5,30 | 4,90 | 6,50 | 5,50 |
| P _a | 12,50 | 9,20 | 11,10 | 8,50 |
| W% | 42,40 | 53,26 | 58,56 | 64,71 |

| LÍMITE PLÁSTICO* | | | Humedad Natural |
|------------------|-------|-------|-----------------|
| Recipiente No | 1 | 2 | 3 |
| P _w | 16,00 | 16,30 | 37,00 |
| P _s | 13,30 | 13,70 | 31,70 |
| P _r | 6,90 | 7,60 | 9,90 |
| P _u | 2,70 | 2,60 | 5,30 |
| P _a | 6,40 | 6,10 | 21,80 |
| W% | 42,19 | 42,62 | 24,31 |

P_w = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g
 P_s = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g
 P_r = Peso Recipiente, en g
 P_w = Peso del Agua, en g P_w = P₁ - P₂
 P_s = Peso Suelo Seco, en g P_s = P₂ - P₃
 W = Contenido de agua, en % W = (P_w/P_s) x 100



*No se permiten diferencias mayores al 2% entre dos ensayos de LP del mismo material

GRADACIÓN

| Peso Inicial | 886,30 | g | Peso final | 234,60 | g |
|--------------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| Tamiz, µg | Tamiz, mm | Peso (gr) | % Reten. | % Ret. Acum | % Pasa |
| 3" | 76,10 | | | | |
| 2 1/2" | 64,00 | | | | 100,0% |
| 2" | 50,80 | | | | 100,0% |
| 1 1/2" | 38,10 | | | | 100,0% |
| 1" | 25,40 | | | | 100,0% |
| 3/4" | 19,00 | | | | 100,0% |
| 1/2" | 12,70 | | | | 100,0% |
| 3/8" | 9,51 | | | | 100,0% |
| 4 | 4,76 | 0,7 | 0,1% | 0,1% | 99,9% |
| 8 | 2,38 | | | 0,1% | 99,9% |
| 10 | 2,00 | 8,4 | 0,9% | 1,0% | 99,0% |
| 15 | 1,19 | | | 1,0% | 99,0% |
| 20 | 0,84 | 41,8 | 4,7% | 5,7% | 94,3% |
| 30 | 0,56 | | | 5,7% | 94,3% |
| 40 | 0,42 | 71,4 | 8,1% | 13,8% | 86,2% |
| 60 | 0,25 | 45,6 | 5,1% | 18,9% | 81,1% |
| 80 | 0,18 | | | 18,9% | 81,1% |
| 100 | 0,15 | 31,2 | 3,5% | 22,5% | 77,5% |
| 200 | 0,07 | 35,5 | 4,0% | 26,5% | 73,5% |
| Pasa 200 | | 651,7 | 73,5% | 100,0% | 0,0% |
| Total | | 886,3 | | | |

RESULTADOS

Límite Líquido = 56,1 %
 Límite Plástico = 42,4 %
 Índice Plástico = 13,7 %

Gravas = 0,1%
 Arenas = 26,4%
 Finos = 73,5%

CLASIFICACIÓN

Índice de Grupo = 13
 A.A.S.H.T.O. = A-7-E
 U.S.C. = MH

OBSERVACIONES:

Karla Nieto
REALIZO

Ximena Diaz
REALIZO

ANEXO C. Teoría Estabilidad de taludes.

ESTABILIDAD DE TALUDES

En la estabilidad de taludes se busca determinar si el suelo es lo suficientemente resistente como para soportar los esfuerzos de corte que ocasionan la falla del talud.

La modelación numérica de la estabilidad tiene en cuenta los factores que definen física, hidráulica, sísmica y geológicamente los estratos, al modelo se le incluye la geometría, el nivel freático, las cargas externas –si las hay-, las propiedades de los materiales y la aceleración pseudoestática, y otras que se incluyen para análisis específicos.

La inestabilidad del talud se da cuando las fuerzas actuantes superan a las resistentes y la masa de suelo no puede mantener el equilibrio. Para simular la falla, se asume una superficie de rotura y un factor de seguridad, que indican por donde posiblemente va a ocurrir el deslizamiento y el valor de tendencia a que ocurra.

Superficie de falla

Es la línea que determina por donde posiblemente va a fallar el suelo y la masa de suelo que será desplazada.

La mayoría de programas de estabilidad de taludes asumen el suelo como material isotrópico y las superficies de falla circular o semicircular, aunque es posible analizar otros tipos de formas que idealicen más acertadamente la superficie, el estudio en este campo no es tan robusto.

En la superficie de rotura se asume que todos los puntos que la conforman tienen el mismo factor de seguridad, de igual manera que los esfuerzos cortantes en el momento de la falla.

La modelación realiza el cálculo de la estabilidad asumiendo muchas superficies de rotura, con un factor de seguridad asociado a cada una, y como resultado del análisis se encuentra el factor y superficie críticos que define el deslizamiento más probable.

Factor de seguridad

Numéricamente el factor de seguridad es una relación entre las fuerzas resistentes respecto a las actuantes, que determinan la susceptibilidad a deslizarse.

El talud deja de ser estable cuando se produce un aumento en las fuerzas actuantes, y las resistentes no tienen la capacidad de contrarrestarlo.

En la modelación se puede determinar el valor del factor estudiando el equilibrio de las fuerzas para la masa de suelo como un solo cuerpo, o dividiendo el cuerpo en varios pedazos para ser estudiados individualmente.

Equilibrio límite

El análisis de equilibrio límite asume que en el momento de la falla las fuerzas actuantes y resistentes se igualan y el factor de seguridad se hace 1 a lo largo de toda la superficie de falla.

El equilibrio límite es muy utilizado en diferentes métodos de estabilidad de taludes, encontrándose unos más precisos que otros.

Slope

Es un programa de la casa Geostudio que sirve para modelar en 2D situaciones que definan el comportamiento del suelo ante ciertas condiciones de topografía, agua, sismo cargas y materiales, muy utilizado en el análisis de estabilidad de taludes por la facilidad en su manejo y el uso de equilibrio límite en sus análisis, además de la simulación de una situación que reúna varias condiciones actuando al mismo tiempo y determinar el estado más crítico del factor de seguridad; Para

representar el fenómeno de falla se basan en diferentes modelos, pero el más utilizado en suelos es el círculo de falla de Morh Coulomb.

Los métodos de análisis más utilizados en la estabilidad de taludes son los siguientes:

- Ordinario (Fellenius).
- Bishop implificado.
- Janbu simplificado.
- Spencer.
- Morgentern-Price.
- Cuerpo de Ingenieros Americanos.
- Lowe-Karafiath.
- Método general de equilibrio límite.

Los utilizados en la modelación de la presente investigación son los siguientes:

- **Método Ordinario o de Fellenius**

Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos respecto al centro del círculo producido por estas fuerzas calcula el Factor de Seguridad, es decir que no tiene en cuenta el equilibrio de las fuerzas en el análisis. metodología de analissi 136

- **Método de Janbú**

Este método considera que las superficies de falla no son completamente circulares y utiliza un factor de corrección de curvatura para corregirlas, el asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tiene en cuenta las fuerzas cortantes, por tal solo satisface equilibrio de momentos y no satisface equilibrio de fuerzas. metodología de analissi PAG 137

- **Método simplificado de Bishop**

Este método asume superficies de falla circulares, considera que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tiene en cuenta las fuerzas cortantes. metodología de análisis PAG 138

- **Spencer**

Este método asume superficies de falla circulares y no circulares, asume que la inclinación de las fuerzas entre dovelas son iguales y como desconocida la inclinación de la fuerza resultante, se da el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. metodología de análisis PAG 140

- **Morgenstern – Price**

Es un método con las mismas bases que el método de Spencer pero con la diferencia de que para la inclinación de las fuerzas entre dovelas, a parte de la función constante puede usarse otro tipo de función; aunque los resultados del factor de seguridad son muy similares que a los calculados con Spencer, la posibilidad de usarse otras opciones para las funciones, hace el método más riguroso.