

**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FALLA DEL TALUD QUE  
AFECTA 110 METROS LINEALES DE LA VÍA LA ESTACIÓN-GUAPOTA.**

**JUDITH MILENA CAMARGO MADRID  
JOSE FERNANDO ORDUZ CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

**CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FALLA DEL TALUD QUE  
AFECTA 110 METROS LINEALES DE LA VÍA LA ESTACIÓN-GUAPOTA.**

**JUDITH MILENA CAMARGO MADRID  
JOSE FERNANDO ORDUZ CHAPARRO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero(a) Civil**

**Directora:**

**Ing. HEBENLY CELIS LEGUIZAMO**

**Co-Directora:**

**Ing. Laura Regina López Prieto**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO – MECANICA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **DEDICATORIA**

A mi Padre Celestial por darme la salud y la determinación para comenzar este camino y la fortaleza para mantenerme firme a pesar de todas las dificultades.

A mi madre Judith Madrid Pereira, por ser mi motor y por haberme prestado su sueño para hacerlo realidad, porque sin ella no estaría disfrutando este momento.

A mi padre, Gonzalo Antonio Camargo C. por ser esa persona incondicional, que me ha apoyado en todas mis aventuras.

A Laurita, por todo su amor y por su compañía incondicional.

A Gonzalito, por ser mi motor y mi motivo para ser mejor.

A mi abuelita, Judith Pereira por estar conmigo en los momentos más difíciles, y por ser ese ser lleno de amor que me ha brindado siempre su cariño.

A mis amigos porque fueron mis cómplices y mi familia en tiempo de soledad, especialmente a Jose por ser mi compañero y el mejor de mis amigos.

A Ricardo por ser esa persona que siempre confía en mí, por no darse por vencido y ser ese ejemplo de progreso.

**JUDITH MILENA CAMARGO MADRID**

## **DEDICATORIA**

A dios por darme fortaleza, paciencia e inteligencia  
Para culminar esta etapa de mi vida

A mi madre, padre y hermanos, por el esfuerzo que hacen para brindarme lo mejor  
y hacer de mí una gran persona con su ejemplo

A mi tía Cleofe María chaparro, porque si no fuese por ella no habría empezado  
esta etapa de vida

A mis amigos y amigas por compartir conmigo este camino y llenarlo de grande  
momentos

**JOSE FERNANDO ORDUZ CHAPARRO**

## **AGRADECIMIENTOS**

A dios por darnos salud, fuerza y perseverancia durante la carrera profesional

A nuestros padres por brindarnos la oportunidad de estudiar y garantizarnos un futuro profesional

A la universidad industrial de Santander por nuestra formación profesional

A nuestra directora de proyecto ingeniera Hebenly Celis Leguizamo por ser la guía en este proceso

A la ingeniera Laura Regina López Prieto por su apoyo y colaboración en cada una de las etapas de la realización de este proyecto

Al gordo, Wuis, Danilo, Leidy, Elena, Carlos, Diego, John, Samantha, Ricardo, por su amistad, apoyo, consejos y fuerza en todo momento

**GRACIAS**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
2. METODOLOGIA	21
3. GENERALIDADES DEL PROYECTO	22
3.1 LOCALIZACION	24
3.2 TOPOGRAFIA	25
3.3 GEOLOGIA	25
3.3.1 Geología Regional	26
3.3.2 Geología Local	27
3.4 GEOMORFOLOGÍA	27
3.5 ESTRATIGRAFÍA	28
3.5.1 Formación Tablazo (Kit)Descrita por O.C. Wheeler (en MORALES, L. et al., 1958) y la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente.	28
3.5.2 Depósito Coluvial (Qcl)	29
3.6HIDROLOGIA	30
3.6.1 Clima	30
3.6.2 Precipitaciones	30
3.6.3 Temperatura Y Climatología	33
3.6.4 Recurso Agua	33
4. INVESTIGACION EN CAMPO	34
4.1 ESTUDIOS GEOELECTRICOS	34
4.1.1 Sondeo eléctrico vertical SEV – 1, tabla 1.	36

4.1.2 Sondeo eléctrico vertical SEV – 2, tabla 2.	37
4.1.3 Sondeo eléctrico vertical SEV – 3, tabla 3.	38
4.1.4 Sondeo eléctrico vertical SEV – 4, tabla 4.	39
4.2 ESTUDIOSGEOTECNICOS	42
4.2.1 Humedad	43
4.2.2Granulometría	43
4.2.3Límites De Atterberg	44
4.3 CORTE DIRECTO	45
4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	46
4.4.1 Regla de las $3\sigma$	46
4.4.2 Parámetros de diseño	49
5. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD POR MODELAMIENTO	50
5.1 ANÁLISIS POR MODELAMIENTO	50
5.2 EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES MEDIANTE EL MÉTODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE.	50
5.2.1 Analisis preliminar.	51
5.2.1.1 Criterio 1: Angulo de fricción constante- Cohesion variable.	53
5.2.1.2 Criterio 2: Angulo de fricción variable- Cohesión constante.	54
5.2.1.3 Criterio 3: Angulo de fricción variable- Cohesión variable.	55
5.2.2 Calibración Del Modelo Del Talud Con Carga Sísmica	56
6. ANALISIS GENERAL DEL PROBLEMA	58
6.1 ESTADO GENERAL	58
6.2 SOLUCIONES PROPUESTAS	58
6.2.1 Terraceso	58
6.2.2 Drenajes	59
6.2.3 Modelamiento de la solución propuesta	61
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
ANEXOS	65

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1.Panorámica del talud.	23
Ilustración 2.Ubicación del talud	24
Ilustración3.Topografía.	25
Ilustración 4.Mapa geológico regional.	26
Ilustración 5. Formación Tablazo (Kit)	29
Ilustración 6.Deposito coluvial (Qcl)	30
Ilustración 7.Histograma pluviómetro la estación.	31
Ilustración 8.Gráfico de seguimiento de precipitación decadal.	32
Ilustración 9.Plano topográfico regional con la ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales.	35
Ilustración 10.Perfil Geoelectrico.	41
Ilustración 11. Plano de ubicación de los apiques.	42
Ilustración 12. Modelo Estatico Preliminar	52
Ilustración 13. Modelo Estatico calibrado para angulo de friccion constante y cohesion variable	53
Ilustración 14. Zoom Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción constante y cohesión variable	54
Ilustración 15. Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción variable y cohesión constante.	55
Ilustración 16. Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción variable y cohesión variable.	56
Ilustración17. Modelamiento del talud con carga sismica.	57
Ilustración18. Zoom Modelamiento del talud con carga sismica.	57
Ilustración 19. Terraceo en talud natural	59
Ilustración 20. Detalle terraceo	59

Ilustración 21. Drenes de penetración.	60
Ilustración 22. Detalle canaleta flexible	61
Ilustración 23. Modelamiento de solución propuesta	61
Ilustración 24. Zoom Modelamiento de solución propuesta	62

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1	37
Tabla 2. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2	38
Tabla 3. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3	39
Tabla 4. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-4	40
Tabla 5. Resultados generales SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4	40
Tabla 6. Resultados granulométricos de los apiques	44
Tabla 7. Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques	45
Tabla 8. Resultados de resistencia al corte por apiques	46
Tabla 9. Valores pico y residual para el estado humedad natural	48
Tabla 10. Valores pico y residual para el estado humedad saturada	48
Tabla 11. Valores pico y residual para el estado humedad optimo	49
Tabla 12. Parámetros para diseño preliminar	49
Tabla 13. Criterios de Evaluación de Amenaza	50
Tabla 14. Factores de seguridad con ángulo de fricción constante y cohesión variable	53
Tabla 15. Factores de seguridad con ángulo de fricción variable y cohesión constante	54
Tabla 16. Factores de seguridad con ángulo de fricción variable y cohesión variable	55

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Mapa de ejes viales del departamento de Santander	66
ANEXO B. Planos topográficos.	68
ANEXO C. Zonificación sísmica de Colombia	69
ANEXO D. Estudio geoelectrico	70
ANEXO E. Resultados ensayos de laboratorio	90
ANEXOF. Metodo para la estabilizacion de taludes.	110

## RESUMEN

**TITULO:** CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA FALLA DEL TALUD QUE AFECTA 110 METROS LINEALES DE LA VÍA LA ESTACIÓN-GUAPOTA.\*

**AUTORES:** JUDITH MILENA CAMARGO MADRID\*\*  
JOSE FERNANDO ORDUZ CHAPARRO\*\*

**PALABRASCLAVES:** Amenaza, Deslizamiento, Talud, Erosión, Geo/slope, Factor de Seguridad, Mohr Coulomb, Estabilidad.

### DESCRIPCIÓN:

Este trabajo de grado se plantea como un apoyo para el proyecto: “ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS VÍAS PRIORIZADAS EN EL PLAN VIAL DEPARTAMENTAL DE SANTANDER VÍA LA ESTACION – GUAPOTA”, en la parte de análisis de estabilidad de taludes.

El sector localizado entre las abscisas k1 + 490 y k1 +600 de la vía, es puntualmente la zona donde se presentan fuertes problemas de inestabilidad, prolongados por las precipitaciones ocurridas en el último año.

Atendiendo a las necesidades anteriormente expuestas, se hace pertinente llevar a cabo el proceso de caracterización y análisis de inestabilidad presentes en el talud, en donde se identifiquen las causas del movimiento, con el fin de ofrecer una propuesta preliminar que proporcione posibles soluciones a los problemas encontrados, Como guía en los trabajos realizados por la Gobernación de Santander.

El estudio se llevó a cabo en diferentes etapas, la primera consistió en un reconocimiento previo del área afectada; la segunda etapa fue la recopilación de información existente de la zona en estudio con ayuda de la Gobernación de Santander; la tercera etapa consistió en la ejecución y clasificación de los apiques realizados en los sectores más críticos del talud y por último la cuarta etapa consistió en el análisis de los resultados obtenidos, estos análisis nos arrojaron ciertos parámetros de resistencia del suelo para evaluar el nivel de amenaza actualmente y los posibles factores que influyeron en la inestabilidad del SOFTWARE. Teniendo el grado de amenaza en este talud plantemos la mejor alternativa para mitigar la inestabilidad y vulnerabilidad de la zona.

---

\*Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Hebenly Celis. Codirectora: Laura Regina López.

## SUMMARY

**TITLE:** CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF SLOPE FAILURE TO 110 METERS LINEAR AFFECT THE WAY STATION-GUAPOTA.\*

**AUTHORS:** JUDITH MILENA CAMARGO MADRID\*\*  
JOSE FERNANDO ORDUZ CHAPARRO\*\*

**KEYWORDS:**Threat, Landslide, Slope, Erosion, Geo/slope, Safety Factor, Mohr Coulomb, Stability.

### DESCRIPTION:

The degree work is intended as a support for the project: "STUDIES AND DESIGNS OF-WAY PLAN PRIORITY IN SANTANDER DEPARTMENTAL TRACK ROAD STATION - GUAPOTA" in the analysis of slope stability.

The area located between the abscissas k1+ 490 and k1 +600 of the road, the area is promptly presented serious problems of instability, extended by rains that occurred in the past year.

Based on the above needs, it is relevant to carry out the process of characterization and analysis of instability present in the slope, where identifying the causes of motion, in order to provide a preliminary proposal that provides solutions to problems found, as a guide in the work of the government of Santander.

The study was carried out at different stages, the first was a preliminary recognition of the affected area, the second stage was the collection of existing information from the study area with the help of the government of Santander, the third step was the implementation and classification of apiques made in the most critical of the slope and finally the fourth stage was the analysis of the results, these analyzes we threw some soil strength parameters to assess the threat level today and the possible factors influenced SOFTWARE instability. Given the degree of threat in this slope we plant the best alternative to mitigate the instability and vulnerability of the area

---

\*Degree Project

\*\*Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. Director: Hebenly Celis. Co-Director: Laura Regina Lopez.

## INTRODUCCION

Este trabajo de grado consistió en una serie de estudio de suelos para el análisis de las causas del deslizamiento del talud ubicado en el K1+500 sobre la vía Troncal Central LA ESTACION – GUAPOTA, por medio de estos estudios logramos establecer el comportamiento de este suelo en diferentes condiciones.

En el capítulo 1: se plantea el objetivo general, los objetivos específicos planteados para el presente estudio.

En el capítulo 2: Describimos la metodología del proyecto de grado.

En el capítulo 3: Se hace una revisión general del proyecto, la localización del talud, la topografía, la geología, la geomorfología, la estratificación, la hidrología y la temperatura del área estudiada.

En el capítulo 4: se hace descripción de las investigaciones que se hicieron en campo como el estudio geoelectrico y los estudios geotécnicos.

En el capítulo 5: En este capítulo hacemos la evaluación de la estabilidad del talud por medio del modelamiento en Software.

En el capítulo 6: Hacemos un análisis general del problema y presentamos dos posibles soluciones a este.

Finalmente se plantea las conclusiones generales del estudio y la bibliografía consultada.

Se realizaron los estudios de suelos con el objeto de investigar las características geológicas y geotécnicas, perfil estratigráfico del lugar afectado por la remoción en masa durante la construcción de la vía y las propiedades mecánicas de los suelos presentes en el área del proyecto.

Mediante las características geológicas y geotécnicas de la zona se diagnostica el comportamiento sobre la estabilidad de los suelos.

Se Localizaron niveles freáticos o filtraciones de agua, y la posibilidad de que estas llegaren a afectar la estabilidad de las laderas existentes.

El estudio de zonas geológicamente críticas afectadas por deslizamientos, rellenos, fenómenos de remoción e inundación requieren de un análisis Geotécnico e Hidrogeológico que permita determinar criterios tales como espesor de los coluviones, rellenos, la ocurrencia o no de estructuras locales y/o regionales, presencia de aguas subterráneas y la litología existente en el subsuelo.

En los estudios geotécnicos y de recursos hídricos subterráneos se utiliza como principal herramienta el método geoelectrico, que permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

Para la localización de los SEV se utilizó un GPS (Global PositioningSystem) Magellan Meridian Platinun, que es un sistema de localización por satélite, el cual determina la posición de un punto en relación a un grupo de satélites que orbitan la tierra y envían continuamente señales de radio con la posición y el tiempo exactos de cada uno de ellos. Conociendo tres o más de estos satélites y calculando las diferencias en tiempo entre señales transmitidas, el GPS determina su posición en coordenadas planas con una precisión de 3 m.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer las posibles causas de inestabilidad de la vía la estación – Guapota, en el sector del K1+490 al K1+600.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Ejecutar un análisis preliminar de la situación por medio de información existente de la región.
- ✓ Estudiar las características de resistencia de los suelos en el sector.
- ✓ Modelamiento del problema en Geo/slope.

## 2. METODOLOGIA

Con el propósito de cumplir con los objetivos propuestos hasta el nivel de detalle requerido, se desarrolló la siguiente serie ordenada de actividades:

- a) Recopilación y análisis de la información existente.
- b) Reconocimiento de campo. Se efectuó un recorrido de inspección en las edificaciones vecinas y se reconoció especialmente el predio afectado por amenaza de deslizamiento, observándose la mayor cantidad posible de parámetros geológicos, geomorfológicos y geotécnicos que permita analizar la estabilidad del talud.
- c) Trabajos de Campo y Ensayos de Laboratorio. Con el objeto de conocer el perfil del terreno se llevó a cabo una serie de apiques y Ensayos con Geoeléctrico.
- d) De las perforaciones fueron extraídas muestras alteradas e inalteradas para realizar ensayos de granulometría, límites de consistencia, corte directo, peso unitario y humedad natural.
- e) Análisis e interpretación de la información recolectada.
- f) Elaboración de las recomendaciones correspondientes.
- g) Informe final.

### **3. GENERALIDADES DEL PROYECTO**

Si bien nunca antes en la historia de Colombia se había registrado una crisis como la que ha afrontado el país a consecuencia del Fenómeno de la Niña 2010- 2011, la respuesta del Gobierno Nacional también ha sido histórica. Este esfuerzo tampoco tiene precedentes considerando la movilización y activación del Sistema de Prevención y Atención de Desastres. Tras el paso del Fenómeno de La Niña por el Departamento de Santander, las cifras de destrucción reportaron la tragedia más fuerte que ha soportado esta zona del país en su historia.

El último censo de damnificados realizado por la Administración Departamental indica que 21.124 familias resultaron damnificadas por la emergencia, 100.336 personas; 1.017 viviendas destruidas y 12 mil 102 viviendas averiadas.

Desde ese momento se apropiaron los recursos para la realización de obras de mitigación de riesgo, contención de cuerpos de agua o chorros, y rehabilitación de vías, puentes, entre otros.

Uno de los municipios afectados por esta ola invernal fue el municipio de Guapotá en Santander, este problema fue planteado a la Secretaría de Infraestructura y al gobernador, para incluirlo en un estudio geológico y mirar cuál es la alternativa más viable para solucionar el problema de pérdida de la banca en la vía de acceso a Guapotá, ilustracion1.

A la altura del kilómetro 3 la vía de acceso al municipio de Guapotá desde la carretera central Puente Nacional-San Gil, se presenta un deslizamiento con pérdida de más de la mitad de la banca.

**Ilustración 1. Panorámica del talud.**



Fuente: Los autores

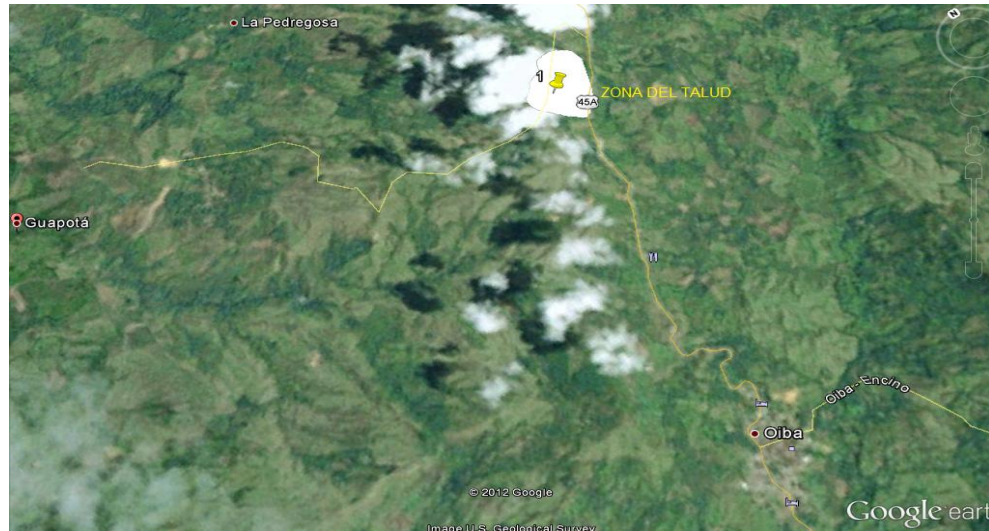
La preocupación se da en razón a que en cualquier momento, si persisten las lluvias que fueron anunciadas y se darían en forma intensa, hay riesgo de que se siga cayendo el resto del terreno, lo que generará una incomunicación desde el corredor nacional.

Esta falla que se presenta en esa zona que quedó destapada durante las obras de pavimentación. Este es un problema que viene de la ola invernal de los años anteriores pero que se acrecienta a medida que avanza el invierno en esta temporada. Se trata de un punto localizado a tres kilómetros aproximadamente desde la carretera nacional. El resto de la vía se encuentra en buen estado

### 3.1 LOCALIZACION

La vía en estudio se localiza al Sur del municipio de Socorro en el Departamento de Santander, ilustración 2.

**Ilustración 2. Ubicación del talud**



Fuente: googlemaps

El proyecto busca conocer las condiciones geológicas geotécnicas que permitan establecer los criterios de mejoramiento del diseño geométrico y de estabilidad de la vía de acceso al Municipio de Guapotá.

El municipio de Guapota situado a los  $73^{\circ}20'$  de longitud con respecto al Meridiano de Greenwich, a los  $6^{\circ}19'$  de latitud norte, su casco urbano se encuentra en el sector central oriental del municipio, entre las alturas de 1.450 a 1.510 m.s.n.m.

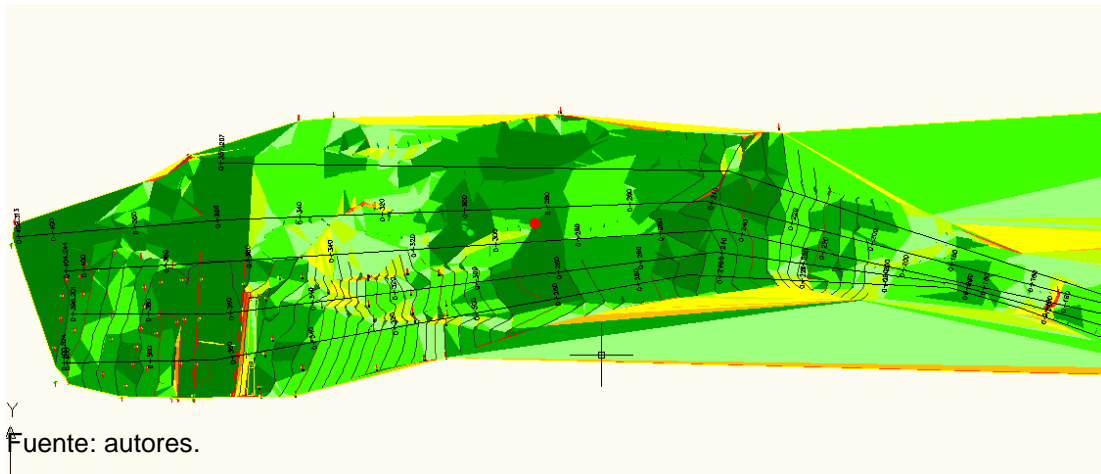
La región es de relieve montañoso, con pendientes que varían de acuerdo a la litología presente y las estructuras geológicas. Es así que sean frecuentes extensas áreas con pendientes moderadas y algunos sectores en los que predominan los escarpes.

La ubicación exactamente del talud es en el K1+490 al K1+600, por la vía LA ESTACION-GUAPOTA, de municipio de GUAPOTA, SANTANDER; siendo las condiciones de esta vía generalmente buenas. Las fechas en que se presentaron los movimientos son entre los meses de julio y agosto del año 2011.

### 3.2 TOPOGRAFIA

Se realizó el levantamiento topográfico del talud con curvas de nivel cada metro, con base en esta topografía se trazó los perfiles geométricos y geotécnicos, ilustración 3. Véase Anexo B.

Ilustración3.Topografía.

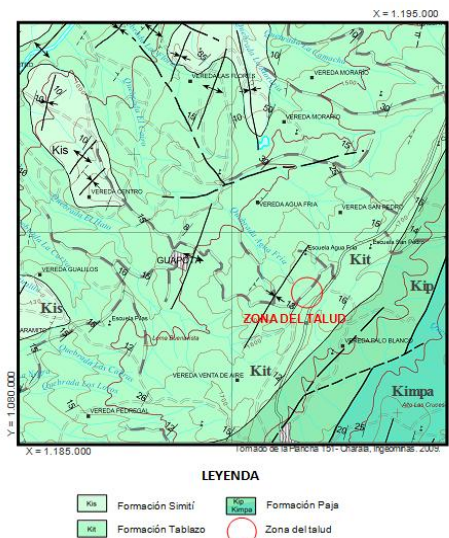


### 3.3 GEOLOGIA

El área de interés corresponde totalmente a rocas sedimentarias, representadas especialmente por materiales arcillosos, calcáreos y arenosos, los cuales descansan sobre rocas sedimentarias más antiguas que no afloran en el área de influencia, que hacen parte del conjunto sedimentario del Cretáceo Inferior del Macizo de Santander.

La unidad reconocida en campo fue la Formación Tablazo (Ver ilustración4), la cual está parcialmente cubierta por delgados cuerpos cuaternarios (derrubios, conos de deyección y Coluviones) y presentan en términos generales exposición aceptable, meteorización avanzada, observable parcialmente a lo largo de las vías de comunicación y en pequeñas cañadas fuera del área.

**Ilustración 4. Mapa geológico regional.**



Fuente: INGEOMINAS 1967

**3.3.1 Geología Regional.** Según estudios previos realizados por INGEOMINAS la zona estudio se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera Oriental de los Andes, correspondiendo a una provincia fisiográfica de cordilleras de plegamiento, con diversas unidades geológicas que varían en su litología, creando un paisaje de diversas características. Desde la perspectiva de la geomorfología, la subregión se caracteriza por la presencia de mesas y cuestras, constituidas por rocas sedimentarias del cretáceo, presentándose también algunas zonas con pendientes abruptas que representan formaciones, jurásicas y cretáceas, donde se resalta como estructura principal la falla del río Suárez que cruza la subregión de sur a norte. Desde la visión de la geología estructural se puede observar

la presencia de numerosas fallas, anticlinales y sinclinales, dentro de las cuales se destacan las siguientes:

Las fallas del Río Suárez como la de mayor presencia, la falla de Confines, la Falla del Encino y la falla de Riachuelo; como las que más se destacan en la Confines, el del Cerro Negro y el anticlinal de Virolín como los de mayor presencia.

Se identifican igualmente yacimientos de arcillas, caolines, areniscas y calizas en los municipios de Oiba, Guadalupe y Palmas del Socorro. Cabe destacar como aspecto importante como la intensa pluviosidad causa ablandamiento de la tierra produciendo frecuentemente deslizamientos. Debido a su conformación de ladera, las lluvias arrasan con la capa vegetal, erosionando las tierras, haciéndolas cada vez menos productivas.

**3.3.2 Geología Local.** Las geologías presentes del talud en estudio muestran un patrón de fracturamiento asociado a la tectónica regional, jugando un papel importante en esta relación entre el grado de fracturamiento y la presencia de agua subterránea, debido a que facilita los movimientos de inestabilidad.

### **3.4 GEOMORFOLOGÍA**

El talud se encuentra en una zona correspondiente a un paisaje de relieve montañoso estructural erosional con laderas de pendientes entre moderadas y fuertes. Se ubica en el anticlinal de Oiba, teniendo un buzamiento aproximado de 25 grados al oeste y caracterizado por presentar escarpe estructural que puede llegar a ser erosivo, debido a la inestabilidad que pueda ocurrir en la litoestratigrafía.

### 3.5 ESTRATIGRAFÍA

En este capítulo se desea ilustrar las características litológicas y sedimentológicas de las unidades de roca del subsuelo, además de evaluar y comprender las propiedades de permeabilidad, porosidad primaria y secundaria de las unidades que están en capacidad de almacenar el agua subterránea; es decir nos interesa detallar la litología de las rocas que estarían incluidas en el basamento del respectivo coluvión y suelos residuales.

**3.5.1 Formación Tablazo (Kit) Descrita por O.C. Wheeler (en MORALES, L. et al., 1958) y la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente.** La secuencia de esta unidad consiste de calizas grises negras, fosilíferas, localmente glauconitas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas.

El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, pocas profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m. La Formación Tablazo se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. Su edad es considerada del Aptiano superior-Albiano inferior. Esta unidad en parte es crono-estratigráficamente correlacionable con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente, ilustración 5.

**Ilustración 5. Formación Tablazo (Kit)**



Fuente: autores

**3.5.2 Depósito Coluvial (Qcl).** El cuerpo cuaternario está constituido por un depósito coluvial medianamente espeso con materiales heterogéneos y heterométricos de areniscas y arcillolitas, embebidos en una matriz limo-arcillosa, depositados por diferentes medios de transporte en especial la gravedad y el agua subterránea. Este depósito subyace a sedimentos del cretácico inferior compuesto por arcillolitas, areniscas arcillosas fosilíferas y calizas grises a negras fosilíferas, ilustración 6.

**Ilustración 6. Deposito coluvial (Qcl)**



Fuente: Autores

### **3.6 HIDROLOGIA**

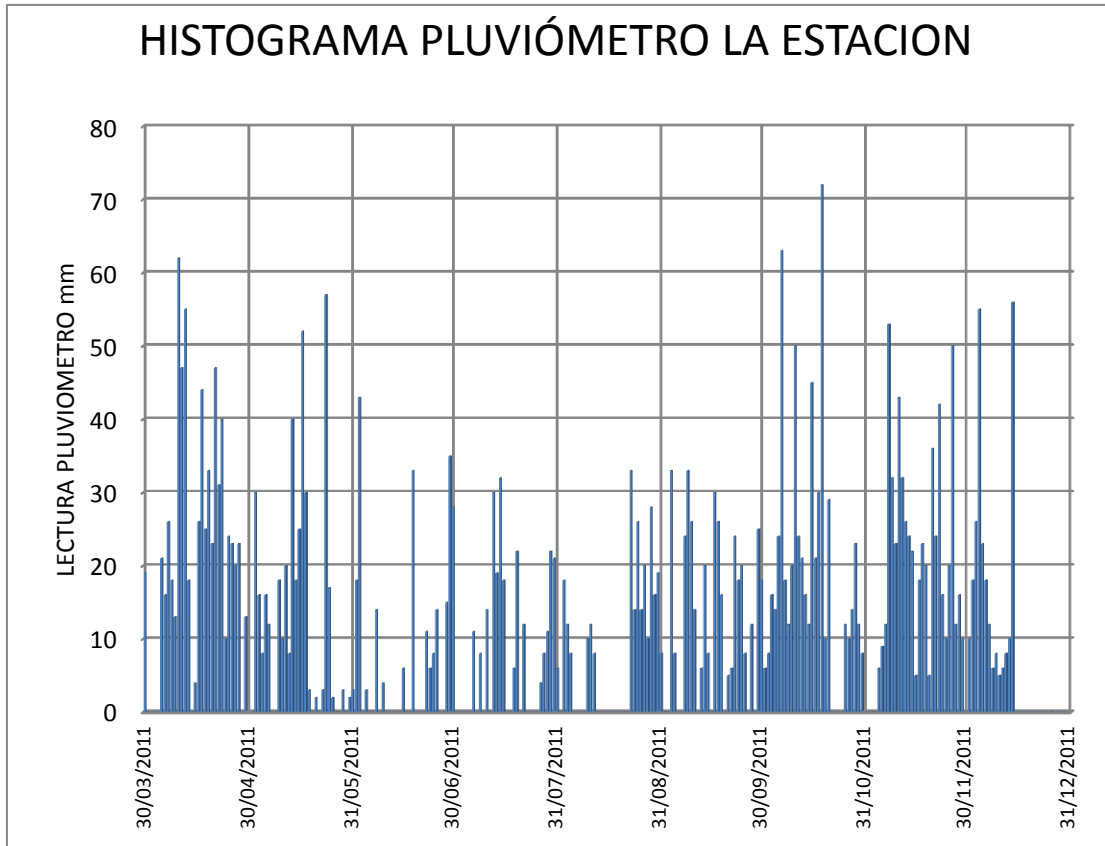
Para conocer las condiciones hidrológicas en el talud en estudio, es necesario analizar las principales características que influyen en la zona:

**3.6.1 Clima.** En la climatología analizamos los principales factores que tienen influencia en el talud y en la zona de amenaza, como son:

**3.6.2 Precipitaciones.** Las zonas de Oiba y Guapotá poseen unas de las curvas pluviométricas de mayor humedad en promedio anuales, lo que hace de esta región una zona de humedad media. A continuación se hace relación a un cuadro de valores totales mensuales de precipitación de los años (2011 y

2012), tomada de la estación pluviométrica de La Estación, en el Municipio de Guapotá, ilustración 7.

Ilustración 7. Histograma pluviómetro la estación.



Fuente: Pluviómetro la estación.

Debido al Fenómeno de la niña que se presentó en el 2010 y el 2011 se observaron precipitaciones fuera de lo normal, ilustración 8.



**3.6.3 Temperatura Y Climatología.** El clima es generalmente húmedo, La temperatura varía desde los 19°C en las partes más altas hasta los 24°C en las partes más bajas, a orillas del río Suárez, pero en las horas de la noche la temperatura desciende considerablemente en todo el territorio. Con base en el IDEAM la temperatura estimada es de 20.6 C.

Para determinar el valor de temperatura de nuestro talud utilizamos los valores promedios anuales de temperatura de la zona, utilizamos la fórmula de regresión lineal para Santander (1974-1997), suministrada por el IDEAM de Bucaramanga.

Formula de regresión lineal:

$$Y = -0.0060X + 29.1890^{\circ} \text{ C}$$

Y siendo X, la cota promedio del talud = 1814[m.s.n.m], tenemos:

$$Y = -0.0060 * 1814 + 29.1890$$

$$Y = -10.884 + 29.1890$$

$$Y = 18.305^{\circ} \text{ C. Temperatura en la zona.}$$

**3.6.4 Recurso Agua.** El municipio de Guapota esta bañado por los ríos Oibita y Suárez, en sus bordes sur y occidental respectivamente, internamente es atravesado por importantes quebradas como La Flecha, La Callejona, Las Flores, Las Cabras y Las Guimis.

## **4. INVESTIGACION EN CAMPO**

La investigación de campo consistió en: Estudios Geoelectricos y Estudios Geotécnicos.

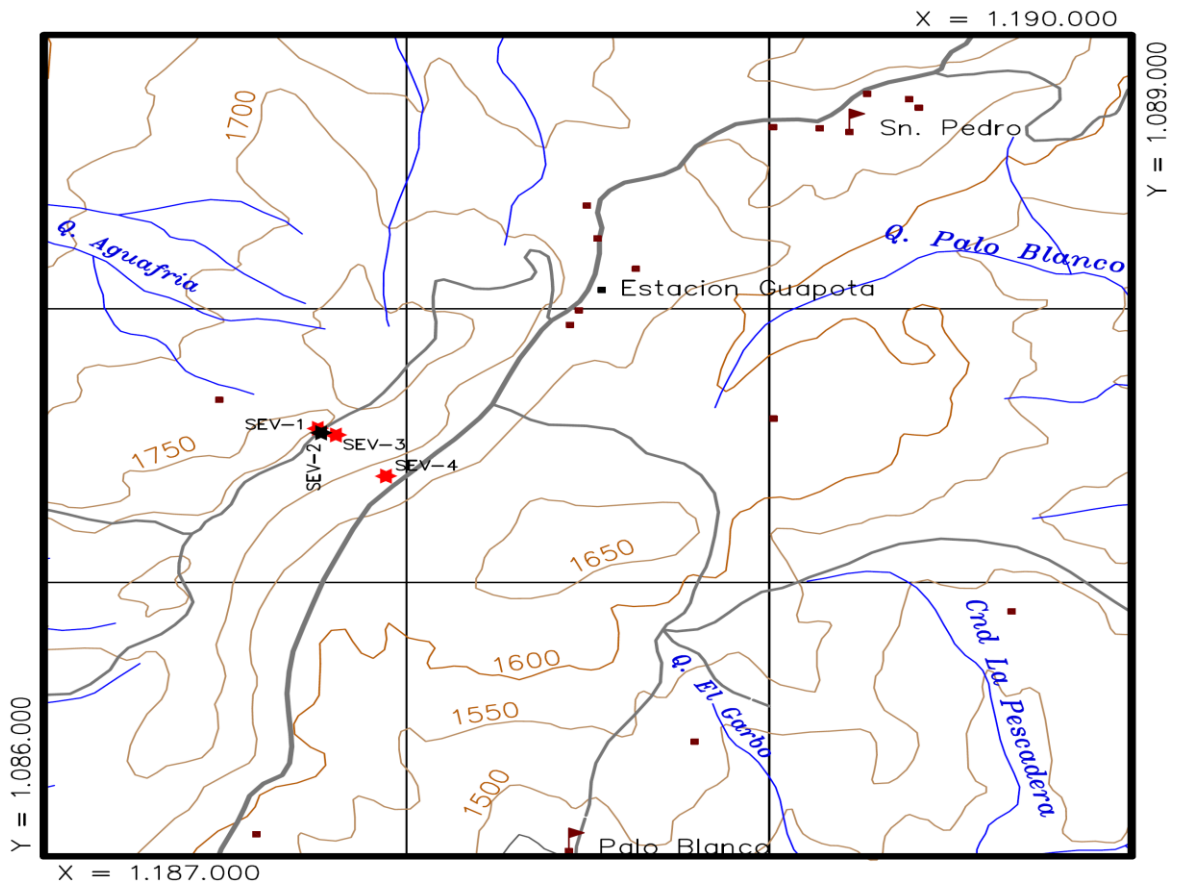
### **4.1 ESTUDIOS GEOELECTRICOS**

En los estudios geotécnicos y de recursos hídricos subterráneos se utiliza como principal herramienta el método Geoeléctrico, que permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

El método Geoeléctrico o de resistividad fue ideado por el ingeniero francés Conrad Schlumberger y es el más eficaz hasta el momento, y de más amplia difusión en la prospección de agua subterránea y en la aplicación a los estudios geotécnicos, que consiste en energizar el terreno para evaluar las resistividades del subsuelo realizando una serie de mediciones de Intensidad de corriente como del gradiente de potencial desde la superficie.

Para la toma de datos se efectúa la visita correspondiente al sector de la inestabilidad geológica del PR1+500 de la Vía secundaria a Guapota, Santander (ver ilustración 9), el día 13 de diciembre de 2011, día en el cual se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4 previstos en los lugares apropiados y considerados de interés y a su vez, donde las condiciones locales y en general de carácter logístico lo permiten, de acuerdo a una visita previa realizada, localizados de forma tal que se permita lograr la interpretación más homogénea sobre la respectiva área de interés.

**Ilustración 9. Plano topográfico regional con la ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales.**



Fuente: Autores (gEOeléctrico)

Para la ejecución del Estudio Geoelectrico se efectuaron cuatro (4) fases o etapas de trabajo que incluyeron las siguientes actividades:

Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural: Realizada en los alrededores del área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación (actitud) de las capas de roca en superficie y constatar e identificar los principales agentes hídricos.

Fase de Adquisición de Datos: Efectuada con la visita puntual en los sitios de interés geotécnico para planear la ubicación y ejecución de cuatro (4) Sondeos Eléctricos Verticales SEV (Ver ilustración 9) con una profundidad de investigación Geofísica de 133.33 m.

Fase de Valoración de Información: Revisión bibliográfica y análisis de la Información geológica existente de superficie y subsuelo, para el sector del estudio.

Fase de Procesamiento e Interpretación: Con los datos adquiridos de las fases anteriores y utilizando software, se realizó el procesamiento e interpretación de los datos y se correlacionaron los resultados con la información regional y local.

A continuación se muestra los resultados obtenido por los Sondeos Eléctricos Verticales:

#### **4.1.1 Sondeo eléctrico vertical SEV – 1, tabla 1.**

**LOCALIZACIÓN:** Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500.

**PROFUNDIDAD INVESTIGADA:**  $AB/2 = 133.33$  m.

**TERRENO:** Inclinado

**COORDENADAS:**  $X = 1'188.564$ ,  $Y = 1'086.756$ ,  $Z = 1782$  msnm

**ERROR RELATIVO:** 0.0064

**Tabla 1. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-1**

<b>Profundidad (m) Desde - Hasta</b>	<b>Unidad Geoeléctrica</b>	<b>Resistividad (Ohm – m)</b>	<b>Correlación Hidrogeológica</b>
0.00 - 0.30	I	413	Suelo arcillo-arenoso con materia orgánica.
0.30 - 2.60	II	454	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas embebidos en una matriz arcillosa
2.60 - 16.30	III	136	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Con cierto grado de meteorización y húmedo. Formación Tablazo.
16.30 - 133.33	IV	101	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

#### **4.1.2 Sondeo eléctrico vertical SEV – 2, tabla 2.**

**LOCALIZACIÓN:** Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500.

**PROFUNDIDAD INVESTIGADA:** AB/2 = 133.33 m.

**TERRENO:** Inclinado

**COORDENADAS:** X = 1´188.548, Y = 1´086.765, Z = 1774 msnm

**ERROR RELATIVO:** 0.0168

**Tabla 2. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-2**

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.0 - 0.90	I	31	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
0.90 - 1.80	II	60	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
1.80 - 6.30	III	209	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
6.30 - 67.10	IV	38	Basamento sedimentario Con cierto grado de meteorización compuesto por lutitas calcáreas. Muy Húmedas. Formación Tablazo.
67.10 - 133.33	V	35	Basamento sedimentario compuesto por lutitas calcáreas. Muy Húmedas. Formación Tablazo.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

#### 4.1.3 Sondeo eléctrico vertical SEV – 3, tabla 3.

**LOCALIZACIÓN:** Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500.

**PROFUNDIDAD INVESTIGADA:**  $AB/2 = 133.33$  m.

**TERRENO:** ondulado

**COORDENADAS:** X = 1'188.540, Y = 1'086.806, Z = 1761 msnm

**ERROR RELATIVO:** 0.0116

**Tabla 3. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-3**

<b>Profundidad (m) Desde - Hasta</b>	<b>Unidad Geoeléctrica</b>	<b>Resistividad (Ohm – m)</b>	<b>Correlación Hidrogeológica</b>
0.0 - 0.50	I	23	Suelo arcillo-limoso con materia orgánica. Saturado.
0.50 - 1.30	II	35	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
1.30 - 4.40	III	148	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
4.40 - 10.60	IV	11	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas. Saturadas. Formación Tablazo.
10.60 - 31.60	V	98	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.
31.60 - 133.33	VI	62	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

#### **4.1.4 Sondeo eléctrico vertical SEV – 4, tabla 4.**

**LOCALIZACIÓN:** Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500, sitio cercano a la vía nacional.

**PROFUNDIDAD INVESTIGADA:**  $AB/2 = 133.33$  m.

**TERRENO:** ondulado

**COORDENADAS:** X = 1´188.390, Y = 1´086.944, Z = 1703 msnm

**ERROR RELATIVO:** 0.0104

**Tabla 4. Resultados Sondeo Eléctrico Vertical SEV-4**

<b>Profundidad (m) Desde - Hasta</b>	<b>Unidad Geoeléctrica</b>	<b>Resistividad (Ohm – m)</b>	<b>Correlación Hidrogeológica</b>
0.00 - 0.80	I	297	Suelo arcillo-arenoso con materia orgánica.
0.80 - 3.10	II	144	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
3.10 - 16.20	III	22	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
16.20 - 77.30	IV	119	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.
77.30 - 133.33	V	89	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

En la siguiente tabla (ver tabla 5) se presenta un resumen Geológico-Geotécnico de la investigación geoelectrica realizada para los sitios donde se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales:

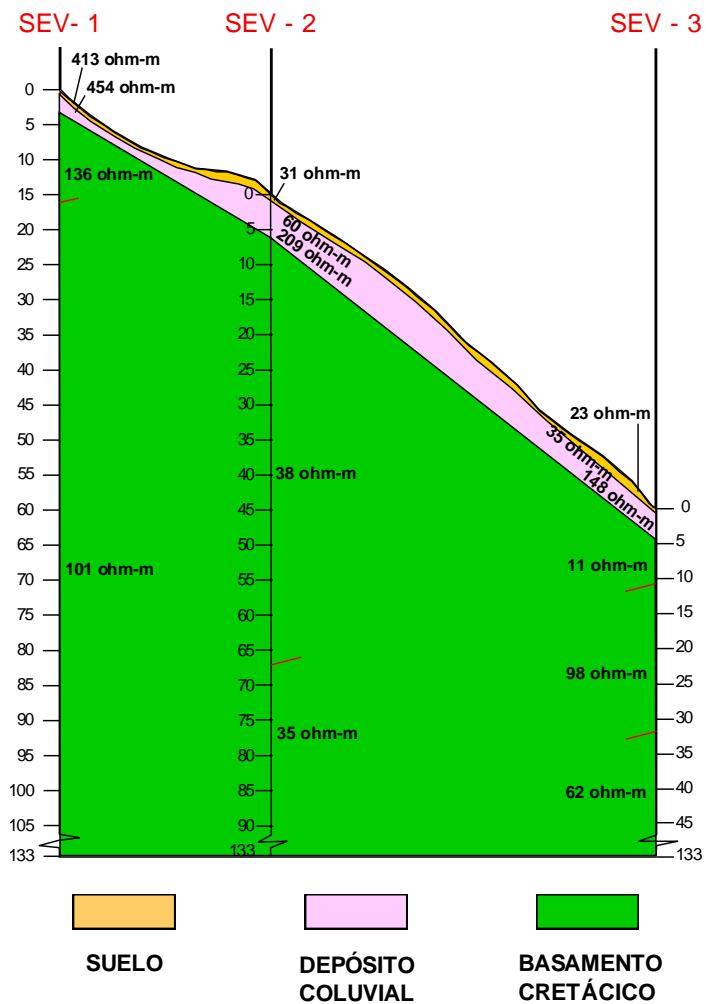
**Tabla 5. Resultados generales SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4**

<b>SITIO SONDEO</b>	<b>SUELO Desde...Hasta</b>	<b>SUELO RESIDUAL Desde.....Hasta</b>	<b>COLUVION Desde...Hasta</b>	<b>BASAMENTO partir de:</b>
SEV - 1	-	-	0.00 – 2.60	2.60
SEV - 2	-	-	0.00 – 6.30	6.30
SEV - 3	-	-	0.00 – 4.40	4.40
SEV - 4	-	-	0.00 – 16.20	16.20

Fuente: Estudio Geoeléctrico – Gobernación de Santander

El depósito coluvial es bastante espeso hacia la Vía Nacional y disminuye hacia la corona (ver Perfil Geoelectrico esquemático en la ilustración 10 entre los SEV-1, SEV-2 y SEV-3, y además observar la profundidad del basamento rocoso en el SEV-4).

**Ilustración 10. Perfil Geoelectrico.  
PERFIL GEOELÉCTRICO PARA EL SECTOR INESTABLE  
DEL K1+500 VIA NACIONAL - GUAPOTA**



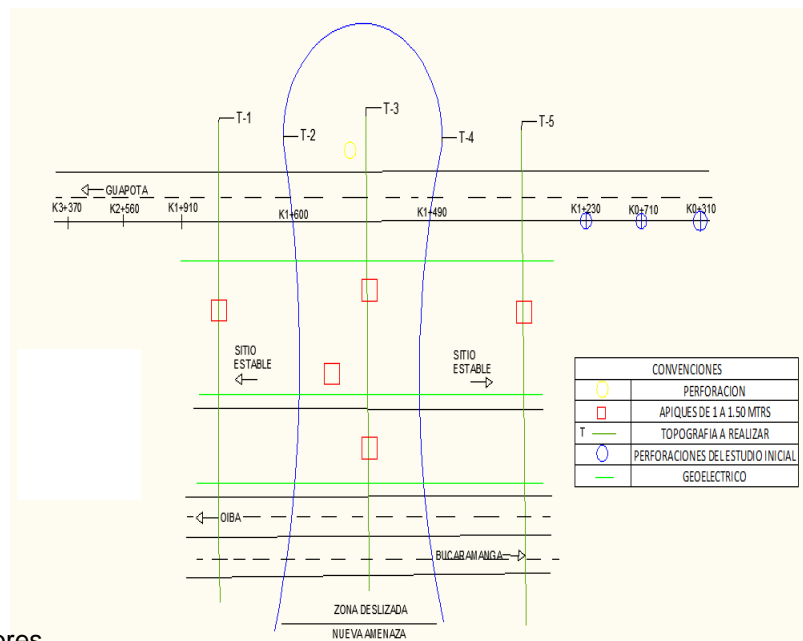
Fuente: Estudio Geoelectrico-Gobernación de Santander

## 4.2 ESTUDIOS GEOTECNICOS

Los estudios geotécnicos se aplican a los materiales obtenidos como muestras del talud de estudiado por medio de ensayos de laboratorio, como son: ensayo de humedad, límites de Atterberg, granulometría y resistencia al corte, siendo estos necesarios para obtener la clasificación y parámetros de resistencia del suelo.

Para la recolección de muestras se realizó cinco apiques en las ubicaciones de la Ilustración 5, con una profundidad aproximada de 1 m; de cada una de estas excavaciones manuales se recolectaron muestras de bloque, conservándolas por separado en bolsas herméticas, para realizar los respectivos ensayos de laboratorio mencionados anteriormente y obtener los siguientes resultados. Véase Anexo E.

**Ilustración 11. Plano de ubicación de los apiques.**



Fuente: autores

**4.2.1 Humedad.** La determinación del porcentaje de agua contenido en un suelo se realiza obteniendo una parte de la muestra tomada del talud y evaluando el peso de la misma antes y después del proceso de secado.

$$W_{(\text{Humedad})} = \frac{\text{pesomuestrahumeda}}{\text{pesomuestraseca}} \times 100\%$$

Sabiendo que la resistencia de un suelo varía de acuerdo a su humedad determinada en la mayoría de los casos por la presencia del nivel freático. Teniendo presente que un suelo con alto contenido de humedad generalmente resiste menos carga que el mismo suelo a un grado de humedad menor.

**4.2.2 Granulometría.** La granulometría de un talud consiste en hacer pasar una parte de muestra del suelo previamente lavada y secada, por una serie de tamices normalizados en orden sucesivo de mayor a menor abertura del tamiz y luego someterlos a una vibración constante, quedando retenida parte de la muestra en cada tamiz, los cuales se graficaran en porcentajes contra los diámetros de las mallas.

Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de finos, arenas y gravas que conforman cada muestra, para su posterior clasificación.

A continuación (ver tabla 6) se presentaran los resultados de los ensayos granulométricos realizados:

**Tabla 6. Resultados granulométricos de los apiques**

	<b>APIQUE 1</b>	<b>APIQUE 2</b>	<b>APIQUE 4</b>	<b>APIQUE 5</b>
<b>GRAVAS(%)</b>	4.81	6.74	2.42	0.57
<b>ARENAS(%)</b>	17.12	14.11	5.25	15.44
<b>FINOS(%)</b>	78.07	79.15	92.33	83.99

Fuente: Autores

**4.2.3 Límites De Atterberg.** Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que los incluyan dentro de un estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad con los cuales se produce los cambios de estado se denominan límites de atterberg y puede variar de un suelo a otro<sup>1</sup>. Este ensayo cumple un papel importante en la clasificación de un suelo junto con el ensayo granulométrico.

El ensayo de límites de atterberg se compone de:

**4.2.3.1 Limite Líquido (LI):** Humedad en la cual una muestra de suelo colocada en una cazuela de bronce (Cazuela de Casagrande), se cierra la ranura una longitud de media pulgada al caer 25 veces de una altura de un centímetro. En el laboratorio se repite esta parte del ensayo varias veces a diferentes humedades, anotando el número de golpes; luego en la correspondiente gráfica hallamos la humedad correspondiente a los 25 golpes

**4.2.3.2 Limite Plástico (LP):** Es el contenido más bajo de humedad en el cual un suelo al enrollarse con la mano se agrieta, formando un rollito con diámetro de 3 mm.

**4.2.3.3 Índice De Plasticidad (IP):** Se encuentra en el intervalo de contenido de humedad, representado como un porcentaje de la masa seca del suelo, en el cual

---

<sup>1</sup> PEDROZA NIÑO, Orlando y VERA SARMIENTO, Jorge. Manual técnico para el desarrollo del laboratorio de caracterización de materiales I. Tesis de la Escuela de Ing. Civil. UIS. 2008. Pág. 187.

el material se encuentra en un estado plástico. Definiéndose como la diferencia entre el Limite liquido (LL) y el Limite Plástico (LP).

Basándose en los resultados granulométricos presentados en la Tabla 6 y en los límites de Atterberg presentados a continuación (tabla 7), se clasificara las muestras del suelo de acuerdo al SUCS:

**Tabla 7. Resultados Límites de Atterberg y clasificación de los apiques**

	<b>APIQUE 1</b>	<b>APIQUE 2</b>	<b>APIQUE 4</b>	<b>APIQUE 5</b>
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	49%	42%	45%	42%
<b>INDICE PLASTICO</b>	18%	13%	16%	14%
<b>CLASIFICACION</b>	ML	ML	ML	ML

Fuente: Autores

### **4.3 CORTE DIRECTO**

Este ensayo determina la resistencia al corte de una muestra de suelo, previamente sometiéndola a un proceso de consolidación, para luego aplicarle un esfuerzo de cizalladura o corte directo con velocidad controlada mientras se permite un drenaje completo de ella.

Generalmente se ensayan tres o más muestras del mismo apique, cada uno bajo una carga diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr. Para este proyecto se halló la resistencia al corte del suelo en estado natural, en estado saturado y en estado compactado con la humedad óptima, las cuales serán presentadas en la siguiente tabla (ver tabla 8):

**Tabla 8. Resultados de resistencia al corte por apiques**

	APIQUE 1	APIQUE 2	APIQUE 4	APIQUE 5
<b>HUMEDAD NATURAL</b>				
$\phi$ pico	21	20	21	20
C pico (kg/m <sup>2</sup> )	7365.20	3691.80	6628.70	3121.00
W%	31	33	31	34
$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.59	1.75	1.71	1.71
<b>HUMEDAD SATURADA</b>				
$\phi$ pico	19	17	18	18
C pico (kg/m <sup>2</sup> )	7644.14	966.68	2246.40	2246.40
W%	33	35	36	38
$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.92	1.80	1.97
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>				
$\phi$ residual	22	25	23	22
C residual (kg/m <sup>2</sup> )	7991.20	4861.00	9096.00	4575.60
W%	17.5	17.5	20.9	16.6
$\delta$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2.02	1.97	1.76	1.97

Fuente: Autores, (res: residual)

#### 4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para caracterizar las propiedades presentes de cada estrato se suelo en el talud de estudio fue necesario realizar un análisis comparativo de la información existente en la zona y los resultados obtenidos de los apiques realizados en campo.

**4.4.1 Regla de las 3 $\sigma$ .** Comúnmente en los estudios geotécnicos los valores de las propiedades de los suelos son calculados tomando como base correlaciones o datos de juicio poco confiables y no es posible calcular datos de desviación estándar o coeficientes de desviación. Estos últimos son indispensables para la seguridad del modelo y del análisis, para lo cual se hace necesario que los datos sean estimados utilizando la experiencia y el criterio del ingeniero. Existe un método que ayuda a precisarlos, llamado la regla de las 3 $\sigma$ , la cual fue descrita por Dai y Wang en 1992, esta utiliza el hecho de que el 99.73% de todos los valores de

una distribución normal caen dentro de 3 desviaciones estándar en promedio, por lo tanto si HCV es el valor más alto y LV el valor más bajo estos tienen aproximadamente 3 desviaciones estándar y la regla puede ser utilizada así:

$$HCV = 2340,23 \text{ kg/m}^2$$

$$LCV = 2130,22 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4} = \frac{2340,23 - 2130,22}{4} = 52,50$$

$$X = \frac{2340,23 + 2540,32 + 2950,11 + 2130,22}{4} = 2490,22$$

$$C_D = 2490,22 - 52,50 = 2437,71 \text{ kg/m}^2$$

$$HCV = 19^\circ$$

$$LCV = 17^\circ$$

$$\sigma = \frac{HCV - LCV}{4} = \frac{19 - 17}{4} = 0,5$$

$$X = \frac{19 + 19 + 18 + 17}{4} = 18,25$$

$$\phi_D = 18,25 - 0,5 = 17,75^\circ$$

**4.4.1.1 Estrato 1: Superficie homogénea:** Con base en el criterio y el método de correlación de las  $3\sigma$  expuestos anteriormente se calculó los parámetros de resistencia a partir de los resultados del ensayo de corte directo en las muestras inalteradas y humedad natural. Para el primer estrato del suelo el procedimiento realizado se muestra a continuación:

**Tabla 9. Valores pico y residual para el estado humedad natural**

	APIQUE 1	APIQUE 2	APIQUE 4	APIQUE 5
	<b>HUMEDAD NATURAL</b>			
<b>Øpico</b>	21	20	21	20
<b>C pico (kg/m2)</b>	7365,20	3691,80	6628,70	3121,00
<b>Øresidual</b>	18	17	19	19
<b>C residual (kg/m2)</b>	2340,23	2540,32	2950,11	2130,22

Fuente: Autores

4.4.1.2 Estrato 2: Deposito coluvial: El depósito coluvial se clasifica como un estrato heterogéneo, compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa, totalmente saturado.

El estudio geoelectrico en sus mediciones de resistividad muestra que en sus valores descienden a razón de la profundidad, evidenciando la alta infiltración de la escorrentía y la saturación del terreno a nivel de la interfaz con el basamento.

Por este motivo se utilizan os parámetros de resistencia asignados de acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio para el estado inalterado saturado. Para las tres muestras se aplican nuevamente el método de las 3  $\sigma$ :

**Tabla 10. Valores pico y residual para el estado humedad saturada**

	APIQUE 1	APIQUE 2	APIQUE 4	APIQUE 5
	<b>HUMEDAD SATURADA</b>			
<b>Øpico</b>	19	17	18	18
<b>C pico (kg/m2)</b>	7644,14	966,68	2246,40	2246,40
<b>Øresidual</b>	21	20	22	22
<b>C residual (kg/m2)</b>	3250,34	589,45	1856,34	1856,34

Fuente: Autores

**4.4.1.3 Estrato 3: Basamento cretácico:** Este estrato estaría compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas húmedas relacionadas con la Formación Tablazo.

A medida que se profundiza en el terreno el nivel de meteorización iría disminuyendo hasta encontrar roca sana.

Se tomaran los resultados de resistencia al corte realizados a las muestras inalteradas con grado de compactación y humedad óptima.

**Tabla 11. Valores pico y residual para el estado humedad optimo**

	APIQUE 1	APIQUE 2	APIQUE 4	APIQUE 5
	<b>HUMEDAD OPTIMA</b>			
<b>Ø residual</b>	22	25	23	22
<b>C residual (kg/m2)</b>	7991,20	4861,00	9096,00	4575,60
<b>Ø residual</b>	25	26	24	25
<b>C residual (kg/m2)</b>	4231,45	2432,11	5432,21	2340,3

Fuente: Autores

**4.4.2 Parámetros de diseño.** Como resultado de la interpretación expuesta anteriormente los valores de diseño iniciales para el modelamiento del talud se resumen a continuación:

**Tabla 12. Parámetros para diseño preliminar**

estrato	descripcion	c(kpa)	Ø(°)
<b>1</b>	superficie homogenea	24	18
<b>2</b>	deposito coluvial	12	21
<b>3</b>	basamento cretacico	28	25

Fuente: Autores

## 5. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD POR MODELAMIENTO

### 5.1 ANÁLISIS POR MODELAMIENTO

Este proceso se realiza para determinar la probabilidad de ocurrencia y severidad de un evento en un tiempo dado y en un área establecida, se determina mediante la evaluación de los factores de seguridad en diferentes tramos del talud en estudio, se clasificó el área según los siguientes criterios de evaluación, (tabla 11):

Tabla 13. Criterios de Evaluación de Amenaza

CONDICION ESTATICA	F.S.
Amenaza Baja	> 1.50
Amenaza Media	1.25 - 1.50
Amenaza Alta	< 1.25
CONDICION CON SISMO Y AGUA	F.S.
Amenaza Baja	> 1.20
Amenaza Media	1.0 - 1.20
Amenaza Alta	< 1.0

Fuente: Norma Geotécnica CDMB

### 5.2 EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES MEDIANTE EL MÉTODO DEL EQUILIBRIO LÍMITE.

Se utiliza el análisis de Equilibrio Límite, ya que permite obtener un factor de seguridad por medio de los parámetros de resistencia del suelo básicos como lo son cohesión y ángulo de fricción del material, entre otros.

Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos que tienden a causar la falla o deslizamiento. Véase Anexo F.

Para dicho análisis del modelo se utilizó el software SLOPE/W, de GEO-SLOPE, que usa la teoría de Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad de taludes de tierra y roca, en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

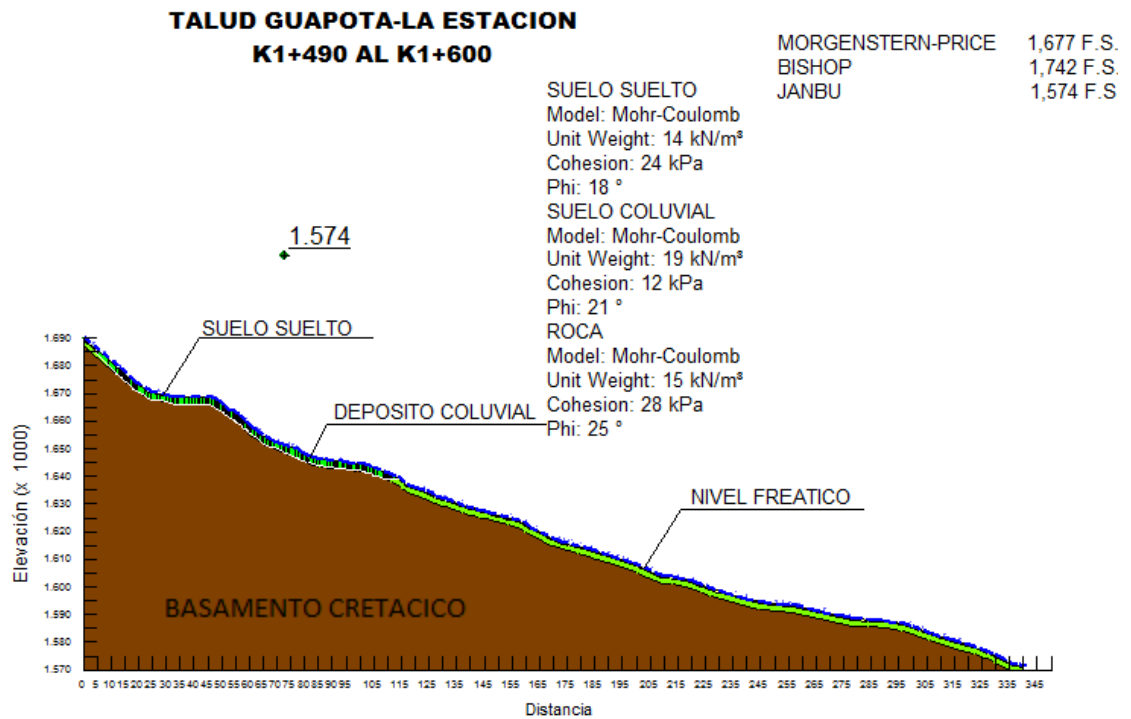
Este software permite trabajar con diferentes métodos de análisis, los cuales han sido utilizados por varias décadas para taludes terrestres sujetos a fuerzas gravitacionales; para objeto del presente estudio se trabajó conjuntamente con los siguientes métodos:

- a) Ordinario o de Fellenius 1927.
- b) Bishop 1955.
- c) Morgenster y Price 1965.
- d) Janbu 1973.

Todo con el fin de llegar a obtener el factor de seguridad del talud, determinando así el nivel de amenaza en que se encuentra y utilizarlo como herramienta útil en la toma de decisiones.

**5.2.1 Analisis preliminar.** En esta sección se ajusta el talud con los parámetros de diseño mostrados en la tabla 12. Ejecutando el modelo en el contexto estático, se obtienen los siguientes resultados. Ilustracion 12.

## Ilustración 12. Modelo Estatico Preliminar



Fuente: Autores

El modelo preliminar se aleja de la realidad con un factor de seguridad mayor a 1 y a pesar de que la superficie de falla es consecuente se hace necesaria su calibración, al ejecutar el retrocalculo se espera obtener características representativas y el hallazgo de un modelo óptimo.

Teniendo en cuenta que las arcillas inorgánicas y los limos, son suelos de grano fino cuya resistencia depende principalmente de la cohesion entre partículas y que en las arenas obedece al grado de compactación y el angulo de friccion interna, se variaran los parámetros de resistencia del deposito culuvial en tres formas distintas:

- Angulo de friccion constante – Cohesion variable.
- Cohesion constante – Angulo de friccion variable.
- Cohesion y angulo de friccion varibales.

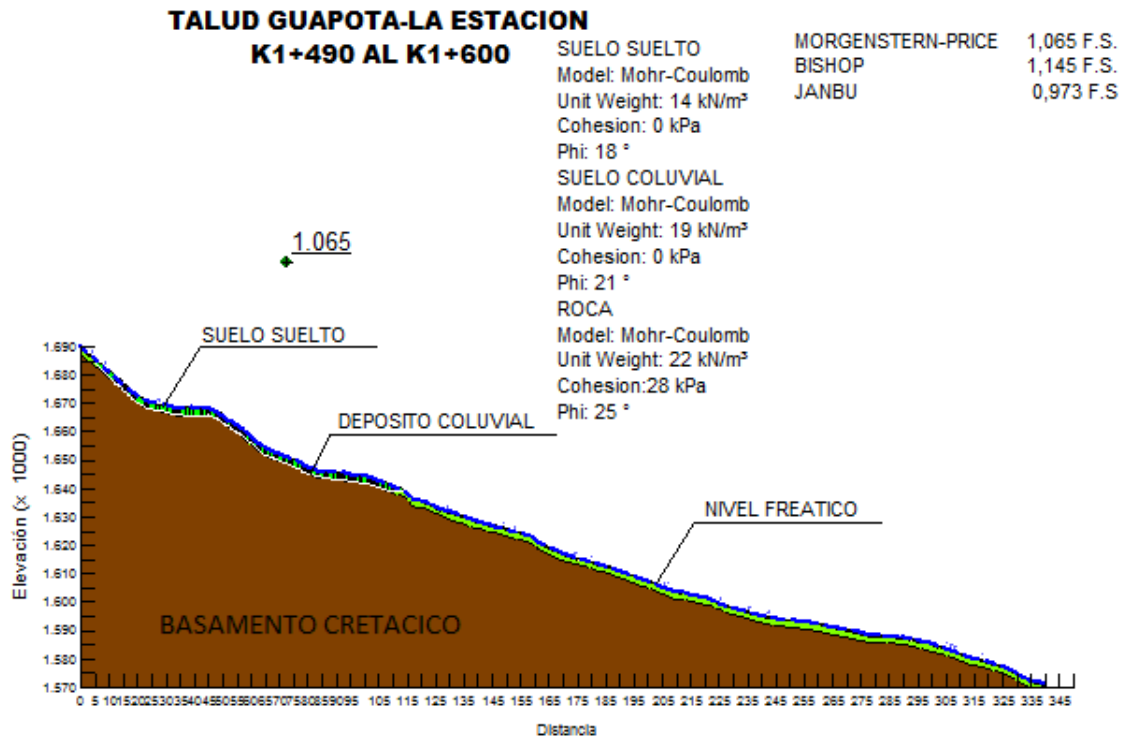
### 5.2.1.1 Criterio 1: Angulo de friccion constante- Cohesion variable.

Tabla 14. Factores de seguridad con angulo de friccion constante y cohesion variable

ANGULO	COHESION	MORGENSTERN-PRICE (F.S.)
21	12	1,677
	10	2
	8	1,477
	5	1,321
	0	1,065

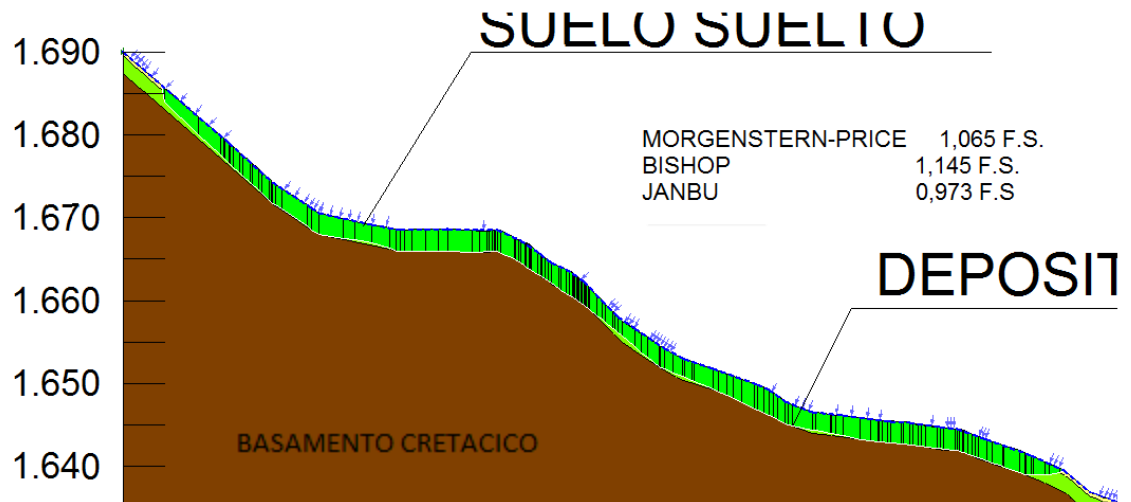
Fuente: Autores

Ilustración 13. Modelo Estatico calibrado para angulo de friccion constante y cohesion variable



Fuente: Autores

**Ilustración 14. Zoom Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción constante y cohesión variable**



Fuente: Autores

Se observa que a medida que la cohesión disminuye en el depósito coluvial, el factor de seguridad tiene la misma tendencia acercándose a la unidad.

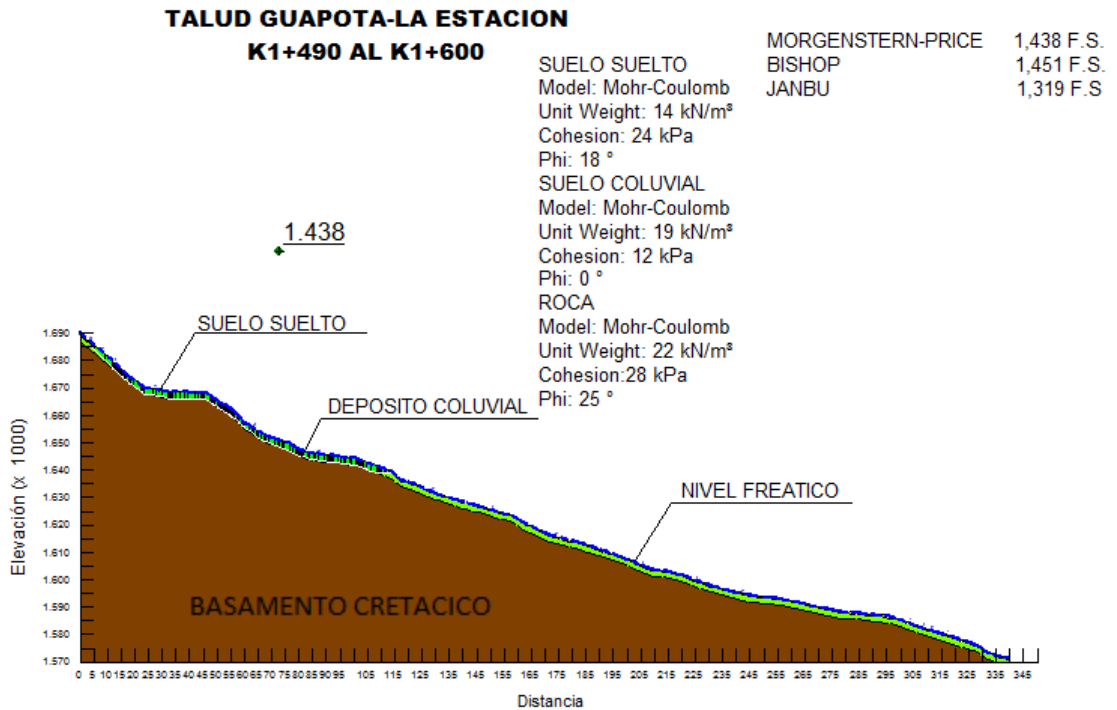
### 5.2.1.2 Criterio 2: Angulo de fricción variable- Cohesión constante.

**Tabla 15. Factores de seguridad con ángulo de fricción variable y cohesión constante**

COHESION	ANGULO	MORGENSTERN-PRICE (F.S.)
12	21	1,677
	15	1,617
	8	1.53
	5	1,495
	0	1,438

Fuente: Autores

**Ilustración 15. Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción variable y cohesión constante.**



Fuente: Autores

Se observa que a medida que el ángulo disminuye el factor de seguridad no disminuye considerablemente, por lo tanto concluimos que el factor de seguridad depende del valor de la cohesión.

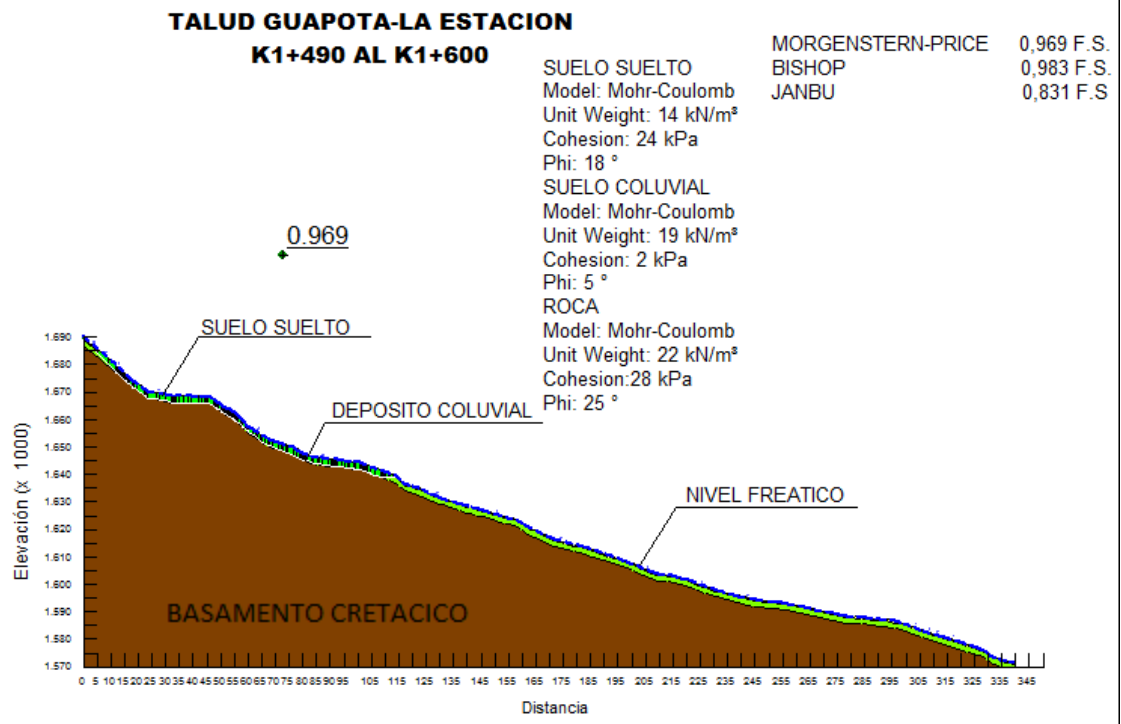
**5.2.1.3 Criterio 3: Angulo de fricción variable- Cohesión variable.**

**Tabla 16. Factores de seguridad con ángulo de fricción variable y cohesión variable**

COHESION	ANGULO	MORGENSTERN-PRICE (F.S.)
12	21	1,677
8	15	1,485
5	8	1,223
2	5	0.969

Fuente: Autores

**Ilustración 16. Modelo Estático calibrado para ángulo de fricción variable y cohesión variable.**



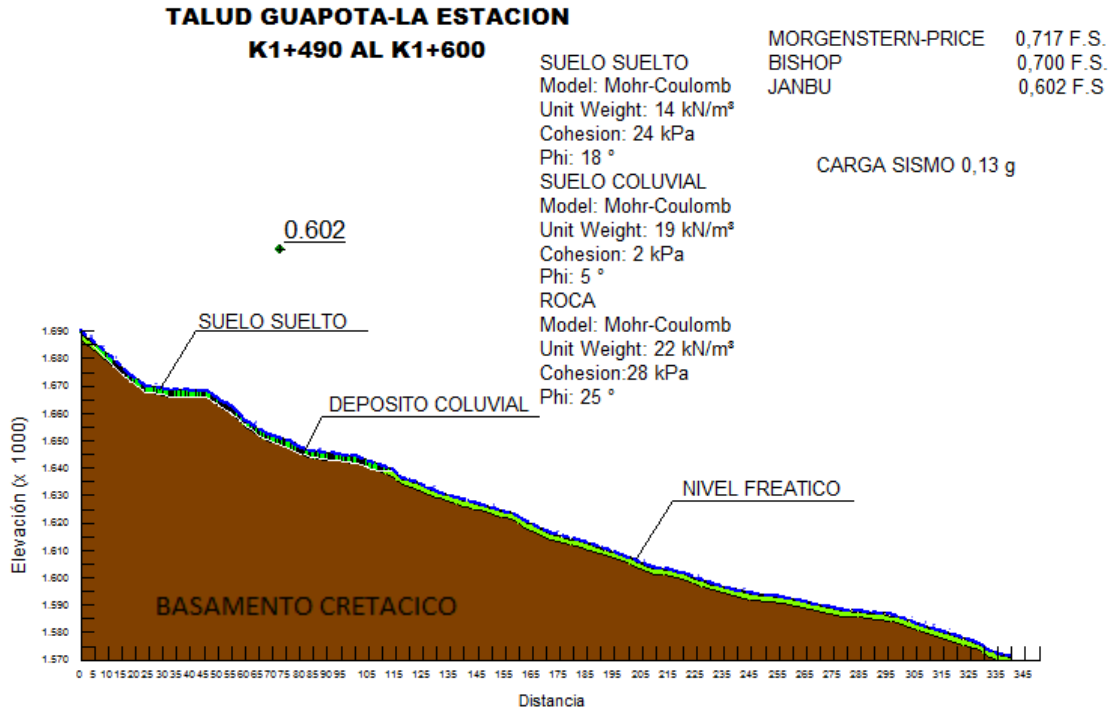
Fuente: Autores

Este último criterio es el elegido ya que es de esperar que los parámetros de resistencia varíen conjuntamente y no por separado por efectos de la infiltración del agua en el terreno.

**5.2.2 Calibración Del Modelo Del Talud Con Carga Sísmica:** Con el modelo calibrado en el régimen estático, se realiza un análisis adicional con factores detonantes que permita conocer el incremento del riesgo en la zona.

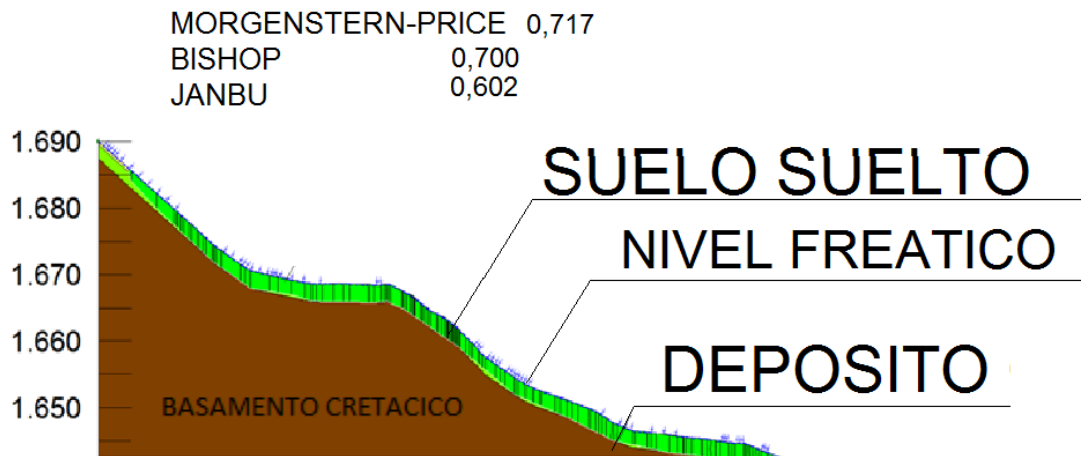
Se muestra en la Ilustración 17, el modelamiento en el que se encuentra el talud en condiciones actuales, luego del deslizamiento. Utilizando el modelo de Mohr-Coulomb, con una carga sísmica de 0,13 g para un factor de seguridad (Morgenster y Price) de 0.717.

**Ilustración17. Modelamiento del talud con carga sismica.**



Fuente: Autores

**Ilustración18.Zoom Modelamiento del talud con carga sismica.**



Fuente: Autores

## **6. ANALISIS GENERAL DEL PROBLEMA**

### **6.1 ESTADO GENERAL**

El agravante del talud situado en la vía que comunica la Troncal Central LA ESTACION – GUAPOTA, han sido las grandes precipitaciones de agua y la presencia de un alto nivel freático e infiltración, las cuales están permitiendo un fácil movimiento de la ladera del talud.

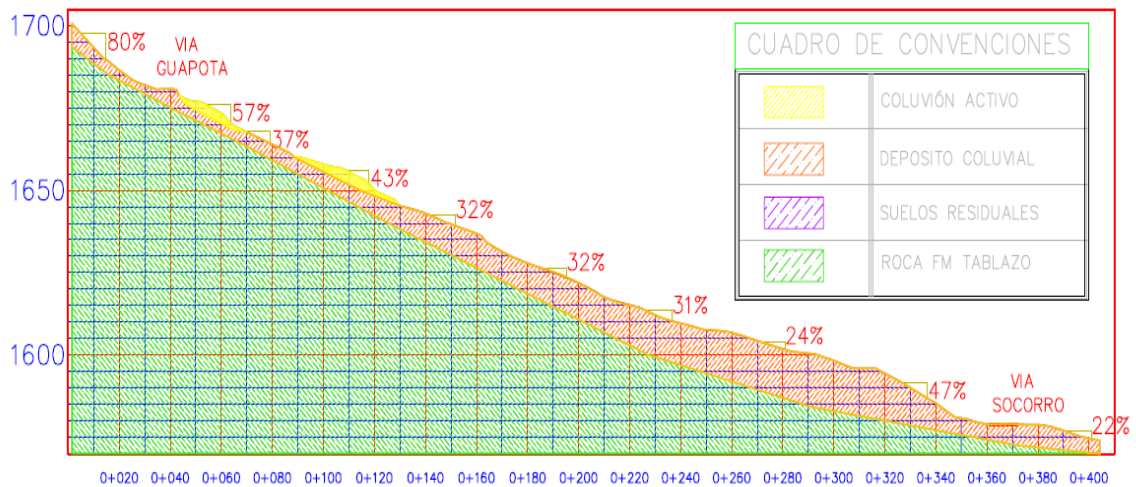
La inestabilidad de la ladera es un deslizamiento con un mecanismo de falla rotacional simple, cuyos factores internos como las propiedades de las arcillolitas, calizas y areniscas y, externos como las lluvias permanentes, deforestación del sector por actividades antrópicas, topografía y geomorfología, han propiciado la inestabilidad de ladera y la disminución de la resistencia de los suelos.

Igualmente encontramos unidades geológicas superficiales como coluviones activos, estos coluviones están compuestos por areniscas y arcillolitas, en la corona del sector estudiado encontramos un depósito de suelo residual, este tipo de suelo lo podemos encontrar en toda la longitud del terreno.

### **6.2 SOLUCIONES PROPUESTAS**

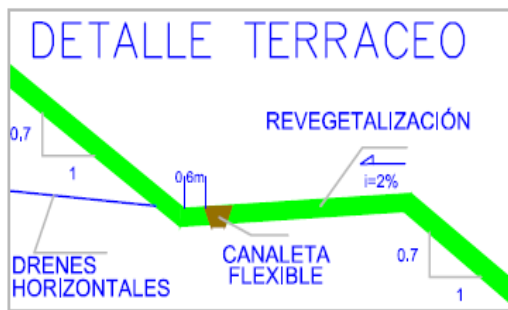
**6.2.1 Terraceso.** Debido a esta inestabilidad proponemos como solución una obra de mitigación que consiste en cortes en forma de gradas de 4 o 5 metros de berma con 5 metros de altura, para que los deslizamientos de sedimentos puedan atenuarse. En la figura 13 podemos observar la propuesta de terraceso y adicionalmente el detalle de esta obra de mitigación en la figura 14.

**Ilustración 19. Terraceo en talud natural**



Fuente: Autores

**Ilustración 20. Detalle terraceo**



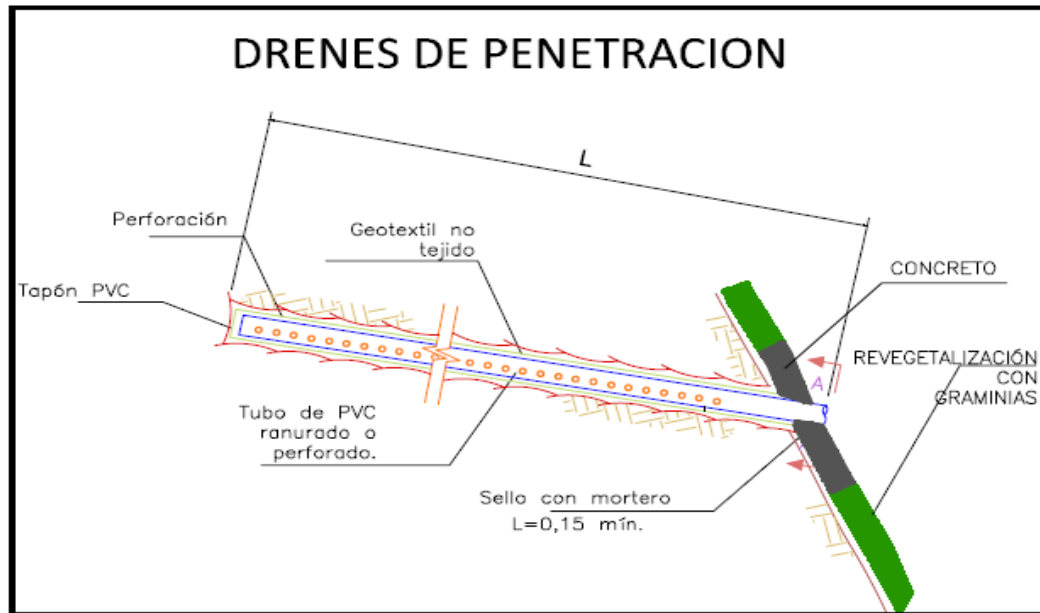
Fuente: Autores

**6.2.2 Drenajes.** La zona principal de recarga parece ser el resultado de la infiltración directa de las precipitaciones que ocurren en el área, el aporte de las aguas precipitadas en la zona montañosa durante la estación lluviosa, las aguas provenientes de la infiltración de las corrientes superficiales existentes. La escorrentía superficial fluye sobre una topografía de pendientes empinadas a fuertes, que permiten una elevada infiltración hacia zonas más profundas.

Debido a las grandes precipitaciones de agua y a las pendientes empinadas de la topografía se necesita de un sistema de drenaje que capte el posible flujo de agua

por la presencia de nivel freático e infiltración, (ver ilustración 15) disipando las presiones hidrostáticas y/o subpresiones de flujo que puedan afectar la estabilidad del talud existente; se plantea el uso de drenes de penetración y tubería perforada para la construcción del drenaje a base de materiales Geosintéticos.

**Ilustración21. Drenes de penetración.**



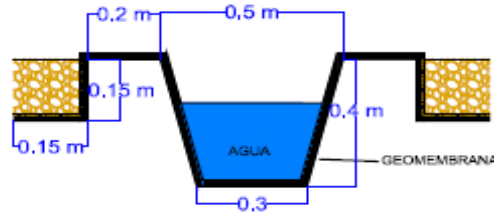
Fuente: Autores

Los materiales Geosintéticos actualmente ofrecen a la Ingeniería y la Geotecnia soluciones económicas y viables, con factores de seguridad iguales o mayores a los procedimientos tradicionales de diseño. Los Geosintéticos son materiales fabricados a partir de polímeros sintéticos, los cuales otorgan gran durabilidad y estabilidad Química y Física, generando materiales homogéneos y permanentes.

El sistema contempla el uso de entregas del caudal de drenaje al sistema de aguas lluvias o cunetas flexibles en sitios previos establecidos, podemos observar los detalles en la Ilustración 17.

**Ilustración 22. Detalle canaleta flexible**

## DETALLE CANALETA FLEXIBLE



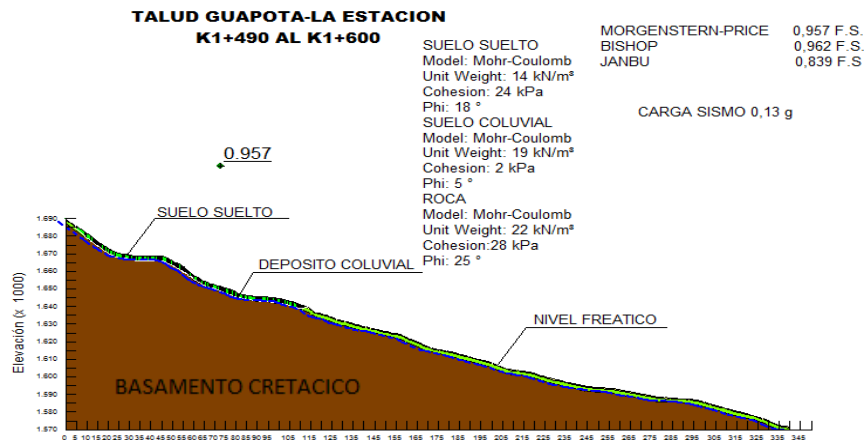
Fuente: Autores

Y para la protección de la erosión de la zona intervenida proponemos la revegetalización con gramíneas de la superficie.

**6.2.3 Modelamiento de la solución propuesta.** Ya que se propusieron drenes de penetración, en nuestro modelo lo que hacemos es bajar el nivel freático 1.5m aproximadamente, para así simular la función de estos drenes.

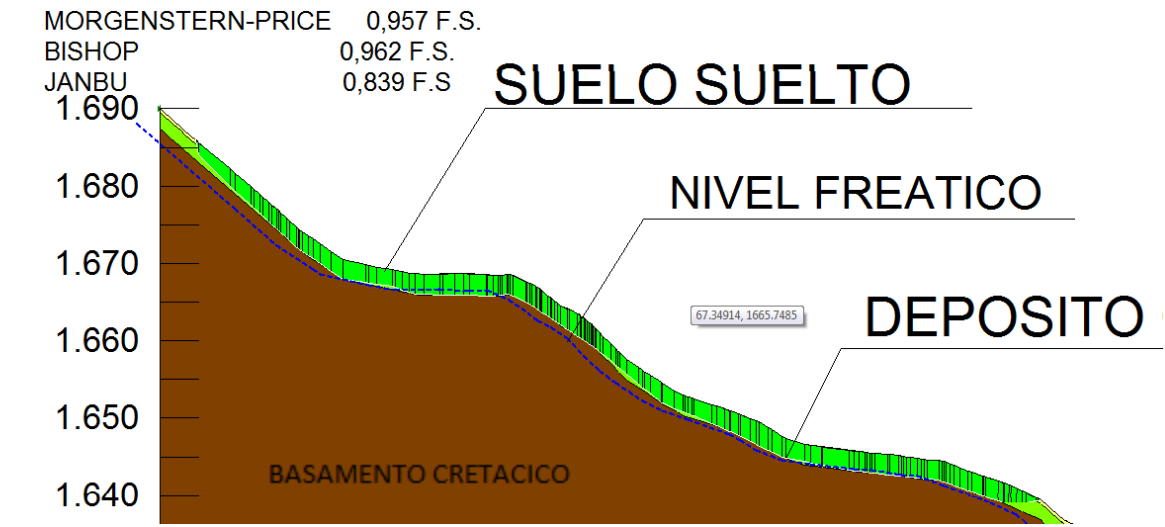
Con esta obra de mitigación lo que se espera es que el factor de seguridad aumente, como se muestra en la ilustración 23 y lograr la estabilidad de este talud.

**Ilustración 23. Modelamiento de solución propuesta**



Fuente: Autores

**Ilustración 24. Zoom Modelamiento de solución propuesta**



Fuente: Autores

En el modelamiento observamos que con los drenes el factor de seguridad aumenta considerablemente y por este motivo no vemos viable el terraceo.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

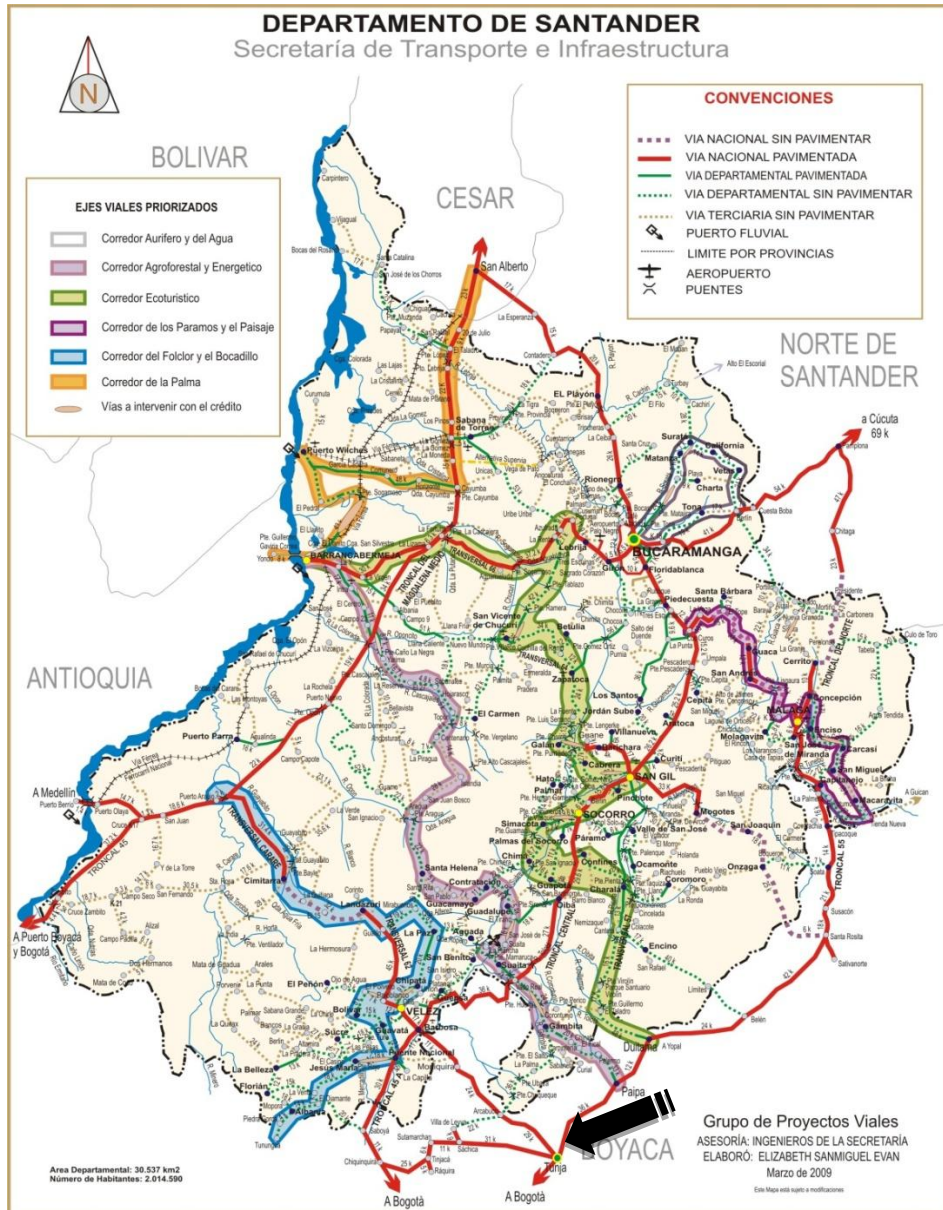
- El comportamiento de los materiales que conforman la unidad superficial favorecen el desarrollo de los deslizamientos por acción de efectos de saturación presentar porosidad en estas rocas pegadas y fracturadas, cuya fuente de recarga es la precipitación y las aguas superficiales.
- Cuando hay presencia de matriz arcillosa y esta se expone a infiltraciones, la atracción entre partículas como consecuencia de la tensión superficial se pierde rápidamente, las partículas se separan y la muestra se desgrana.
- Analizando los resultados obtenidos en la modelación del talud por medio del software, observamos que la superficie de falla es superficial, por lo que concluimos que el talud posiblemente falló por deslizamiento debido a las precipitaciones altas que presenta la zona.
- Se propone la instalación de canales o cunetas superficiales en la parte superior de la vía, con el fin de recoger y desviar el agua de escorrentía e impedir que se infiltre y se escurra por el talud.
- Se recomienda luego de finalizar las obras de estabilización, revegetalizar el área intervenida y el área afectada por el deslizamiento mediante lodo fertilizado con semillas o estolones de pasto típicos en la región para el control de erosión.
- Dentro de las recomendaciones que damos en nuestro libro de proyecto de grado es la implementación de un plan de vulnerabilidad para el departamento de Santander, siendo estos estudios una referencia clara para futuros proyectos en zonas de amenaza por inestabilidad de taludes. Toda esta información será de mucha utilidad para prevenir desastres naturales y para tener un

conocimiento de esta clase de problemas para lograr una mejor atención a los damnificados.

- Ya que el talud lo encontramos en una vía terciaria, damos dos soluciones realmente económicas y que no afectaran en gran magnitud el presupuesto del departamento de Santander.
- Observando el modelamiento con los drenes el factor de seguridad aumenta considerablemente, por este motivo no fue necesaria la obra del terraceo. Sin embargo recomendamos hacer una obra de mitigación para prevenir futuros movimientos en el talud.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. Mapa de ejes viales del departamento de Santander



Fuente: Secretaria de transporte e infraestructura



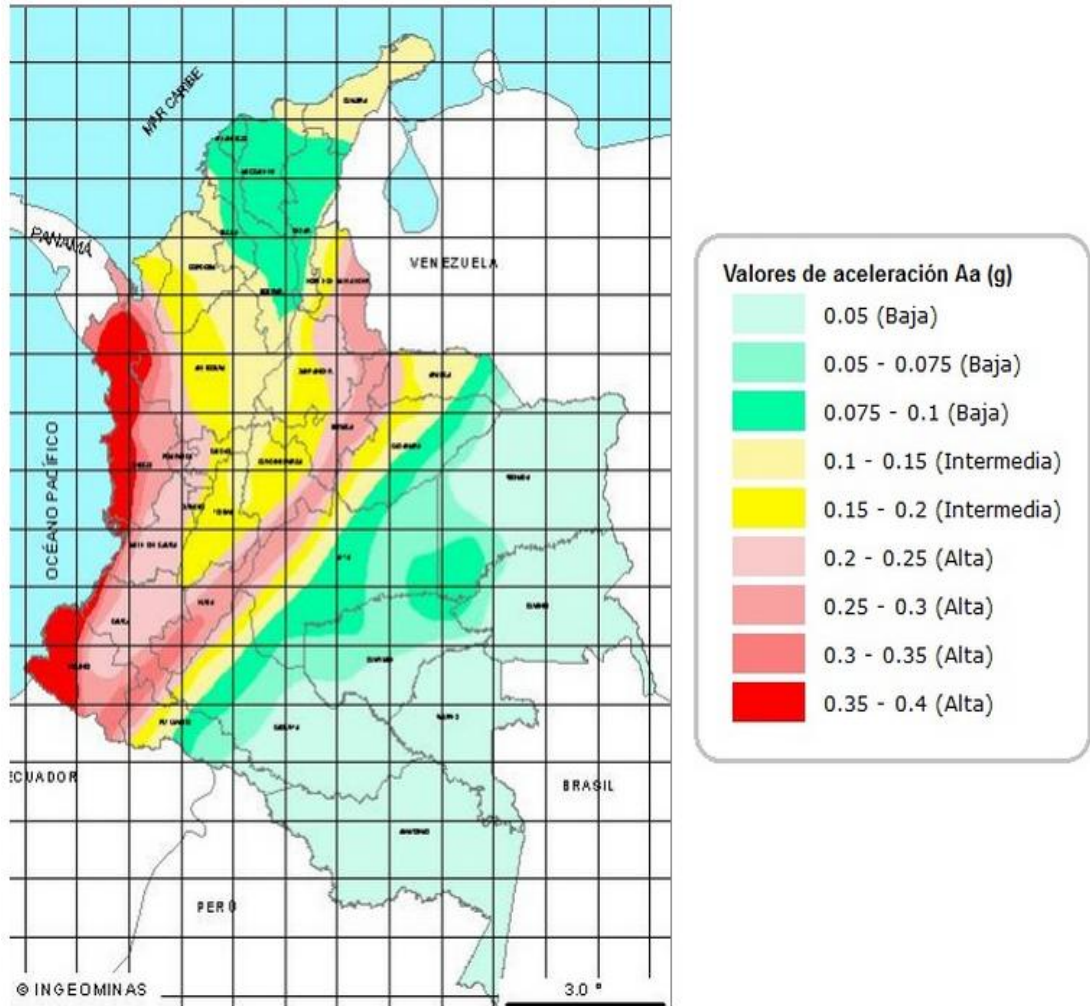
## ANEXO B: Planos topográficos.



Fuente: Levantamiento topográfico - Gobernación de Santander

## ANEXO C. Zonificación sísmica de Colombia

Mapa de amenaza sísmica



Fuente: INGEOMINAS

## **ANEXO D: Estudio geoelectrico**

### **ESTUDIO GEOELÉCTRICO**

En los estudios geotécnicos y de recursos hídricos subterráneos se utiliza como principal herramienta el método geoelectrico, que permite estudiar la constitución y posición de los sedimentos, rocas y agua subterránea, utilizando la evolución de la resistividad eléctrica a través de su profundidad.

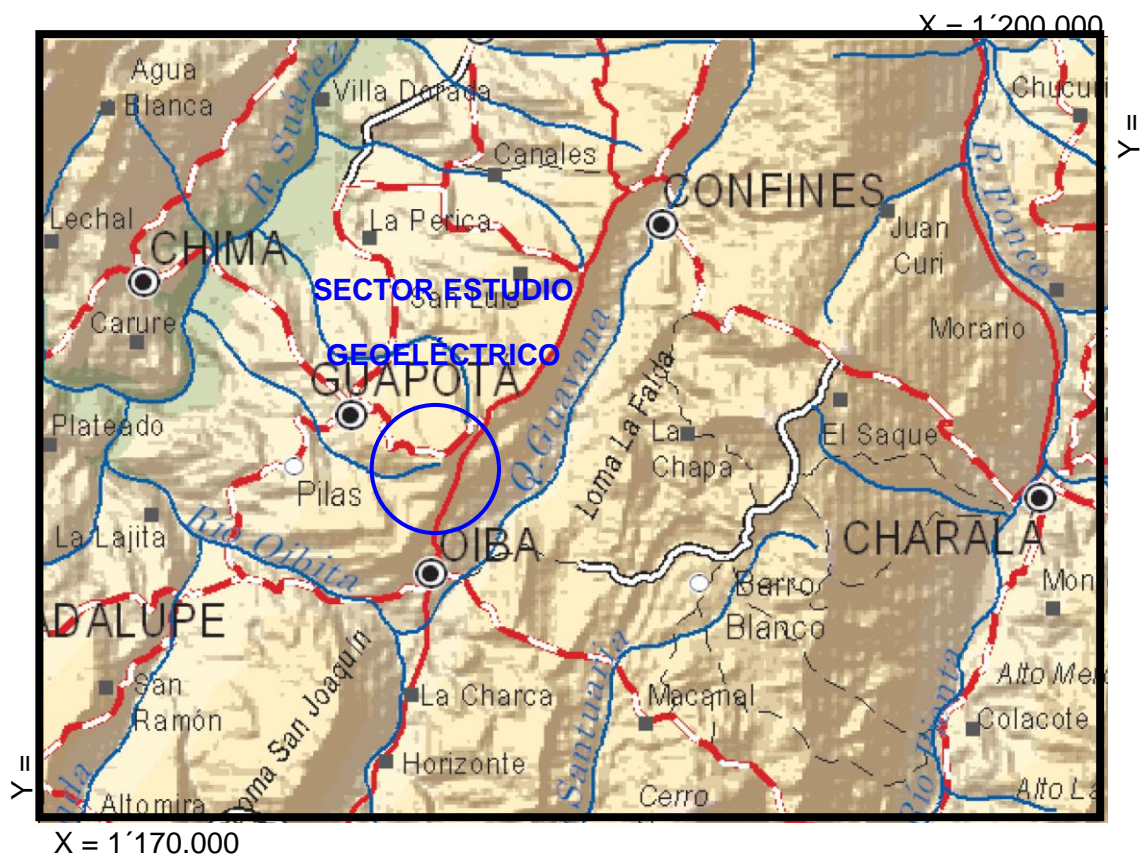
El método Geoelectrico o de resistividad fue ideado por el ingeniero francés Conrad Schlumberger y es el más eficaz hasta el momento, y de más amplia difusión en la prospección de agua subterránea y en la aplicación a los estudios geotécnicos, que consiste en energizar el terreno para evaluar las resistividades del subsuelo realizando una serie de mediciones de Intensidad de corriente como del gradiente de potencial desde la superficie.

Para el Contrato No. 00001294 de Octubre 15 de 2010 “MEJORAMIENTO DE LA VÍA TRONCAL CENTRAL LA ESTACIÓN – GUAPOTA DEL MUNICIPIO DE GUAPOTA, DEPARTAMENTO DE SANTANDER” que desarrolla la Firma CONSORCIO P1 LTDA – RAFAEL ZAFRA, para la Secretaria de Transporte e Infraestructura del municipio de Guapotá, en el sector del PR1+500 de la vía secundaria que va desde la vía nacional Socorro-Barbosa (Estación Guapota) al municipio de Guapota, Santander, el Consorcio P1 Ltda-Rafael Zafra, decide llevar a cabo una exploración geofísica del subsuelo mediante la ejecución de un Estudio Geoelectrico con tres Sondeos Eléctricos Verticales a lo largo del deslizamiento que está afectando la vía, con el fin de tener un perfil geoelectrico del subsuelo, determinando el espesor del depósito cuaternario, las características físicas e hídricas de este depósito y las del basamento.

Para la toma de datos se efectúa la visita correspondiente al sector de la inestabilidad geológica del PR1+500 de la Vía secundaria a Guapota, Santander

(ver Figura 1), el día 13 de diciembre de 2011, día en el cual se ejecutaron los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4 previstos en los lugares apropiados y considerados de interés y a su vez, donde las condiciones locales y en general de carácter logístico lo permiten, de acuerdo a una visita previa realizada, localizados de forma tal que se permita lograr la interpretación más homogénea sobre la respectiva área de interés.

Figura 1. Mapa de Localización geográfica del sector de la Investigación Geofísica



Para la localización de los SEV se utilizó un GPS (Global Positioning System) Map 60CSx Garmin, que es un sistema de localización por satélite, el cual determina la posición de un punto en relación a un grupo de satélites que orbitan la tierra y envían continuamente señales de radio con la posición y el tiempo exactos de cada

uno de ellos. Conociendo tres o más de estos satélites y calculando las diferencias en tiempo entre señales transmitidas, el GPS determina su posición en coordenadas planas con una precisión de 2 m.

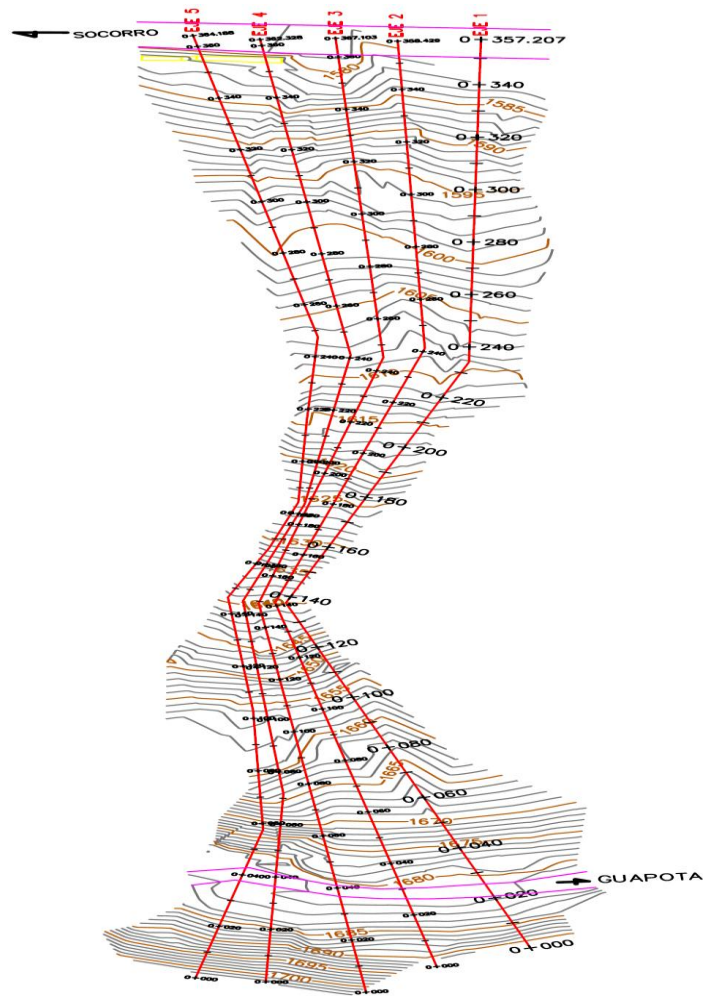


Figura No. 4 Vista de planta del K1+500 de la vía Estación Guapotá – municipio de Guapotá con la ubicación de los Sondeos Eléctricos Verticales SEV-1, SEV-2, SEV-3 y SEV-4

En este informe técnico se consignan los resultados del estudio y se describen las características hidrogeológicas del subsuelo, manifestando la litología asociada y su estado, conductas de resistividad y comportamientos hídricos.

## DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

En este tipo de arreglo, los electrodos de potencial se colocan como se muestra en la Figura 5: (M y N); se ubican simétricamente a una distancia  $l$  del punto central. De igual forma se colocan los electrodos de corriente (A y B) a una distancia  $L$  del punto central, conservando entre todos una alineación. Por lo tanto,  $L$  es equivalente a  $AB/2$ , mientras que el valor de  $MN/2$  lo es para  $l$ .

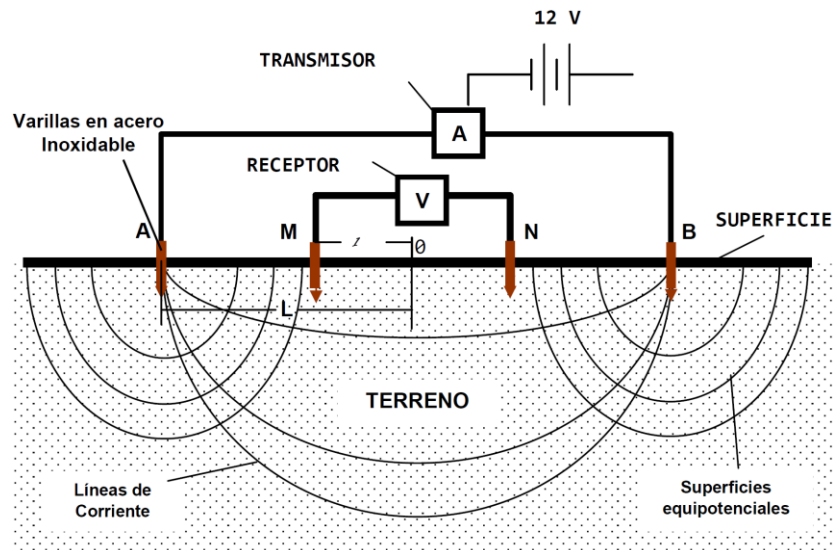


Figura No. 5. Montaje Típico o Configuración Electrónica Tipo Schlumberger para la ejecución de los Sondeos Eléctricos Verticales

De este arreglo se extrae el siguiente valor de  $K$ , que corresponde a la constante, para cada apertura.  $K$  se denomina constante geométrica, porque depende directamente de la geometría del dispositivo empleado para inyectar y medir la corriente y tiene las dimensiones de una distancia (m).

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l} - \frac{1}{L+l} + \frac{1}{L-l}} = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l}$$

(Fuente: Cantos Figueroa en el Tratado de Geofísica Aplicada, 1979)

Ejemplo: Reemplazando los valores para el caso de la constante (K) con apertura AB/2 (L): 1,33 m y MN/2 (l): 0,44 m, se obtiene:

$$K = \pi \frac{(33^2) - (0,44^2)}{2 * 0,44} = 5,62m$$

Normalmente sólo se utiliza la constante con dos (2) dígitos.

Este arreglo es el utilizado en el proyecto y se practica con apertura de octava de ciclo logarítmico, lo cual hace que se obtengan 8 lecturas entre las profundidades 1,33 a 10 (m); 13,34 a 100 (m) y 133,34 a 1000 (m) que representan el AB/2, las que están representando cada una a un ciclo logarítmico. Se inicia con un MN/2 de 0,44 (m) (equivalente al 33% del AB/2 inicial), el cual se amplía a 5,93 (m) a partir del valor AB/2 inicial de 31,62 (m), con el fin de lograr valores más representativos. En caso de efectuar sondeos más profundos a los realizados, la nueva apertura MN/2 corresponde a 44,44 (m), la cual se inicia a partir de los 133,34(m). Siempre se conserva esta proporcionalidad cuando se requiere ampliar el AB/2.

Con el fin de tener una resolución de interpretación de la profundidad de diseño, la cual debe ser correspondiente con la profundidad efectiva, fue necesario realizar una extrapolación de la curva de campo (un ciclo adicional), de acuerdo con las recomendadas de Otto Koefoed, para la aplicación de este en la curva teórica, obteniendo una profundidad efectiva del 60% de la profundidad investigada en campo (AB/2).

Para el cálculo de la Resistividad (R), se aplica la siguiente relación:

$$R = \frac{V(m.voltios)}{I(m.amperios)} * K(m) = \Omega - m$$

Las lecturas para los diferentes cálculos se efectúan de acuerdo con lo expresado en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración de Electrodo Tipo Schlumberger

CONFIGURACIÓN ELECTRODOS POR MÉTODO SCHLUMBERGER	
AB/2 m	MN/2 m
1,33 – 31,62	0,44
31,62- 133,34	5,93
133,34 – 562,30	44,44
562,30 -1000,00	105,40

Lo anterior permite obtener puntos de control para las dos últimas lecturas, de tal manera que se analice la posible desviación de la curva de campo en lo referente a la resistividad aparente que se está logrando. En la interpretación se toma el valor más cercano al comportamiento de la curva.

El valor de la constante geoelectrica K, para cada apertura se presenta en cada sondeo, dependiendo de la separación de los electrodos AB/2 y MN/2.

### 3.2 ANÁLISIS DE DATOS GEOELÉCTRICOS

En interpretaciones cuantitativas se debe distinguir entre interpretaciones puramente matemáticas e interpretaciones Hidrogeológicas. Es decir, la interpretación de un levantamiento Geoelectrico es mucho más que simplemente sumar los resultados de una interpretación matemática de cada una de las mediciones.

Una interpretación geoelectrica tiene además como objetivo proporcionar información, como:

- Profundidades, espesores y extensión de acuíferos, capas semipermeables e impermeables.
- Nivel freático

- Profundidad del basamento
- Interfaz entre aguas dulces y saladas
- Calidad química de las aguas subterráneas
- Propiedades físicas de la roca (Porosidad, permeabilidad, granulometría, etc.)
- En general, aporta datos sobre constitución hidrogeológica en un área.

En la interpretación de un Sondeo Eléctrico Vertical las resistividades aparentes, obtenidas por medio de un SEV con el dispositivo Schlumberger, se representan en función de las distancias  $AB/2$  en un gráfico de papel doblemente logarítmico, en el cual las ordenadas representan profundidades y las abscisas resistividad aparente (ver figuras 6, 8, 10 y 12).

El sistema computarizado recibe las aperturas y la resistividad aparente, lo cual permite interpretar las unidades geoeléctricas con resistividad, espesor y profundidad del techo (ver Anexos 1 y 2), para que manualmente se determine la litología correspondiente. Los anteriores datos son incluidos en otro programa de computador, denominado Curteo, en el cual se procede, independientemente del programa inicial, en forma totalmente inversa, obteniendo así la curva teórica, la cual indica el grado de confiabilidad de los datos obtenidos en el campo.

Para ambos casos se emplea un error relativo de 0,10, lo cual muestra la precisión con la cual se maneja la información a ser comparada.

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 1

LOCALIZACIÓN: Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500 (Figura 7).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 133.33$  m.

TERRENO: Inclinado

COORDENADAS: X = 1'188.564, Y = 1'086.756, Z = 1782 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0064

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.30	I	413	Suelo arcillo-arenoso con materia orgánica.
0.30 - 2.60	II	454	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas embebidos en una matriz arcillosa
2.60 - 16.30	III	136	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Con cierto grado de meteorización y húmedo. Formación Tablazo.
16.30 - 133.33	IV	101	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

MUNICIPIO DE OIBA, SANTANDER  
K1+500 VIA TRONCAL CENTRAL ESTACIÓN GUAPOTA-GUAPOTÁ

FIGURA 4.1. CURVA DE RESISTENCIA VS. PROFUNDIDAD

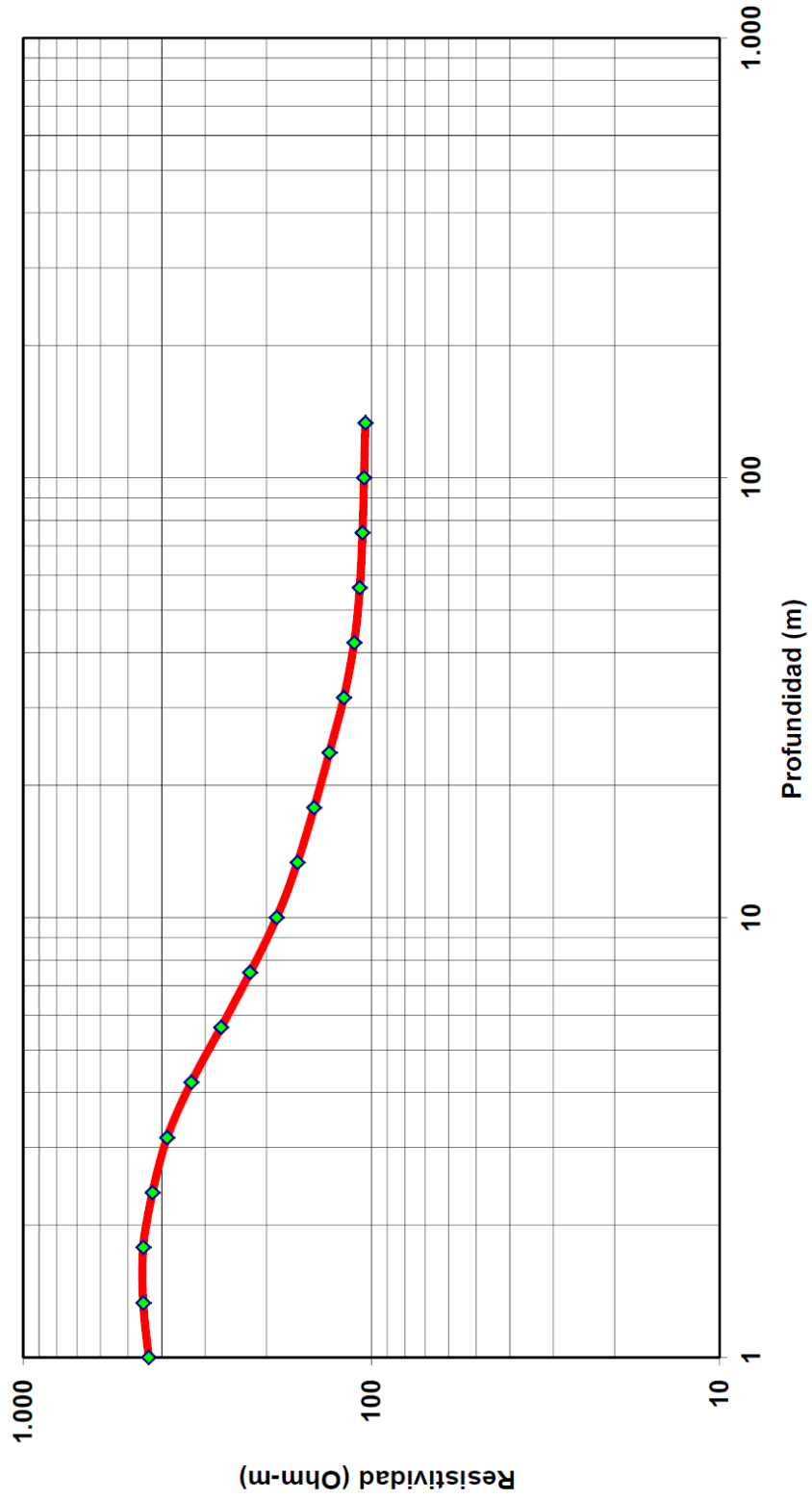




Figura No. 7. Foto del lugar en donde se ejecutó el SEV-1

#### 4.1.1 Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 1

La presente sección Geoeléctrica se caracteriza por presentar un depósito coluvial compuesto por fragmentos heterométricos y heterogéneos de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillo-limosa, suprayaciendo a un basamento Cretácico conformado por calizas fosilíferas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca arcillosas, levemente calcáreas correlacionables con la Formación Tablazo. La información de resistividad da la evidencia de recurso hídrico en las unidades geoeléctricas III y IV.

## SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 2

LOCALIZACIÓN: Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500 (Figura 9).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 133.33$  m.

TERRENO: Inclinado

COORDENADAS: X = 1'188.548, Y = 1'086.765, Z = 1774 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0168

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.0 - 0.90	I	31	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
0.90 - 1.80	II	60	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
1.80 - 6.30	III	209	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
6.30 - 67.10	IV	38	Basamento sedimentario Con cierto grado de meteorización compuesto por lutitas calcáreas. Muy Húmedas. Formación Tablazo.
67.10 - 133.33	V	35	Basamento sedimentario compuesto por lutitas calcáreas. Muy Húmedas. Formación Tablazo.

MUNICIPIO DE OIBA, SANTANDER  
K1+500 VIA TRONCAL CENTRAL ESTACIÓN GUAPOTA-GUAPOTÁ

FIGURA 11.3. CURVA DE RESISTENCIA VS. PROFUNDIDAD

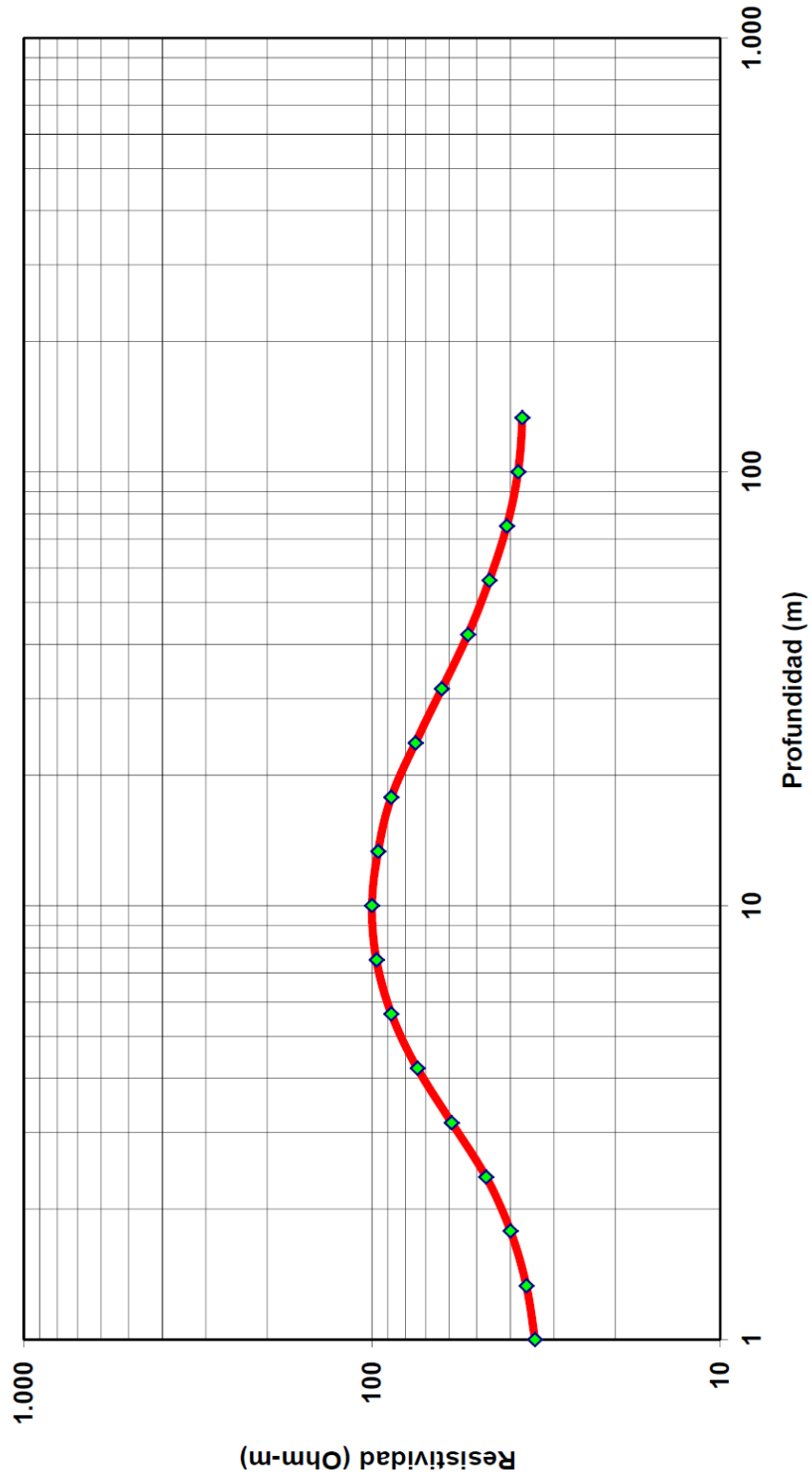




Figura No. 9. Foto del lugar en donde se ejecutó el SEV-2.

#### Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 2

La presente sección Geoeléctrica se caracteriza por presentar un depósito coluvial compuesto por fragmentos heterométricos y heterogéneos de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillo-limosa, suprayaciendo a un basamento Cretácico conformado por calizas fosilíferas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca arcillosas, levemente calcáreas correlacionables con la Formación Tablazo.

La información de resistividad da la evidencia de recurso hídrico en todas las unidades geoeléctricas.

SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 3

LOCALIZACIÓN: Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500 (Figura 11).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 133.33$  m.

TERRENO: ondulado

COORDENADAS: X = 1'188.540, Y = 1'086.806, Z = 1761 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0116

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.0 - 0.50	I	23	Suelo arcillo-limoso con materia orgánica. Saturado.
0.50 - 1.30	II	35	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
1.30 - 4.40	III	148	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
4.40 - 10.60	IV	11	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas. Saturadas. Formación Tablazo.
10.60 - 31.60	V	98	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm - m)	Correlación Hidrogeológica
31.60 - 133.33	VI	62	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

MUNICIPIO DE OIBA, SANTANDER  
K1+500 VIA TRONCAL CENTRAL ESTACIÓN GUAPOTA-GUAPOTÁ

FIGURA 11.1. CURVA DE RESISTIVIDAD VS. PROFUNDIDAD

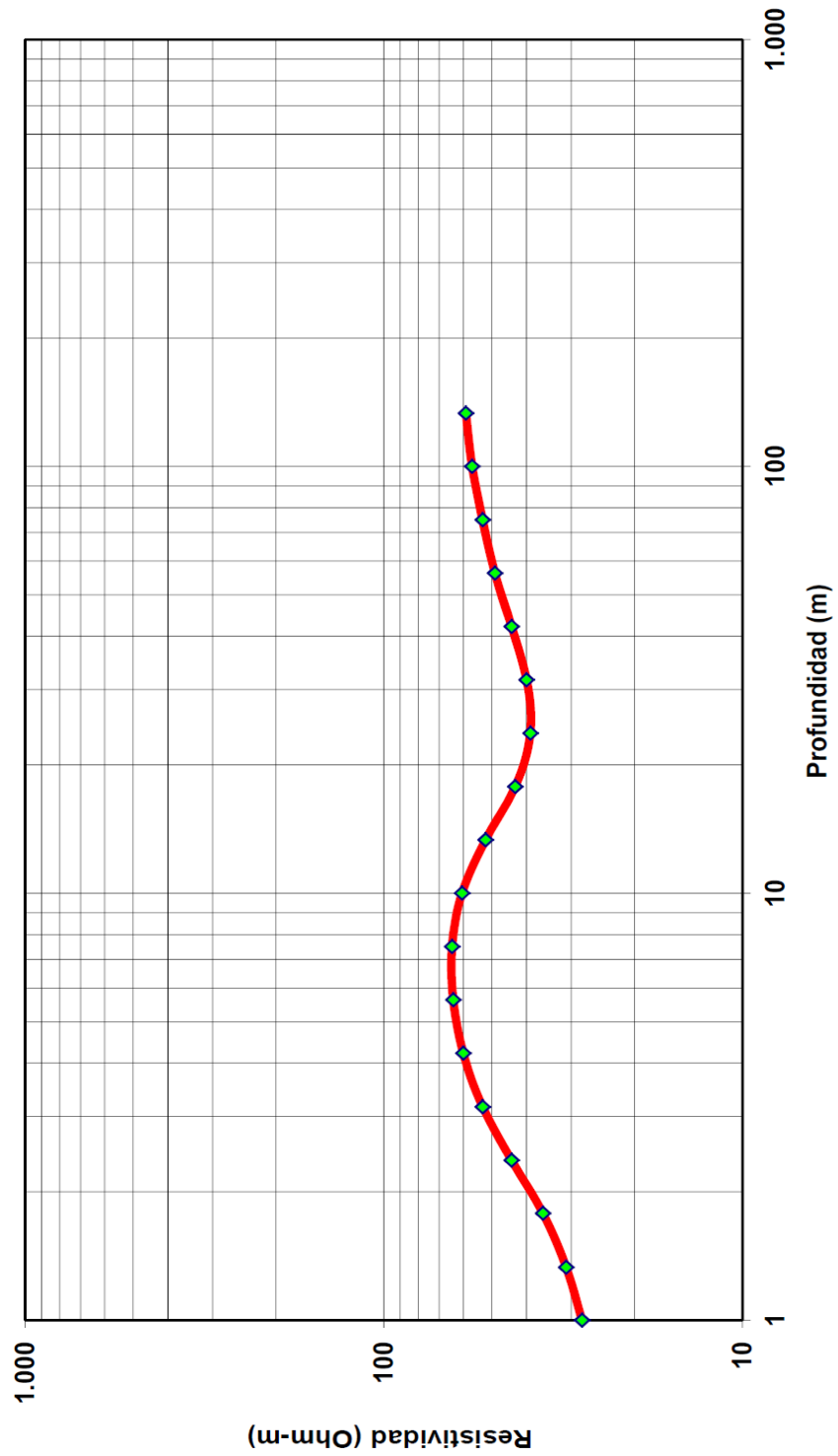




Figura No. 11. Foto del lugar en donde se ejecutó el SEV-3.

#### Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 3

La presente sección Geoeléctrica se caracteriza por presentar un depósito coluvial compuesto por fragmentos heterométricos y heterogéneos de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillo-limosa, suprayaciendo a un basamento Cretácico conformado por calizas fosilíferas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca arcillosas, levemente calcáreas correlacionables con la Formación Tablazo.

La información de resistividad da la evidencia de recurso hídrico en todas las unidades geoeléctricas.

## SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV – 4

LOCALIZACIÓN: Vía Estación Guapotá- municipio de Guapotá K1+500, sitio cercano a la vía nacional (Figura 11).

PROFUNDIDAD INVESTIGADA:  $AB/2 = 133.33$  m.

TERRENO: ondulado

COORDENADAS: X = 1'188.390, Y = 1'086.944, Z = 1703 msnm

ERROR RELATIVO: 0.0104

Profundidad (m) Desde - Hasta	Unidad Geoeléctrica	Resistividad (Ohm – m)	Correlación Hidrogeológica
0.00 - 0.80	I	297	Suelo arcillo-arenoso con materia orgánica.
0.80 - 3.10	II	144	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Húmedo.
3.10 - 16.20	III	22	Depósito coluvial compuesto por bloques de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillosa. Saturado.
16.20 - 77.30	IV	119	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.
77.30 - 133.33	V	89	Basamento sedimentario compuesto por arcillolitas calcáreas con intercalaciones de areniscas. Húmedas. Formación Tablazo.

MUNICIPIO DE OIBA, SANTANDER  
K11+500 VIA TRONCAL CENTRAL ESTACIÓN GUAPOTA-GUAPOTÁ

FIGURA 11.1. 40. CURVA DE RESISTENCIA VS. PROFUNDIDAD

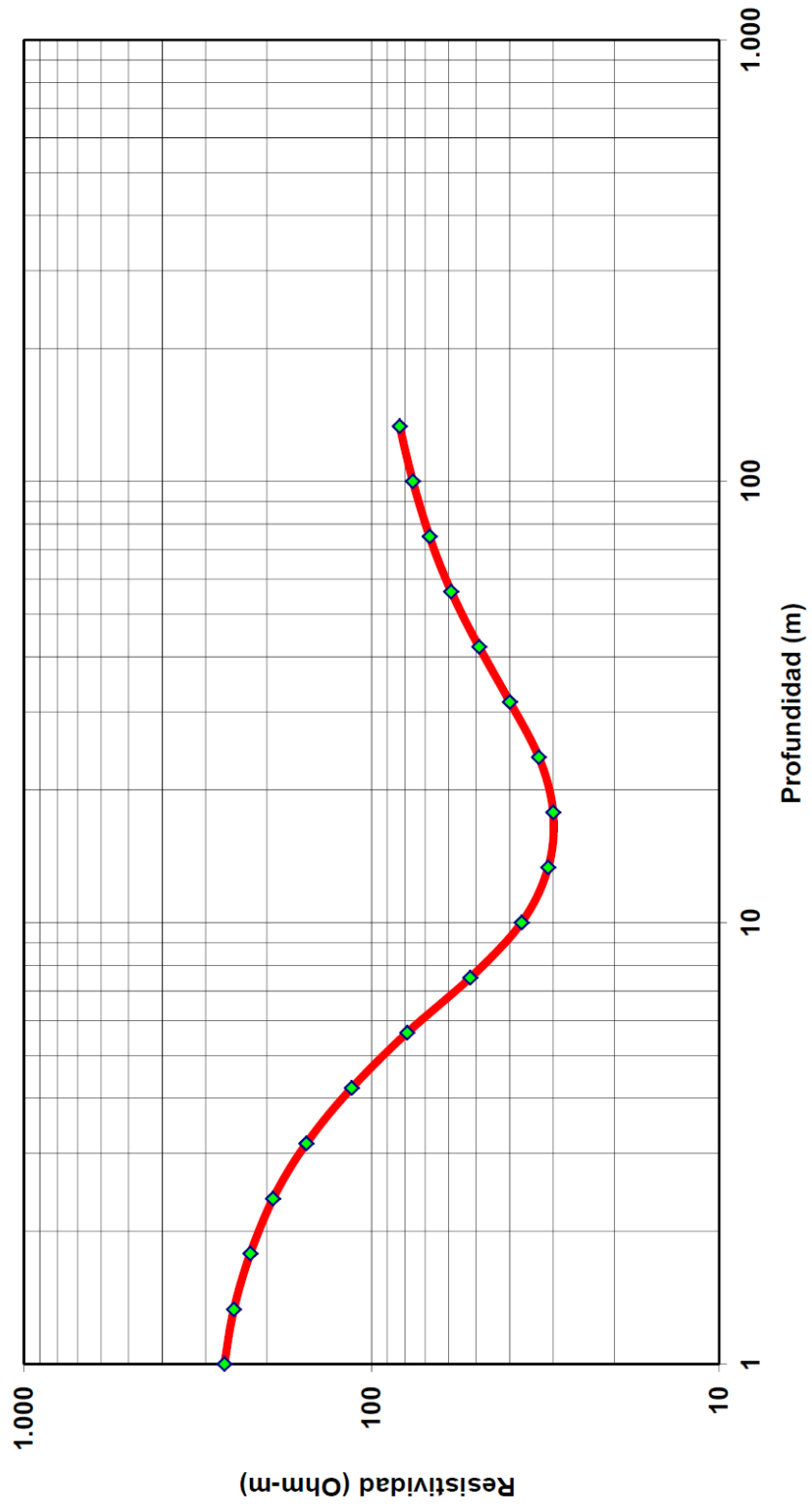




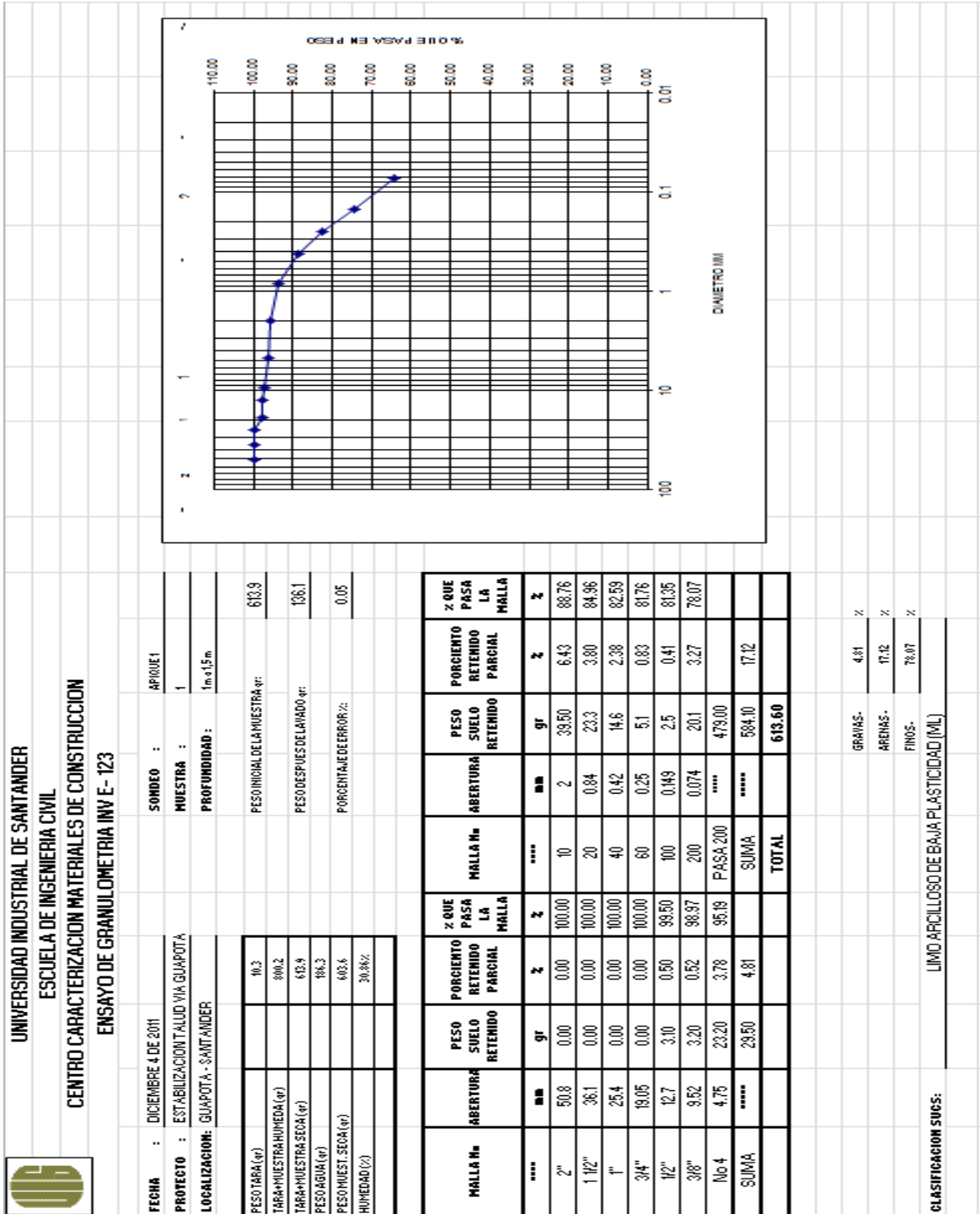
Figura No. 13. Foto del lugar en donde se ejecutó el SEV-4.

#### Observaciones Sondeo Eléctrico Vertical SEV – 4

La presente sección Geoeléctrica se caracteriza por presentar un depósito coluvial compuesto por fragmentos heterométricos y heterogéneos de areniscas y arcillolitas embebidos en una matriz arcillo-limosa, suprayaciendo a un basamento Cretácico conformado por calizas fosilíferas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de arenisca arcillosas, levemente calcáreas correlacionables con la Formación Tablazo.

La información de resistividad da la evidencia de recurso hídrico en todas las unidades geoeléctricas.

## ANEXO E: RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

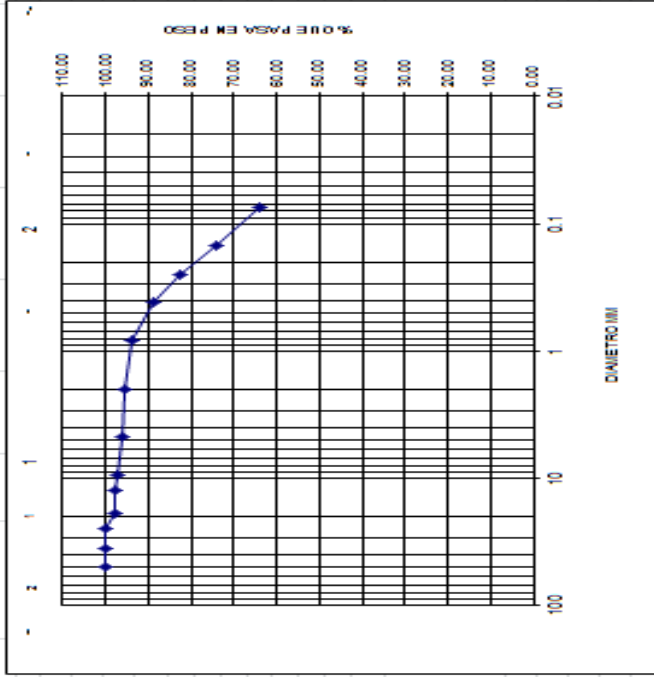


Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

<b>FECHA</b> :	DICIEMBRE 4 DE 2011	<b>SONDEO</b> :	APIQUEZ
<b>PROYECTO</b> :	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>HUESTRA</b> :	2
<b>LOCALIZACION</b> :	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b> :	1m a 15m
<b>PESO TARA</b> (gr)	10.1	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA</b> (gr):	584.6
<b>TARA+MUESTRA HUMEDA</b> (gr)	800.5	<b>PESO DESPUES DE LAVADO</b> (gr):	123.2
<b>TARA+MUESTRA SECA</b> (gr)	584.6	<b>PORCENTAJE DE ERROR</b> %:	79.15
<b>PESO AGUA</b> (gr)	215.9		
<b>PESO MUEST. SECA</b> (gr)	574.5		
<b>HUMEDAD</b> (%)	37.5%		



MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	% QUE PASA LA MALLA	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	ABERTURA	PERCENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
mm	mm	gr	mm	gr	%	mm	gr	mm	%	%
2"	50.8	0.00	2	28.40	100.00	2	28.40	4.86	4.86	88.40
1 1/2"	38.1	0.00	20	17.8	100.00	0.84	17.8	3.04	3.04	85.36
1"	25.4	0.00	40	10.4	100.00	0.42	10.4	1.78	1.78	83.58
3/4"	19.05	0.00	60	4.5	100.00	0.25	4.5	0.77	0.77	82.81
1/2"	12.7	4.30	100	3.5	89.26	0.149	3.5	0.60	0.60	82.21
3/8"	9.52	1.60	200	17.9	88.39	0.074	17.9	3.06	3.06	79.15
No 4	4.75	33.50	PASA 200	0.00	83.26	*****	0.00			
SUMA	*****	39.40	SUMA	82.50	6.74	*****	82.50	14.11		
			TOTAL	121.90						

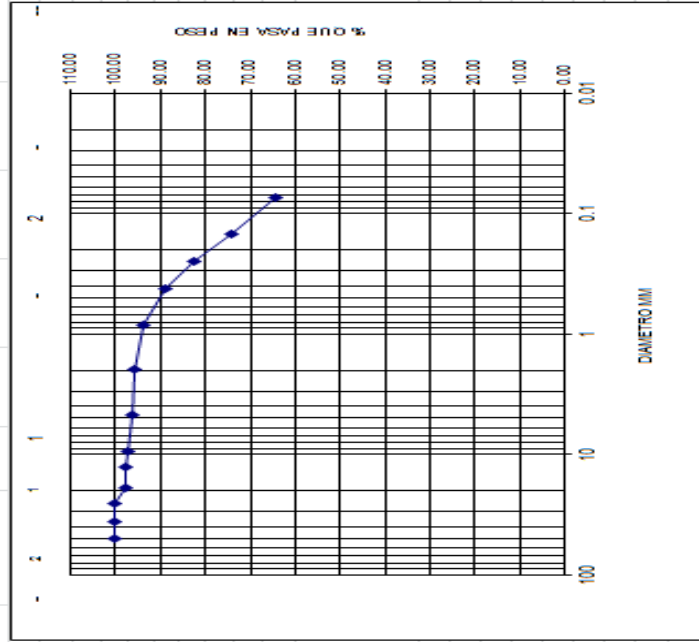
GRAMAS-	6.74	%
ARENAS-	14.11	%
FINOS-	79.15	%

CLASIFICACION SUGS: LIMO ARCILLOSO DE BAJA PLASTICIDAD



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION  
 ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA	: DICIEMBRE 4 DE 2011	SONDEO	: ARIQUE 4
PROYECTO	: ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	MUESTRA	: 4
LOCALIZACION:	GUAPOTA - SANTANDER	PROFUNDIDAD	: 1m a 15m
PESOTARA (gr)	10.2	PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr:	586.7
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	800.3	PESO DESPUES DE LAVADO gr:	45.6
TARA+MUESTRA SECA (gr)	586.7	PORCENTAJE DE ERROR %:	92.33
PESO AGUA (gr)	213.6		
PESO MUEST. SECA (gr)	576.5		
HUMEDAD (%)	37.03%		



MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
mm	mm	gr	%	%	mm	mm	gr	%	%
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	6.60	1.12	96.45
1 1/2"	36.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	2.5	0.43	96.03
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	1.2	0.20	95.82
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	1.5	0.26	95.57
1/2"	12.7	3.30	0.56	99.44	100	0.149	4.3	0.73	94.84
3/8"	9.52	4.70	0.80	98.64	200	0.074	14.7	2.51	92.33
No 4	4.75	6.20	1.06	97.58	PASA 200	.....	0.00		
SUMA	.....	14.20	2.42		SUMA	.....	30.80	5.25	
					TOTAL		45.00		

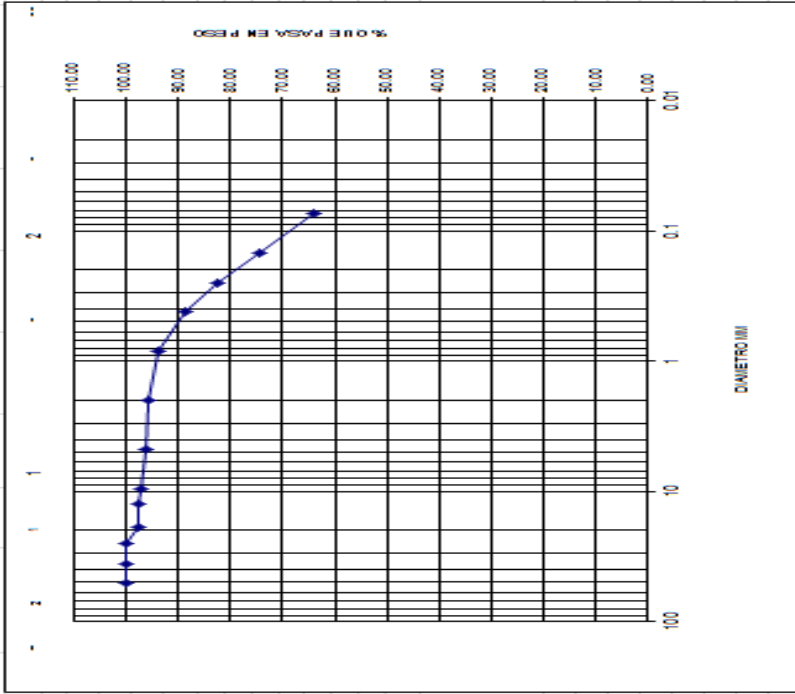
GRAVIAS=	2.42	%
ARENAS =	5.25	%
FINOS=	92.33	%

CLASIFICACION SUCS: LIMO ARCILLOSO DE BAJA PLASTICIDAD



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

<b>FECHA :</b>	DICIEMBRE 4 DE 2011	<b>SOMDEO :</b>	APROXES
<b>PROYECTO :</b>	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>MUESTRA :</b>	5
<b>LOCALIZACION:</b>	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD :</b>	1m a 15m
<b>PESO TARA (gr)</b>	16.2	<b>PESO INICIAL DE LA MUESTRA (gr):</b>	559
<b>TARA + MUESTRA (HUMEDA) (gr)</b>	900.3	<b>PESO DESPUES DE LA MADO (gr):</b>	90.9
<b>TARA + MUESTRA SECA (gr)</b>	598.7	<b>PORCENTAJE DE ERROR (%):</b>	0.05
<b>PESO AGUA (gr)</b>	268.6		
<b>PESO MUEST. SECA (gr)</b>	578.5		
<b>HUMEDAD (%)</b>	37.05%		



MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL		MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL		MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	
			z	z				z	z				z	z
2"	50.8	0.00	0.00	100.00	10	2	11.90	2.13	97.87					
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	100.00	20	0.84	17.8	3.18	96.82					
1"	25.4	0.00	0.00	100.00	40	0.42	24.6	4.40	95.60					
3/4"	19.05	0.00	0.00	100.00	60	0.25	12.3	2.20	97.80					
1/2"	12.7	0.00	0.00	100.00	100	0.149	6.8	1.22	98.78					
3/8"	9.52	0.00	0.00	100.00	200	0.074	12.9	2.31	97.69					
No 4	4.75	3.20	0.57	99.43	PASA 200	****	0.00							
SUMA	****	3.20	0.57		SUMA	****	86.30	15.44						
					TOTAL		89.50							

<b>CLASIFICACION SUCS:</b>	LIMO ARCILLOSO DE BAJA PLASTICIDAD (ML)
	GRAVAS: 0.57 %
	ARENAS: 15.44 %
	FINOS: 83.99 %

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

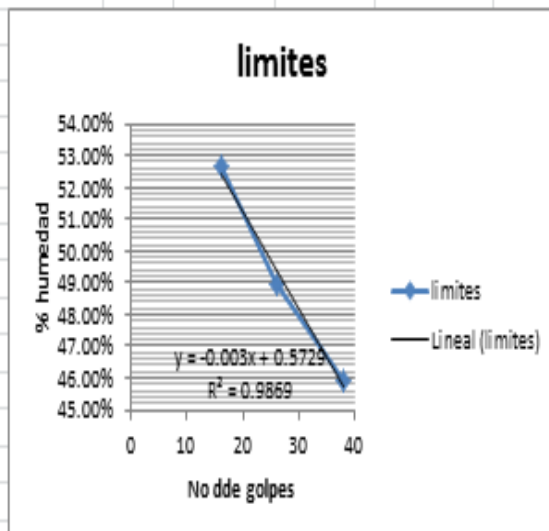
<b>FECHA :</b>	DICIEMBRE 7 DE 2011	<b>SONDEO :</b>	APIQUE1
<b>PROYECTO :</b>	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>MUESTRA :</b>	1
<b>LOCALIZACION:</b>	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD :</b>	1m a 1,5m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA	HUMERO DE	PESO	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO DEL	PESO SUELO	CONTENIDO DE
N.	GOLPES	CAPSULA	SUELO HUMEDO	SUELO SECO	AGUA	SECO	AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
54	38	7.1	38.48	28.6	9.88	21.5	45.95%
45	26	8.37	33.9	25.51	8.39	17.14	48.95%
26	16	8.21	34.76	25.6	9.16	17.39	52.67%

**LIMITE PLASTICO**

3	38	8.39	18.08	15.79	2.29	7.4	30.95%
34	26	7.46	18.43	15.84	2.59	8.38	30.91%



LIMITE LIQUIDO :	<u>49%</u>
LIM. PLASTICO :	<u>31%</u>
IND. DE PLASTI. :	<u>18%</u>
CLASIFICACION SUCS.	<u>ML</u>

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

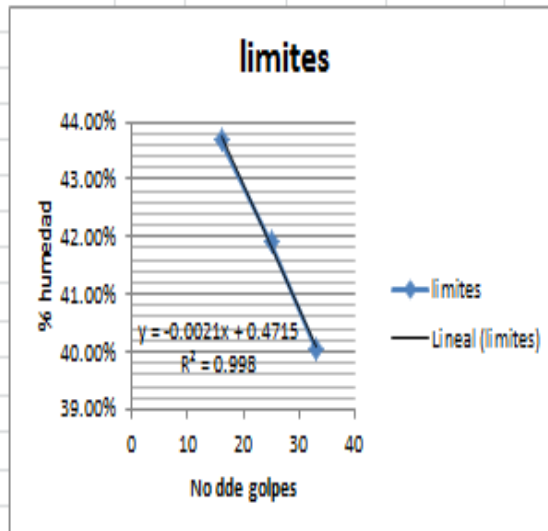
<b>FECHA :</b>	DICIEMBRE 7 DE 2011	<b>SONDEO :</b>	APIQUEZ
<b>PROYECTO :</b>	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>MUESTRA :</b>	2
<b>LOCALIZACION:</b>	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD :</b>	1m a 1,5m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA	HUMERO DE	PESO	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO DEL	PESO SUELO	CONTENIDO DE
N.	GOLPES	CAPSULA	SUELO HUMEDO	SUELO SECO	AGUA	SECO	AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
33	33	7.58	34.12	26.53	7.59	18.95	40.05%
36	25	8.31	32.15	25.11	7.04	16.8	41.90%
41	16	8.52	30.26	23.65	6.61	15.13	43.63%

**LIMITE PLASTICO**

44	33	8.35	22.36	19.18	3.18	10.83	29.36%
25	25	8.02	23.1	19.7	3.4	11.68	29.11%



LIMITE LIQUIDO :	<u>42%</u>
LIM. PLASTICO :	<u>29%</u>
IND. DE PLASTI. :	<u>13%</u>
CLASIFICACION SUCS.	<u>ML</u>

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

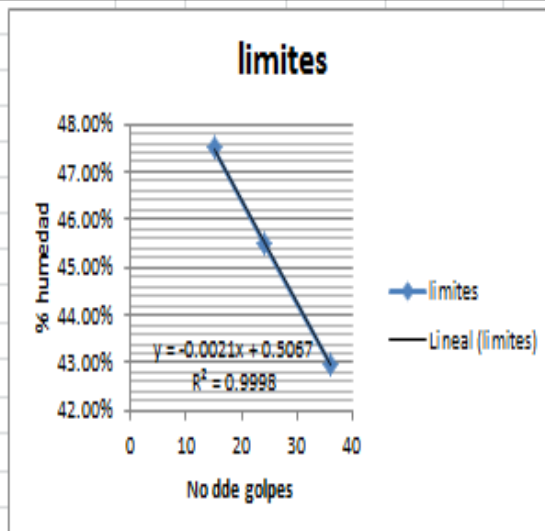
<b>FECHA :</b>	DICIEMBRE 7 DE 2011	<b>SONDEO :</b>	APIQUE 4
<b>PROYECTO :</b>	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>MUESTRA :</b>	4
<b>LOCALIZACION:</b>	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD :</b>	1m a 1,5m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA	NUMERO DE	PESO	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO DEL	PESO SUELO	CONTENIDO DE
N.	GOLPES	CAPSULA	- SUELO HUMEDO	- SUELO SECO	AGUA	SECO	AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
100	36	7.11	34.15	26.02	8.13	18.91	42.99%
99	24	7.94	35.12	26.62	8.5	18.68	45.50%
97	15	7.24	36.9	27.35	9.55	20.11	47.49%

**LIMITE PLASTICO**

96	36	8.14	22.05	18.9	3.15	10.76	29.28%
90	24	7.4	21.99	18.65	3.34	11.25	29.69%



LIMITE LIQUIDO :	<u>45%</u>
LIM. PLASTICO :	<u>29%</u>
IND. DE PLASTI. :	<u>16%</u>
CLASIFICACION SUCS. :	<u>ML</u>

Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS**  
**LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126**

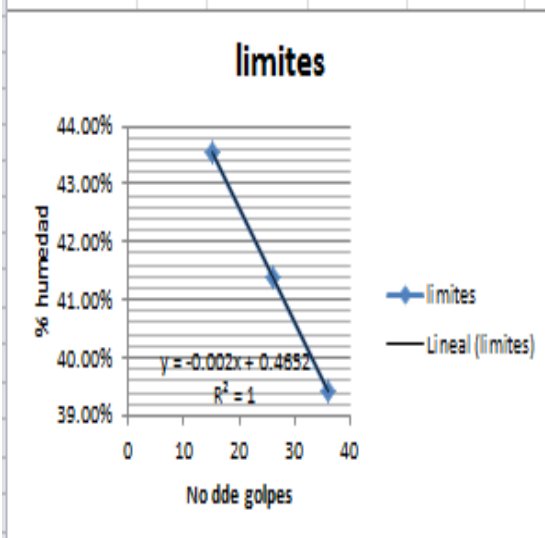
<b>FECHA :</b>	DICIEMBRE 7 DE 2011	<b>SONDEO :</b>	APIQUE 5
<b>PROYECTO :</b>	ESTABILIZACION TALUD VIA GUAPOTA	<b>HUESTRA :</b>	5
<b>LOCALIZACION:</b>	GUAPOTA - SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD :</b>	1m a 1,5m

**LIMITE LIQUIDO**

CAPSULA	HUMERO DE	PESO	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA	PESO DEL	PESO SUELO	CONTENIDO DE
N.	GOLPES	CAPSULA	-SUELO HUMEDO	-SUELO SECO	AGUA	SECO	AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
57	36	7.16	36.12	27.93	8.19	20.77	39.43%
59	26	7.25	30.95	24.01	6.94	16.76	41.41%
61	15	7.99	31.98	24.7	7.28	16.71	43.57%

**LIMITE PLASTICO**

63	36	7.87	22.16	19.01	3.15	11.14	28.28%
66	26	6.95	22.36	18.95	3.41	12	28.42%



LIMITE LIQUIDO :	<u>42%</u>
LIM. PLASTICO :	<u>28%</u>
IND. DE PLASTI. :	<u>14%</u>
CLASIFICACION SUCS.	<u>ML</u>

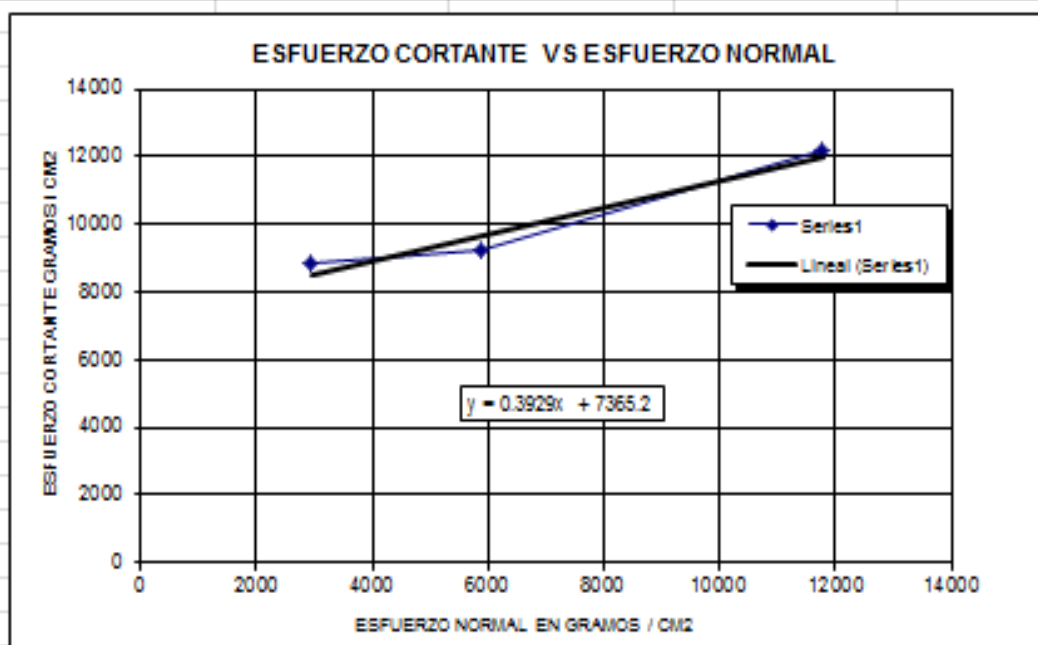
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	24.00	2946.08	8838.24
16.000	0.002715	25.00	5892.16	9206.50
32.000	0.002715	33.00	11784.32	12152.58



<b>HUMEDAD %</b>	31	DE ENSAYO
<b>PENDIENTE</b>	0.3929	
<b>ANGULO FRICCI</b>	21	grados
<b>COHESION</b>	7365.2	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.59	

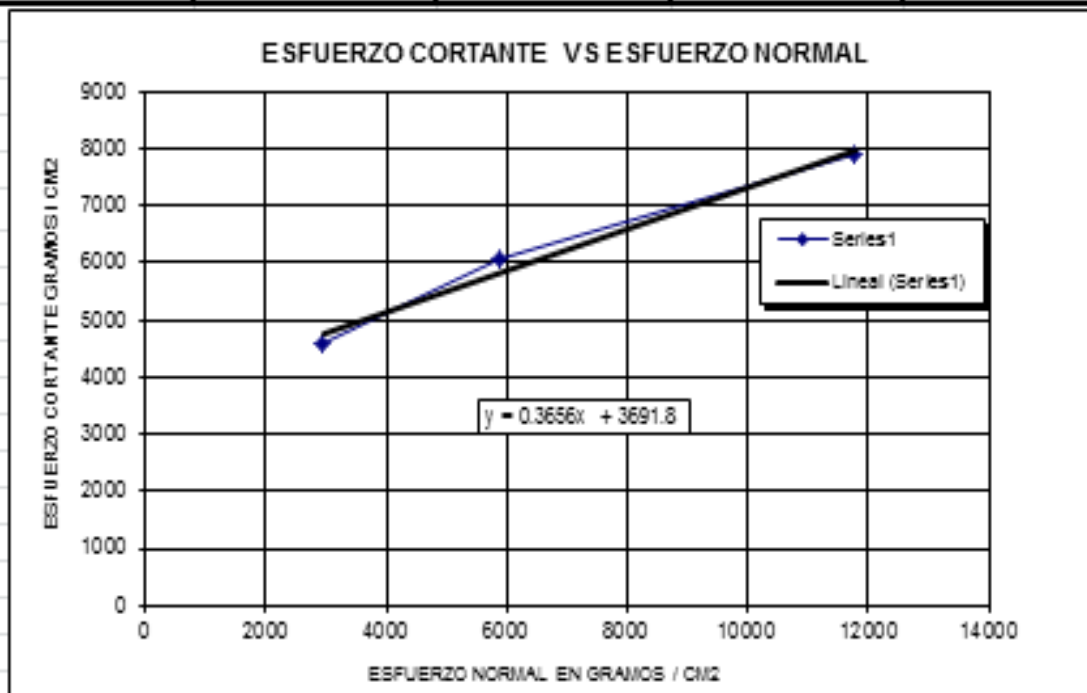
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	2
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	12.50	2946.08	4603.25
16.000	0.002715	16.55	5892.16	6034.70
32.000	0.002715	21.50	11784.32	7917.59



<b>HUMEDAD %</b>	33	<b>DE ENSAYO</b>
<b>PENDIENTE</b>	0.3656	
<b>ANGULO FRICCI</b>	20	grados
<b>COHESION</b>	3691.8	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.75	

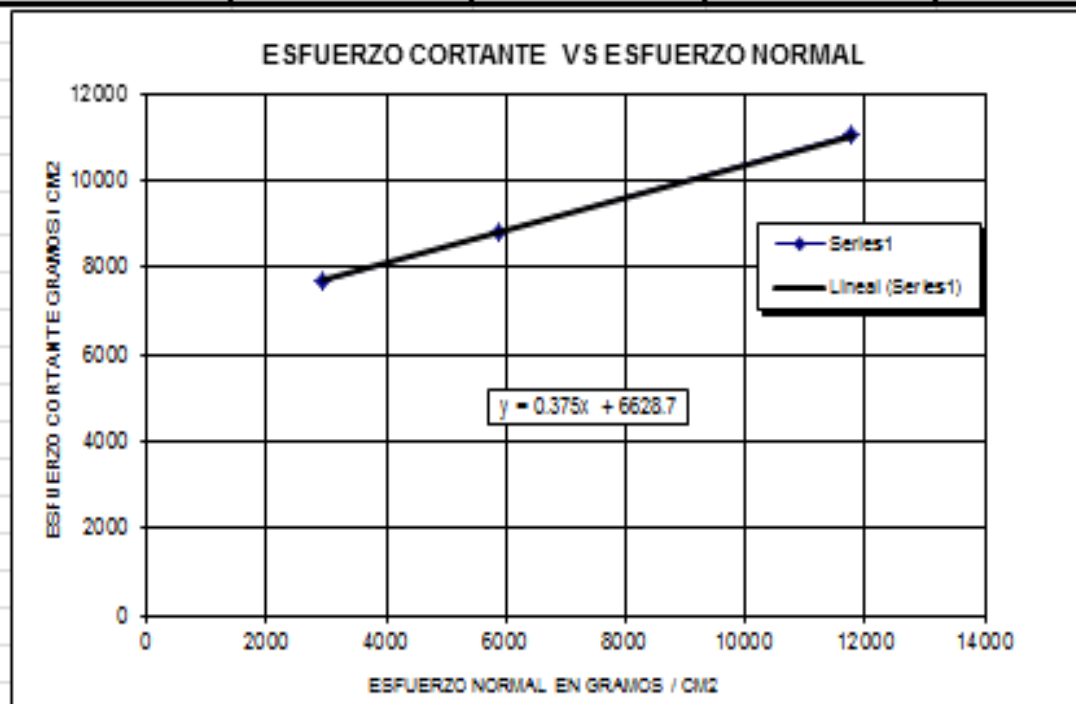
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL NV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	4
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	21.00	2946.08	7733.46
16.000	0.002715	24.00	5892.16	8838.24
32.000	0.002715	30.00	11784.32	11047.80



<b>HUMEDAD %</b>	31	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	0.375		
<b>ANGULO FRICCI</b>	21	grados	
<b>COHESION</b>	6628.7	kg/m <sup>2</sup>	
<b>densidad</b>	1.71		

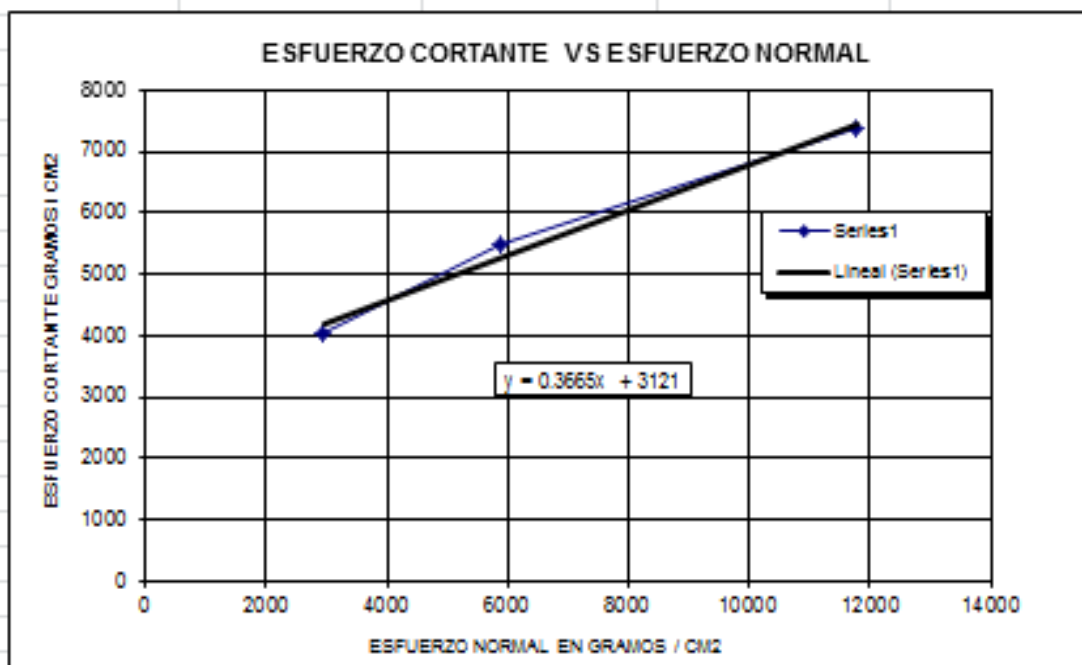
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD NATURAL INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	5
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	11.00	2946.08	4050.86
16.000	0.002715	14.95	5892.16	5505.49
32.000	0.002715	20.00	11784.32	7365.20



<b>HUMEDAD %</b>	34	DE ENSAYO
<b>PENDIENTE</b>	0.3665	
<b>ANGULO FRICCI</b>	20	grados
<b>COHESION</b>	3121	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.71	

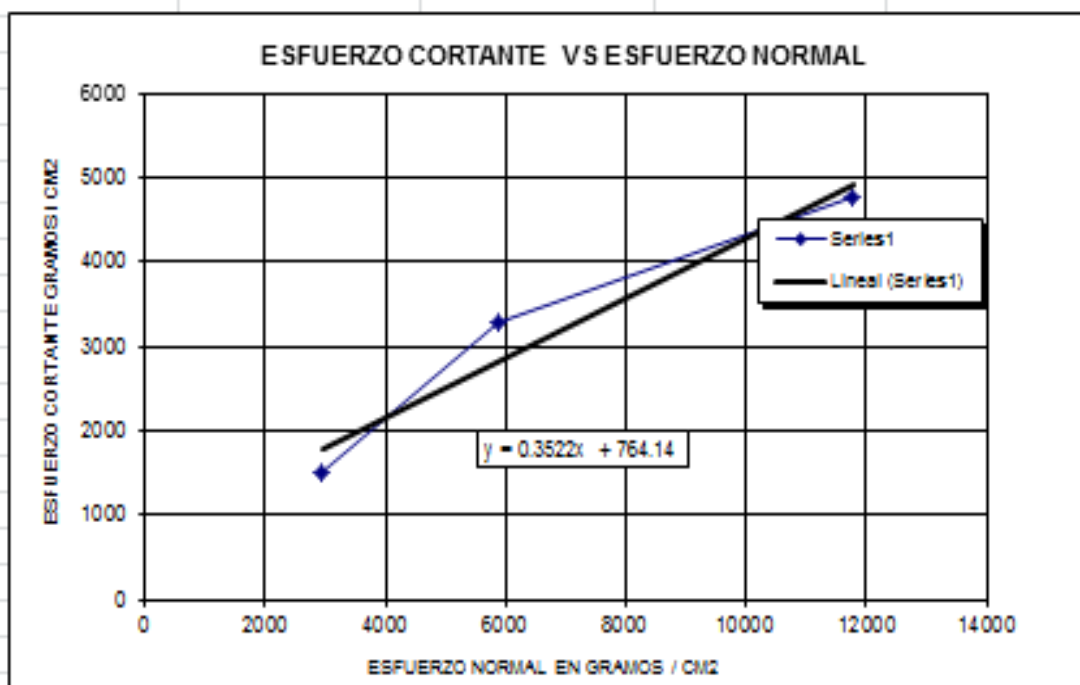
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD SATURADA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	4.10	2946.08	1509.87
16.000	0.002715	8.30	5892.16	3277.51
32.000	0.002715	12.95	11784.32	4768.97



<b>HUMEDAD %</b>	33	DE ENSAYO
<b>PENDIENTE</b>	0.352	
<b>ANGULO FRICCI</b>	19	grados
<b>COHESION</b>	764.14	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.82	

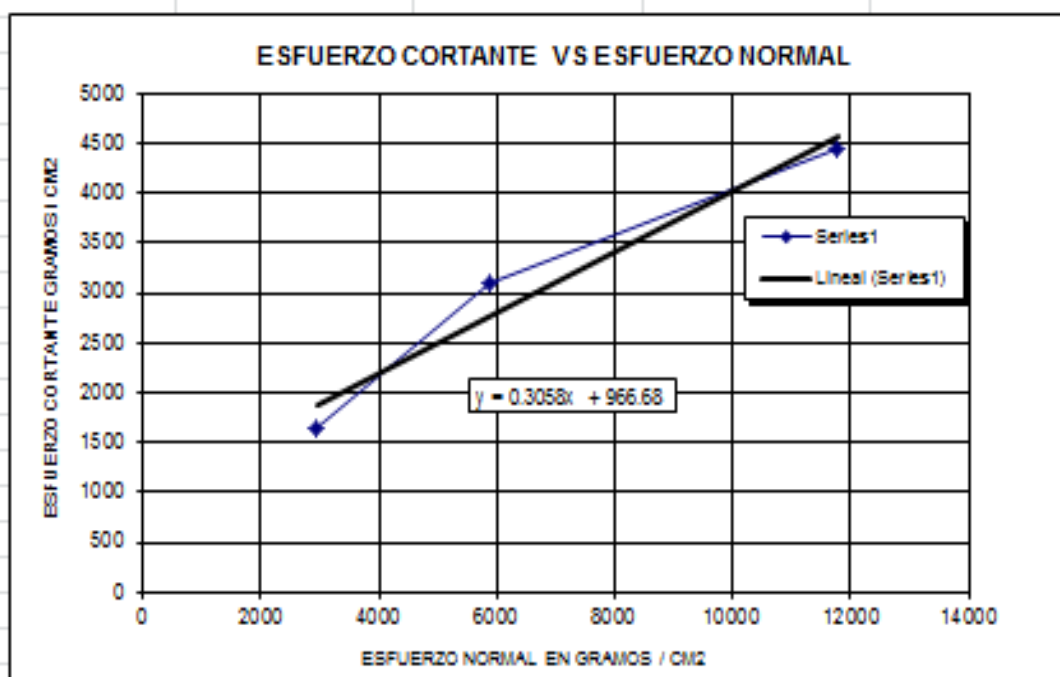
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD SATURADA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	2
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m -1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	4.45	2946.08	1638.76
16.000	0.002715	8.45	5892.16	3111.80
32.000	0.002715	12.10	11784.32	4455.94



<b>HUMEDAD %</b>	35	DE ENSAYO
<b>PENDIENTE</b>	0.3058	
<b>ANGULO FRICCI</b>	17	grados
<b>COHESION</b>	966.68	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.92	

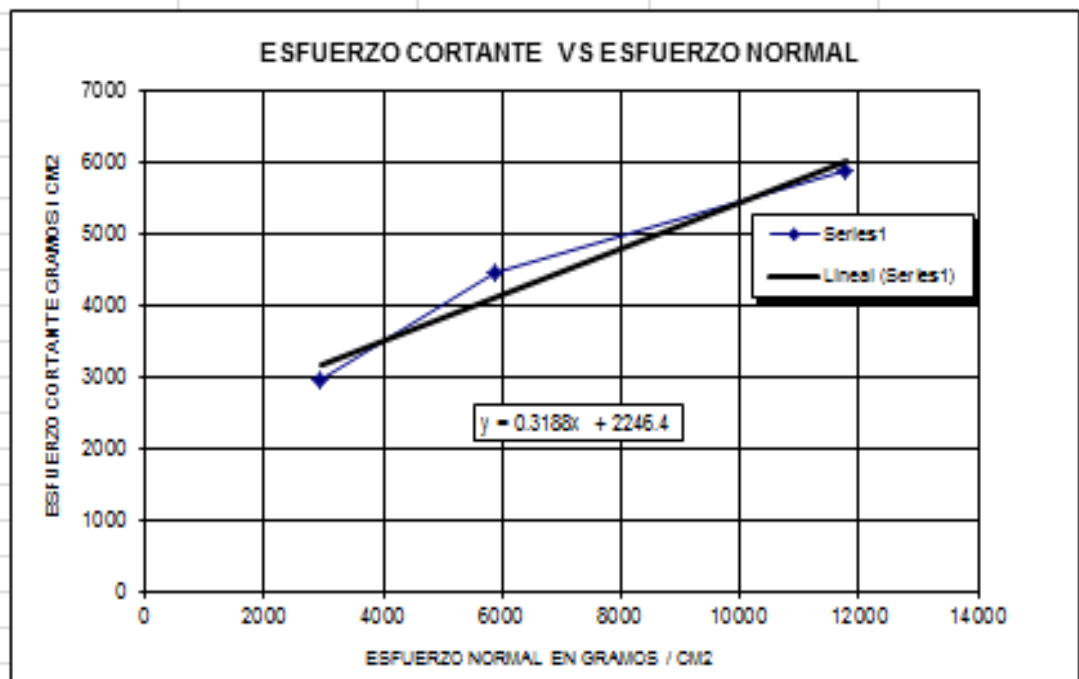
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD SATURADA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	4
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	8.05	2946.08	2964.43
16.000	0.002715	12.10	5892.16	4455.94
32.000	0.002715	16.00	11784.32	5892.16



<b>HUMEDAD %</b>	36	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	0.3188		
<b>ANGULO FRICCI</b>	18		grados
<b>COHESION</b>	2246.4		kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.80		

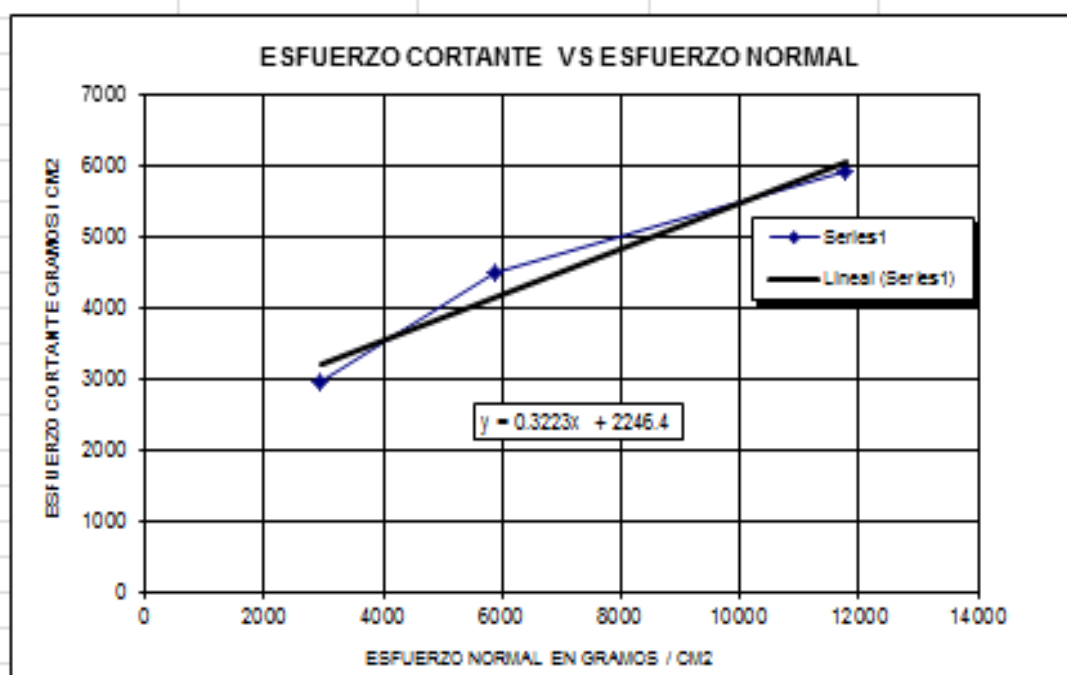
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD SATURADA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	5
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	8.05	2946.08	2964.49
16.000	0.002715	12.20	5692.16	4492.77
32.000	0.002715	16.10	11784.32	5928.98



<b>HUMEDAD %</b>	38	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	0.3223		
<b>ANGULO FRICCI</b>	18	grados	
<b>COHESION</b>	2246.4	kg/m <sup>2</sup>	
<b>densidad</b>	1.97		

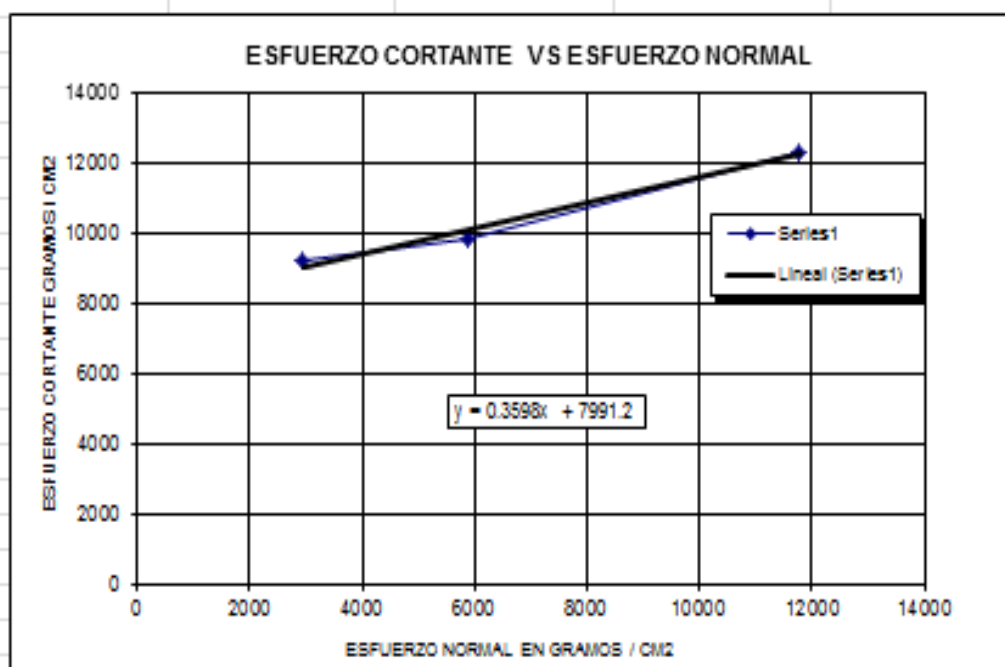
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD OPTIMA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	1
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	25.05	2946.08	9224.91
16.000	0.002715	26.75	5892.16	9850.35
32.000	0.002715	33.45	11784.32	12318.29



<b>HUMEDAD %</b>	17.5	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	0.3598		
<b>ANGULO FRICCI</b>	20		grados
<b>COHESION</b>	7991.2		kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	2.02		

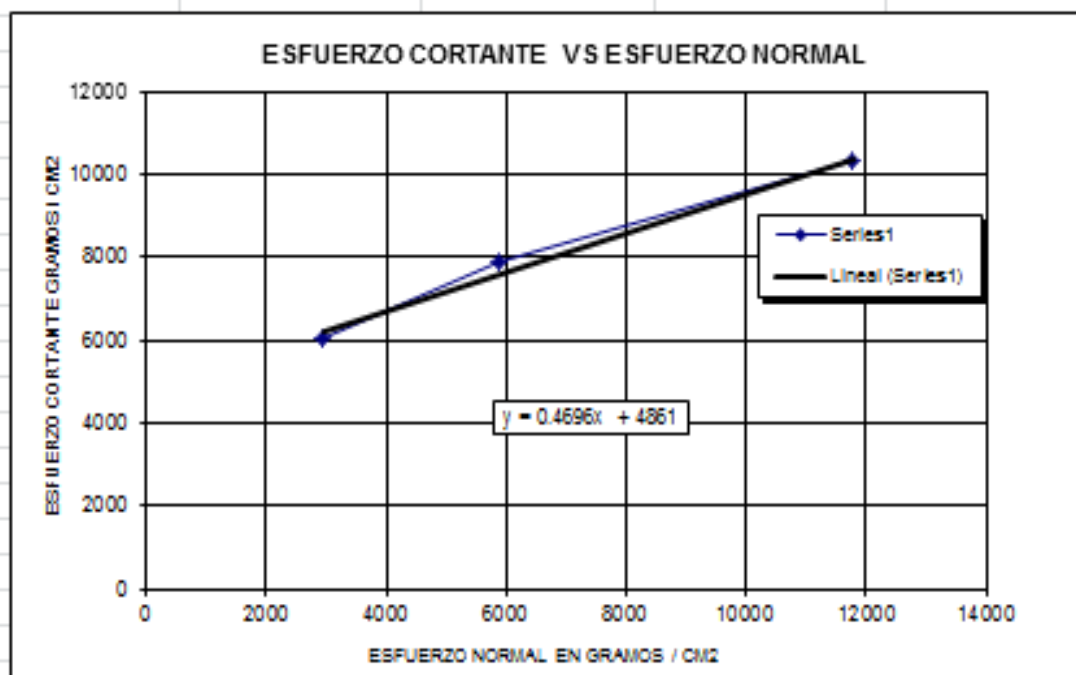
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD OPTIMA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	2
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m <sup>2</sup>	MAXIMA EN Kg	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	16.50	2946.08	6076.29
16.000	0.002715	21.40	5892.16	7880.76
32.000	0.002715	28.00	11784.32	10311.28



<b>HUMEDAD %</b>	17.5	<b>DE ENSAYO</b>	
<b>PENDIENTE</b>	0.4696		
<b>ANGULO FRICCI</b>	25	grados	
<b>COHESION</b>	4861	kg/m <sup>2</sup>	
<b>densidad</b>	1.97		

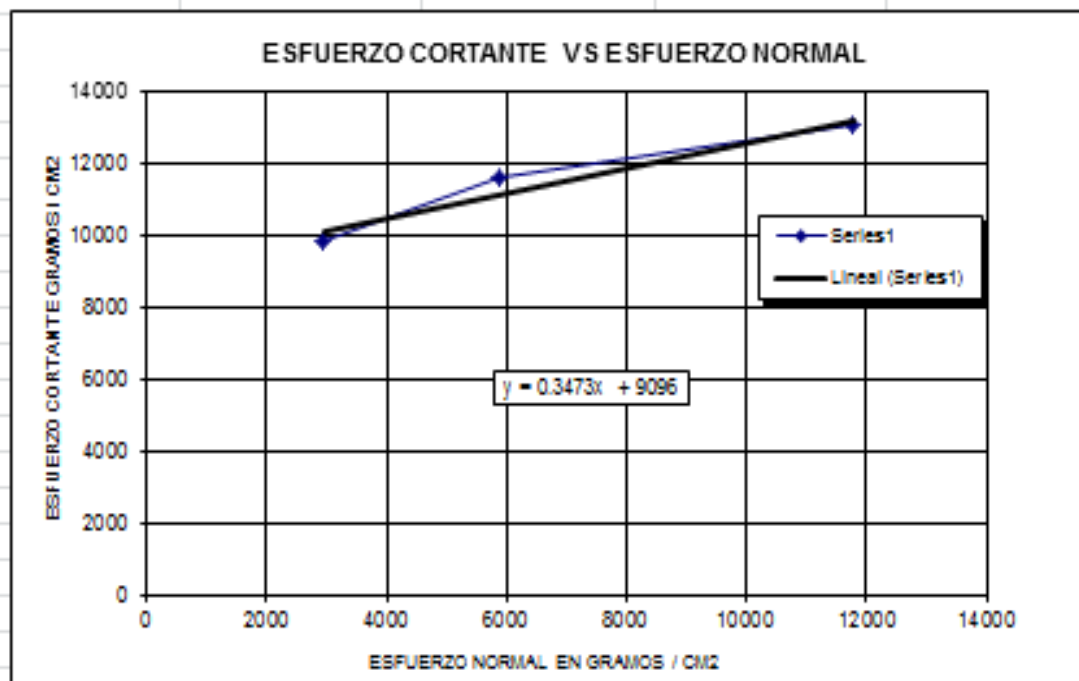
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD OPTIMA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	4
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m2	CARGA HORIZONTAL MAXIMA EN Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m2	ESFUERZO CORTANTE Kg/m2
8.000	0.002715	26.65	2946.08	9814.13
16.000	0.002715	31.50	5892.16	11600.19
32.000	0.002715	35.40	11784.32	13036.40



<b>HUMEDAD %</b>	20.9	<b>DE ENSAYO</b>
<b>PENDIENTE</b>	0.3473	
<b>ANGULO FRICCI</b>	19	grados
<b>COHESION</b>	9096	kg/m2
<b>densidad</b>	1.87	

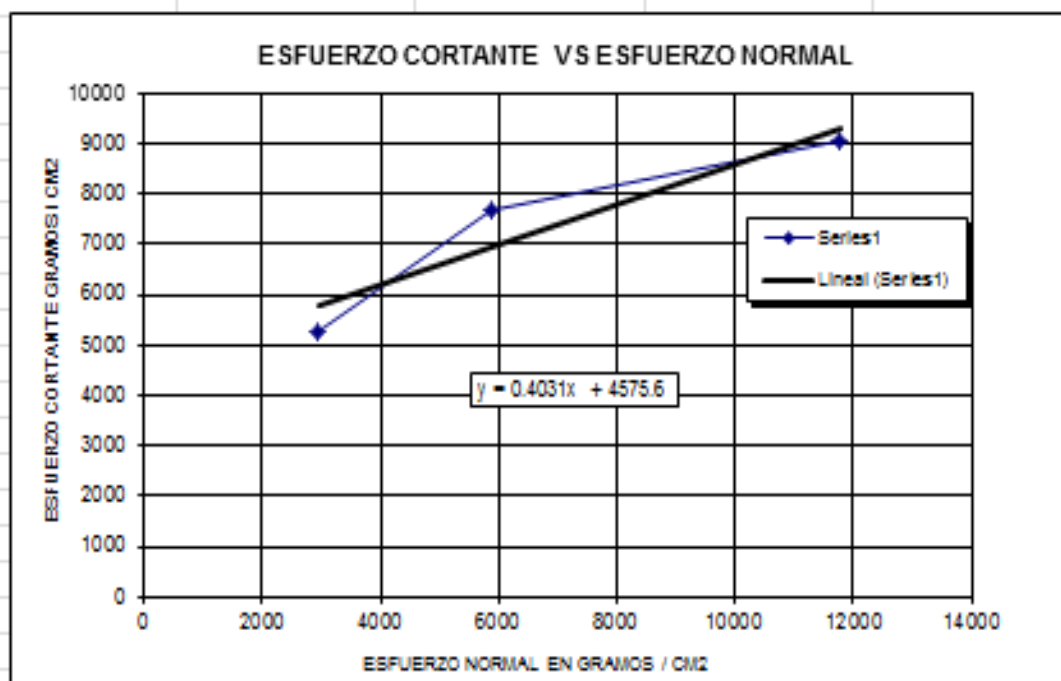
Fuente: Autores



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**  
**CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION**  
**ENSAYO DE CORTE DIRECTO HUMEDAD OPTIMA INV E-154**

<b>FECHA</b>	noviembre 23 DE 2011	<b>SONDEO</b>	1
<b>PROYECTO</b>	GUAPOTA	<b>MUESTRA</b>	5
<b>LOCALIZACION</b>	GUAPOTA SANTANDER	<b>PROFUNDIDAD</b>	1.0 m - 1.5 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m <sup>2</sup>	CARGA HORIZONTAL MAXIMA EN Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m <sup>2</sup>	ESFUERZO CORTANTE Kg/m <sup>2</sup>
8.000	0.002715	14.30	2946.08	5266.12
16.000	0.002715	20.90	5892.16	7696.63
32.000	0.002715	24.65	11784.32	9077.61



<b>HUMEDAD %</b>	16.6	<b>DE ENSAYO</b>
<b>PENDIENTE</b>	0.4031	
<b>ANGULO FRICCI</b>	22	grados
<b>COHESION</b>	4575.6	kg/m <sup>2</sup>
<b>densidad</b>	1.97	

Fuente: Autores

## **ANEXOF: Método para la estabilización de taludes.**

Para la estabilización de taludes se pueden utilizar varios métodos, con el fin de determinar los factores que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen la geometría del talud, parámetros de resistencia del suelo, flujo de agua y cargas dinámicas, entre otros. Los objetivos principales del análisis de los taludes son determinar las condiciones de estabilidad, investigar los posibles eventos que llevaron a la falla del talud, determinar el comportamiento del talud en diferentes escenarios (agua, sismo, etc.), comparar las diferentes medidas de estabilización para finalizar con el diseño de obras seguras y confiables.

### **METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE:**

El método de equilibrio límite para la estabilidad de taludes es uno de los métodos más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porqué el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real.

El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

Un análisis de equilibrio límite supone que un valor de factor de seguridad  $F.S=1.0$  indica que la pendiente está en el límite entre la estabilidad y la inestabilidad y habrá fallado, ya que las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas.

Los métodos existentes son:

METODO	SUPERFICIES DE FALLA	EQUILIBRIO	CARACTERISTICAS
Talud infinito	Rectas	De fuerzas e implícito de momentos	Se analizan un bloque superficial con un determinado espesor y una altura de nivel freático, y se supone una falla paralela a la superficie del terreno.
Bloques o Cuñas	Tramos rectos formando una cuña	De fuerzas	Se analiza la falla de cuñas simples, dobles o triples analizando las fuerzas que actúan sobre cada uno de los sectores de la cuña. Son útiles para analizar estabilidad de los suelos estratificados.
Espiral Logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	De fuerzas y de momentos	Se asume una superficie de falla espiral logarítmica en el cual el radio de la espiral varia con el ángulo de rotación sobre el centro de la espiral.
Arco circular (Pettersen, 1916). (Fellenius, 1922)	Circulares	De momentos e implícitamente de fuerzas	Se supone un círculo de falla, el cual se analiza como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ( $\phi=0$ ).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1927)	Circulares	De fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas, y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para las dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy atizado por su procedimiento simple.
Bishop Simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio por una dovela.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección $F_0$ para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos

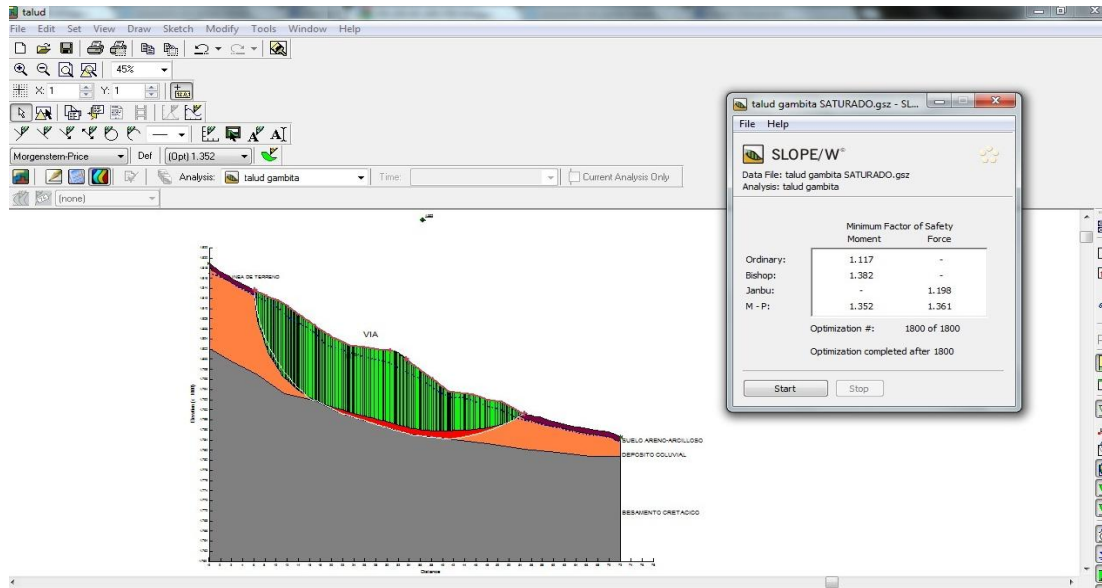
Suecomodificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1959)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos.
Spencer (1967)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos fuerzas y	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenster y Price (1965)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos fuerzas y	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método Spencer con la diferencia que es la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas, se asume que varía de acuerdo a una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de superficie de falla	Momentos fuerzas y	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad.
Elementos finitos	Cualquier forma de superficie de falla	Analiza esfuerzos y deformaciones	Satisface todas las condiciones de esfuerzo. Se obtienen esfuerzos y deformaciones en los nodos de los elementos, pero no se obtiene un factor de seguridad.

Fuente: Estabilidad de Taludes - Clase - Jaime Suarez

## PROGRAMA DE ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES GEO-SLOPE:

Es un programa de estabilidad de taludes para calcular el factor de seguridad (F.S.) en taludes en suelo. Con este programa, se pueden analizar problemas simples y complejos para una variedad de ángulos, condiciones de presión de poros,

propiedades del suelo, métodos de análisis y condiciones de carga. La interfaz del programa es mostrada a continuación:



Fuente: Programa Geo-Slope 2012. Tomado del programa GEOSLOPE®

Geo-Slope permite escoger el método de análisis, especificando las propiedades específicas del suelo y las presiones de poro, definiendo cargas aplicadas y creando la superficie más real.

Después de haber resuelto el problema de estabilidad de taludes, GEOSLOPE® ofrece distintas herramientas para visualizar los resultados. Se puede dibujar la superficie de falla con menor factor de seguridad, o ver cada una individualmente. También se puede variar el Nivel Freático para obtener factores de seguridad que nos dicen si el talud falla o se mantiene estable.

### FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)

El factor de seguridad (F.S.) se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de toda la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla.

La superficie de falla se refiere a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud. Sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

El factor de seguridad se presenta como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S = \frac{\Sigma (\text{RESISTENCIASALCORTANTEDISPONIBLES})}{\Sigma(\text{ESFUERZOSALCORTANTE})}$$

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes

$$F.S = \frac{\Sigma (\text{MOMENTOSRESISTENTESDISPONIBLES})}{\Sigma(\text{MOMENTOSACTUANES})}$$