

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO-
MUNICIPIO DE PIEDECUESTA**

**Ginna Alejandra Lozada Garcés
Lizeth Daniela Lozada Garcés**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2019**

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO-
MUNICIPIO DE PIEDECUESTA**

**Ginna Alejandra Lozada Garcés
Lizeth Daniela Lozada Garcés**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**Director del trabajo de grado
MSc. Ing. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA**

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del
jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Agosto 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la virgen de Chiquinquirá, por haberme permitido llegar a este momento, por darme fortaleza, salud, sabiduría para desarrollar mi proyecto de vida, y formarme como una profesional de éxito, por las bendiciones que me da día a día.

A mi madre y a mi pio, a mi padre, a mis tíos, a mis abuelos y a mis primos, por apoyarme en todos los aspectos de mi vida, por aconsejarme cuando lo necesito, porque me ayudaron a lograr lo que soy ahora, y en especial a mi madre por dar todo de si para que mi hermana y yo seamos las mejores personas y profesionales.

A mi hermana y compañera de proyecto porque a pesar de las discusiones y desacuerdos, ha estado durante toda mi vida, en cada momento hasta hoy, hemos sabido resolver nuestros problemas y triunfar en cada meta que nos proponíamos.

A Jefferson Rangel quien me ha acompañado durante la mayor parte de mis estudios, por darme apoyo y animo en todo momento, por tenerme paciencia e impulsar a conseguir lo que quiero.

Y por último mis profesores, José Neyith Contreras, Luz Marina Torrado, José Alberto Rondón, a compañeros más cercanos Fernando Espitia, Luis Carlos Galvis, Ana María Ramos, Andrés Albarracin, Andrés Menco, Erwin Ramírez, Jahir Rangel y todo nuestro equipo de trabajo de Ingeotek B, por acompañarme y apoyarme durante todo el proceso de aprendizaje en la Upb.

Ginna Alejandra Lozada Garcés

A Dios y a la virgen de Chiquinquirá, por permitirnos dar cada paso para llegar a nuestro objetivo, por la salud, sabiduría y paciencia que nos hace seguir adelante en nuestra vida, por seguir un camino en el que me colmo de muchas bendiciones y donde cada obstáculo fue un motivo más de aprendizaje.

A mi madre y a mi tío, a mi padre, a mis abuelos y a mis primos, por estar presentes y brindarme el apoyo cuando fue necesario en cada proyecto y meta, especialmente a mi madre porque gracias a ella es que me he convertido en una persona de lucha por lo que quiere, y que logra sus objetivos.

A mi hermana, que ha sido mi compañía desde siempre, sin importar las dificultades, cada día nos da una nueva oportunidad para apoyarnos, para perseguir nuestros sueños y para lograr nuestras metas.

A Fernando Espitia, quien ha sido un gran apoyo durante la mayor parte de mi carrera, por ser la voz que me comprende y motiva a dar lo mejor de mí, por la paciencia y apoyo en todos mis sueños.

Y por último los profesores que estuvieron durante mi desarrollo universitario, en especial a, José Neyith Contreras, Luz Marina Torrado, José Alberto Rondón, a mis compañeros más cercanos Lucila F, Rafael H, Andrés A, Luis Carlos G, Andrés M, Alejandro M, Brayan J, Esteban G, Ana R, y todo nuestro equipo de trabajo de Ingeotek B, que gracias a toda nuestra labor fue posible cumplir grandes objetivos.

Lizeth Daniela Lozada Garcés

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
2. OBJETIVO GENERAL.....	23
2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	23
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. MARCO CONCEPTUAL.....	25
4.1. MOVIMIENTO EN MASA.....	25
4.2. CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA	25
4.3. DESLIZAMIENTOS	27
3.1.1. Magnitud de deslizamiento	28
3.1.2. Nomenclatura de un talud y un deslizamiento.....	29
4.4. MECANISMOS DE FALLA	30
4.4.1. Modelos conceptuales y determinísticos.....	31
4.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	31
4.5.1. Factor de seguridad:.....	32
4.5.2. Valores del factor de seguridad geotécnico básico F_{sb}	33
4.5.3. Procedimiento general para el análisis de estabilidad.....	34
4.5.4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes	34
4.5.5. Parámetros fundamentales para el análisis de estabilidad.....	36
4.6. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	37
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	39
5.1. FASE DE APRESTAMIENTO.....	39
5.1.1. Localización general de la zona de estudio	40
5.1.2. Características físicas.....	41
5.1.3. Topografía del área de estudio	43
5.1.4. Geología regional	47
5.1.5. Unidades litoestratigráficas y geología estructural	48
5.1.6. Geología estructural	51
5.1.7. Geología local.....	51

5.1.8.	Unidades geológicas para ingeniería.....	52
5.1.9.	Geomorfología.....	56
5.1.10.	Ambiente antropogénico	58
5.1.11.	Ambiente denudacionales	60
5.1.12.	Caracterización sísmica	62
5.1.13.	Exploración geofísica del subsuelo	73
5.2.	FASE DE CAMPO O DIAGNÓSTICO.....	79
5.2.1.	Investigación del subsuelo.....	79
5.2.2.	Sondeos de penetración estándar	81
5.2.3.	Ensayos de Laboratorio.....	83
5.2.4.	Registro fotográfico de sondeos y apiques	86
5.3.	FASE DE OFICINA.....	105
5.3.1.	Variabilidad del suelo.....	106
5.3.2.	Corrección del ensayo de penetración estándar spt	106
5.3.3.	Análisis del tipo de suelo encontrado.....	109
5.3.4.	Propiedades de los suelos encontrados	109
5.3.5.	Estimación parámetros geomecánicos	109
5.3.6.	Definición de parámetros geomecánicos para cada estrato.....	114
5.3.7.	Perfil geológico – geotécnico inferido	115
5.3.8.	Análisis de estabilidad del talud.....	118
5.3.9.	Categorización de estabilidad de la ladera de acuerdo con los factores de seguridad.....	119
5.3.10.	Análisis de estabilidad según los perfiles seleccionados y los escenarios posibles	120
5.3.11.	Propuestas de mitigación	125
6.	RECOMENDACIONES.....	136
7.	CONCLUSIONES	137
12.	BIBLIOGRAFIA	139
13.	ANEXOS	141
13.1.	ANEXO 1 – REGISTROS DE PERFORACIÓN.....	141
13.2.	ANEXOS 2- RESULTADOS DE LABORATORIO	146
13.2.1.	Descripción y caracterización de Sondeos / Apiques	146

13.2.2.	Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario	147
13.2.3.	Ensayo de corte directo.....	159

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación de Movimientos en Masa.....	26
Figura 2. Partes de un deslizamiento	28
Figura 3. Metodología propuesta para análisis geotécnico y de estabilidad del área de análisis. 39	
Figura 4. Localización del sitio objeto de investigación	40
Figura 5. Localización Levantamiento topográfico deslizamiento Vía Vereda Pozo negro 44	
Figura 6. Levantamiento topográfico deslizamiento Vía Vereda Pozo Negro.	45
Figura 7. Localización de cada delta	46
Figura 8. Localización geológica general de la zona de estudio	47
Figura 9. Mapa geológico donde se ubica la zona de estudio	48
Figura 10. Muestras de suelo residual arenoso encontrado en la zona.	55
Figura 11. Muestra de suelo residual areno-gravoso encontrado en la zona.	56
Figura 12. Geomorfología de la zona de estudio.	57
Figura 13. Eventos sísmicos presentados en la región	64
Figura 14. Eventos sísmicos presentados en la región	64
Figura 15. Mapa de Amenaza sísmica.....	66
Figura 16. Nomogramas para Fa y Fv según la norma sismo-resistente	70
Figura 17. Cálculo del espectro de diseño para la ciudad de Piedecuesta Sectores 1,2,3. 72	
Figura 18. Pseudosección de resistividad aparente medida en campo para la tomografía TRE-PN 1. 75	
Figura 19. Construcción de la malla para el proceso de inversión para la tomografía TRE- PN-1. 76	
Figura 20. Parámetros de inversión para la tomografía TRE – PN-1.	76
Figura 21. Tomografía de resistividad eléctrica invertida TRE-PN-1.....	77
Figura 22. Descripción de los tipos de suelo encontrado en la zona de estudio	78
Figura 23. Plano de la distribución de la investigación del subsuelo.....	80

Figura 24.	Cálculo del Módulo de Young (Mpa).....	110
Figura 25.	Angulo de Fricción Interna	111
Figura 26.	Perfil 1	116
Figura 27.	Perfil 2	117
Figura 28.	Perfil 3	118
Figura 29.	Modelo del Perfil 1 – Escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático 121	
Figura 30.	Modelo del Perfil 1 – Escenario en condiciones pseudoestaticas y con nivel freático 121	
Figura 31.	Modelo del Perfil 2 – Escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático 122	
Figura 32.	Modelo del Perfil 2 – Escenario en condiciones pseudoestaticas y con nivel freático 122	
Figura 33.	Modelo del Perfil 3 – Escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático 123	
Figura 34.	Modelo del Perfil 3 – Escenario en condiciones pseudoestaticas y con nivel freático 123	
Figura 35.	Modelo del Perfil 2 – Análisis con la implementación de la propuesta 1 en condiciones estáticas y sin nivel freático.....	127
Figura 36.	Modelo del Perfil 2 – Análisis con la implementación de la propuesta 1 en condiciones pseudoestaticas y con nivel freático	128
Figura 37.	Modelo del Perfil 2 – Condiciones naturales- Análisis con la implementación de la propuesta 2 en condiciones estáticas y sin nivel freático.....	130
Figura 38.	Modelo del Perfil 2 – Perfilado- Análisis con la implementación de la propuesta 2 en condiciones estáticas y sin nivel freático	131
Figura 39.	Modelo del Perfil 2 – Condiciones naturales- Análisis con la implementación de la propuesta 2 en condiciones pseudoestaticas y sin nivel freático	132
Figura 40.	Modelo del Perfil 2 – Perfilado- Análisis con la implementación de la propuesta 2 en condiciones pseudoestaticas y sin nivel freático	133

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Vista general del sitio, mostrando el deslizamiento interno y externo.....	21
Fotografía 2.	Vista general del área de estudio.....	22
Fotografía 3.	Vista Superior del sitio de estudio.....	41
Fotografía 4.	Vista frontal del sitio de estudio y definición de partes de un deslizamiento. 42	
Fotografía 5.	Vista lateral del sitio de estudio y definición de partes de un deslizamiento. 43	
Fotografía 6.	Intrusión de cuerpos ígneos en la zona, además de vetas de cuarzo	49
Fotografía 7.	Materiales identificados en el talud de estudio	50
Fotografía 8.	Cimas explanadas ubicadas en la corona del talud de estudio	59
Fotografía 9.	Obras de ingeniería y cimas explanadas localizadas al costado este del talud. 59	
Fotografía 10.	Laderas denudacionales identificadas en la zona, donde se identifica el talud en estudio	60
Fotografía 11.	Lomos denudacionales ubicados cerca de la zona.....	61
Fotografía 12.	Sierras y lomos de presión en los alrededores de la zona	62
Fotografía 13.	Adquisición en campo de la tomografía de resistividad eléctrica PN-1.	74
Fotografía 14.	Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas	86
Fotografía 15.	Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas	86
Fotografía 16.	Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas	87
Fotografía 17.	Avance en el proceso de perforación SPT.....	87
Fotografía 18.	Evidencia de toma del sondeo #1	87
Fotografía 19.	Registro del sondeo 1 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m	87
Fotografía 20.	Registro del sondeo 1 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m	88
Fotografía 21.	Registro del sondeo 1 – Muestra 3 – Prof: 2.0 m – 3.0 m	88
Fotografía 22.	Registro del sondeo 1 – Muestra 4 – Prof: 3.0 m – 4.0 m	88
Fotografía 23.	Registro del sondeo 1 – evidencia de todas las muestras perforadas..	88
Fotografía 24.	Inicio de actividades de perforación SPT	90

Fotografía 25.	Adecuación del equipo de perforación en el punto designado	90
Fotografía 26.	Avance en actividades de perforación con equipo SPT	90
Fotografía 27.	Avance en actividades de perforación con equipo SPT	90
Fotografía 28.	Vista general de la zona de perforación.....	91
Fotografía 29.	Registro del sondeo 2 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m.	91
Fotografía 30.	Registro del sondeo 2 – Muestra 3 – Prof: 2.0 m – 3.0 m	91
Fotografía 31.	Registro de extracción de muestras con tubo de pared delgada.....	91
Fotografía 32.	Actividades de perforación con equipo SPT	93
Fotografía 33.	Evidencia de toma del sondeo #3	93
Fotografía 34.	Avance en la perforación con el equipo SPT	93
Fotografía 35.	Extracción de muestras	93
Fotografía 36.	Registro del sondeo 3 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m.	94
Fotografía 37.	Registro del sondeo 3 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m	94
Fotografía 38.	Registro de las muestras extraídas.....	94
Fotografía 39.	Registro del Registro de las muestras extraídas.....	94
Fotografía 40.	Inicio de actividades de perforación con equipo SPT.....	96
Fotografía 41.	Evidencia de toma del sondeo #4	96
Fotografía 42.	Avance en perforación con equipo SPT.....	96
Fotografía 43.	Toma de muestras con el tubo de pared delgada	96
Fotografía 44.	Avance en perforación con equipo SPT.....	97
Fotografía 45.	Registro del sondeo 4 –Muestra 1–Prof: 0.0 m – 1.0 m	97
Fotografía 46.	Inicio de perforación con máquina de rotación.....	98
Fotografía 47.	Avance de perforación con máquina de rotación	98
Fotografía 48.	Avance de perforación con máquina de rotación	99
Fotografía 49.	Registro del sondeo 5 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m	99
Fotografía 50.	Registro del sondeo 5 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 1.30 m	99
Fotografía 51.	Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 3 – Prof: 1.30 m – 2.50 m....	99
Fotografía 52.	Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 4 – Prof: 2.50 m – 3.50 m....	99
Fotografía 53.	Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 5 – Prof: 3.50 m – 4.50 m....	99
Fotografía 54.	Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 6 – Prof: 4.50 m – 5.50 m..	100
Fotografía 55.	Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 7 – Prof: 5.50 m – 6.50 m..	100
Fotografía 56.	Registro de Apique #1 – Prof: 1.20 m	102
Fotografía 57.	Registro de Apique #1 – Prof: 1.20 m	102

Fotografía 58.	Registro de Apique #2 – Prof: 1.0 m	103
Fotografía 59.	Registro de Apique #2 – Prof: 1.0 m	103
Fotografía 60.	Registro de Apique #3 – Prof: 1.0 m	104
Fotografía 61.	Registro de Apique #3 – Prof: 1.0 m	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Tipos de movimientos en masas.....	27
Tabla 2.	Nomenclaturas de Talud y Deslizamiento	29
Tabla 3.	Factores de seguridad básicos mínimos directos.....	33
Tabla 4.	Análisis convencionales en el diseño de taludes.....	35
Tabla 5.	Métodos de análisis de estabilidad.....	35
Tabla 6.	Análisis convencionales en el diseño de taludes.....	37
Tabla 7.	Coordenadas de la localización de cada Delta.....	46
Tabla 8.	Unidades geológicas para ingeniería identificadas en la zona de estudio	54
Tabla 9.	Subunidades geomorfológicas definidas para la zona de estudio	58
Tabla 10.	Descripción de los sismos más relevantes en el municipio de Piedecuesta	65
Tabla 11.	Determinación de los Coeficientes de Aceleración Horizontal A_a y Vertical A_v	67
Tabla 12.	Clasificación de los suelos según el número de golpes promedio.....	68
Tabla 13.	Resumen de N corregido	68
Tabla 14.	Valores del Coeficiente F_a	69
Tabla 15.	Valores del Coeficiente de F_v	69
Tabla 16.	Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del período aproximado T_a .	71
Tabla 17.	Configuración electródica de la tomografía de resistividad eléctrica PN-1..	74
Tabla 18.	Recopilación de sondeos de penetración estándar (spt).....	82
Tabla 19.	Relación de ensayos de laboratorio.....	83
Tabla 20.	Resultados de la Gradación de las muestras.....	83
Tabla 21.	Resultados de Humedad Natural.....	84
Tabla 22.	Resultados de Pesos unitarios.....	84
Tabla 23.	Resultados de Corte Directo.....	85
Tabla 24.	Perfil del suelo Sondeo 1	89
Tabla 25.	Perfil del suelo Sondeo 2	92
Tabla 26.	Perfil del suelo Sondeo 3.....	95
Tabla 27.	Perfil del suelo Sondeo 4.....	97
Tabla 28.	Perfil del suelo Sondeo 5.....	101
Tabla 29.	Perfil del suelo Apique 1	103
Tabla 30.	Perfil del suelo Apique 2.....	104
Tabla 31.	Perfil del suelo Apique 3.....	105

Tabla 32.	Resumen de los valores del N y N corregidos para los sondeos realizados en el área de estudio	107
Tabla 33.	N corregido y cálculo del N60	108
Tabla 34.	Correlación entre la resistencia a la penetración y las propiedades de los suelos	108
Tabla 35.	Características de los suelos del sitio	109
Tabla 36.	Recopilación de Ángulos de fricción interna obtenida en laboratorio	111
Tabla 37.	Ángulo de fricción para el sondeo 1	112
Tabla 38.	Ángulo de fricción para el sondeo 2	113
Tabla 39.	Ángulo de fricción para el sondeo 3	113
Tabla 40.	Recopilación de resultados de cohesión	114
Tabla 41.	Parámetros geomecánicos en el perfil de suelo hallado.	115
Tabla 42.	Escenarios evaluados en los modelos geotécnicos	119
Tabla 43.	Factores de seguridad básicos mínimos directos	120
Tabla 44.	Recopilación de resultados de la modelación y análisis de estabilidad usando el software especializado.	124
Tabla 45.	Recopilación de resultados de la modelación y análisis de las propuestas de mitigación para el sitio de estudio	134
Tabla 46.	Recopilación de resultados de la modelación del análisis estabilidad y las propuestas de mitigación para el sitio de estudio	135
Tabla 47.	Registro de perforación Sondeo 1	141
Tabla 48.	Registro de perforación Sondeo 2	142
Tabla 49.	Registro de perforación Sondeo 3	143
Tabla 50.	Registro de perforación Sondeo 4	144
Tabla 51.	Registro de perforación Sondeo 5	145
Tabla 52.	Descripción y caracterización del Apique 3	146
Tabla 53.	Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 1	147
Tabla 54.	Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 1 y 2	148
Tabla 55.	Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 3	149

Tabla 56.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 4.....	150
Tabla 57.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 3	151
Tabla 58.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 4	152
Tabla 59.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 1 y 2.....	153
Tabla 60.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 3.....	154
Tabla 61.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 6.....	155
Tabla 62.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Apique 1	156
Tabla 63.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Apique 2	157
Tabla 64.	Ensayo de humedad natural, limites líquido y plástico, peso unitario del Apique 3	158
Tabla 65.	Ensayo de Corte directo del Sondeo 2, muestra 3.....	159
Tabla 66.	Ensayo de Corte directo del apique 1, muestra 2	160
Tabla 67.	Ensayo de Corte directo del apique 2, muestra 1	161
Tabla 68.	Ensayo de Corte directo del apique 2, muestra 2	162
Tabla 69.	Ensayo de Corte directo del Sondeo 5, muestra 5.....	163
Tabla 70.	Ensayo de Corte directo del apique 3, muestra 2	164

LISTA DE ANEXOS

13.1.	ANEXO 1 – REGISTROS DE PERFORACIÓN	141
13.2.	ANEXOS 2- RESULTADOS DE LABORATORIO	146

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO-
MUNICIPIO DE PIEDECUESTA

AUTOR(ES): Ginna Alejandra Lozada Garces
Lizeth Daniela Lozada Garces

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MSc. Ing. Luz Marina Torrado Gomez

RESUMEN

El presente trabajo consiste en realizar el análisis de estabilidad de una ladera, ubicada sobre el derecho de vía que comunica municipio de Piedecuesta con el kilómetro 40 vía Cúcuta, Departamento de Santander. Se encuentra un deslizamiento traslacional activo que genera una alta amenaza por movimiento en masa, debido a las condiciones climáticas, la meteorización, las condiciones geológicas y geomorfológicas. El desarrollo del proyecto se da en tres fases. En fase uno o fase de aprestamiento, se realizó la recopilación de la información secundaria de la zona de estudio como lo es la topografía, geología, geomorfología, caracterización sísmica, y geofísica. En la fase dos o fase de campo, se realizó la investigación del subsuelo por medio de cinco sondeos SPT, y tres apiques distribuidos de forma representativa en la zona de estudio, así como también se realizó la caracterización del suelo, se halló la resistencia al corte y parámetros necesarios para la siguiente fase. En la fase tres, se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos en las dos fases anteriores, y con esta información se generó un modelo geológico- geotécnico, el cual es usado para realizar la modelación en el software especializado, y dio como resultado un factor de seguridad estático y pseudoestático por debajo de lo que está especificado por la NSR-10, por tal motivo se concluye que este talud es necesario realizar obras de remediación y mitigación, por consiguiente se proponen dos obras de estabilización. La primera propuesta consiste en realizar un perfilado, con la implementación de revegetalización de la zona, y obras de drenaje. La segunda propuesta consiste en realizar un concreto lanzado sobre toda la superficie del talud más la implementación de obras hidráulicas.

PALABRAS CLAVE:

Deslizamiento, Talud, Erosión, Inestabilidad de taludes, Obras de migración

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Landslide Stability análisis located in POZO-NEGRO municipality of piedecuesta

AUTHOR(S): Ginna Alejandra Lozada Garces
Lizeth Daniela Lozada Garces

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: MSc. Ing. Luz Marina Torrado Gomez

ABSTRACT

The purpose of this work consists of carrying out the stability analysis of a landslide ,located on the right of way that connects the municipality of Piedecuesta with kilometer 40 via Cúcuta, Department of Santander , which generates a high possibility of mass movement, due to the climate conditions, the meteorization, the geological and geo-morfological conditions. The development of the Project is given phases. In first phase or preparation, it was done, the compilation of the secondary information of the zone such as topography, geology, geomorfology, seismic and geophysical characterization. On the second phase, or field work, it was made an investigation of the underground by means of five different soundings SPT and three Wall lights representative of the study zone. In the same way, a characterization of the soil was made, in which it was found , the shear strength parameters necessary for the next phase. In the third phase, it was done the processing and analysis of the data colected in the two previous phases, and with this information , it was generated a geological- geotechnical model, which is used to model the specialized software, resulting in an static pseudostatic security factor below of what it was specified by the NRS 10. By these means, its concluded that, this in slope it is necessary to carry out mending and mitigation works, so that it is proposedes two works of stabilization. The first proposal is to carry out a well-shaped, with the implementation of revetalization of the zone and the hidraulic zones. The second proposal consists in making a concret spill over the slope, plus the implementation of hidraulic works.

KEYWORDS:

Landslide, Slope, Slope instability, Mitigation works

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Santander es una de las regiones que se caracteriza por tener un relieve montañoso, con gran variedad de geomorfología, y con altas precipitaciones, lo hace que el terreno tenga una mayor probabilidad de ocurrencia de movimientos o deslizamientos debido a estos factores; otro factor por el cual se puede presentar este fenómeno es la acción del hombre sobre las laderas.

El presente estudio se desarrolla tiene como foco principal el análisis de estabilidad de un talud ubicado en la vereda “Pozo negro” del municipio de Piedecuesta, Santander. El talud se localiza sobre el margen derecho de la vía que comunica el casco urbano de Piedecuesta con la vereda anteriormente mencionada, en las coordenadas 7°00'29.2"N, 73°01'13.4"W. El objetivo del estudio se basa en la ausencia de estudios geotécnicos en la zona y la necesidad de identificar posibles medidas de mitigación, reduciendo el grado de amenaza y riesgo que pueda afectar a los habitantes del sector.

El proyecto se desarrolló a partir de tres fases entre las cuales se resalta la fase de aprestamiento, fase de campo, y fase de oficina, obteniendo como resultado la información cartográfica, geológica, y topográfica del sector de estudio; además, mediante sondeos y apique se realizó la caracterización de los materiales y la obtención de parámetros para el análisis geotécnico en el software especializado.

El análisis geotécnico se desarrolla con la definición de los escenarios estáticos y dinámicos, mediante un software de análisis de estabilidad, donde se tienen en cuenta las condiciones naturales del terreno, la intervención de factores como: la topografía, la estratigrafía, las propiedades del subsuelo o la presencia de nivel freático, se formulan posibles soluciones que se ajusten a las condiciones de estabilidad que se encuentre el talud.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a factores naturales como lluvias intensas, meteorización, sismicidad, topografía y factores causados por el hombre y sus acciones, las laderas han presentado una mayor susceptibilidad a sufrir problemas de deslizamientos, generando inestabilidad en las zonas donde se da la intervención del hombre. Este proceso es uno de los más destructivos que pueden afectar una zona, causando pérdidas humanas, naturales y monetarias, Según Suarez 1998 [1] un 90% de las pérdidas ocasionadas a causa de un deslizamiento es evitable, sin embargo, es indispensable identificar el problema con anterioridad para que así se puedan tomar medidas de forma oportuna y no ocasione ningún tipo de daño a la comunidad.

Actualmente en la zona de ha identificado un talud ubicado en la vía que comunica la vereda pozo negro con el casco urbano del municipio de Piedecuesta, el cual desde hace varios años ha presentado deslizamientos que afectan de manera significativa a la agricultura del sector, así como al transporte de insumos que son llevados al casco urbano más cercano y a la población en general.

El principal objetivo es el de realizar el análisis de estabilidad para el talud anteriormente mencionado, y con base en esto proponer medidas de mitigación.

Las siguientes fotografías muestran el sitio de estudio y las condiciones geotécnicas, donde se observa un movimiento en masa tipo deslizamiento activo, que se encontró durante la fase de campo en el área de estudio:

Fotografía 1. Vista general del sitio, mostrando el deslizamiento interno y externo.



Fuente: Autor

En la fotografía 1, se identifica que el movimiento general es de gran escala, el cual cubre desde la parte superior sobre la vía hasta la parte inferior; para el desarrollo del proyecto se toma el deslizamiento de la parte interna de la banca de vía.

Fotografía 2. Vista general del área de estudio



Fuente: Autor

En la fotografía 2 se observa el área de estudio que corresponde a una zona de alta pendiente, geológicamente antigua específicamente se encuentran materiales metamórficos con intrusiones ígneas altamente meteorizados tanto por la acción del agua y la escorrentía directa como por las condiciones y controles estructurales, la neotectónica presente en el área que corresponde a la falla Bucaramanga – Santa Marta presenta geoformas altamente quebradas con facetas triangulares y donde se desarrollan pliegues y altas presiones resultado de esto se encuentran laderas altamente intemperizadas que son muy susceptibles a la formación de movimientos en masa

Los efectos antrópicos que se presentan como consecuencia de los cambios en los usos de suelo, áreas utilizadas para cultivos intensivos hace que se pierda la cobertura de tierra nativa se genere degradación, que surjan procesos erosivos con relativa facilidad y estos generan movimientos en masa como los que se observa.

Según lo anterior, los trazados viales a media ladera sin estabilizar han generado este tipo de afectaciones.

2. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis de estabilidad de taludes para el sitio pozo negro- municipio de Piedecuesta utilizando un software que utilice metodología de equilibrio limite.

2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Revisión de información secundaria y obtención de insumos requeridos para el análisis geotécnico.
- ❖ Realizar la caracterización del subsuelo mediante métodos directos e indirectos de exploración en campo, complementados con ensayos de laboratorio.
- ❖ Modelar el talud en mediante un software de análisis de estabilidad, en condiciones naturales del terreno y las medidas de mitigación propuestas.
- ❖ Proponer dos alternativas como medidas de mitigación.

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se desarrolla por la necesidad de proponer medidas para la mitigación del riesgo producido por el talud que se observa en la zona, donde generalmente, durante los periodos de lluvia se han registrado deslizamiento de la ladera que cubren la vía parcial o totalmente. Dichos deslizamientos afectan la movilidad del sector, la cual es fundamental para el desarrollo de las actividades económicas de la zona. Un claro ejemplo es la afectación que tienen los agricultores, ya que no pueden trasportar sus alimentos e insumos hasta el casco urbano más cercano.

Con la ejecución de este estudio se busca conocer las condiciones en las que se encuentra el terreno actualmente y proponer medidas para estabilizar el sector y así conservar la integridad de la zona.

4. MARCO CONCEPTUAL

Para desarrollar el análisis matemático de estabilidad del sitio de estudio, el cual tiene como referencia factores muy específicos obtenidos en campo, como en laboratorio, tales como: geometría del talud, parámetros de corte del subsuelo, e identificando la influencia de los parámetros externos que repercuten en la inestabilidad del talud.

Es necesario para la realización del estudio tener claridad acerca de las diversas definiciones, manejo de conceptos básicos y presentación de posibles alternativas de solución para la condición en que se encuentre el talud.

4.1. MOVIMIENTO EN MASA

Según Cruden 1991 [2], el término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros determinados por superficies de rotura

Según Vargas 1999. "Los movimientos en masa pueden ser definidos como todo un desplazamiento hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera) de un volumen de material litológico importante, en el cual el principal agente es la gravedad"

4.2. CLASIFICACIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA

Según Cruden 1991 [2], el término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Algunos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos, a veces imperceptibles y difusos, en tanto que otros, como algunos deslizamientos pueden desarrollar velocidades altas y pueden definirse con límites claros. En la figura 1, se observan diferentes esquemas de la clasificación de los movimientos en masa, estos tipos de movimientos describen la mecánica interna de cómo se desplaza la masa de roca, escombros o material suelto.

Figura 1. Clasificación de Movimientos en Masa

Material		ROCAS	ESCOBROS	MATERIAL SUELTO
Tipo de Movimiento				
CAÍDAS				
VOLTEOS				
DESPLAZAMIENTOS	Rotacional			
	Traslacional			
ESPARCIMIENTOS				
FLUJOS				
COMPLEJOS				

Fuente: Varnes 1978 [3]

4.2.1. Tipos de movimientos en masa.

Los movimientos en masa se pueden clasificar en diferentes tipos en función del tipo de ambiente y el tipo de material.

En la tabla 1, se identifican los diferentes tipos y subtipos de movimientos según la velocidad en que se desarrollan, iniciando desde caídas que son movimientos más rápidos hasta la reptación las que presentan velocidades más bajas.

Tabla 1. Tipos de movimientos en masas.

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuna Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Solifluxión, gelifluxión (en permafrost)

Fuente: Modificado de Cruden y Varnes (1996) [3]

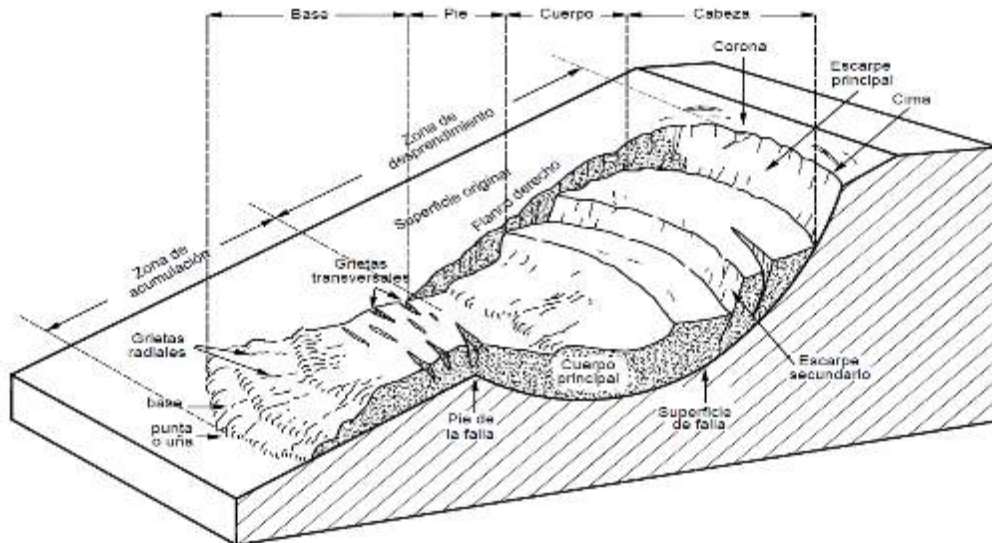
4.3. DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos son un tipo de movimiento en masa y se caracterizan por ser un movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos. [3]

En la figura 2, se define la nomenclatura de las diferentes partes del deslizamiento, caracterizándolas según la extensión de terreno que ocupa y cada elemento que compone un deslizamiento.

Figura 2. Partes de un deslizamiento



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas Tropicales Suarez 1998 [1]

3.1.1. Magnitud de deslizamiento

Según Crozier y Glade, 1999; y Ojeda et al., 2004; este término usualmente es utilizado para referirse al volumen de un movimiento en masa. Algunos autores consideran que la magnitud debe incluir parámetros adicionales como la velocidad, distancia de viaje, la deformación del terreno, el espesor de la masa desplazada y el área afectada.

Para el cálculo de volumen, se estima el área y espesor de la zona de arranque o se emplean formulas empíricas que relacionan el área de la zona de arranque con el volumen. En general se define como parámetro de magnitud el volumen de la masa potencialmente inestable. Para determinar el valor del volumen se deberá contar con un mapa en planta, en el que se detalle el contorno del movimiento potencial, y un perfil donde se pueda estimar el espesor de la masa comprometida en el movimiento.

3.1.2. Nomenclatura de un talud y un deslizamiento

Las siguientes nomenclaturas son las más comúnmente utilizadas, ya sea para el estudio de los taludes y los deslizamientos, se basa en los sistemas de clasificación propuestos por Hutchinson (1968) y Varnes (1958 y 1978) [3], actualizado por “Special Report 247” del Transportación Research Board de US. [3]

En la Tabla 2, se relacionan las partes del talud, según la localización en las diferentes zonas, y las nomenclaturas específicas de cada una de ellas.

Tabla 2. Nomenclaturas de Talud y Deslizamiento

Zonas características	Nomenclaturas de un Talud	Nomenclaturas de un Deslizamiento
Zona de desprendimiento	Zanja de Corona	Cima, Corona
	Cabeza	Escarpe Principal Cuerpo principal
	Pendiente Predominante	Escarpe secundario Superficie de falla
	Nivel Freático Altura total del talud o ladera	Flanco derecho / izquierdo
Zona de acumulación	Pie del Talud o ladera	Grietas transversales y radiales Pie de falla Base, punta o uña.

Fuente: Modificado de Deslizamientos -Vol 1, Jaime Suarez 2009 [4]

Elementos de un talud o ladera, según Suárez 2009. [4]

- ❖ **Altura:** distancia vertical entre el pie y el escarpe del talud.
- ❖ **Altura de nivel freático:** se define como la distancia que existe entre el pie del talud y el nivel donde se encuentra agua en el talud.
- ❖ **Cabeza, cresta, cima o escarpe:** corresponde al sitio donde se ubica un cambio inmediato de pendiente desde la ladera a la parte superior del talud.
- ❖ **Pie, pata o base:** corresponde al sitio donde se ubica el cambio inmediato de pendiente desde la parte inferior de talud y la ladera.
- ❖ **Pendiente:** es la inclinación que se presenta en la superficie de la ladera o talud, puede ser medida en grados o en porcentaje, y también relacionarse $m: l$.

Elementos de un deslizamiento, según Suárez 2009. [4]

- ❖ Cabeza: zona ubicada en la parte superior del material que se mueve.
- ❖ Cima: punto más alto de la cabeza.
- ❖ Corona: Material inalterado del sitio.
- ❖ Escarpe Principal: superficie que se encuentra inclinada a lo largo de un área que se encuentra en movimiento.
- ❖ Escarpe Secundario: toda la superficie que se encuentra inclinada al momento del movimiento
- ❖ Superficie de falla: área donde se puede observar que ocurre todo el movimiento.
- ❖ Pie de la superficie de falla: interceptación de la superficie de rotura y la superficie inicial de terreno antes de que ocurriera el movimiento.
- ❖ Base: zona donde se encuentra el material transportado.
- ❖ Punta o uña: lugar donde termina el deslizamiento.
- ❖ Cuerpo principal del deslizamiento: se define como todo el material que se ha movido, sobre la superficie de falla del talud.
- ❖ Superficie original del terreno: parte más baja del movimiento, la cual se conserva intacta después del deslizamiento.
- ❖ Derecha e izquierda: mediante este término se puede definir en qué dirección sucedió el desplazamiento, ya sea norte, sur, este, oeste. [4]

4.4. MECANISMOS DE FALLA

Un mecanismo de falla es la manera en que se una explicación técnica de la estabilidad de un talud, y como se produce el deslizamiento debido a agente como deterioro de la ladera o agentes detonadores.

Es de gran importancia como está constituido el talud, de esta manera analizar cual es su comportamiento, ya que aparentemente puede verse estático, pero realmente se encuentra en constante movimiento. El diagnostico de estas características es de vital importancia para poder recrear las condiciones en el software, con ello poder hacer un diagnóstico adecuado para las medidas de remediación y que los procedimientos de estabilización sean efectivos. [4]

4.4.1. Modelos conceptuales y determinísticos

Un modelo conceptual es aquel que da explicación al comportamiento de un talud, según sus características físicas, químicas y ambientales, y como intervienen los factores que están afectando un posible deslizamiento. Este modelo se puede presentar de forma gráfica o forma escrita, donde se pueden incluir esquemas en planta y perfil.

Posterior a la realización del modelo se procede a ejecutar el análisis determinístico o cálculo de factor de seguridad, es decir dicho análisis debe ser una representación matemática del modelo conceptual.

Este modelo debe ser de fácil entendimiento y descartar información que no sea necesaria o determinante en el momento de hacer el análisis de estabilidad. [4]

4.4.1.1. Procedimiento para la elaboración del modelo conceptual

Las siguientes actividades se deben desarrollar para llevar a cabo el modelo conceptual:

- ❖ Caracterización de los elementos fundamentales.
- ❖ Representación gráfica y descripción escrita de cada uno de los elementos encontrados.
- ❖ Elaboración del modelo grafico en planta y en perfil de los elementos. Donde se incluye comportamiento a futuro del talud.
- ❖ Elaboración de modelos matemáticos o determinísticos para calibrar el modelo conceptual.
- ❖ Calibración del modelo analizando los movimientos existentes. [4]

4.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad tiene como fin evaluar la posibilidad de ocurrencia de un evento, donde se genere deslizamiento de masa de suelo existente, ya sean taludes artificiales o laderas naturales. Los análisis se basan en la implementación de esfuerzos movilizados (τ_{mov}) con la resistencia al corte, y con ello se define un factor de seguridad dado por:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \left| \begin{array}{l} > 1 \rightarrow \text{obra estable} \\ = 1 \rightarrow \text{ocurre la falla del talud} \end{array} \right.$$

$\left| < 1 \rightarrow \text{no tiene significado físico} \right.$

Donde:

τ_f = resistencia cortante promedio del suelo.

τ_d = esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

En un proyecto se emplea el valor admisible del factor de seguridad $FS(adm)$, el cual se debe alcanzar y varía en función de la vida útil y el tipo de obra. [5]

4.5.1. Factor de seguridad:

Este factor es empleado para conocer el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Dicho factor según Fellenius (1922) se da por la relación entre la resistencia al corte real y los esfuerzos de corte críticos que tarde en producir una falla, desarrollado a lo largo de una superficie de falla, se dan las siguientes relaciones:

$$FS = \frac{\text{Resistencia al cortante disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}, \quad FS = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

También se pueden estudiar diferentes métodos para desarrollar el valor del factor de seguridad, tales como: método de tajadas, dovelas y considerar cada tajada por separado. [6]

Para determinar la resistencia al cortante, se deben usar las siguientes ecuaciones usando la cohesión y la fricción, expresándose de la siguiente manera. [7]

❖ $\tau_f = c + \sigma' * \tan \phi'$, donde:

c = Cohesión

σ' = Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla

ϕ' = Ángulo de fricción

❖ $\tau_d = C_d + \sigma' * \tan \phi_d$, donde C_d y ϕ_d son, cohesión efectiva y ángulo de fricción a lo largo de superficie de falla.

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la primera ecuación de factor de seguridad, se da de la siguiente manera: [7]

$$FS = \frac{c + \sigma' * \tan \phi'}{C_d + \sigma' * \tan \phi_d}$$

4.5.2. Valores del factor de seguridad geotécnico básico Fsb

Para hacer la selección de este factor de seguridad se debe tener en cuenta los siguientes ítems:

- ❖ La magnitud de la obra
- ❖ Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- ❖ La calidad de la información disponible en materia de suelos. [8]

El requisito fundamental para la implementación de los factores de seguridad Fsb, es que no deben ser inferiores que datos observados en la tabla 3.

En la tabla 3, se presentan los factores de seguridad básicos mínimos, estos hacen referencia a los valores nominales sin coeficientes de mayoración.

Tabla 3. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + Carga Viva Normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Carga muerta + Carga Viva Máxima	1,25	1,10	1,40	1,15
Carga muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1,10	1,00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes - Condiciones Estáticas y Agua Subterránea Normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Taludes - Condición Seudo - estática con agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1,05	1,00	No se permite	No se permite

Fuente: Tomado y adaptado del Reglamento Sismo Resistente NSR-10 [8]

4.5.3. Procedimiento general para el análisis de estabilidad

El siguiente procedimiento se desarrolla generalmente para el análisis de estabilidad, que ofrece un margen de seguridad adecuado, sin perder de vista las condiciones reales del sitio y considerando las condiciones económicas. [7]

- ❖ Diseño preliminar: se hace un estimado de problemas potenciales, donde se toma en cuenta los requisitos técnicos, económicos y se evalúan las condiciones iniciales.
- ❖ Investigación de campo: Se lleva a cabo la exploración, ensayos in situ y en laboratorio.
- ❖ Idealización: también llamado modelado de las condiciones que se presentan, incluyendo el estado de los esfuerzos, las propiedades de los materiales, y los mecanismos potenciales de falla.
- ❖ Análisis: este análisis es el que nos arrojará los resultados numéricos, las conclusiones y recomendaciones para el diseño.
- ❖ Diseño: está basado en los previos resultados, el buen criterio ingenieril y la experiencia práctica, así mismo se tiene en cuenta: los criterios de diseño, el concepto de diseño, las dimensiones de la estructura y los detalles, por último, se realiza las especificaciones y recomendaciones de construcción.

Es de gran importancia enfocarse en los siguientes errores los cuales pueden dificultar el desarrollo del análisis de estabilidad:

- ❖ Los datos de entrada irreales o errados.
- ❖ El análisis irreal en el diseño.
- ❖ Los criterios de diseño insuficientes.
- ❖ El diseño poco práctico.
- ❖ Documentos contractuales deficientes.
- ❖ En el momento de la ejecución de planes de mitigación, no se tiene en cuenta los diseños para el control de deslizamientos [7]

4.5.4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Para desarrollar el análisis de estabilidad se encuentra una gran variedad de métodos, en donde se tienen en cuenta diversos factores, dichos métodos se encuentran categorizados

en dos grandes grupos que son: el concepto de equilibrio límite y el concepto de elementos finitos.

En la tabla 4, se pueden observar características fundamentales de cada tipo de análisis, relacionando el enfoque, el análisis de equilibrio límite y el análisis de elementos finitos.

Tabla 4. Análisis convencionales en el diseño de taludes.

Enfoque	Análisis de equilibrio límite	Análisis de elementos finitos
Características	Se desarrolla análisis bidimensional, tridimensional, masa rígida o semirrígida.	Se desarrolla análisis bidimensional, tridimensional, material de comportamiento elástico lineal, no lineal, Con o sin resistencia a la tracción. Con o sin discontinuidades.
Datos de entrada	Estos métodos tienen en cuenta: Geometría, modo de falla, parámetros de c , ϕ , factor agua, empuje hidrostático, fuerzas de infiltración, presiones neutras.	Estos métodos tienen en cuenta: la geometría, campo de esfuerzo natural, roca, discontinuidades, presiones neutras y agua.
Resultados	Factores de seguridad.	Campo de esfuerzos, campo de deslizamiento.
Limitaciones	No considera deformaciones	Por lo general admite únicamente desplazamientos pequeños.

Fuente: Tomado de libro *Geotecnia para el trópico andino*. [7]

En el análisis de estabilidad se usará el método de equilibrio límite, el cual supone que una falla tiene fuerzas resistentes y actuantes son iguales a lo largo de la superficie de falla y equivalen a un F.S. de 1,0.

En la tabla 5, se presentan los métodos más usados para realizar el análisis de estabilidad, lo cuales desarrollan iteraciones y poseen diferentes grados de precisión:

Tabla 5. Métodos de análisis de estabilidad.

Método	Superficie de falla	Equilibrio	Características
Ordinario o Fellenius (1922)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta la fuerza entre dovelas. En este método se asumen superficies de falla circulares, y por tanto se divide el área de falla en tajadas verticales, obteniendo de cada tajada las fuerzas actuantes y resultantes; se obtiene el factor de seguridad con la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo (producido por estas fuerzas).

Bishop simplificado (1927)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas, son igual a cero. Este es uno de los métodos más usados actualmente, los resultados se consideran muy precisos en comparación al método ordinario. Su principal restricción es que únicamente considera las superficies circulares.
Janbú Simplificado (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza cortante entre dovelas. Este método con considera solamente superficies circulares, por ello plante un factor de corrección f_0 , este depende de la superficie de falla que se este dando.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Fuerzas y Momentos	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas. Con el planteamiento de las ecuaciones de fuerza y equilibrio de momentos, se resuelven las incógnitas del Factor de seguridad y el ángulo de inclinación de las fuerzas entre dovelas. Este método es considerado muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría del talud, perfiles de suelo, siendo un proceso más complejo y sencillo para el cálculo de F.S.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Fuerzas y Momentos	La inclinación de las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria. Este método asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y fuerzas normales entre dovelas. Es uno de los métodos precisos, aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo.

Fuente: Tomado de Deslizamientos -Vol 1, Jaime Suarez 2009 [4]

4.5.5. Parámetros fundamentales para el análisis de estabilidad

Los siguientes son algunos de los parámetros fundamentales para llevar acabo el análisis de estabilidad de taludes:

- ❖ **Ángulo de Fricción:** este ángulo es la representación matemática para el coeficiente de rozamiento, también depende de los siguientes factores: el tipo de material constitutivo de las partículas, tamaño de los granos ($>$ tamaño $>$ ϕ , $>$ partículas angulosas), distribución de las partículas ($\phi >$ suelos bien gradados), densidad, permeabilidad, presión normal o presión de preconsolidación.

❖ **Cohesión:** es la medida de adherencia entre las partículas de suelo. Con ella se representa la resistencia al cortante del suelo que es provocada por la cementación entre las partículas.

En suelos mayormente granulares, los valores de cohesión tienden a cero; cuando se presentan suelos saturados, debido a la presión negativa o fuerzas capilares se da la “cohesión aparente”.

4.6. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Las obras de estabilización son actividades que intervienen las condiciones naturales del terreno, donde se modifican las formas y en muchas ocasiones de vital importancia para estabilizar un terreno que ya ha fallado.

En la tabla 6, se resumen los métodos de estabilización, relacionando la categoría de posible solución, la forma en que actúan en las condiciones naturales, el tipo de aplicación que tiene en las superficies deslizadas y la limitación que cada uno de ellos presenta.

Tabla 6. Análisis convencionales en el diseño de taludes.

Categoría	Actuación	Aplicación	Limitaciones
Evitar el problema	<ul style="list-style-type: none"> - Cambiar el emplazamiento de la obra - Instalación de puentes. - Retiro de material inestable. 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavaciones de pequeños volúmenes. - En laderas con movimientos superficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos costos si está realizando el proyecto. - Costos elevados, no es aconsejable con grandes deslizamientos. - Puede no proporcionar el soporte lateral para restar el movimiento.
Reducir las fuerzas desestabilizadoras	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio de pendiente. - Instalación de drenaje superficial. - Instalación de drenaje subterráneo. - Reducir el peso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Durante la fase de diseño. - Es necesario la implementarlo como medida complementaria. - En taludes para reducir la presión hidrostática. - En cualquier proceso de inestabilidad potencial o real. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere mayores volúmenes de movimientos en tierras. - Puede dificultarse la conducción debido a los taludes escarpados. - Cuando las aguas freáticas son muy localizadas, difíciles de interceptar. - Se requiere movimiento de tierra y escombreras para la disposición de los materiales.

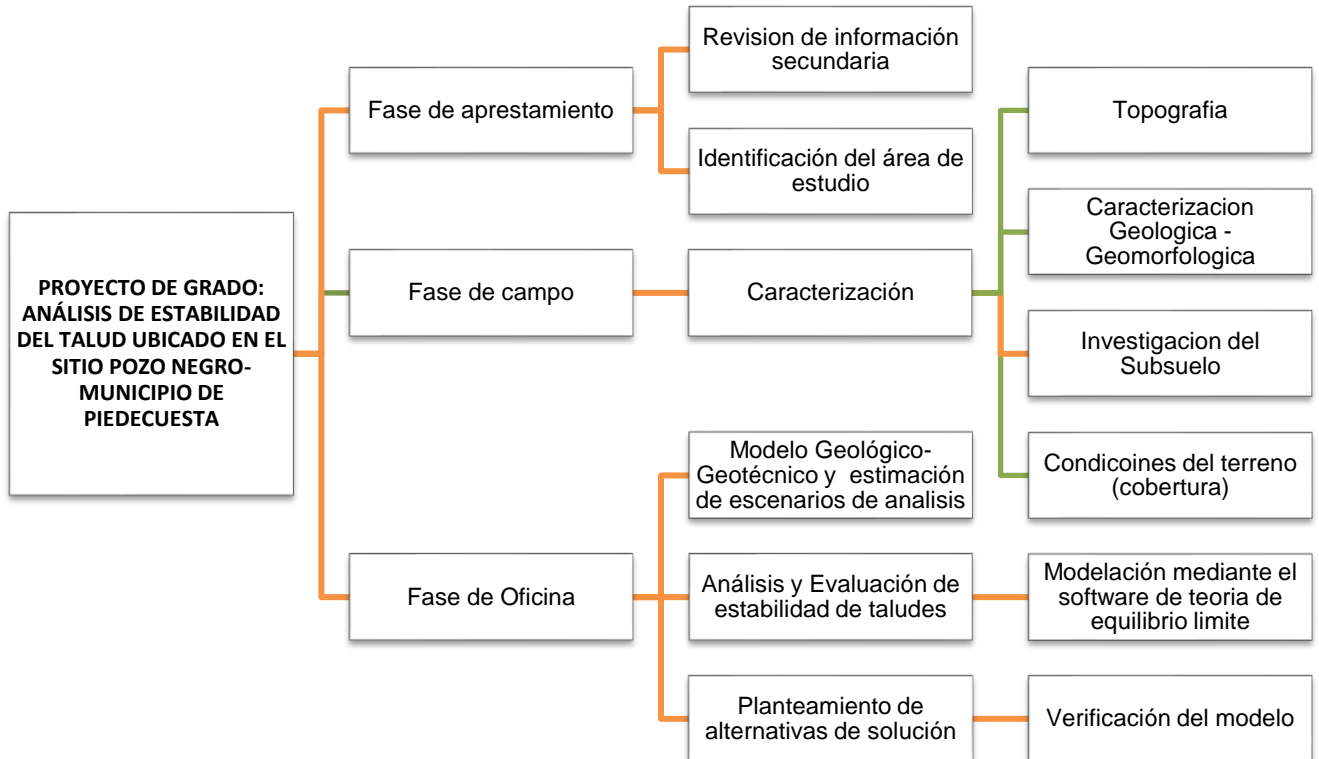
Categoría	Actuación	Aplicación	Limitaciones
Incremento de los esfuerzos resistentes aplicando fuerzas externas	<ul style="list-style-type: none"> - Contrafuertes o muros. - Instalación de anclajes. 	<ul style="list-style-type: none"> - En deslizamientos existentes en combinación con otros métodos. - En lugares con limitaciones de espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede presentar problemas de asentamiento y requiere espacio para realizar la estructura. - Requiere resistencia del suelo a las fuerzas de cortante de los anclajes.
Incremento de la resistencia interna	<ul style="list-style-type: none"> - Drenajes profundos. - Muros de tierra armada. - Instalación de refuerzo in situ. - Bioingeniería. - Tratamiento químico. - Electroósmosis. - Tratamiento térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - En deslizamiento con nivel freático por encima de la superficie de falla. - En escarpes negativos donde se requiere construir superficie. - Taludes de altura moderada. - Cuando el plano de falla está bien definido. - Para reducir la sensibilidad de las arcillas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere equipo especializado. - Se requiere mayor durabilidad de los materiales. - Puede ser reversible y no se ha comprobado a largo plazo. <p>Costos muy altos en la ejecución y el mantenimiento.</p>

Fuente: Tomado de libro *Geotecnia para el trópico andino*. [7]

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo del presente proyecto se llevará a cabo desarrollando la siguiente metodología presentada en la figura 3:

Figura 3. Metodología propuesta para análisis geotécnico y de estabilidad del área de análisis.



Fuente: Autor

5.1. FASE DE APRESTAMIENTO

En esta fase se realiza la planificación y la definición del cronograma de actividades, se realiza recopilación, revisión y consolidación de la información existente, en esta etapa se construirá la base de apoyo documental existente sobre el área de estudio o de la zona de influencia.

- ❖ **Revisión de información secundaria:** durante la ejecución de esta actividad se realiza la consulta y recopilación de la información relevante con relación a los métodos de estabilización y técnicas de remediación, también se realiza la investigación y la

adquisición de la siguiente información: información topográfica, c geomorfología, procesamiento de ensayos geofísicos.

- ❖ **Identificación del área de estudio:** esta actividad se desarrolla en una fase preliminar, donde se define la localización del sitio de estudio, se define los sitios donde se realizará la exploración.

5.1.1. Localización general de la zona de estudio

La zona donde se realizó el análisis de estabilidad está localizada en la vereda Pozo negro, del municipio de Piedecuesta, a 8,8 km del casco urbano, a una altura de 1840 metros sobre el nivel del mar.

Ubicándose en el borde interno de la vía que comunica el municipio de Piedecuesta con dicha vereda. Geográficamente se ubica en las coordenadas $7^{\circ}00'29.2''N$, $73^{\circ}01'13.4''W$, formando parte del área territorial del departamento de Santander.

En la figura 4, se observa la localización del sitio de estudio según una fotografía aérea, tomada y modificada de Google earth.

Figura 4. Localización del sitio objeto de investigación



Fuente: Tomado de Google Earth

5.1.2. Características físicas

El municipio de Piedecuesta se encuentra a unos 17 kilómetros de Bucaramanga, formando parte de su área metropolitana. Dentro de las características encontradas se destacan: los valles, mesetas, montañas y colinas, dichos accidentes son demarcados por la variada climatología del área, pasando de las altas temperaturas de pescadero a la neblina del páramo.

Las fotografías 3, fotografía 4 y fotografía 5, son tomadas por medio de vuelos de reconocimiento con drones, donde se observa el sitio de estudio y las condiciones geotécnicas de la zona, caracterizando un movimiento en masa activo, que se encontró durante la fase de aprestamiento en el área de estudio:

Fotografía 3. Vista Superior del sitio de estudio.



Fuente: Autor

En la fotografía 3, se identifica un movimiento en masa, identificado como traslacional, ya que la masa de suelo que fue transportada se trasladó sobre la superficie de falla hacia afuera y hacia abajo, debido a las altas pendientes de la zona, el material se deformó pudiendo convertirse en un flujo.

El material encontrado es un suelo residual y relicto muy meteorizado del neis de Bucaramanga, encontrándose un material compuesto de arenas limosas.

Fotografía 4. Vista frontal del sitio de estudio y definición de partes de un deslizamiento.



Fuente: Autor

En la fotografía 4, se hace la identificación de los diferentes elementos del deslizamiento, tales como: la corona de la ladera, la superficie natural, el escarpe principal, el escarpe secundario y pie de la ladera.

Debido a que el material de la zona es residual con alto nivel de meteorización, la superficie de falla por lo general coincide con la zona donde hay cambio de estratos, entre los competentes con mayor resistencia al cortante y los superficiales, no competentes.

Fotografía 5. Vista lateral del sitio de estudio y definición de partes de un deslizamiento.



Fuente: Autor

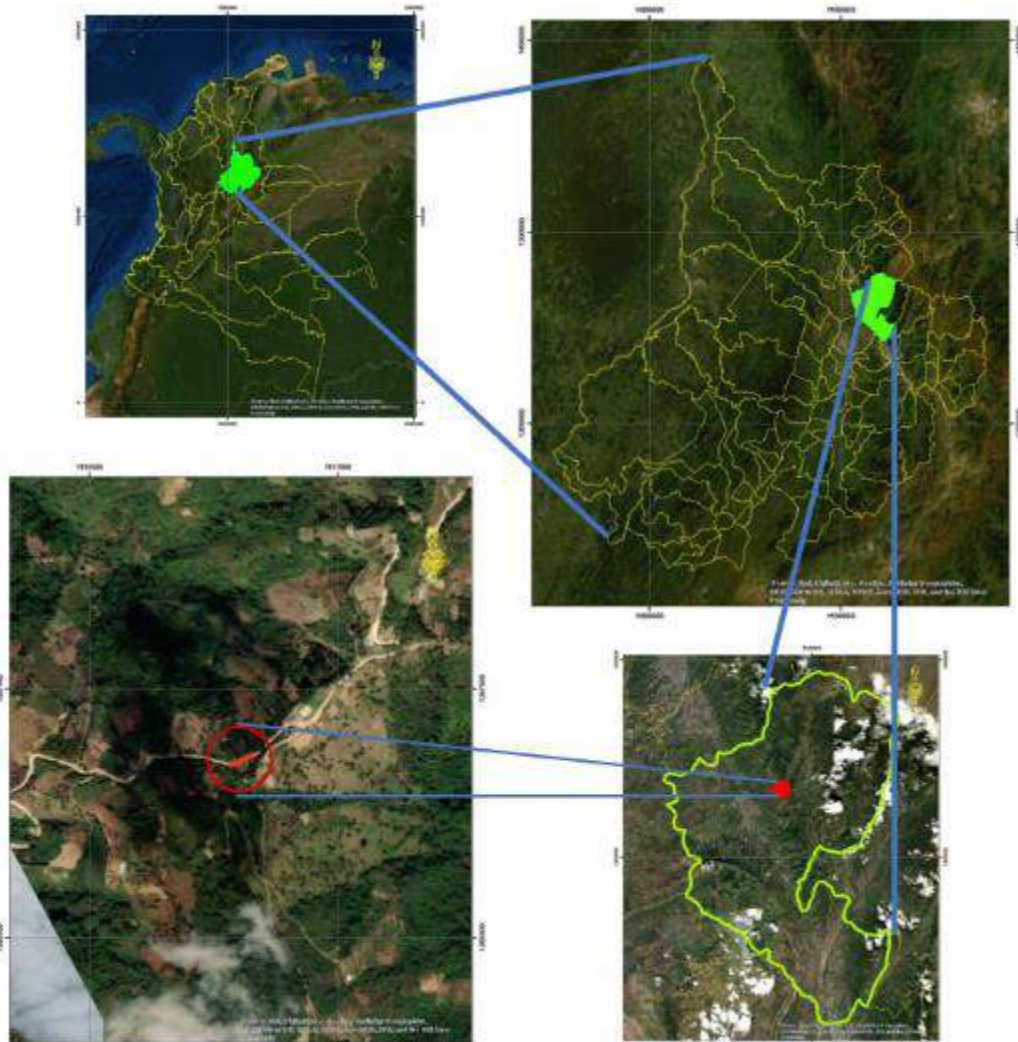
En la fotografía 5, se identifica las partes que tiene el talud de estudio, donde se evidencia la presencia de los procesos de denudación o erosión, observando el sector que fue desprendido, y donde posteriormente se depositó.

5.1.3. Topografía del área de estudio

Se encontró información secundaria acerca del levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico realizada por Ingeotek b sas, en donde se observa el estado actual del deslizamiento ubicado en las coordenadas ESTE 1116807.322 Y NORTE 1266857.256 sobre la vía de la vereda Granadillo que conduce a la vereda Faltriquera del municipio de Piedecuesta Santander.

En la figura 5, se observa la localización general de la zona de estudio.

Figura 5. Localización Levantamiento topográfico deslizamiento Vía Vereda Pozo negro



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

❖ Desarrollo del levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico tiene aproximadamente un área de 4900 m² en el deslizamiento, detallando el talud de lado y lado de la vía, ver figura 6.

Se georreferenció el levantamiento topográfico con un GPS marca Garmin 64s con el cual se tomó las coordenadas de 2 puntos con una distancia aproximada de 80 metros y así obtener el azimut de partida. D1 y una referencia (R1).

Se realizó secciones transversales cada 5 metros en una longitud total de 60 metros aproximadamente a lo largo de la vía, a partir del eje de vía y a lado y lado del talud

detallando el borde vía, el eje de vía, cunetas, alcantarillas la línea de tomografía geo eléctrica, línea de refracción sísmica y los sondeos de penetración estándar. (SPT) y apiques.

En la figura 6, se presenta el levantamiento topográfico del deslizamiento

Figura 6. Levantamiento topográfico deslizamiento Vía Vereda Pozo Negro.



Fuente: Suministrado por la empresa Ingeotek B

DELTA D-1:

Ubicado sobre el borde izquierdo de la vía en sentido Vereda Granadillo hacia Vereda Faltriquera, al oeste del levantamiento ver fig. 2, materializada estaca de madera y puntilla

de acero denominado como delta D-1 con el siguiente par de coordenadas y cota, ver figura 12.

DELTA D-2:

Ubicado sobre el borde de talud izquierdo del talud de en sentido Vereda Granadillo hacia Vereda Faltriquera, en el centro del levantamiento ver figura 12, materializada estaca de madera y puntilla de acero denominado como delta D-2 con el siguiente par de coordenadas y cota.

En la tabla 7, se relacionan las coordenadas de cada uno de los Deltas.

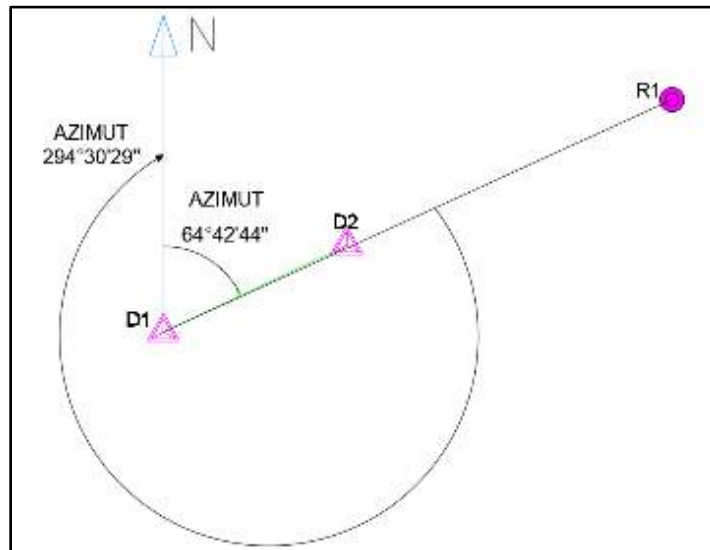
Tabla 7. Coordenadas de la localización de cada Delta

DELTA 1	DELTA 2
E= 1116779.000	E= 1116804.396
N= 1266847.000	N= 1266858.998
Z= 1843.000	Z= 1843.338

Fuente: Suministrado por la empresa Ingeotek B

En la figura 7, se presenta la localización de cada delta usados para el levantamiento topográfico.

Figura 7. Localización de cada delta



Fuente: Suministrado por la empresa Ingeotek B

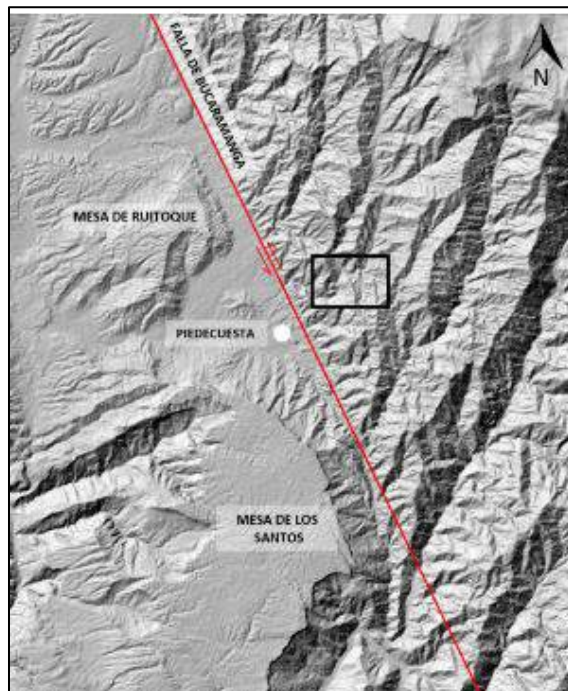
5.1.4. Geología regional

Se encontró información secundaria acerca de la geología del lugar del sector realizada por Ingeotek b sas, y se localiza sobre el macizo de Santander, ubicado hacia el este del casco urbano del municipio de Piedecuesta. El Macizo de Santander corresponde a un alto topográfico sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental, constituido especialmente por rocas ígneas y metamórficas, y de menor importancia por formaciones sedimentarias (INGEOMINAS, 2007).

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander están representadas por las formaciones metamórficas: a) **Neis de Bucaramanga** de edad Precámbrico (Restrepo et al., 1997; Cordani et al., 2005 en Mantilla et al., 2009), b) **Esquistos del Silgará**, considerada de edad Precámbrica (Ward et al., 1973; García y Ríos, 1999; Castellanos et al., 2004 en Mantilla et al., 2009), c) **Ortoneis**, considerada de edad Devónico Inferior a Ordovícico, el cual intruye a la Formación Silgará y tiene una composición granítica a tonalita y diorita (Ward et al., 1973; Restrepo, 1995; Royero y Clavjio, 2001, en Mantilla et al., 2009).

En la figura 8, se observa la localización geológica general de la zona de estudio.

Figura 8. Localización geológica general de la zona de estudio



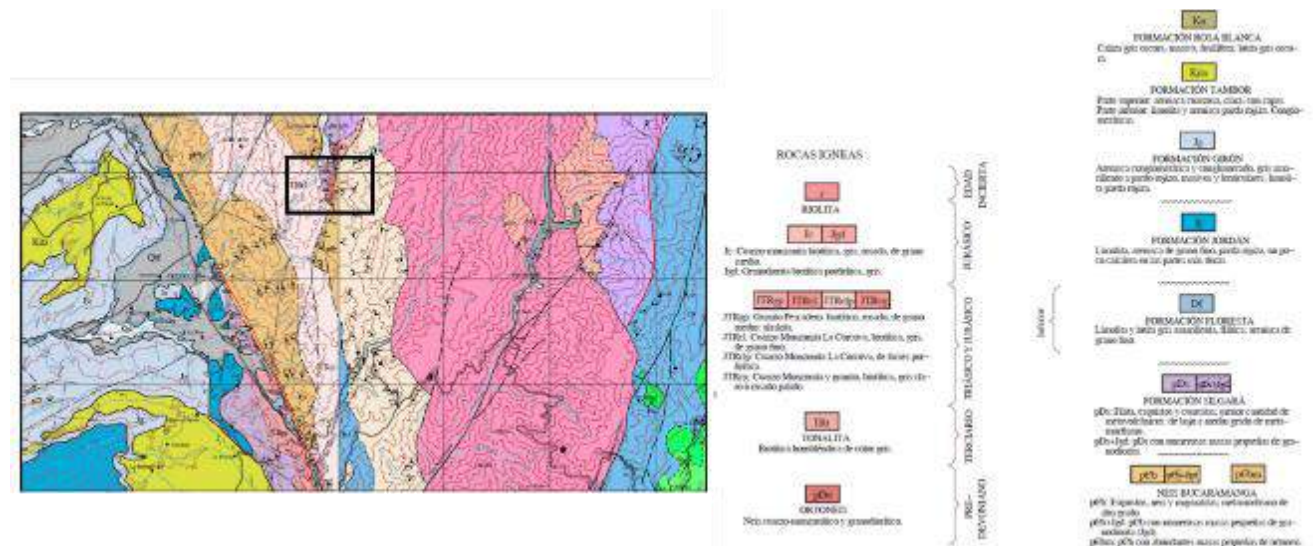
Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

Estructuralmente, debido al escape de los Andes del Norte hacia el Noreste (Egbue, et al., 2014) en esta zona se pueden presentar los tres tipos de deformación (con fallas normales, inversas y de rumbo), pero con predominio de transcurrancia (Kammer, 1999; Taboada et al., 2000; Sarmiento, 2001; Cediell, et al., 2003; Velandia, 2005; Acosta et al., 2007 en Velandía et al., 2017). De esta forma, la estructura de mayor representatividad y acción en la zona corresponde a la Falla de Bucaramanga, una estructura transcurrente que se localiza en sentido NW-SE y corresponde al límite oeste del basamento del Macizo de Santander (Campbell, 1965; Tschanz et al., 1989, 1974 en Ureña, C., 2014).

5.1.5. Unidades litoestratigráficas y geología estructural

En la figura 9, se describen las unidades litoestratigráficas aflorantes en los alrededores de la zona de estudio, además de las estructuras geológicas principales que afectan el área en cuestión.

Figura 9. Mapa geológico donde se ubica la zona de estudio



Fuente: Tomado y modificado de las planchas del cuadrángulo H12 y H13, INGEOMINAS, 1973.

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS:

- ❖ **Neis de Bucaramanga (Peb):** esta unidad ha sido descrita como una secuencia estratificada de rocas metasedimentarias de alto grado metamórfico que consisten principalmente de paraneis pelítico, semi-pelítico y arenáceo; esquistos y cantidades subordinadas de neis calcáreo, mármol, neis hornbléndico y anfibolita. El Neis de

Bucaramanga se deriva primariamente de rocas sedimentarias y según Ward et al., 1973, la unidad presenta tres franjas, de entre las cuales, la faja de Bucaramanga corresponde a la zona de estudio. La faja de Bucaramanga consiste en meta-pelitas, semi-pelitas y meta-areniscas intercaladas con capas delgadas locales de rocas calcosilicatadas y mármol (Ward, et al., 1973).

Esta unidad es observada en cercanías a la zona de estudio, y se encuentra intruida por materiales ígneos, entre los cuales se resaltan cuerpos de rocas con alto contenido de cuarzo, feldespato potásico, hornblenda y moscovita, descritas como tonalitas; además de lo anterior, se pueden apreciar venas de cuarzo intruyendo los afloramientos como se muestra en la fotografía 6:

Fotografía 6. Intrusión de cuerpos ígneos en la zona, además de vetas de cuarzo

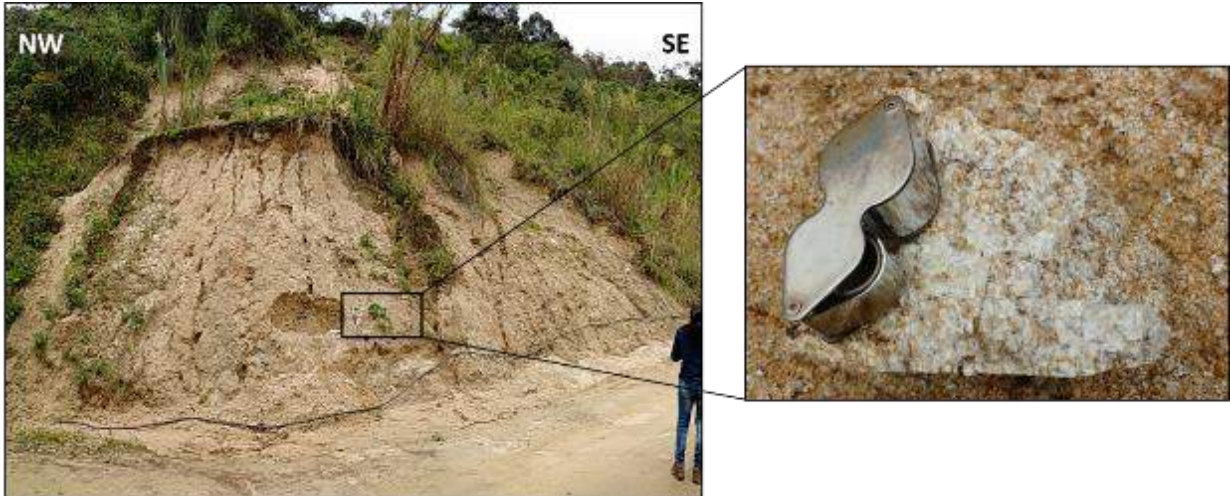


Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

Los materiales ígneos intrusivos identificados en la zona hacen parte de los materiales que han sido transportados durante las diferentes fases de deslizamiento que ha presentado el talud, por lo cual, en la zona se observa que el talud está conformado por suelos residuales de rocas tonalíticas, donde aún se puede observar la distribución de los minerales en la roca, además de los minerales que allí se presentan alteraciones.

En la fotografía 7, se presentan los materiales que fueron identificado en el talud de estudio.

Fotografía 7. Materiales identificados en el talud de estudio



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

❖ **Ortoneis (pDo):** Esta unidad corresponde a un neis cuarzo feldespático que va en composición desde granito a tonalita, y se encuentra altamente distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado de metamorfismo de edad pre-devonica que conforman el núcleo del macizo de Santander. Estas rocas son en general, rocas masivas, pero contienen tabiques de rocas metasedimentarias foliadas y cortinas delgadas de neis hornbléndico y anfibolita, algunas de las cuales parecen diques metamorfoseados (Ward et al., 1973).

En cuanto a la distribución general del ortoneis, la mayor parte se encuentra hacia el norte de la zona de estudio, hacia el suroeste y noroeste de Berlín. Se presenta en cuñas angostas que se extienden al sur hasta sitios como Chitagá y Silos, y en granjas fallas al oeste de Pamplona (INGEOMINAS, 1973). Esta unidad hace parte de las rocas que conforman el macizo de Santander, sin embargo, no fue identificada para la zona donde se realiza el estudio, ya que la unidad predominante corresponde al Neis de Bucaramanga, en conjunto con las rocas que la intruyen.

❖ **Formación Silgará (pDs):** Esta unidad corresponde a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas, típicamente delgada y cíclicamente estratificadas, que consta de pizarras, filitas, meta-limolitas, meta-areniscas impuras, meta-wacas y meta-wacas guijarrosas con menos cantidades de pizarras y filitas calcáreas. Esta formación toma

el nombre de la quebrada Silgará, ubicada al sur del río Cachirí, donde gran parte de la formación está bien expuesta. La zona de esta unidad más cercana al área de estudio se localiza al sur de Piedecuesta, hasta Aratoca, y se encuentran bien expuestas a lo largo de la carretera Bucaramanga – San Gil, al sur de pescadero y en parte de la carretera que conduce desde Los Curos a Los Santos (Ward, et al., 1973).

5.1.6. Geología estructural

❖ **Falla de Bucaramanga:** Como se mencionó anteriormente, la falla de Bucaramanga corresponde a la estructura con mayor acción en la zona, generando diferentes tipos de deformaciones, plegamientos, y zonas de debilidad sobre la parte oeste del Macizo de Santander. La falla de Bucaramanga ha sido ampliamente estudiada por diversos autores. Esta estructura presenta una dirección aproximada N20°O, cuyo trazo se expresa claramente en imágenes satelitales y fotografías aéreas, por la ocurrencia de facetas triangulares, lineamientos, drenajes capturados, lagunas de falla y lomos de obturación (Royero y Clavijo, 2001); la falla de Bucaramanga ha sido definida en la sección cercana al municipio de Bucaramanga como una estructura de rumbo sinistral, con movimiento inverso en la vertical (Paris, et al., 2000; Diederix et al., 2008 en Araque y Otero, 2016). Sin embargo, autores como Campbell (1965) en Royero y Clavijo (2001), Toro (1990), entre otros, definen principalmente su movimiento transpresivo, y no definen evidencias claras para movimientos verticales de la estructura.

En la zona donde se realiza el presente estudio no se encontró evidencias de la acción de la falla directamente en el área, sin embargo, en fotografías aéreas y los mapas geológicos de la zona se observan cambios en el rumbo de los drenajes y facetas triangulares.

5.1.7. Geología local

La dinámica de la tierra conlleva a la modificación constante de las rocas que afloran en superficie en las diferentes zonas del planeta. La geología local corresponde a las rocas o suelos que pertenecen a las diferentes unidades litoestratigráficas, sin embargo, sus características de dureza, grado de meteorización, tipos de minerales, entre otras, hacen que sean diferenciables para generar una caracterización mucho más detallada del terreno, definiendo las unidades geológicas superficiales; de esta forma, las Unidades Geológicas

Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto de materiales geológicos homogéneos que afloran en la superficie y que provienen del mismo origen, conservando las mismas características hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie (Hermelín, 1985 e INGEOMINAS, 2004b en SGC, 2017).

La caracterización de la geología local en el área de estudio se llevó a cabo a partir de la información recolectada durante la fase de campo, en conjunto con los resultados obtenidos a partir de los sondeos realizados en la zona; así, una vez identificados cada uno de los materiales encontrados se definen las unidades geológicas para ingeniería.

5.1.8. Unidades geológicas para ingeniería

Las unidades geológicas para ingeniería son consideradas el insumo más importante desde el punto de vista de homogenización de las características ingenieriles de los materiales en un área de estudio. Estas UGI permiten diferenciar tres aspectos fundamentales para obtener los modelos que permiten realizar los análisis de estabilidad:

- ❖ Diferenciar los materiales aflorantes entre suelo y roca.
- ❖ Definir los espesores de suelo o las características estructurales del macizo rocoso.
- ❖ Caracterizar los materiales de acuerdo a sus propiedades mecánicas.

Criterios para la definición de las unidades geológicas para ingeniería

Para definir las unidades geológicas para ingeniería (UGI) se deben delimitar zonas homogéneas con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características del área y espesores de acuerdo con la escala de trabajo. Estas unidades de geología para ingeniería se clasifican como rocas o suelos a partir de 4 grandes grupos: Rocas, suelos residuales y saprolitos, suelos transportados y suelos antrópicos.

La descripción y caracterización de las UGI se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales: génesis, litología (composición y textura), propiedades ingenieriles, grado de meteorización y rasgos estructurales. Estas características fueron establecidas mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración de campo, muestreo de

suelos y rocas y ensayos índice, los cuales fueron completados con exploración del subsuelo, ensayos in situ y análisis de laboratorio.

De esta forma, a continuación, se enlistan los parámetros tenidos en cuenta para definir las unidades geológicas superficiales en la zona:

- a) **Génesis:** corresponde al origen del material, lo cual puede ser clasificada como suelo residual, suelo transportado, suelo antropogénico, entre otros (SGC, 2017).
- b) **Litología:** trata de la composición mineralógica de las rocas y suelos y de la forma como dichos componentes se interrelacionan (SGC, 2017).
- c) **Propiedades ingenieriles:** desde el punto de vista ingenieril cada tipo de roca o suelo tiene unas propiedades que se relacionan de manera directa con su origen y composición y, por consiguiente, con el comportamiento geomecánico de los materiales cuando se encuentran expuestos en superficie, entre estas se incluyen: dureza o resistencia, consistencia, condición de humedad, densidad relativa y compacidad (SGC, 2017).
- d) **Clasificación geomecánica:** esta clasificación hace referencia principalmente a los macizos rocosos, teniendo en cuenta principalmente el índice geológico de resistencia, estimando propiedades de resistencia de dichos materiales (SGC, 2017).
- e) **Grado de meteorización:** Este parámetro se define empleando los perfiles generalizados de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991) en SGC, 2017.
- f) **Rasgos estructurales:** Este parámetro representa una serie de procesos geodinámicos que se relacionan con la deformación en la corteza, y pueden llegar a generar fracturas, fallas, lineamientos y/o diaclasas en los materiales (SGC, 2017).

Con base en la categorización anterior, las unidades geológicas para ingeniería fueron identificadas a partir de la realización de 5 sondeos con variables profundidades, entre las cuales la profundidad mayor es de 5 metros. En general, se pudo observar (a partir de la información de campo) que en la zona se observa principalmente suelo residual, producto de la meteorización y erosión de rocas ígneas intrusivas en el Neis de Bucaramanga. La información fue constatada de acuerdo a los materiales obtenidos de las perforaciones de SPT y rotación realizados sobre el área de influencia del talud, con una distribución espacial adecuada para visualizar la continuidad y comportamiento estratigráfico de la secuencia litológica presente en el suelo.

En la tabla 8, se describen las unidades geológicas superficiales identificadas para la zona:

Tabla 8. Unidades geológicas para ingeniería identificadas en la zona de estudio

UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERIA		
CLASE	UNIDAD	NOMENCLATURA
Suelo Residual	Suelo residual arenoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga	Srainb
	Suelo residual areno-gravoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga	Sraginb

Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

❖ **Suelo residual arenoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga (Srainb):**

Esta unidad se encuentra conformada por un suelo residual de las rocas ígneas que intruyen al neis de Bucaramanga; el material que se encontró corresponde a un material arenoso de color marrón claro con algunas motas claras, los cuales pueden evidenciar las diferencias de meteorización del material. En general, los granos son sub-redondeados, con cementación débil, no presenta cohesión considerable, por lo tanto, el material es fácilmente deleznable al tacto, sin dureza ni compacidad, con bajo grado de humedad y plasticidad baja a nula al tacto.

Esta unidad fue evidenciada en los sondeos S1, S2, y S4, los cuales se distribuyen en la parte alta a media del talud, a profundidades someras para el sondeo S1 y S4, y hasta 4 los cuatro metros para el sondeo S2. Para los sondeos que se ubican en la parte más alta, correspondiente a los sondeos S1 y S2, esta unidad se infiere que presenta un espesor de aproximadamente 7 metros, teniendo en cuenta la continuación de los materiales de los sondeos S1 y S2 con el sondeo S4, el cual se ubica a menor altitud y presenta el mismo tipo de material. Esta unidad presenta valores de ángulos de fricción de alrededor de 39° y valores de cohesión de alrededor de 0.28 KN/m².

En la figura 10, se observa el tubo con muestras que se extrajo del ensayo de penetración estándar, identificando dicho material como suelo residual arenoso.

Figura 10. Muestras de suelo residual arenoso encontrado en la zona.



Fuente: Autor.

❖ **Suelo residual areno-gravoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga**

(Sraginb): esta unidad se encuentra conformada por un material areno-gravoso que se distribuye hacia el oeste del talud y fue evidenciado en los sondeos S3 y S5, a una profundidad de hasta 5 metros. Este material tiene el mismo origen que el material de la unidad 'Srainb', correspondiente al suelo residual de una intrusión de roca ígnea tonalítica, sin embargo, se diferencia de la primera unidad por la presencia de material gravoso. Los materiales no presentan cohesión, por lo cual son fácilmente deleznable al tacto, presenta tonalidades marrones claras y algunas oscuras, evidenciando la variación en la meteorización de los diferentes minerales presentes en la roca. Los granos de las muestras son sub-redondeados, de tamaños finos a medios, y se pueden evidenciar que los granos pertenecen a minerales de cuarzo y plagioclasa. Entre las características se observa principalmente que el material no presenta humedad o plasticidad al tacto. Esta unidad presenta ángulos de fricción entre los 30 y 40° y valores de cohesión de 0,45 Kg/cm² aproximadamente.

En la figura 11, se observa el tubo con muestras que se extrajeron del ensayo de penetración estándar, identificando dicho material como suelo residual arenoso-gravoso.

Figura 11. Muestra de suelo residual arenoso-gravoso encontrado en la zona.



Fuente: Autor.

5.1.9. Geomorfología

La geomorfología constituye la forma de los terrenos y cómo estos han sido transformados dependiendo de los factores externos que los afecten. Entre estos se resumen los factores de lluvias o corrientes de agua, erosión, factores estructurales como fallas o pliegues y los factores denudacionales. Dicho esto, la geomorfología hace parte de uno de los factores más importantes para el análisis de la evolución de un territorio y su relación con la ocurrencia de procesos con características definidas (SGC, 2017), además del comportamiento y distribución de las corrientes hídricas.

La caracterización geomorfológica en el área de estudio se basó en la metodología propuesta por la Facultad de Geo-información, Ciencia y Observación de la Tierra, de la Universidad de Twente (ITC), el Servicio Geológico Colombiano (Carvajal, 2012) y la Guía

metodológica del Servicio Geológico Colombiano a escala detallada la cual se centra en la identificación de elementos geomorfológicos cartografiables, los cuales se discriminan y verifican en la fase de campo, según el ambiente u origen de la geoforma, que puede ser estructural, es decir, asociado a estructuras o fallas geológicas; denudacional, asociado a procesos erosivos; o de tipo antropogénico, asociado a procesos no naturales realizados por el hombre, como se observa en la figura 12.

Figura 12. Geomorfología de la zona de estudio.



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B

Para la zona donde se realiza el presente proyecto se identifica la mezcla de diferentes ambientes; entre estos se tiene un ambiente denudacional, donde lo principal corresponde al deslizamiento ubicado en la zona; un ambiente denudacional - estructural, el cual se encuentra relacionado con la acción de la falla de Bucaramanga y los eventos tectónicos que tomaron lugar durante el levantamiento del macizo de Santander; y finalmente, se resalta el ambiente antropogénico, definido por la acción del hombre, el cual comprende adecuación de las zonas para las vías y construcción de edificaciones.

En la tabla 9, se observan las subunidades geomorfológicas definidas para la zona de estudio.

Tabla 9. Subunidades geomorfológicas definidas para la zona de estudio

SUBUNIDADES DEFINIDAS PARA LA ZONA DE ESTUDIO		
ORIGEN	NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
Antropogénico	Cimas explanadas	A1
	Laderas terraceadas	A2
Denudacional	Escarpes denudacionales	D7
	Lomos denudacionales	Dldebm
Denudacional- Estructural	Sierras y lomos de presión	Sslp

Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek.

5.1.10. Ambiente antropogénico

❖ Cimas explanadas (A1) y Laderas terraceadas (A2)

Las cimas explanadas corresponden a las superficies resultantes de explanaciones realizadas mecánicamente sobre lomos o colinas con fines urbanísticos o de infraestructura; por otra parte, las laderas terraceadas son superficies naturales del terreno con pendientes entre 10° y 65° de inclinación, intervenidas por la acción del hombre, mediante cortes sucesivos con fines ingenieriles, como estabilización de laderas, urbanismo, entre otras. Para la zona donde se observa el deslizamiento de estudio, las cimas explanadas corresponden a aquellas zonas donde hoy en día se ubica la iglesia y algunas viviendas de la vereda Pozo negro, al igual que aquellas vías que han sido adecuadas para el transporte en la zona.

En la fotografía 8, se observan las cimas explanadas corresponden a aquellas zonas donde hoy en día se ubica la iglesia y algunas viviendas de la vereda Pozo negro, al igual que aquellas vías que han sido adecuadas para el transporte en la zona.

Fotografía 8. Cimas explanadas ubicadas en la corona del talud de estudio



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

En la fotografía 9, hacia el norte de la zona, sobre el costado izquierdo de la vía Piedecuesta-Pozo Negro, se observan laderas que han sido intervenidas por el hombre como métodos de contención con trinchos y disipadores que son indispensables para la estabilización de la ladera.

Fotografía 9. Obras de ingeniería y cimas explanadas localizadas al costado este del talud.



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

5.1.11. Ambiente denudacionales

❖ Escarpes denudacionales (D7)

Estas geoformas corresponden a laderas cortas y muy empinadas, con ángulos mayores a 70° de inclinación, erosionadas, asociadas a depósitos de macizos rocosos. Para la zona de estudio y sus alrededores, los escarpes denudacionales se presentan en un buen porcentaje, teniendo en cuenta el tipo de roca que existe en la zona, además de los factores externos que ayudan a la desestabilización de las laderas, como la lluvia, la erosión y la acción del hombre.

De esta forma, el escarpe denudacional predominante corresponde al talud foco de este estudio, el cual presenta una vasta extensión, y se encuentra orientado en sentido sur-norte, como se muestra en la fotografía 10.

Fotografía 10. Laderas denudacionales identificadas en la zona, donde se identifica el talud en estudio



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

❖ Lomos denudacionales (D1debm)

Corresponden a divisorias de aguas que presentan terminación en forma de crestas semiredondas, aplanadas y llanas, mostrados en la fotografía 11.

Fotografía 11. Lomos denudacionales ubicados cerca de la zona



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

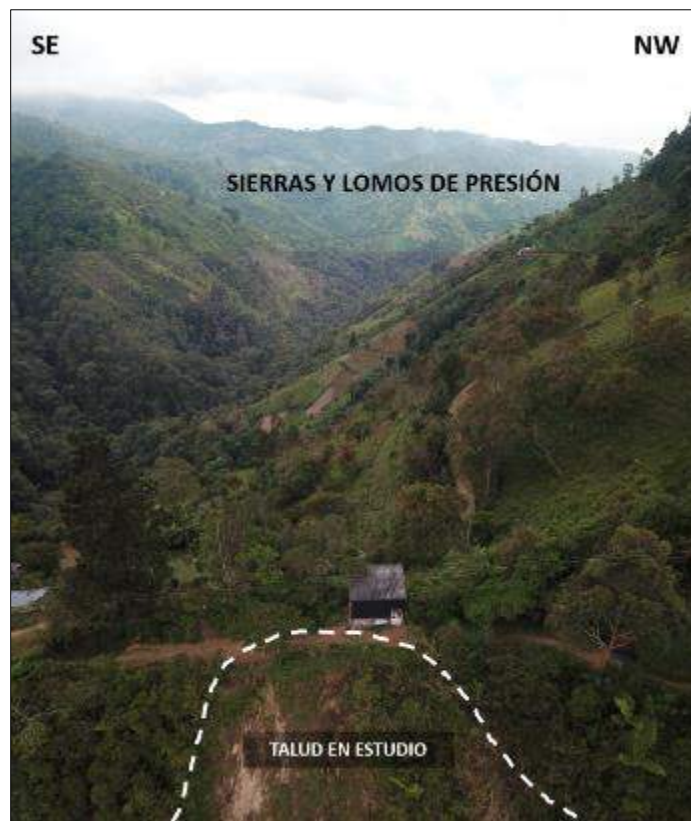
Los lomos denudacionales se distribuyen en diferentes áreas de la zona, generalmente hacia el sur y el norte, y debido a la deforestación presente en dichas zonas para adecuación de cultivos y viviendas aumenta la meteorización y erosión de los materiales, dando paso a movimientos en masa.

❖ Sierras y Lomos de presión (Sslp)

Las sierras y lomos de presión corresponden a prominencias topográficas alomadas a elongadas localmente curvas, asociadas a zonas compresivas; el origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. En la zona, las sierras y lomos de presión se pueden asociar a los movimientos tectónicos que dieron lugar al levantamiento del macizo de Santander, en conjunto con los fallamientos presentes.

En la fotografía 12, se observan las sierras y lomos de presión que se encuentran en los alrededores de la zona de estudio.

Fotografía 12. Sierras y lomos de presión en los alrededores de la zona



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

5.1.12. Caracterización sísmica

Para el análisis de Amenaza Sísmica se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- ❖ Identificación fuentes sísmicas Principales
- ❖ Catálogos de Información sísmica
- ❖ Asignación Eventos a Fuentes Sísmicas
- ❖ Atenuación
- ❖ Amplificación

Producto del análisis Sismogénico se obtiene el nivel de amenaza de la zona en estudio y los parámetros sísmicos tanto para diseño de edificaciones como para análisis de amenaza (estabilidad de taludes con pulso sísmico).

❖ **Sismicidad histórica en el municipio**

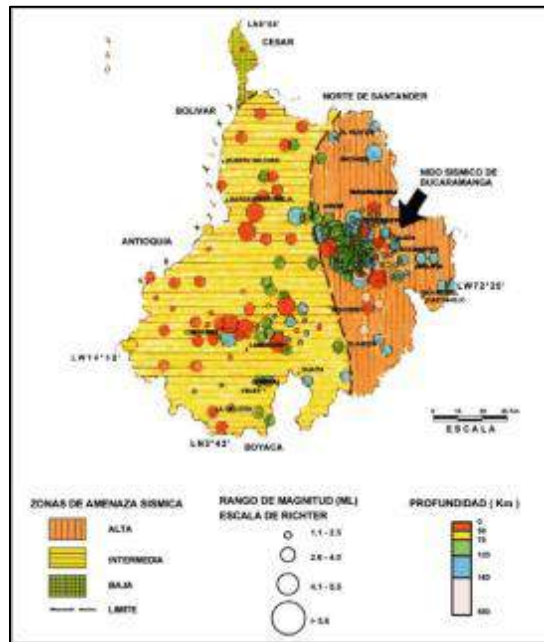
El nido sísmico de Bucaramanga es uno de los más conocidos del continente americano. Todos los municipios del Departamento de Santander se encuentran constantemente amenazados por movimientos de origen telúricos. En Santander la actividad sísmica se encuentra constante con sismos diarios en el denominado “Nido sísmico de Bucaramanga”. El centro del nido sísmico se encuentra aproximadamente a 50 kilómetros al sur del municipio de Bucaramanga entre los centros poblados de Umpalá y Cepitá en el cañón del Chicamocha y cuentan con un epicentro ubicado a 150 Kilómetros de profundidad.

El inventario histórico del Padre Jesús Emilio Ramírez, denominada “Historia de los terremotos en Colombia” compila los principales datos sobre los sismos ocurridos en el país desde los tiempos de la conquista (siglo XVI) hasta el año de 1963. De los 597 sismos que reporta para todo el territorio nacional, 111 aparecen ubicados con epicentro en algún lugar del departamento de Santander. La reedición de la obra del padre Ramírez, donde se publica un nuevo catálogo de sismos hasta 1974, muestra la constante actividad sísmica de la zona del Macizo de Santander, donde además de las localidades anteriores se destacan las de Umpalá, Pamplona y Los Curos, como zonas de alta frecuencia en la ocurrencia de sismos.

Los sectores en estudio se encuentran ubicados sobre una zona de susceptibilidad alta, según la microzonificación realizada al municipio de los Santos, que depende de tipo de suelo y sus correspondientes características.

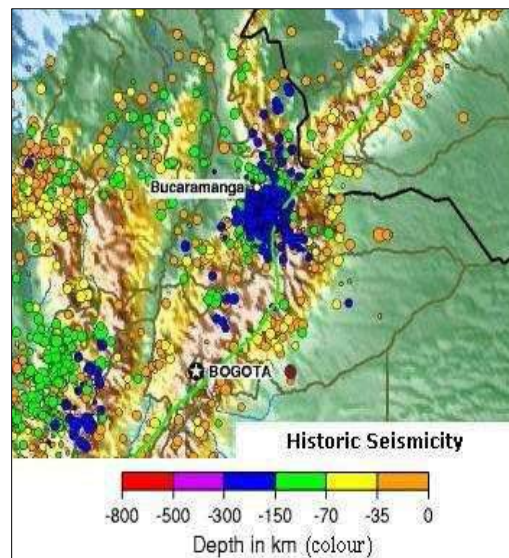
En la Figura 13 y Figura 14, se observan los eventos sísmicos registrados por la Red Sismológica Nacional (junio de 1993 a marzo de 1997) y las zonas de amenaza sísmica en el departamento de Santander.

Figura 13. Eventos sísmicos presentados en la región



Fuente: Ingeominas 2010- Memoria Descriptiva Geológica de Santander

Figura 14. Eventos sísmicos presentados en la región



Fuente: Tomado del Servicio Geológico Colombiano

❖ **Inventario de movimientos sísmicos importantes**

En el inventario histórico del padre Jesús Emilio Ramírez, se reportan 63 sismos hasta 1974. Estos sismos se registraron en los municipios de Los Santos y el centro poblado de Los Cueros con intensidades I y II. Según este inventario de los 63 sismos registrados, 20 tuvieron su epicentro en los Santos.

Según el Servicio Geológico colombiano se han presentado 1134 registros de sismos en un periodo comprendido entre el año 2000 y 2015 con intensidades MI que van desde 1.0 hasta 5.0 cuya zona epicentral ha sido el Municipio de Piedecuesta

❖ **Información sobre los efectos relevantes de los sismos que se han presentado en el municipio**

Como se dijo anteriormente, el servicio Geológico colombiano ha registrado 1134 noticias de sismos desde el año 2000 hasta la actualidad.

En la tabla 10, se presentan los sismos más destacados, durante este periodo:

Tabla 10. Descripción de los sismos más relevantes en el municipio de Piedecuesta

Fecha	Magnitud	Longitud	Latitud	Departamento	Municipio	Profundidad
	MI	Grados	Grados			Km
17 de Julio del 2000	5.0	-73.05	6.906	SANTANDER	P/CUESTA	166.4
12 de noviembre del 2001	4.0	-73.035	6.913	SANTANDER	P/CUESTA	156
30 de octubre del 2002	4.2	-72.982	6.942	SANTANDER	P/CUESTA	164
29 de junio del 2004	4.2	-73.063	6.884	SANTANDER	P/CUESTA	157.4
20 de junio del 2008	4.4	-73.033	6.886	SANTANDER	P/CUESTA	158.5
11 de Julio del 2008	4.5	-73.142	6.909	SANTANDER	P/CUESTA	154.5
20 de agosto del 2011	4.1	-72.976	6.922	SANTANDER	P/CUESTA	166.2

Fuente: Tomado del Servicio Geológico Colombiano

❖ **Fuentes sísmicas**

Con base en la sismicidad y la tectónica regional, se definen las áreas fuentes o zonas fuentes, las cuales presentan uniformidad de los focos de los sismos registrados y, a su vez, se encuentran asociadas a un sistema de fallas

❖ **Aceleraciones para diseño**

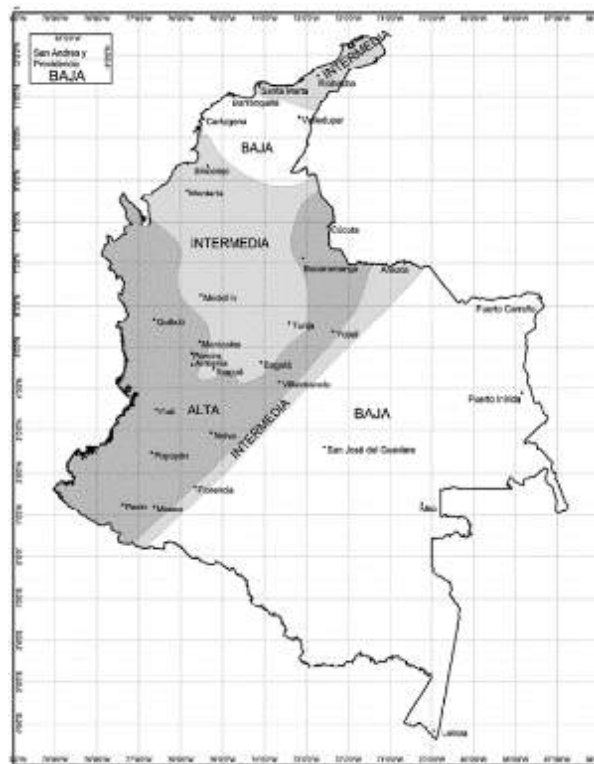
Ingeominas ha propuesto aceleraciones basadas en análisis de la tectónica regional así dependiendo la fuente sismogénica.

❖ Movimientos Sísmicos de Diseño

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectivo, representada por el parámetro A_a , y de la velocidad pico efectivo, representado por el parámetro A_v , para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años.

En la figura 15, se muestra el mapa de zonificación sísmica de Colombia.

Figura 15. Mapa de Amenaza sísmica



Fuente: Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

Por medio del tipo de amenaza sísmica que se encuentre en la zona de estudio, se identifica por medio de la tabla 11, el coeficiente de aceleración horizontal A_a y aceleración vertical para el municipio de Piedecuesta.

Tabla 11. Determinación de los Coeficientes de Aceleración Horizontal A_a y Vertical A_v

Departamento de Santander						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Bucaramanga	68001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Aguada	68013	0.15	0.20	Intermedia	0.17	0.09
Albania	68020	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Aratoca	68051	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Palmas del Socorro	68524	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.08
Páramo	68533	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Piedecuesta	68547	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Pinchote	68549	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Puente Nacional	68572	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Puerto Parra	68573	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Puerto Wilches	68575	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.03

Fuente: Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

❖ Valores de A_a y A_v

De acuerdo con el Reglamento de Construcción Sismo resistente NSR -10 los movimientos sísmicos de diseño son los siguientes

- ✓ A_a – coeficiente de aceleración horizontal: 0.25
- ✓ A_v - Coeficiente de aceleración vertical: 0.25

De acuerdo con la recurrencia sísmica el sismo esperado obedece a unos Coeficientes A_a y A_v mayores a los de norma, se va a realizar el espectro tomando las condiciones de norma, NSR 10

❖ Definición del Tipo de Perfil de Suelo de acuerdo con la NSR -10 (Tabla A.2.4.1)

Para definir el tipo de perfil de suelo es necesario la implantación del N promedio = Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar, realizado de acuerdo con la NORMA ASTM D 1586 haciendo corrección por energía N 60, puede observarse el cálculo de este factor en el capítulo a Investigación del Subsuelo, de acuerdo con los ensayos realizados en campo.

Según lo anterior, usando la tabla 12, se determina la clasificación de los suelos según el número de golpes promedio.

Tabla 12. Clasificación de los suelos según el número de golpes promedio

Tipo de perfil	\bar{v}_s	\bar{N} o \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm ²)
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)

Fuente: Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

En la table 13, se presenta el resumen del N corregido y N promedio para los perfiles de suelo de los sondeos realizados en campo, .

Tabla 13. Resumen de N corregido

PERFIL DEL SUELO NSR 10					
	S1	S2	S3	S4	S5
	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.06	0.01	0.01	0.00	0.01
	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01
	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
	0.01	0.01		0.00	0.01
	0.01	0.01		0.00	0.01
	0.01	0.01		0.00	0.02
	0.01	0.01		0.00	0.03
		0.01		0.00	0.03
		0.01		0.00	0.01
		0.01		0.01	0.02
		0.01		0.01	0.02
		0.01		0.00	0.02
SONDEO NO.	S1	S2	S3	S4	S5
SUMATORIA D/NI	0.25	0.05	0.02	0.01	0.21
PROFUNDIDAD TOTAL	4.00	3.00	2.00	1.00	6.00
N PROMEDIO POR SONDEOS	16	62	84	86	29
N PROMEDIO TOTAL	55				

Fuente: Propia

De acuerdo con la NSR -10 el tipo de perfil de suelo es C ya que cumple con la condición de N promedio mayor a 50 golpes, geotécnicamente se puede validar como un perfil tipo C.

❖ **Estimación del coeficiente Fa de acuerdo con la NSR -10 (Tabla A.2.4.3)**

En la tabla 14, se presentan los valores de coeficientes Fa dados por la norma sismo resistente, determinada según los siguientes parámetros: el perfil tipo: C y el coeficiente de aceleración horizontal: 0.25.

Tabla 14. Valores del Coeficiente Fa.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente. Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

El valor del Coeficiente Fa de amplificación es de 1.15, tomando como base la interpolación lineal de la tabla A.2.4.3. de la norma NSR-10.

En la tabla 15, se presentan los valores de coeficientes Fv dados por la norma sismo resistente, se determina el valor según: el perfil tipo: C y el coeficiente de aceleración vertical: 0.25.

Tabla 15. Valores del Coeficiente de Fv

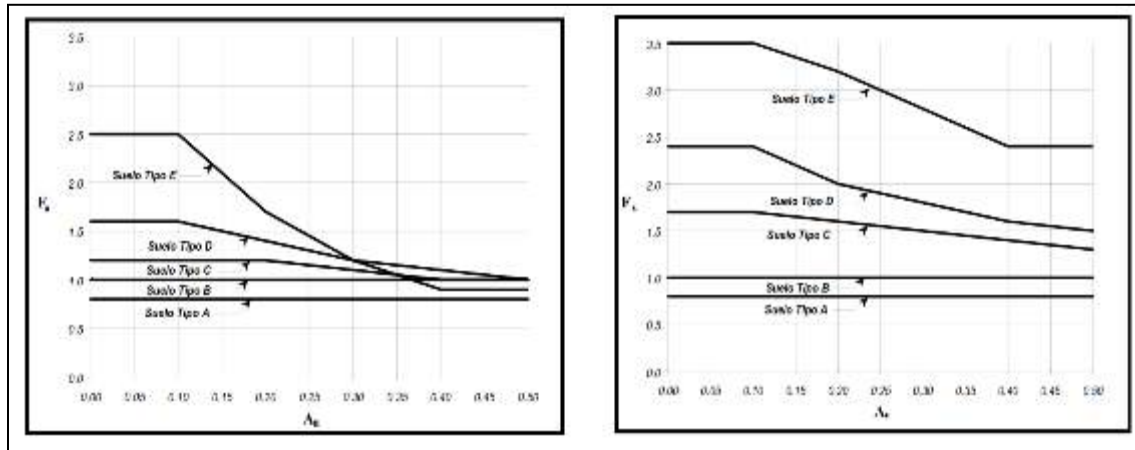
Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

El valor del Coeficiente Fv de amplificación es de 1.55, tomando como base la interpolación de norma A.2.4.2.

En la figura 16, se presentan también los coeficientes de Fa y Fv, por medio de la representación en nomogramas dados por la norma sismo – resistente.

Figura 16. Nomogramas para F_a y F_v según la norma sismo-resistente



Fuente. Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

❖ Cálculo del Espectro de Diseño

Se estima el espectro elástico de diseño contenido en la norma NSR -10 definido para un coeficiente del 5% de amortiguamiento crítico.

Dónde para el **SECTOR 1** se tiene:

Sa: Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado.

Aa: Aceleración horizontal pico efectivo en roca (Figura A.2.3-2). $A_a = 0.25$

Av: Velocidad horizontal pico efectivo (Figura A.2.3-3). $A_v = 0.25$

Fa: Coeficiente de amplificación F_a de períodos cortos del espectro (Tabla A.2.4-3).

Fa = 1.15

Fv: Coeficiente de amplificación F_v de períodos intermedios del espectro (Tabla A.2.4-4).

Fv: 1.55

To: Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones.

Tc: Periodo de vibración correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño para periodos cortos y la parte descendente del mismo.

TL: Periodo de vibración correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño para periodos largos.

❖ **Periodo Fundamental**

El valor del periodo fundamental se obtiene a partir de las propiedades de resistencia sísmica, de acuerdo a los principios de dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico del elemento.

En la tabla 16, se presentan los valores de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado T_a .

Tabla 16. Valor de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo aproximado T_a .

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente. Tomado de la Norma Sismo Resistente 2010 - NSR -10 [8]

$$T_a = C_t * h^\alpha \quad \text{Según NSR-10 A.4.2.3}$$

$$T_a = 0.047 * 4,0^{0,9} = 0.164$$

Dónde:

C_t : Coeficiente utilizado para calcular el periodo de la estructura.

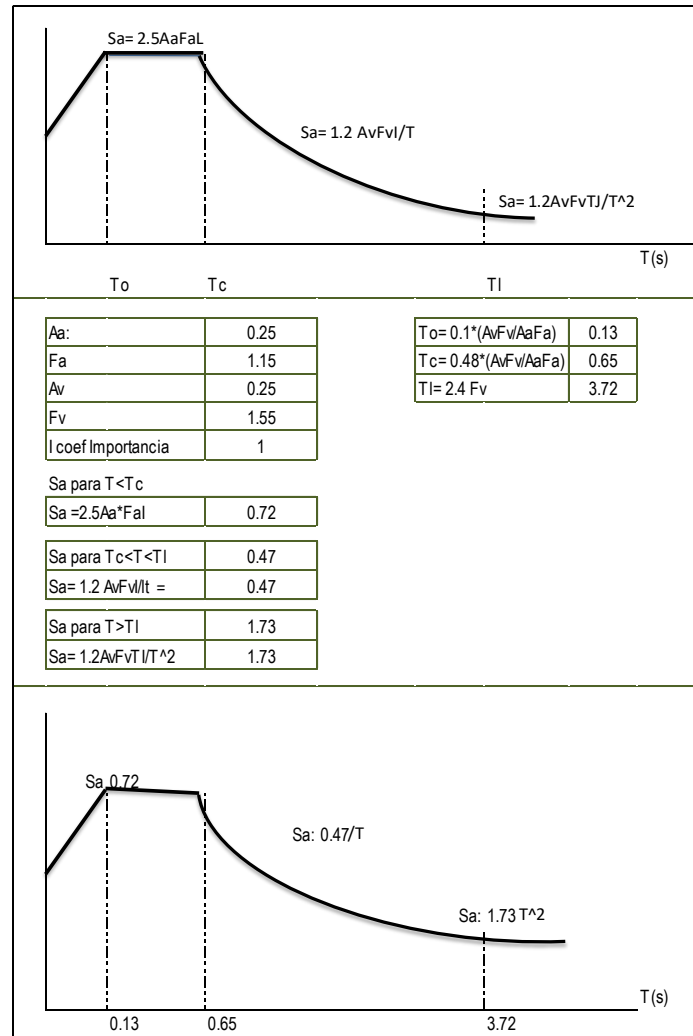
C_t y α : son dados por la NSR-10 por la tabla A.4.2-1.

El espectro de aceleraciones, S_a , se expresa como fracción de la gravedad, para un coeficiente del 5% del amortiguamiento crítico, que debe ser usado en el diseño, por medio

da las ecuaciones dadas por la NSR-10, A.2.6-1.

En la figura 17, se presenta el cálculo de dicho espectro elástico de aceleraciones para la ciudad de Piedecuesta.

Figura 17. Cálculo del espectro de diseño para la ciudad de Piedecuesta Sectores 1,2,3.



Fuente: Autor

❖ Coeficiente Pseudoestático para análisis

De acuerdo con el Espectro de diseño calculado y la estimación de PGA realizada por Ingeominas para los suelos del Area metropolitana se establece el coeficiente Pseudo

estático para realizar los modelos de estabilidad y amenaza con un factor desencadenante de tipo sísmico.

Para realizar el modelo dinámico se requiere realizar un estimativo de la fuerza de inercia que genera el sismo y de la respuesta del suelo, este modelo se realiza a partir del coeficiente sísmico (K), que emula la fuerza horizontal por tanto solo se toma a partir de la aceleración horizontal.

Abramson y otros autores sugieren que el K sea entre 1/3 y 1/2 de la aceleración máxima esperada (PGA), El US Army propone un Coeficiente de 0.10, para la zona en estudio el coeficiente estaría definido así:

Según NSR -10 $K = 0.25/2: 0.125$

Según criterio del diseñador: por recomendaciones del US Army, Seed and Others 1979, se recomienda 2/3 de Aa, es decir **$K= 0.1667$** que es un valor medio entre lo recomendado por la norma y la amenaza sísmica hallada

Según criterio de Hynes, Griffin and Franklin: el coeficiente sísmico se estima como el 50% del valor de la aceleración máxima (am_{ax}). [9]

$$a_{m\acute{a}x} = A_a * F_a * I$$

$$a_{m\acute{a}x} = 0.25 * 1.15 * 1 = 0.288$$

$$K = 0.5 * 0.288 = 0.144$$

5.1.13. Exploración geofísica del subsuelo

La finalidad del método de tomografía eléctrica es la de detectar y localizar estructuras geológicas o de otro tipo (cavernas, cuerpos enterrados, etcétera) basado en el contraste resistivo en el subsuelo. Ésta consiste en la inyección de corriente al terreno mediante electrodos de cobre o acero, con estas mediciones se puede determinar la resistividad verdadera del subsuelo. Los datos recabados son sometidos a un proceso de inversión con un software para después interpretarlos.

Se encontró información secundaria acerca de la geofísica del subsuelo realizada por Ingeotek b sas, la adquisición geofísica se planeó en base a los requerimientos del estudio,

los cuales consistieron en identificar cambios en los estratos del subsuelo en un espesor establecido y determinar la presencia/ausencia del nivel freático, y su respectiva profundidad; a continuación, se describe la configuración electródica empleada en cada tomografía del estudio.

En la fotografía 13, se evidencia la realización del ensayo de tomografía en campo.

Fotografía 13. Adquisición en campo de la tomografía de resistividad eléctrica PN-1.



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

En la tabla 17, se presenta la configuración electródica de la tomografía de resistividad eléctrica PN-1.

Tabla 17. Configuración electródica de la tomografía de resistividad eléctrica PN-1.

Arreglo electródico	Wenner
Longitud del tendido	50 m
Espaciamiento entre electrodos	1.6 m
Profundidad de investigación	9.6 m

Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

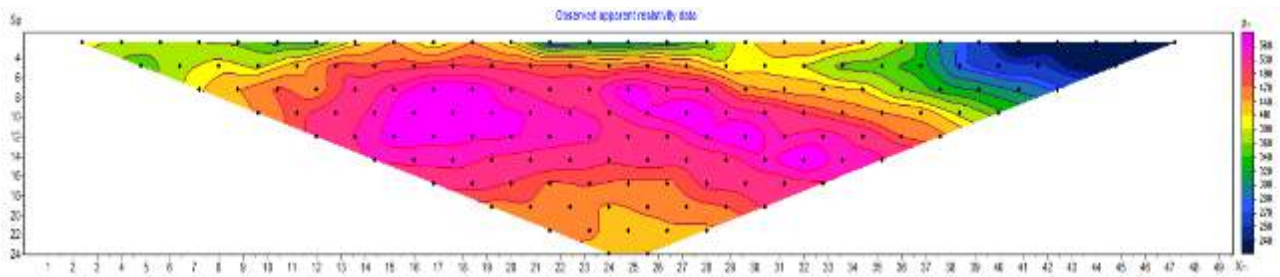
❖ **Procesamiento de los datos**

El procesamiento de los datos se realizó con el software ruso *ZondRes 2D* de *Zond Software* creado por Alex Kaminsky. inicialmente se procedió a crear la pseudosección de

resistividad aparente, con los datos de resistividad aparentes adquiridos en campo con el equipo *GeoAmp 202* y la topografía de la línea tomográfica en superficie. Posteriormente se removieron posibles errores de adquisición como picos, resistividades negativas, y ruido; la inversión de la tomografía TRE-PN 1 se realizó configurando la malla con 15 capas para una profundidad de investigación de 9.6 metros, mediante el modelo suavizado de *ProfileR* configurando el factor de suavizamiento = 0.3, factor de amortiguamiento = 0.3; y como criterios de parada un máximo error RMS de 0.001 y 10 iteraciones y un error de reducción de 1.0.

En la figura 18, se observa la pseudosección de resistividad aparente medida en campo para la tomografía TRE-PN1.

Figura 18. Pseudosección de resistividad aparente medida en campo para la tomografía TRE-PN 1.



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

En la figura 19, se presenta la construcción de la malla para el proceso de inversión para la tomografía TRE – PN -1.

En la figura 20, se tienen los parámetros de inversión para la tomografía TRE – PN -1.

Figura 19. Construcción de la malla para el proceso de inversión para la tomografía TRE- PN-1.

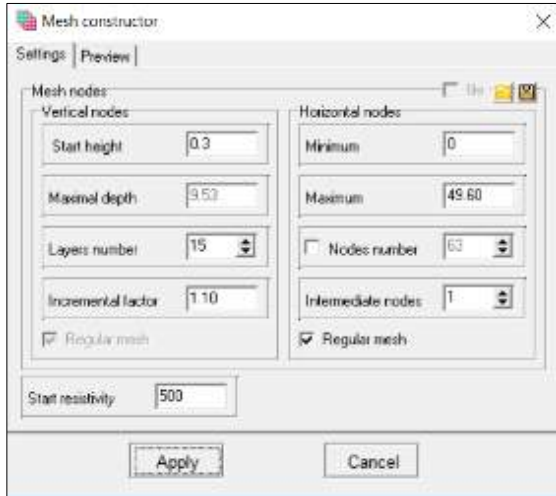
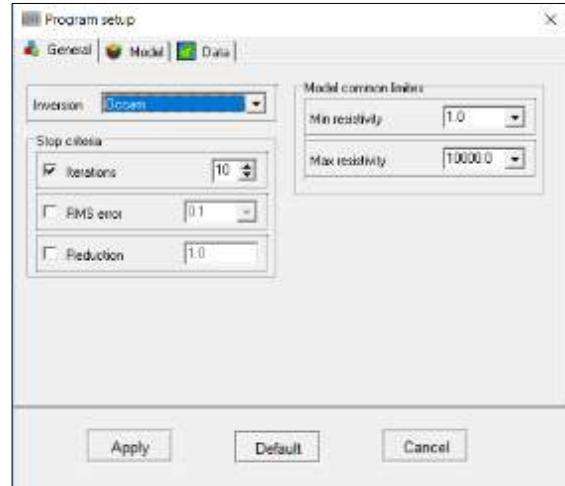


Figura 20. Parámetros de inversión para la tomografía TRE – PN-1.



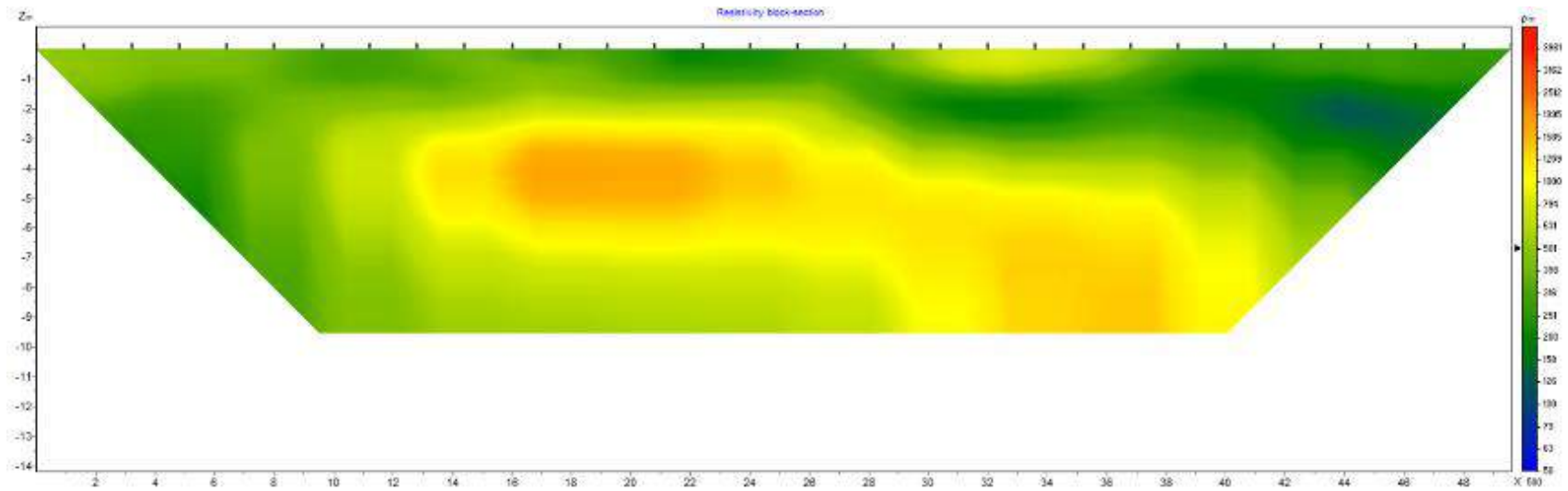
Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

❖ Resultados de la inversión de los datos tre- pn1.

Finalmente, la inversión de los datos, con los ajustes previamente descritos arrojó la tomografía de resistividad eléctrica real, utilizando como criterio de parada el error las 10 iteraciones, obteniendo un error de 2.29 %, considerado como muy bueno; en la siguiente imagen se observa la tomografía de resistividad eléctrica invertida.

En la figura 21, observa la tomografía de resistividad eléctrica invertida.

Figura 21. Tomografía de resistividad eléctrica invertida TRE-PN-1.



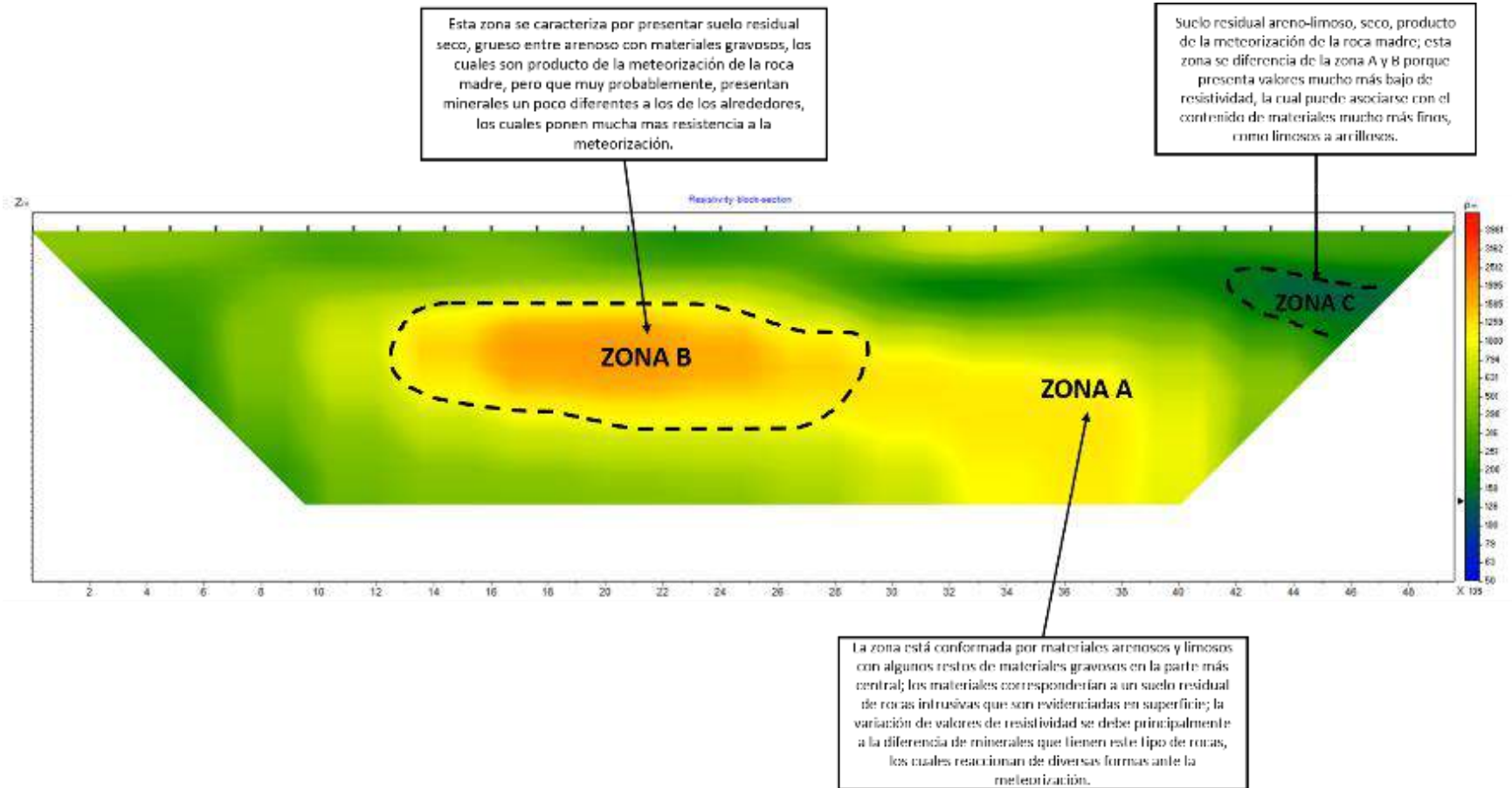
Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

7.1.1. Interpretación de la tomografía de resistividad eléctrica 2d.

De acuerdo a los resultados de la tomografía de resistividad eléctrica TRE-PN 1 y la correlación con la información obtenida en campo, en el área de estudio se pudo identificar una secuencia de materiales no consolidados, los cuales están definidos por un depósito de suelo residual de rocas ígneas intrusivas en el neis de Bucaramanga. Los materiales fueron caracterizados como materiales arenosos y areno-gravosos, los cuales se distribuyen a profundidad, presentando bajas condiciones de humedad, algunos de estos materiales se encontraron mezclados con materiales un poco más finos, los cuales fueron caracterizados como limosos. En la zona central de la línea se observan algunos materiales mucho más gruesos que pueden ser definidos como bloques que aún no se han meteorizado completamente, por lo tanto, presentan mayores valores de resistividad.

En la figura 22, observa la tomografía de resistividad, junto con la descripción de los materiales encontrados, referenciándolos por medio de zonas.

Figura 22. Descripción de los tipos de suelo encontrado en la zona de estudio



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek

5.2. FASE DE CAMPO O DIAGNÓSTICO

En esta fase se tienen contempladas visitas al sitio de estudio. La primera visita consiste en la identificación de la zona de estudio y reconocimiento de las condiciones actuales del sector, con el fin de definir la localización de los puntos donde se realizará la exploración.

La segunda visita consiste en el acompañamiento del equipo de exploración, con el fin de supervisar la obtención de las muestras que se llevarán al laboratorio.

En dichas visitas se realizará la investigación de campo, donde se podrá definir la estratigrafía e identificar la presencia del nivel freático, también se definen los sitios para la extracción de muestras inalteradas.

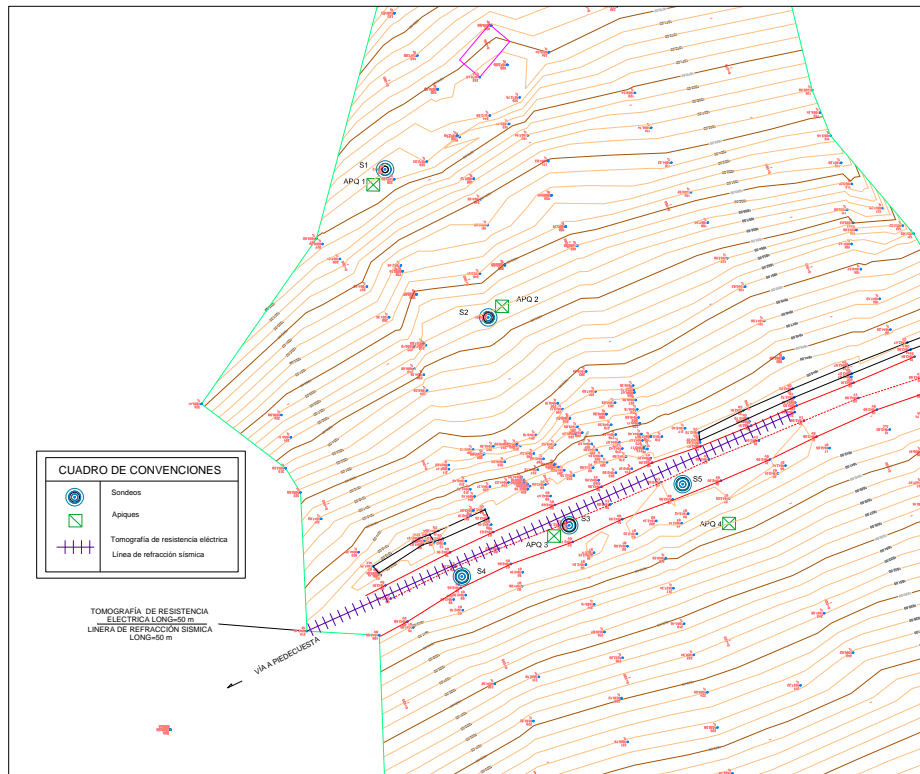
En esta fase también se realiza la ejecución de los ensayos de caracterización, resistencia al corte y deformación para el análisis de esfuerzos, siendo insumo para para obtención de los parámetros geomecánicos del suelo y su posterior implementación en el modelamiento del análisis de estabilidad con el uso del software de diseño.

5.2.1. Investigación del subsuelo

Para la ejecución de este proyecto se realiza la investigación del subsuelo de acuerdo al alcance del mismo, con ello establecer las características de los materiales, la estratigrafía y parámetros para el análisis de estructural, como resultado podremos obtener un panorama claro de la caracterización del perfil para la aplicación del modelo de estabilidad, y con el que se va a proponer medidas para manejar del deslizamiento.

En la figura 23, se observa la distribución de los sondeos y apiques realizados en campo, para la investigación del subsuelo.

Figura 23. Plano de la distribución de la investigación del subsuelo.



Fuente: Información suministrada por la empresa Ingeotek B sas.

El objeto de las perforaciones es conocer y caracterizar el perfil del subsuelo, ejecutar pruebas directas sobre los materiales encontrados y obtener muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio.

Para la investigación del subsuelo se toma como referencia la guía del servicio geológico colombiano [10], donde se recomienda para la realización de una exploración a nivel detallado, realizar mínimo 3 sondeos, con los cuales se puede identificar el perfil geotécnico, con respecto a la profundidad de los sondeos deben ser de mínimo 3 metros por debajo de la superficie estimada de deslizamiento, por tanto debido a que en el sitio de estudio dos de los sondeos no llegaron a esta profundidad, se toma la decisión de realizar 2 sondeos, y para ellos se implementó la máquina de rotación así llegar a la profundidad adecuada para caracterizar correctamente el sitio.

Durante la realización de las actividades de caracterización e investigación del subsuelo se realizaron métodos de muestreos, con el fin de obtener material del sitio de estudio para los ensayos de laboratorio y estimar las condiciones naturales de dicho sector, se realizó hasta una profundidad máxima de 6m.

5.2.2. Sondeos de penetración estándar

Este tipo de sondeo se realiza debido a los materiales presentados en la zona de estudio, con el fin de hacer el reconocimiento geotécnico del terreno, como primera medida se realiza inspección visual, posteriormente se realiza el plan de exploración hasta la ejecución de la misma. Para el presente análisis, se ejecutaron ensayos (SPT), el cual consiste en hincar un tubo bipartido con dimensiones estándar, liberando una pesa de aproximadamente 70 kilogramos desde una altura de 70 centímetros.

El valor representativo de N de penetración se define como el número de golpes necesario para hincar la tubería 12" y permite comprender la resistencia del suelo al punzonamiento. Además de estos sondeos SPT permiten la extracción de muestra de suelo, para la determinación de algunas de sus propiedades físicas y mecánicas que ayudan a comprender el comportamiento del suelo encontrado.

Los elementos característicos del penetrómetro dinámico son los siguientes:

- ❖ Peso masa de golpeo M
- ❖ Altura de caída libre H
- ❖ Punta cónica: diámetro base cono D, área base A (ángulo de apertura θ)
- ❖ Avance (penetración)

A continuación, en la tabla 18, se presenta la recopilación de los sondeos realizados en campo con el ensayo de penetración estándar (SPT)

Tabla 18. Recopilación de sondeos de penetración estándar (spt)

 Universidad Pontificia Bolivariana		RECOPILACIÓN DE SONDEOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT) INFORMACIÓN DE CAMPO					
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO	AP / SPT ASOCIADO:	SONDEO 1,2,3,4,5.				
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	28/05/2019				
INFORMACION DE CAMPO							NIVEL FREÁTICO
PROFUNDIDAD		SONDEOS					
DE	A(m)	S1	S2	S3	S4	S5	NO
0.0	0.50	7	41	45	53	41	
0.50	1.00	8	47	83	148	41	
1.00	1.50	8	57	116	148	50	
1.50	2.00	34	76	134	148	50	
2.00	2.50	38	89	134	148	50	
2.50	3.00	43	105	134	148	40	
3.00	3.50	51	105	134	148	31	
3.50	4.00	57	105	134	148	24	
4.00	4.50	57	105	134	148	24	
4.50	5.00	57	105	134	148	62	
5.00	5.50	57	105	134	148	45	
5.50	6.00	57	105	134	148	39	
6.00	6.50	57	105	134	148	44	
6.50	7.00	-	-	-	-	-	

Fuente: Autor

5.2.3. Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio se realizan con el fin de caracterizar y determinar las propiedades geomecánicas de los materiales que se encuentren en la zona de estudio, esto depende del tipo de muestra recuperada “in situ”, estas muestras se deben describir e identificar.

Posterior a la toma de muestras, éstas se deberán conservar y transportar adecuadamente hasta el laboratorio, con ello evitar la afectación del material, a continuación, en la tabla 19, se especifican los ensayos realizados:

Tabla 19. Relación de ensayos de laboratorio

Ensayo	Norma	No. De ensayos
Análisis granulométrico	INV – 123	12
Determinación del contenido de humedad del material a estudio.	INV – 122	9
Determinación de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	INV – 126	12
Peso unitario	INV – 128	16
Corte directo consolidado drenado	INV – 154	6

Fuente: Autor

A continuación, en la tabla 20, tabla 21, tabla 22 y tabla 23, se presentan los resultados de los ensayos del laboratorio sobre las muestras que fueron tomadas en campo, posteriormente en los anexos se presentan los cálculos realizados para cada uno de los ensayos.

Tabla 20. Resultados de la Gradación de las muestras.

GRADACIÓN									
	GRAVAS	ARENAS	FINOS	INDICÉ DE GRUPO	AASHTO	S.U.C. S	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PASTICO	INDICÉ DE PLASTICIDAD
A1	5,80%	82,20%	12,00%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
A2	4,20%	82,90%	12,90%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
A3	19,80%	72,30%	7,00%	0	A-1-b	SP-SM	N.L	N.P	N.IP
S1M1	0,10%	76,20%	23,70%	0	A-2-4	SM	N.L	N.P	N.IP
S 2-M1 y 2	7,50%	76,50%	16,00%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP

	GRAVAS	ARENAS	FINOS	INDICÉ DE GRUPO	AASHTO	S.U.C. S	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PASTICO	INDICÉ DE PLASTICIDAD
S2- M3	9,20%	76,20%	14,70%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
S2-M4	0,40%	70,30%	29,30%	0	A-2-4	SM	N.L	N.P	N.IP
S3-M1	23,00%	53,60%	23,40%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
S4-M1	9,30%	67,70%	23,10%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
S5-M1	23,70%	51,00%	25,20%	0	A-2-4	SM	22,14%	19,43%	2,70%
S5-M2	16,50%	67,70%	15,80%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP
S5-M3	11,60%	73,50%	15,00%	0	A-1-b	SM	N.L	N.P	N.IP

Fuente: Autor.

Tabla 21. Resultados de Humedad Natural.

HUMEDAD NATURAL	
Detalle	% Humedad
Sondeo 1- muestra 1	23,29
Sondeo 2- muestra 1 y 2	7,87
Sondeo 2- muestra 3	6,19
Sondeo 2- muestra 4	19,70
Sondeo 3- muestra 1	8,80
Sondeo 4- muestra 1	8,72
Sondeo 5- muestra 1	8,74
Sondeo 5- muestra 2	13,31
Sondeo 5- muestra 3	9,06

Fuente: Autor.

Tabla 22. Resultados de Pesos unitarios.

PESO UNITARIO				
	Peso unitario húmedo		Peso unitario seco	
	g/cm3	KN/m3	g/cm3	KN/m3
Apique 1 (0-1,2 m)	1,54	15,13	1,44	14,12
Apique 2 (0-1 m)	1,7	16,62	1,55	15,23
Apique 3 (0-1 m)	1,8	17,64	1,69	16,57
S1- M1 (0-1m)	1,73	16,93	1,44	14,14
S1- M3 (2-3 m)	1,51	14,8	1,38	13,58
S2-M1 (0-1 m)	1,64	16,11	1,54	15,1
S2-M3 (2-3 m)	1,46	14,36	1,38	13,58
S3- M1 (0-1 m)	1,69	16,54	1,57	15,43
S4-M1 (0-1 m)	1,67	16,4	1,5	14,71
S5-M1 (0-1 m)	1,64	16,07	1,5	14,75
S5-M2 (1-1,3 m)	1,76	17,22	1,57	15,37
S5-M3 (1,3-2,5 m)	1,83	17,95	1,54	15,06

S5-M4 (2,5 - 3,5 m)	1,92	18,81	1,66	16,29
S5-M5 (3,5-4,5m)	1,87	18,37	1,53	15,04
S5-M6(4,5 - 5,5 m)	1,64	16,04	1,49	14,63
S5-M7(5,5-6,5 m)	1,89	18,54	1,64	16,07

Fuente: Autor.

Tabla 23. Resultados de Corte Directo.

CORTE DIRECTO				
	Humedad	Angulo de fricción	Cohesión	
			Kg/cm ²	KN/m ²
S2 - M3 (2-3m)	21,14	41,09	0,33	31,61
A1- M1 (0-1,2 m)	20,15	38,22	0,04	4,18
A2 - M1 (0-1 m)	20,15	41,14	0,15	14,35
A2- M2 (0-1 m)	19,26	37,89	0,19	19,04
S5 - M5 (3,5 - 4,5 m)	21,65	46,85	0,48	46,7
A3 - M2 (0-1 m)	26,16	25,85	0,12	11,47

Fuente: Autor.

5.2.4. Registro fotográfico de sondeos y apiques

❖ Sondeo 1

Este sondeo se realizó en la parte alta del talud (corona), usando el método de exploración SPT, con el cual se llegó a una profundidad de 4m a rechazo, de esta exploración se obtuvieron 4 muestras con el tubo de pared delgada, para su posterior análisis en el laboratorio. Para su localización en el terreno se ubicaron las siguientes coordenadas: 7°00'28.3"N 73°01'13.1"W.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del sondeo 1.

Fotografía 14. Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas



Fuente: Autor

Fotografía 15. Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas



Fuente: Autor

Fotografía 16. Demarcación de puntos de referencia para control de longitudes perforadas



Fuente: Autor

Fotografía 17. Avance en el proceso de perforación SPT



Fuente: Autor

Fotografía 18. Evidencia de toma del sondeo #1



Fuente: Autor

Fotografía 19. Registro del sondeo 1 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m



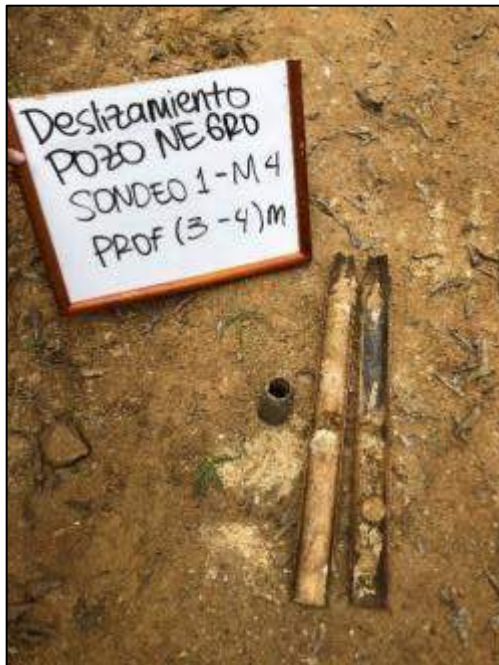
Fuente: Autor

Fotografía 20. Registro del sondeo 1 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m



Fuente: Autor

Fotografía 22. Registro del sondeo 1 – Muestra 4 – Prof: 3.0 m – 4.0 m



Fuente: Autor

Fotografía 21. Registro del sondeo 1 – Muestra 3 – Prof: 2.0 m – 3.0 m



Fuente: Autor


Fotografía 23. Registro del sondeo 1 – evidencia de todas las muestras perforadas



Fuente: Autor

En la tabla 24, se hace la descripción de los materiales encontrados en el sondeo 1, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 24. Perfil del suelo Sondeo 1

PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA		AP/SPT ASOCIADO:	Sondeo 1			
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro		FECHA DE ENSAYO:	28/05/2019			
		DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES						
		INVE - 101- 07						
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1	SM	Arena con poco limo, con presencia de materia organica de color marron arrillento, de grano medio, con baja cohesion, con baja dureza, tenacidad y compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	23.29%	N.P	N.P	23.70%
0.50	1.00							
1.00	1.50	2		Arena con poco limo, de color marron arrillento con motas blancas, de grano medio, con baja cohesion, con baja dureza, tenacidad y compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.				
1.50	2.00							
2.00	2.50	3		Arena con poco limo, de color marron arrillento, de grano medio, con baja cohesion, con baja dureza, tenacidad y compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.				
2.50	3.00							
3.00	3.50	4		Arena con poco limo, de color marron arrillento, de grano medio, con baja cohesion, con baja dureza, tenacidad y compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.				
3.50	4.00							

Fuente: Autor.

❖ Sondeo 2

Este sondeo se realizó en la parte media del talud, sobre el escarpe secundario, usando el método de exploración SPT, con el cual se llegó a una profundidad de 3m a rechazo, de esta exploración se obtuvieron 3 muestras con el tubo de pared delgada, para su posterior análisis en el laboratorio. Para su localización en el terreno se ubicaron las siguientes coordenadas: 7°00'29.0"N 73°01'13.3"W.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del sondeo 2

Fotografía 24. Inicio de actividades de perforación SPT



Fuente: Autor

Fotografía 25. Adecuación del equipo de perforación en el punto designado



Fuente: Autor

Fotografía 26. Avance en actividades de perforación con equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 27. Avance en actividades de perforación con equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 28. Vista general de la zona de perforación



Fuente: Autor

Fotografía 29. Registro del sondeo 2 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m.



Fuente: Autor

Fotografía 30. Registro del sondeo 2 – Muestra 3 – Prof: 2.0 m – 3.0 m



Fuente: Autor


Fotografía 31. Registro de extracción de muestras con tubo de pared delgada



Fuente: Autor

En la tabla 25, se hace la descripción de los materiales encontrados en el sondeo 2, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 25. Perfil del suelo Sondeo 2

		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INV E - 101-07						
		PROYECTO: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO		AP/SPT		Sondeo 2		
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro				FECHA DE ENSAYO: 28/05/2019		
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1	SM	Arena con poco limo, con presencia de material organico de color marron arrillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	7.87%	N.P	N.P	16%
0.50	1.00							
1.00	1.50	2	SM	Arena con poco limo, de color marron arrillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	6.19%	N.P	N.P	14.70%
1.50	2.00							
2.00	2.50	3	SM	Arena con poco limo, de color marron arrillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	19.70%	N.P	N.P	29.30%
2.50	3.00							
3.00	3.50	4	SM	Arena con poco limo, de color marron arrillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.				
3.50	4.00							

Fuente: Autor.

❖ Sondeo 3

Este sondeo se realizó en la parte baja del talud, sobre la vía, usando el método de exploración SPT, con el cual se llegó a una profundidad de 2 m a rechazo, de esta exploración se obtuvieron 2 muestras con el tubo de pared delgada, para su posterior análisis en el laboratorio. Para su localización en el terreno se ubicaron las siguientes coordenadas: 7°00'29.4"N 73°01'13.5"W.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del sondeo 3.

Fotografía 32. Actividades de perforación con equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 33. Evidencia de toma del sondeo #3



Fuente: Autor

Fotografía 34. Avance en la perforación con el equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 35. Extracción de muestras SPT



Fuente: Autor

Fotografía 36. Registro del sondeo 3 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m.



Fuente: Autor

Fotografía 38. Registro de las muestras extraídas



Fuente: Autor

Fotografía 37. Registro del sondeo 3 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 2.0 m



Fuente: Autor

Fotografía 39. Registro del Registro de las muestras extraídas



Fuente: Autor

En la tabla 26, se hace la descripción de los materiales encontrados en el sondeo 3, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 26. Perfil del suelo Sondeo 3

PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO		AP/SPT	Sondeo 3			
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro			FECHA DE ENSAYO:	28/05/2019		
Profundidad DE A		Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1	SM	Arena con poco limo, de color marron claro , con motas verdes,de grano medio, de media dureza, tenacidad, y compacidad,medianamente deleznable, humedo y no plastico.	8.08%	N.P	N.P	23.40%
0.50	1.00							
1.00	1.50	2						
1.50	2.00							

Fuente: Autor.

❖ Sondeo 4

Este sondeo se realizó en la parte baja del talud, sobre la vía, usando el método de exploración SPT, con el cual se llegó a una profundidad de 1 m a rechazo, de esta exploración se obtuvo una muestra con el tubo de pared delgada, para su posterior análisis en el laboratorio. Para su localización en el terreno se ubicaron las siguientes coordenadas: 7°00'29.2"N 73°01'14.0"W.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del sondeo 4.

Fotografía 40. Inicio de actividades de perforación con equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 41. Evidencia de toma del sondeo #4



Fuente: Autor

Fotografía 42. Avance en perforación con equipo SPT



Fuente: Autor

Fotografía 43. Toma de muestras con el tubo de pared delgada



Fuente: Autor

Fotografía 44. Avance en perforación con equipo SPT



Fuente: Autor


Fotografía 45. Registro del sondeo 4 –Muestra 1– Prof: 0.0 m – 1.0 m



Fuente: Autor

En la tabla 27, se hace la descripción de los materiales encontrados en el sondeo 4, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 27. Perfil del suelo Sondeo 4

 Universidad Pontificia Bolivariana		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INV E - 101- 07							
PROYECTO:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO				AP/SPT		Sondeo 4	
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro				FECHA DE ENSAYO:		28/05/2019	
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa	
0.00	0.50	1	SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio, de baja dureza, tenacidad, y compacidad, facilmente deleznable, humedo y no plastico.	8.72%	N.P	N.P	23.10%	
0.50	1.00								

Fuente: Autor.

❖ Sondeo 5

Este sondeo se realizó usando el método de rotopercusión, con el equipo especializado, el cual puede desarrollar los dos tipos de exploraciones, método spt y método rotatorio.

Este sondeo se realizó en la parte baja del talud sobre la vía, usando el método de exploración SPT y rotatorio, esto debido a que en los anteriores sondeos no se pudo extraer muestra a gran profundidad, ya que el suelo que se encontraba era muy duro; con este método se llegó a una profundidad de 6.5 m a rechazo, de esta exploración se obtuvieron 7 muestras con el tubo de pared delgada, para su posterior análisis en el laboratorio. Para su localización en el terreno se ubicaron las siguientes coordenadas: $7^{\circ}00'29.6''N$ $73^{\circ}01'13.1''W$.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del sondeo 5.

Fotografía 46. Inicio de perforación con máquina de rotación



Fuente: Autor

Fotografía 47. Avance de perforación con máquina de rotación



Fuente: Autor

Fotografía 48. Avance de perforación con máquina de rotación



Fuente: Autor

Fotografía 49. Registro del sondeo 5 – Muestra 1 – Prof: 0.0 m – 1.0 m



Fuente: Autor

Fotografía 50. Registro del sondeo 5 – Muestra 2 – Prof: 1.0 m – 1.30 m



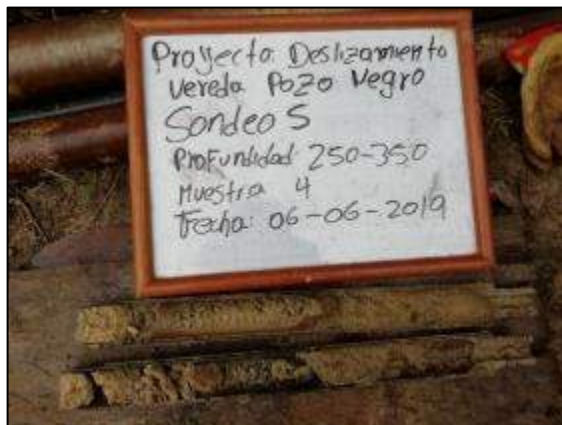
Fuente: Autor

Fotografía 51. Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 3 – Prof: 1.30 m – 2.50 m



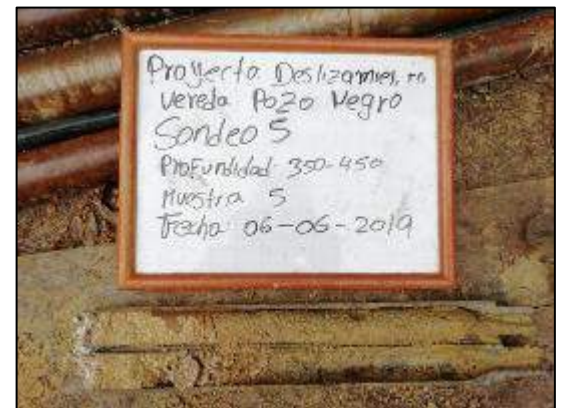
Fuente: Autor

Fotografía 52. Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 4 – Prof: 2.50 m – 3.50 m



Fuente: Autor

Fotografía 53. Avance Registro del sondeo 5 – Muestra 5 – Prof: 3.50 m – 4.50 m



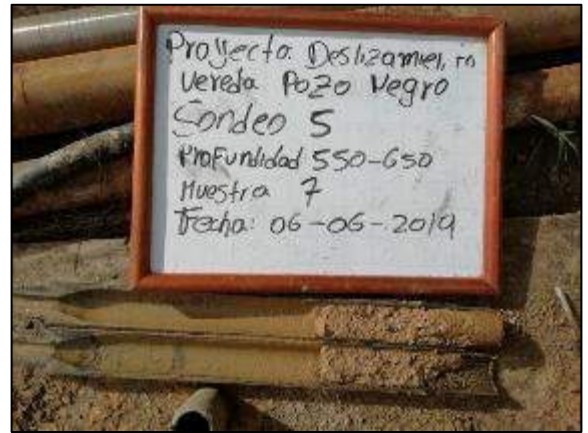
Fuente: Autor

Fotografía 54. Avance Registro del sondeo 5 –
Muestra 6 – Prof: 4.50 m – 5.50 m



Fuente: Autor


Fotografía 55. Avance Registro del sondeo 5 –
Muestra 7 – Prof: 5.50 m – 6.50 m



Fuente: Autor

En la tabla 28, se hace la descripción de los materiales encontrados en el sondeo 5, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 28. Perfil del suelo Sondeo 5

PROYECTO:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO		AP/SPT	Sondeo 5			
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro		FECHA DE ENSAYO:	6/06/2019			
		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES						
		INV E - 101- 07						
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1	SM	Arena con poca presencia de limo, de color marron claro,de grano fino con presencia de pequeñas gravas, de baja cohesion,de baja dureza, tenacidad, de compacidad media, facilmente deleznable, humedo, y nada plastico.	8.74%	22.14%	19.43%	25.20%
0.50	1.00							
1.00	1.50	2	SM	Arena con limos, de color marron amarillento,de grano medio,medianamente cohesivo, de baja dureza, tenacidad y compacidad,facilmente deleznable, humedo, y de baja plasticidad.	18.73%	N.P	N.P	23.90%
1.50	2.00							
2.00	2.50	3	SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio,de baja cohesion, dureza, tenacidad, compacidad, de baja dureza,facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	13.31%	N.P	N.P	15.80%
2.50	3.00							
3.00	3.50	4	SM	Arena con poco limo, con algo de grava, de grano medio, de color marron claro, con motas blancas, de baja durezatenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humeda y nada plastica.	9.06%	N.P	N.P	15.00%
3.50	4.00							
4.00	4.50	5	SM	Arena con poco limo, de color marron claro,de grano grueso, de baja cohesion,de baja dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo, y nada plastico.	9.06%	N.P	N.P	15.00%
4.50	5.00							
5.00	5.50	6	SM	Arena con poco limo, de color marron claro,de grano grueso, de baja cohesion,de baja dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo, y nada plastico.	9.06%	N.P	N.P	15.00%
5.50	6.00							
5.50	6.00	7	SM	Arena con poco limo, de color marron claro,de grano grueso, de baja cohesion,de baja dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo, y nada plastico.				

Fuente: Autor.

❖ Apique 1

Este apique se realizó en la parte alta del talud (corona), el cual se excavo a una profundidad de 1.2 m, de esta exploración se obtuvo una muestra significativa, para su posterior análisis en el laboratorio.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del apique 1.

Fotografía 56. Registro de Apique #1 – Prof: 1.20 m



Fuente: Autor

Fotografía 57. Registro de Apique #1 – Prof: 1.20 m



Fuente: Autor

En la tabla 29, se hace la descripción de los materiales encontrados en el apique 1, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 29. Perfil del suelo Apique 1

 Universidad Pontificia Bolivariana		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INV E - 101- 07						
PROYECTO:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO			AP/SPT		Apique 1	
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro			FECHA DE ENSAYO:		28/05/2019	
Profundidad		Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
DE	A							
0.00	0.50	1	SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	6.86%	N.P	N.P	12.00%
0.50	1.00							

Fuente: Autor.

❖ **Apique 2**

Este apique se realizó en la parte media del talud, el cual se excavo a una profundidad de 1m, de esta exploración se obtuvo una muestra significativa, para su posterior análisis en el laboratorio.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del apique 2.

Fotografía 58. Registro de Apique #2 – Prof: 1.0 m

Fotografía 59. Registro de Apique #2 – Prof: 1.0 m



Fuente: Autor



Fuente: Autor

En la tabla 30, se hace la descripción de los materiales encontrados en el apique 2, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 30. Perfil del suelo Apique 2

		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INVE - 101-07						
PROYECTO: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO		AP/SPT: Apique 2						
LOCALIZACIÓN: Vereda Pozo Negro		FECHA DE ENSAYO: 28/05/2019						
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1 y 2	SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	7.70%	N.P	N.P	12.90%
0.50	1.40							

Fuente: Autor.

❖ **Apique 3**

Este sondeo se realizó en la parte baja del talud, sobre la vía, el cual se excavo a una profundidad de 1 m, de esta exploración se obtuvo una muestra significativa, para su posterior análisis en el laboratorio.

El siguiente registro fotográfico corresponde a las evidencias tomadas durante la realización del apique 3.

Fotografía 60. Registro de Apique #3 – Prof: 1.0 m



Fuente: Autor

Fotografía 61. Registro de Apique #3 – Prof: 1.0 m



Fuente: Autor

En la tabla 31, se hace la descripción de los materiales encontrados en el apique 2, junto a características como la humedad natural, el límite líquido, el límite plástico y el % pasa 200.

Tabla 31. Perfil del suelo Apique 3

		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INV E - 101- 07						
		PROYECTO: ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO		AP/SPT Apique 3		LOCALIZACIÓN: Vereda Pozo Negro		
Profundidad DE	A	Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa
0.00	0.50	1	SP-SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, fácilmente deleznable, humedo y nada plastico.	10.66%	N.P	N.P	7.90%
0.50	1.00							

Fuente: Autor.

5.3. FASE DE OFICINA

En esta fase se realizará como primera medida el establecimiento de modelo geológico – geotécnico que se basa en la caracterización de la zona de estudio. Se modelarán diferentes escenarios y tipos de obras de control, teniendo como fin buscar factores de seguridad suficientes que garanticen la estabilidad del talud, dichos modelos serán los siguientes:

- ❖ Modelo del terreno en sus condiciones actuales, es decir, sin ningún tipo de medidas para el control de deslizamiento.
- ❖ Modelo en condiciones estáticas y dinámicas.
- ❖ Modelos con la implementación de diversos métodos para hallar el factor de seguridad.
- ❖ Modelo con la implantación de medias para la estabilización del talud.

Con base en este modelo se realizarán posteriormente tanto el análisis geotécnico y de estabilidad usando el método de equilibrio limite, aplicando la influencia de los factores externos que usualmente detonan los movimientos en masa, evaluando varios escenarios de análisis.

Durante esta fase se hace el análisis de estabilidad teniendo en cuenta los diversos escenarios como son: las condiciones naturales y en condiciones con la implementación de posibles soluciones de estabilidad.

Teniendo como fundamento los resultados obtenidos, se puede establecer con mayor certeza que medida puede adecuarse más a las condiciones existentes.

5.3.1. Variabilidad del suelo

En el área de estudio se presenta baja variabilidad de las condiciones del subsuelo, ya que no se dan variaciones importantes entre perforaciones, la formación y el material geológico es similar, los espesores y las características geomecánicas son aproximadamente homogéneas y el área presenta materiales uniformes.

5.3.2. Corrección del ensayo de penetración estándar spt

Posterior a la realización de los sondeos en campo, la información suministrada por el mismo debe corregirse para condiciones de energía y eficiencia estándar, además para diseño se debe corregir por efectos de la presión de confinamiento, obtenido la siguiente corrección:

$$N_{60} = CN * n1 * n2 * n3 * n4 * n5$$

Donde:

Cn = Corrección por sobrecarga (presión de confinamiento), para realizar este tipo de corrección se tiene en cuenta la ecuación de Liao y Wittman 1986.

$$Cn = \sqrt{\frac{1}{\sigma'v}}$$

N1= corrección por relación de energía del martillo, se considera una energía estándar de 60% y una energía del martillo empleada del 45% entonces $N1 = 45/60 = 0.75$

N2= Corrección por longitud de la varilla

0-4 m = 0.75

4-6 m = 0.85

6-10 m = 0.95

>10 m = 1.0

N3= Corrección por el revestimiento de toma muestras = 1.0

N4= Corrección por el diámetro de la perforación: 1.

N5= Corrección por el cambio de peso en el martillo ($W \cdot h / 4838.7$), en este caso el peso del martinete es de 140 lbs por tanto $N5=1.0$

En la tabla 32, se encuentra el resumen los valores de N de campo, junto con los valores de N corregido, que se realizaron para cada sondeo.

Tabla 32. Resumen de los valores del N y N corregidos para los sondeos realizados en el área de estudio

INFORMACION DE CAMPO							CORRECCIONES PARA CALCULO DE N												
PROFUNDIDAD		SONDEOS					PARAMETROS					CALCULO DEL CN							
DE	A(m)	S1	S2	S3	S4	S5	Peso Especifico (Ton/m3)	Esf vertical (Ton/m ²)	U (Ton/m ²)	Esfuerzo T/M2	Rs	Peck	Seed	Meyerhoff-Ishihara	Liao-Whitman	Skemp-ton	Seed-Idriss	Schmertman n	Cn final
0.0	0.50	7	41	45	53	41	1.44	0.72	0.00	0.72	0.07	1.88	2.00	2.00	2.00	1.87	2.00	2.00	1.96
0.50	1.00	8	47	83	148	41	1.44	1.44	0.00	1.44	0.14	1.65	2.00	2.00	2.00	1.75	2.00	2.00	1.91
1.00	1.50	8	57	116	148	50	1.41	2.12	0.00	2.12	0.21	1.52	1.84	1.87	2.00	1.65	1.95	2.00	1.83
1.50	2.00	34	76	134	148	50	1.41	2.82	0.00	2.82	0.28	1.42	1.69	1.73	1.88	1.56	1.78	2.00	1.72
2.00	2.50	38	89	134	148	50	1.38	3.45	0.00	3.45	0.35	1.36	1.58	1.63	1.70	1.49	1.65	1.89	1.61
2.50	3.00	43	105	134	148	40	1.38	4.14	0.00	4.14	0.41	1.29	1.48	1.53	1.55	1.41	1.54	1.75	1.51
3.00	3.50	51	105	134	148	31	1.37	4.80	0.00	4.80	0.48	1.25	1.40	1.44	1.44	1.35	1.45	1.63	1.42
3.50	4.00	57	105	134	148	24	1.37	5.48	0.00	5.48	0.55	1.20	1.33	1.36	1.35	1.29	1.37	1.52	1.35
4.00	4.50	57	105	134	148	24	1.46	6.57	0.00	6.57	0.66	1.14	1.23	1.25	1.23	1.21	1.26	1.38	1.24
4.50	5.00	57	105	134	148	62	1.48	7.40	0.00	7.40	0.74	1.10	1.16	1.18	1.16	1.15	1.18	1.29	1.18
5.00	5.50	57	105	134	148	45	1.49	8.20	0.00	8.20	0.82	1.07	1.11	1.12	1.10	1.10	1.12	1.21	1.12
5.50	6.00	57	105	134	148	39	1.51	9.06	0.00	9.06	0.91	1.03	1.05	1.06	1.05	1.05	1.06	1.14	1.06
6.00	6.50	57	105	134	148	44	1.46	9.49	0.00	9.49	0.95	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.10	1.04
6.50	7.00	-	-	-	-	-													

Fuente: Autor.

En la tabla 33, se presentan los valores de N corregido y el cálculo de N60 o N de diseño.

Tabla 33. N corregido y cálculo del N60

Correcciones adicionales					N CORREGIDO Y N DE DISEÑO						
n1	n2	n3	n4	n5	S1	S2	S3	S4	S5	PROM	NDIS
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	8	45	50	59	45	41.30	41
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	9	51	89	159	44	70.40	70
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	8	59	119	152	51	77.86	78
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	33	73	129	143	48	85.18	85
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	34	80	120	132	45	82.02	82
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	36	88	112	123	33	78.43	78
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	40	82	105	116	24	73.58	74
0.75	0.75	1.00	1.00	1.00	42	78	99	110	18	69.38	69
0.75	0.85	1.00	1.00	1.00	43	78	100	110	18	69.84	70
0.75	0.85	1.00	1.00	1.00	40	74	95	105	44	71.71	72
0.75	0.85	1.00	1.00	1.00	38	71	90	100	30	66.02	66
0.75	0.85	1.00	1.00	1.00	37	68	86	95	25	62.29	62
0.75	0.95	1.00	1.00	1.00	39	73	93	102	30	67.51	68

Fuente: Autor.

En la tabla 34, se da la correlación entre la resistencia a la penetración y las propiedades de los suelos.

Tabla 34. Correlación entre la resistencia a la penetración y las propiedades de los suelos

Correlación para arenas (Bastante segura)		Correlación para arcillas (relativamente insegura)	
Número de golpes por 30cms N	Compacidad relativa	Número de Golpes por 30 cms N	Compacidad relativa
		<2	Muy Blanda
0 - 4.0	Muy Suelta	2.0 - 4.0	Blanda
4.0 - 10	Suelta	4.0 - 8.0	Media
10.0 - 30.0	Media	8.0 - 15	Firme
30.0 - 50.0	Compacta	15 - 30	Muy Firme
>50	Muy Compacta	>30	Dura

Fuente: Tomado de: Peck, Hanson, Thornburn – Ingeniería de Cimentaciones.

5.3.3. Análisis del tipo de suelo encontrado

El perfil estratigráfico típico de la zona se encuentra constituido por un estrato de suelo principalmente, constituidos por arenas (SM) que de acuerdo a la condición de suelo, aumentan las propiedades a medida que se profundizan en el terreno. De forma estratiforme, con cierta clasificación, no varía mucho su densidad, son suelos muy isotrópicos en su distribución con propiedades geotécnicas similares, la permeabilidad de cada estrato depende de la granulometría, pero en general presentan no porcentajes apreciables de fino lo que los hace permeables.

En los primeros y últimos metros del perfil de suelo en estudio aparecen arenas limosas (SM), y hacia las capas intermedias se encuentra una mezcla de arcilla ligera (CL)

5.3.4. Propiedades de los suelos encontrados

En la tabla 35, se presentan las propiedades a considerar para estos tipos de suelo son:

Tabla 35. Características de los suelos del sitio

SUELO TIPO SEGÚN SUCS	RESISTENCIA AL CORTANTE	RESISTENCIA A LA TUBIFICACIÓN	PERMEABILIDAD	COMPRESIBILIDAD	SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO	SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACIÓN
SM	Alta	Baja a Muy baja	Semipermeable a Impermeable	Compresibilidad baja si más del 60% del material es grueso, la compresibilidad varía según la compacidad del depósito	Mediana a alta	Las arenas finas limosas uniformes en estado suelto son susceptibles

Fuente: Tomado y Modificado de Crespo Villaz – Mecánica de Suelos

Evaluando los índices de plasticidad de la zona de estudio se observa que en la mayor parte de las muestras recuperadas son perfiles de suelo granulares, donde en algunos casos no se presentan índices, en general son materiales con ángulos de fricción medios a altos.

5.3.5. Estimación parámetros geomecánicos

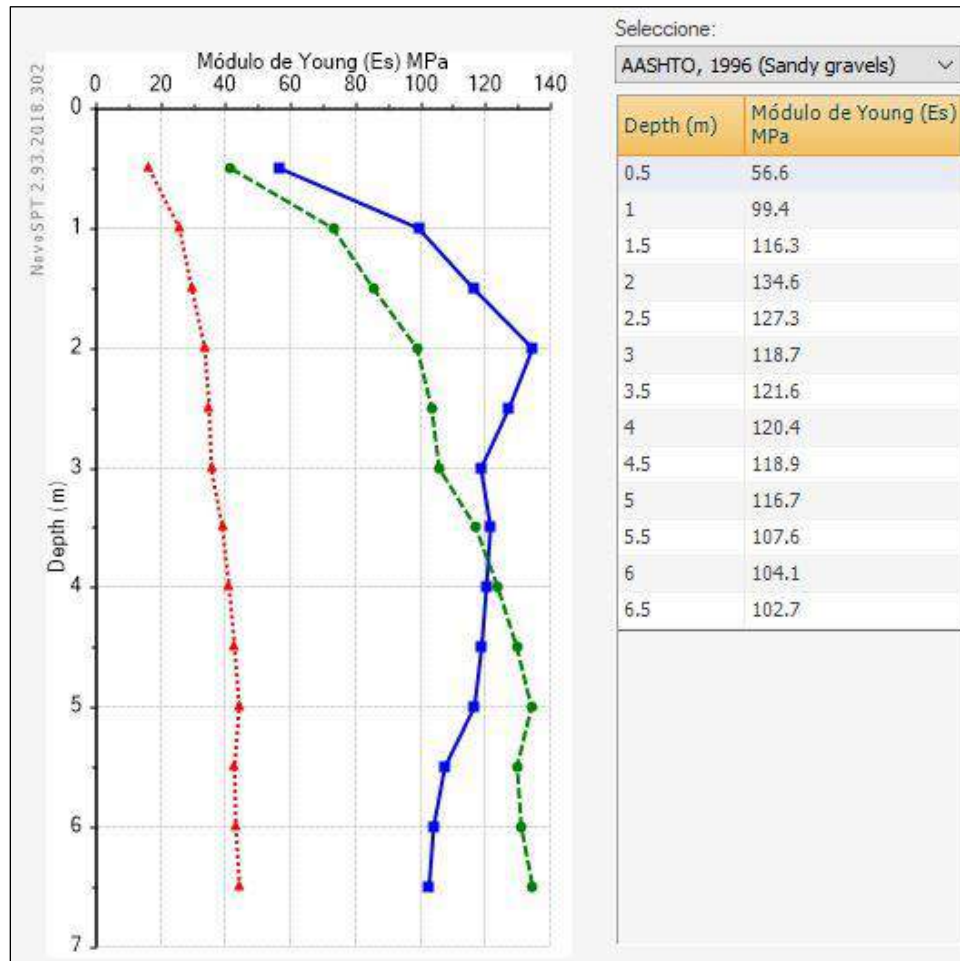
❖ Módulo de elasticidad

El cálculo del módulo de elasticidad con base en una correlación del ensayo de penetración estándar, para obtener el módulo de elasticidad se utiliza las expresiones de Tan Yean Chin

(1991) para perfil de suelo gravoso y areno arcilloso y las de Bowles para suelos areno gravosos y limo-arenosos.

En la siguiente figura 24, se presenta el cálculo del módulo de Young, estas correlaciones y graficas se obtuvieron a partir del software Novosppt®.

Figura 24. Cálculo del Módulo de Young (Mpa)



Fuente: Autor.

❖ Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción es la resistencia que presentan los materiales por la fricción que hay entre las superficies de contactos de las partículas. Debido a que los suelos granulares poseen superficies de contacto mayores y sus partículas, son angulares, presentan trabazón, se presentan mayores fricciones internas. Por otro lado, en los suelos finos se presentaban bajas fricciones internas.

Ángulo de Fricción Interna Obtenido en Laboratorio

A continuación, en la tabla 36, se describen los ángulos de fricción obtenidos en laboratorio mediante el ensayo de corte directo.

Tabla 36. Recopilación de Ángulos de fricción interna obtenida en laboratorio

ANGULO DE FRICCIÓN	
S2 - M3 (2-3m)	41,09
A1 - M2 (0-1,2 m)	38,22
A2 - M1 (0-1 m)	41,14
A2 - M2 (0-1 m)	37,89
S5 - M5 (3,5 - 4,5 m)	46,85
A3 - M2 (0-1 m)	25,85

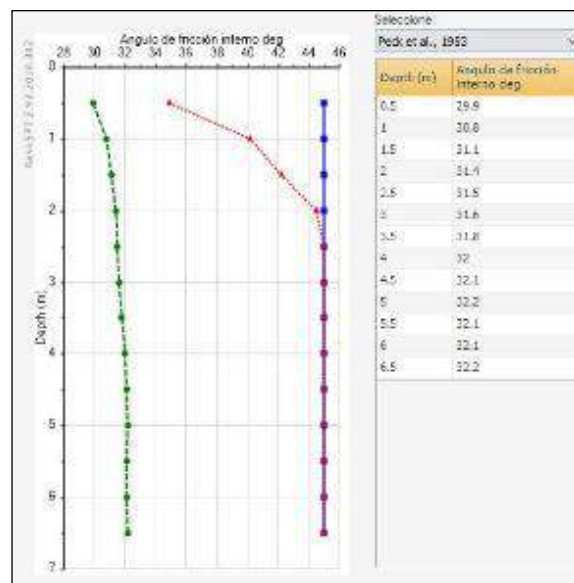
Fuente: Autor.

Ángulo de Fricción obtenido a partir de correlaciones con NovoSpt

En el análisis de resistencia al cortante, se requiere el ángulo de fricción interna del suelo; para obtener este valor se utiliza las correlaciones con base en el ensayo de penetración estándar y se hace una estimación directa a partir del encontrado en el laboratorio con el ensayo de y corte directo. La correlación que se utiliza a partid del spt es de Hatanaka y Uchida (1996) se hace un estudio comparativo con el ensayo de corte directo.

En la siguiente figura 25, se presenta el ángulo de fricción interna, estas correlaciones y graficas se obtuvieron a partir del software Novospt®.

Figura 25. Ángulo de Fricción Interna



Fuente: Autor.

Ángulo de Fricción obtenido a partir de correlaciones con el N 60 y el N 72

Se realiza el análisis para el ángulo de fricción teniendo en cuenta la correlación manual calculando el N60, el N72 y el N promedio de campo, posteriormente se obtiene el ángulo de fricción con las correlaciones de Peck, Peck-Hanson Thornburn, Kishida, Schmertmann y finalmente se halla un ángulo de fricción promedio y un tao promedio insumos de la envolvente de resistencia que se observa en la tabla 37, tabla 38 y tabla 39, estas correlaciones se realizaron en los sondeos más representativos del estudio con el fin de comprender como es el comportamiento del ángulo de fricción en el perfil inferido del suelo.

Tabla 37. Ángulo de fricción para el sondeo 1

DATOS DE CAMPO		ϕ equivalente				
Prof	S1	Peck	Peck, Hanson Thornburn	Kishida	Schmertmann	ϕ prom
0.50	7	30.25	29.05	24.35	28.29	27.99
1.00	8	30.50	29.43	25.00	29.39	28.58
1.50	8	30.50	29.43	25.00	29.39	28.58
2.00	34	37.00	37.33	35.62	42.65	38.15
2.50	38	38.00	38.28	36.79	43.73	39.20
3.00	43	39.25	39.38	38.18	44.93	40.44
3.50	51	41.25	40.97	40.25	46.59	42.27
4.00	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
4.50	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
5.00	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
5.50	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
6.00	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
6.50	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54

Fuente: Autor

Tabla 38. Ángulo de fricción para el sondeo 2

DATOS DE CAMPO		ϕ equivalente				
Prof	S2	Peck	Peck, Hanson Thornburn	Kishida	Schmertmann	ϕ prom
0.50	41	38.75	38.95	37.64	44.47	39.95
1.00	47	40.25	40.20	39.24	45.80	41.37
1.50	57	42.75	42.03	41.69	47.67	43.54
2.00	76	47.50	44.80	45.82	50.45	47.14
2.50	89	50.75	46.25	48.35	51.95	49.33
3.00	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
3.50	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
4.00	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
4.50	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
5.00	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
5.50	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
6.00	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79
6.50	105	54.75	47.67	51.23	53.50	51.79

Fuente: Autor

Tabla 39. Ángulo de fricción para el sondeo 3

DATOS DE CAMPO		ϕ equivalente				
Prof	S3	Peck	Peck, Hanson Thornburn	Kishida	Schmertmann	ϕ prom
0.50	45	39.75	39.80	38.72	45.38	40.91
1.00	83	49.25	45.62	47.21	51.29	48.34
1.50	116	57.50	48.46	53.08	54.42	53.37
2.00	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
2.50	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
3.00	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
3.50	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
4.00	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
4.50	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
5.00	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
5.50	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
6.00	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79
6.50	134	62.00	49.48	55.93	55.74	55.79

Fuente: Autor

❖ Cohesión

La cohesión es la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un suelo variará si cambia su contenido de humedad

En la tabla 40, se presenta la recopilación de datos obtenidos para la cohesión obtenidos mediante los ensayos de laboratorio.

Tabla 40. Recopilación de resultados de cohesión

COHESIÓN		
Muestra #	Kg/cm ²	KN/m ²
S2 - M3 (2-3m)	0,33	31,61
A1 - M2 (0-1,2 m)	0,04	4,18
A2 - M1 (0-1 m)	0,15	14,35
A2 - M2 (0-1 m)	0,19	19,04
S5 - M5 (3,5 - 4,5 m)	0,48	46,7
A3 - M2 (0-1 m)	0,12	11,47

Fuente: Autor

Con base en los análisis anteriormente realizados se hallan los parámetros geomecánicos, que se requieren como insumo para los cálculos y análisis de estabilidad del talud, y el diseño de las obras de estabilización.

5.3.6. Definición de parámetros geomecánicos para cada estrato

El ángulo de fricción se halló según las correlaciones con el ensayo de penetración estándar a través del N de campo, N60 y N72, así mismo se el análisis con el ensayo de corete directo, el cual determina directamente este ángulo de fricción y el parámetro de cohesión.

En la tabla 41, se presentan los parámetros geomecánicos dados para el perfil de suelo previamente determinado.

Tabla 41. Parámetros geomecánicos en el perfil de suelo hallado.

PROPIEDADES GEOMECHANICAS POR CADA ESTRATO		
ESTRATO 1		
Profundidad	Profundidad Típica entre 0- 1.5 metros aprox y en la parte superior del talud posee una profundidad de 3.5 mt	
UGI	Srainb : Suelo residual arenoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramagna	
Descripcion del Material	Suelo arenolimoso de color marron claron con notas claras, de granos subredondeados, con cementacion debil, no presenta cohesion ni plasticidad	
Compacidad	Material con poca compacidad - en general suelto	
$\gamma =$	13.58 KN/m ³	Peso unitario
$\Phi =$	27.99 °	Ángulo de fricción
$C =$	14.35 KN/m ²	Cohesión

PROPIEDADES GEOMECHANICAS POR CADA ESTRATO		
ESTRATO 2		
Profundidad	Profundidad Típica entre 1.5-3 metros aprox y en la parte superior del	
UGI	Srainb : Suelo residual arenoso de intrusión ígnea en el Neis de	
Descripcion del Material	Suelo arenoso con poco limo de color marron amarillento, con motas blancas de grano medio, baja cohesion, en algunos muestras aparece	
Compacidad	Material de baja a media compacidad	
$\gamma =$	15.37 KN/m ³	Peso unitario
$\Phi =$	31.4 °	Ángulo de fricción
$C =$	14.35 KN/m ²	Cohesión

PROPIEDADES GEOMECHANICAS POR CADA ESTRATO		
ESTRATO 3		
Profundidad	Profundidad Típica mayor a 3 metros aprox	
UGI	Sraginb : Suelo residual areno-gravoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga	
Descripcion del Material	Suelo arenoso con poco limo y algo de grava, de grano medio, de color marron claro de baja plasticidad	
Compacidad	Material de compacidad media a alta	
$\gamma =$	16.57 KN/m ³	Peso unitario
$\Phi =$	40.44 °	Ángulo de fricción
$C =$	31.61 KN/m ²	Cohesión

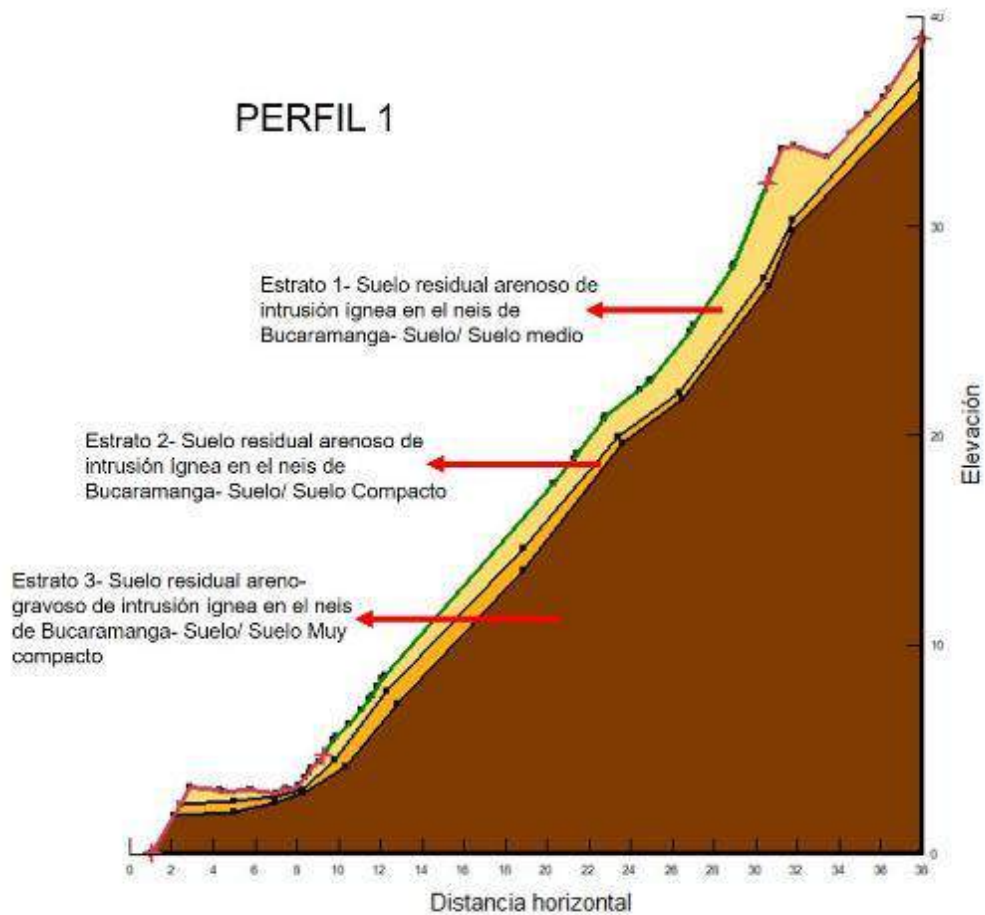
Fuente: Autor

5.3.7. Perfil geológico – geotécnico inferido

De acuerdo con la información sobre la investigación del subsuelo, se definen los siguientes perfiles para el desarrollo del análisis de estabilidad para el talud, donde se identifican el tipo de materiales de la zona, las características topográficas, y las propiedades geomecánicas propias del suelo.

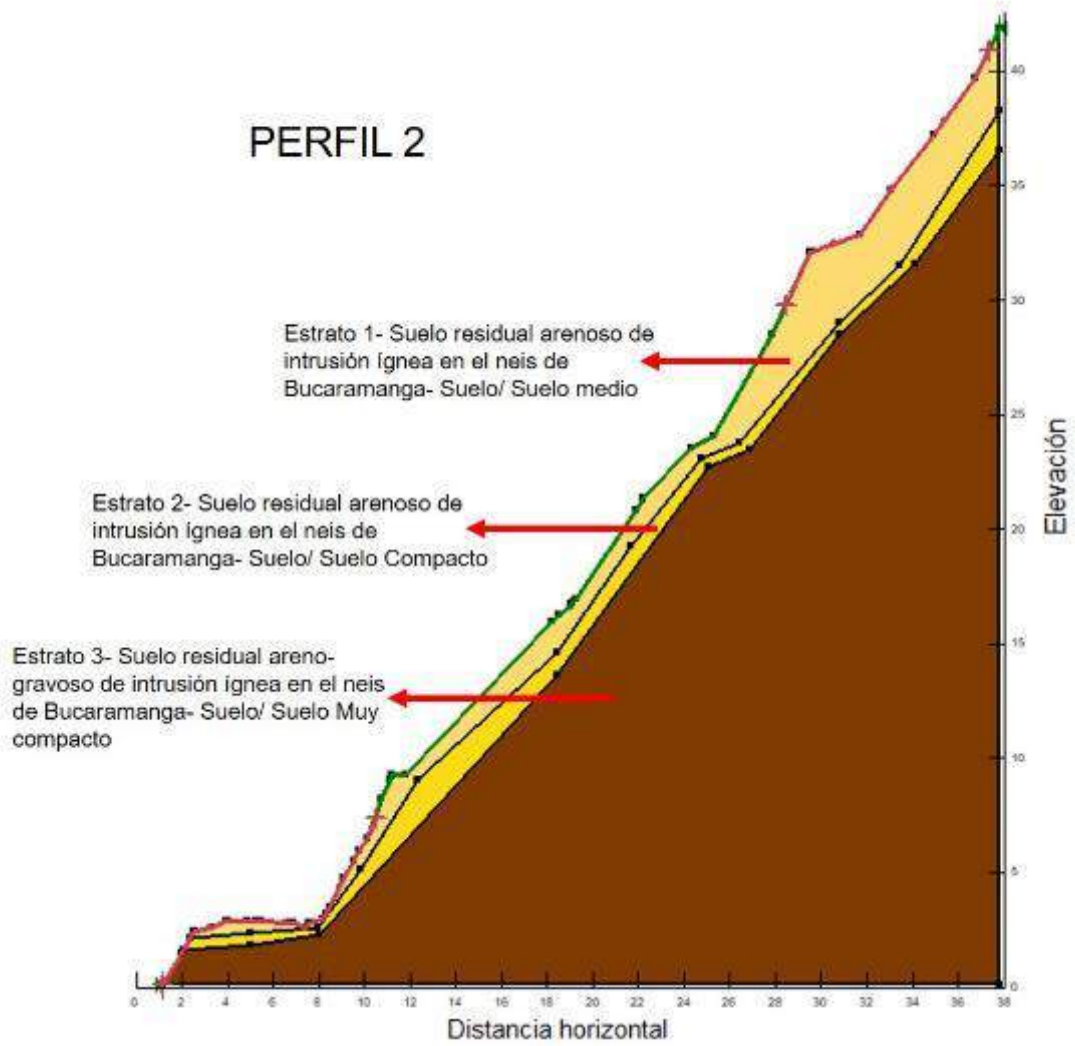
En la figura 25, figura 26 y figura 27, se identifican los diferentes perfiles con los cuales se realiza el análisis de estabilidad, donde se relacionan con diferentes nombres, colores y características según los materiales de cada estrato.

Figura 26. Perfil 1



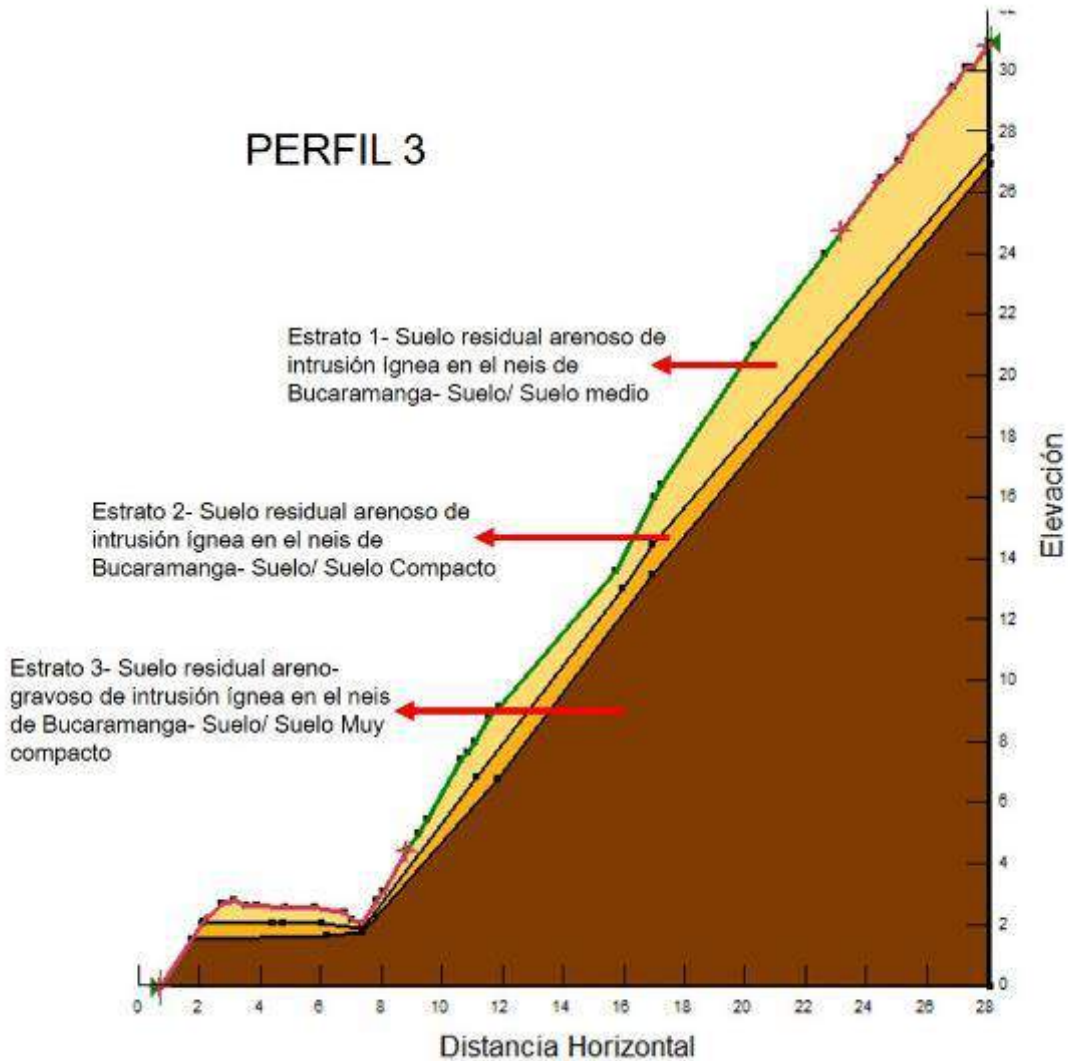
Fuente: Autor.

Figura 27. Perfil 2



Fuente: Autor.

Figura 28. Perfil 3



Fuente: Autor.

5.3.8. Análisis de estabilidad del talud

Este capítulo contiene los análisis requeridos para determinar la estabilidad de las laderas en las áreas de estudio, mediante metodologías determinísticas se obtiene el factor de seguridad, como insumo de este análisis se encuentran tanto los parámetros geomecánicos hallados en la fase de oficina como las condiciones geológicas, y propiedades del suelo obtenidas a través de investigación del subsuelo ensayos de campo y laboratorios.

Este análisis de estabilidad se realiza por medio del software especializado, que determina un valor del factor de seguridad el cual al ser comparado con la tabla de factores de seguridad básicos mínimos directos, se puede definir si el talud se encuentra estable o inestable en condiciones naturales del terreno.

Metodología para análisis de estabilidad:

- ❖ Establecimiento de Escenarios de análisis
- ❖ Determinación del perfil transversal más crítico del área a intervenir
- ❖ Modelo de Estabilidad en software especializado, como insumo del modelo se encuentran las propiedades geomecánicas en los análisis realizados a través del presente documento
- ❖ Obtención de Factores de Seguridad para cada escenario

❖ Escenarios de análisis

En la tabla 42, se presentan los dos escenarios de análisis que serán evaluados en el modelo de estabilidad, juntos a los parámetros dados en cada uno de ellos.

Tabla 42. Escenarios evaluados en los modelos geotécnicos

ESCENARIO 1	Terreno en condición natural, para condiciones de sismo Pseudo-estático (0.16g) y ascenso máximo del nivel freático.
ESCENARIO 2	Terreno intervenido con obras de estabilización y mitigación, para condiciones de sismo Pseudo-estático (0.133g) y ascenso máximo del nivel freático.

Fuente: Autor.

5.3.9. Categorización de estabilidad de la ladera de acuerdo con los factores de seguridad

Como criterios para definir los niveles estabilidad, se determinaron los factores de seguridad del talud y se utilizaron los especificados en el título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10. En este título se encuentra la tabla H.2.4-1 que muestra los factores de seguridad mínimos directos para garantizar la estabilidad del terreno.

En la tabla 43, se hace la representación de la tabla H.2.4-1 de la NSR- 10, que muestra los factores de seguridad mínimos directos para garantizar la estabilidad del terreno.

Tabla 43. Factores de seguridad básicos mínimos directos

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + Carga Viva Normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Carga muerta + Carga Viva Máxima	1,25	1,10	1,40	1,15
Carga muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1,10	1,00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes - Condiciones Estáticas y Agua Subterránea Normal	1,50	1,25	1,80	1,40
Taludes - Condición Seudo - estática con agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1,05	1,00	No se permite	No se permite

Fuente. Tomado y adaptado del Reglamento Sismo Resistente NSR-10 [8]

5.3.10. Análisis de estabilidad según los perfiles seleccionados y los escenarios posibles

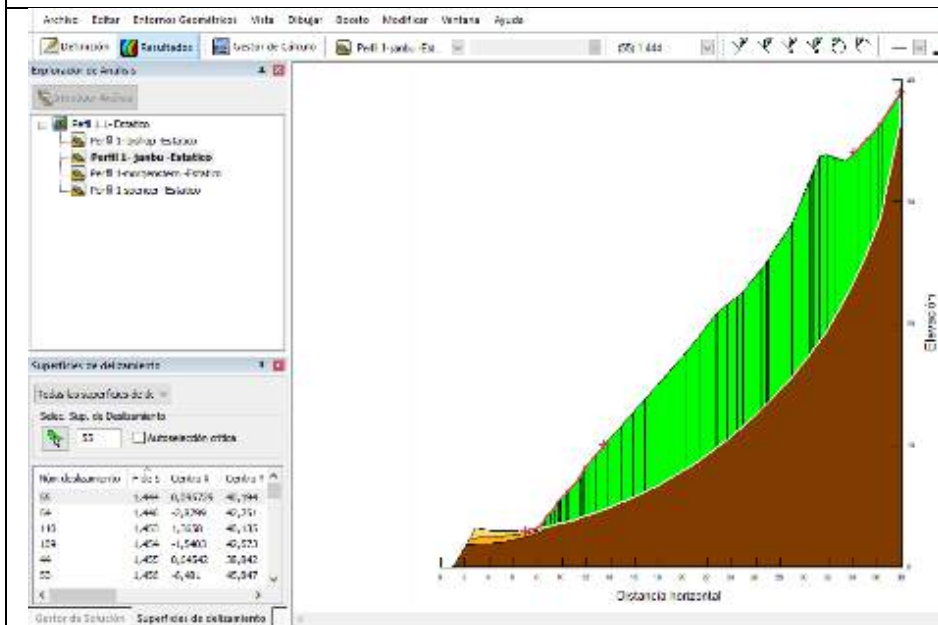
De acuerdo con la Investigación del subsuelo realizada, el levantamiento geológico de detalle, se definen los escenarios y materiales para conformar el perfil de suelo a analizar, desarrollado en los tres perfiles de análisis.

En las siguientes figuras se presenta la modelación de cada uno de los perfiles, teniendo en cuenta los diferentes parámetros geomecánicos, y los dos escenarios de análisis.

En la figura 29, se presenta la modelación del Perfil 1, con escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático

Figura 29. Modelo del Perfil 1 – Escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático

Factor de Seguridad



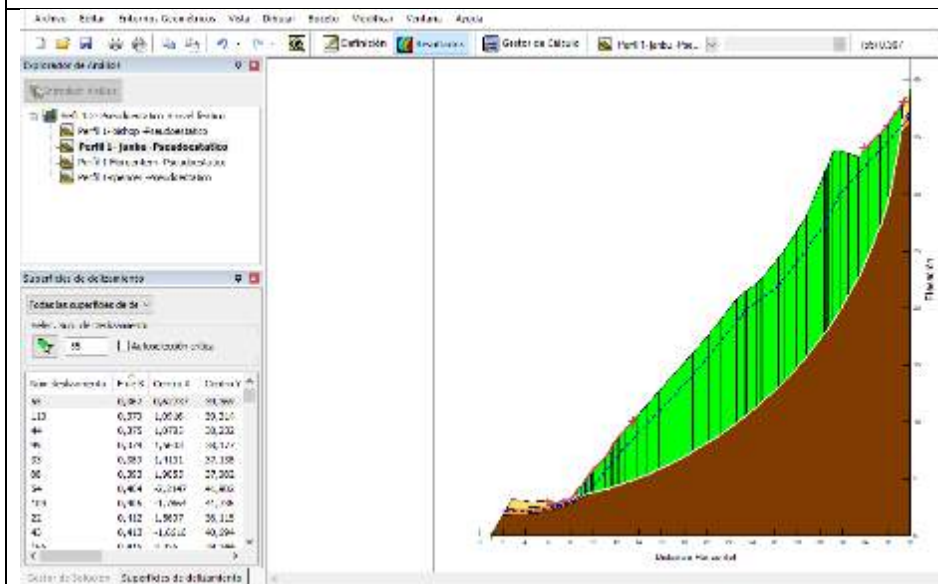
Spencer: 1,564
Morgenstern: 1,500
Janbu: 1,444
Bishop: 1,507

Fuentes: Autor

En la figura 30, se presenta la modelación del Perfil 1, con escenario en condiciones pseudoestáticas y con nivel freático.

Figura 30. Modelo del Perfil 1 – Escenario en condiciones pseudoestáticas y con nivel freático

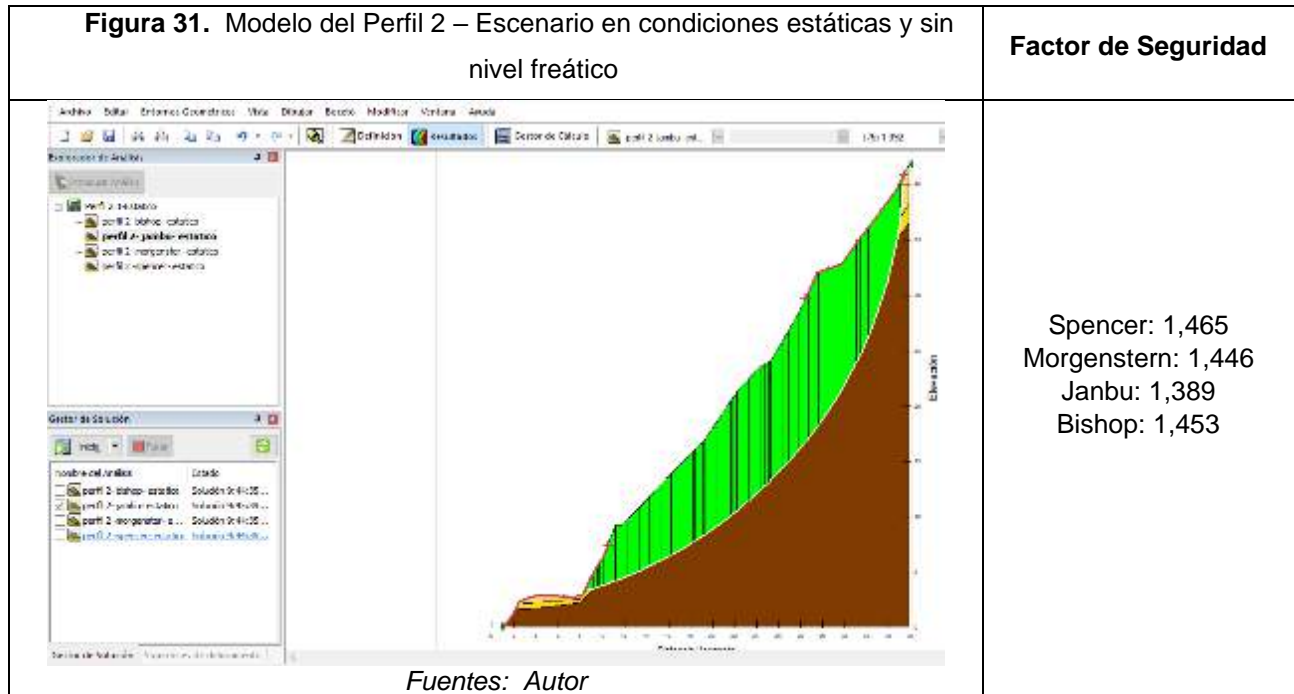
Factor de Seguridad



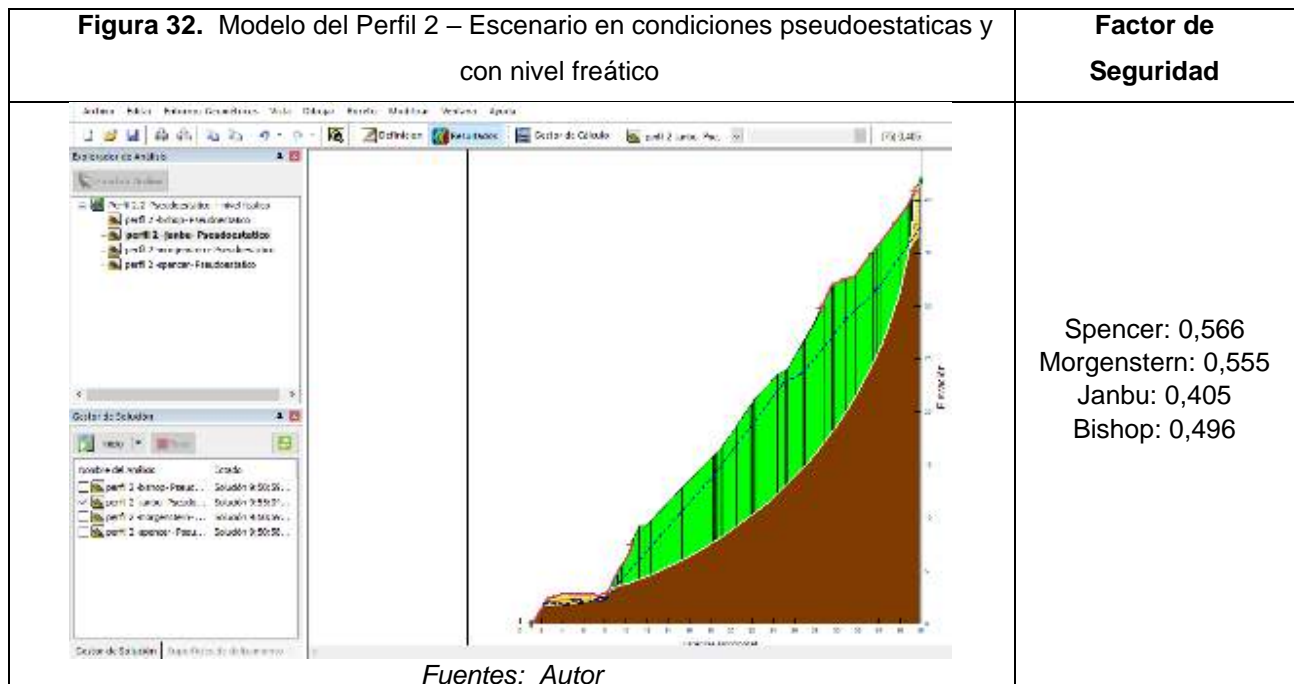
Spencer: 0,575
Morgenstern: 0,575
Janbu: 0,367
Bishop: 0,499

Fuentes: Autor

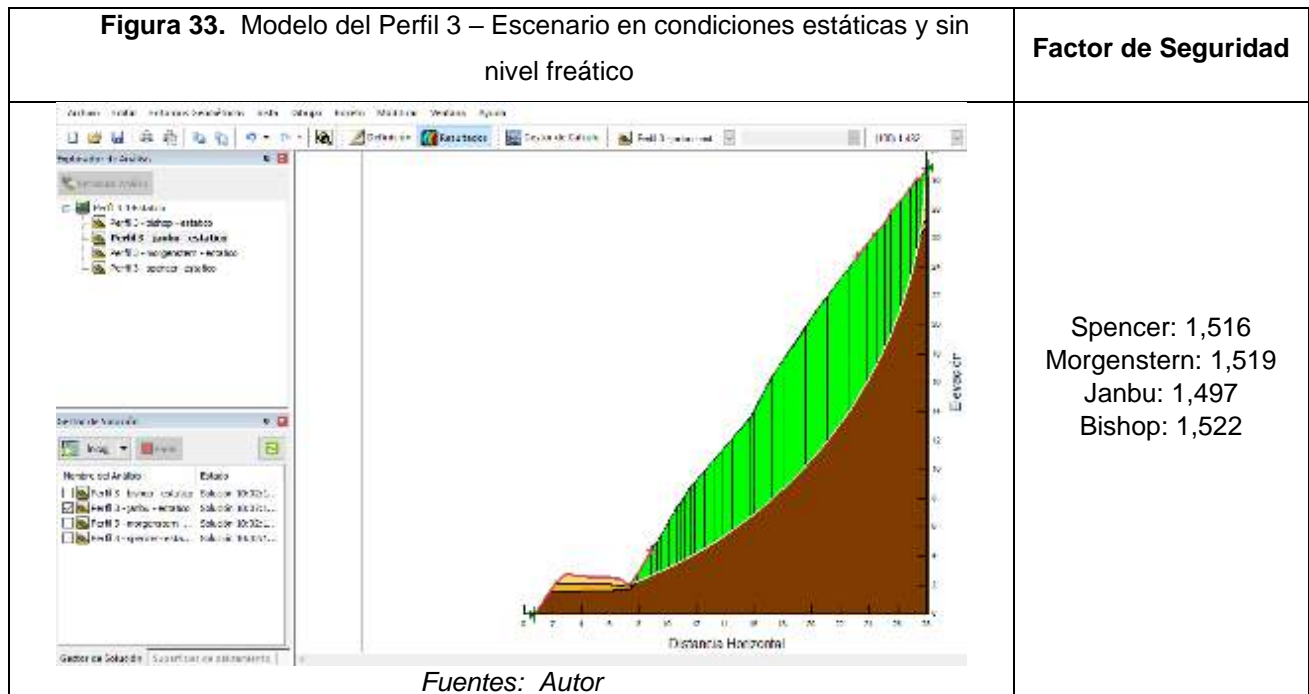
En la figura 31, se presenta la modelación del Perfil 2, con escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático.



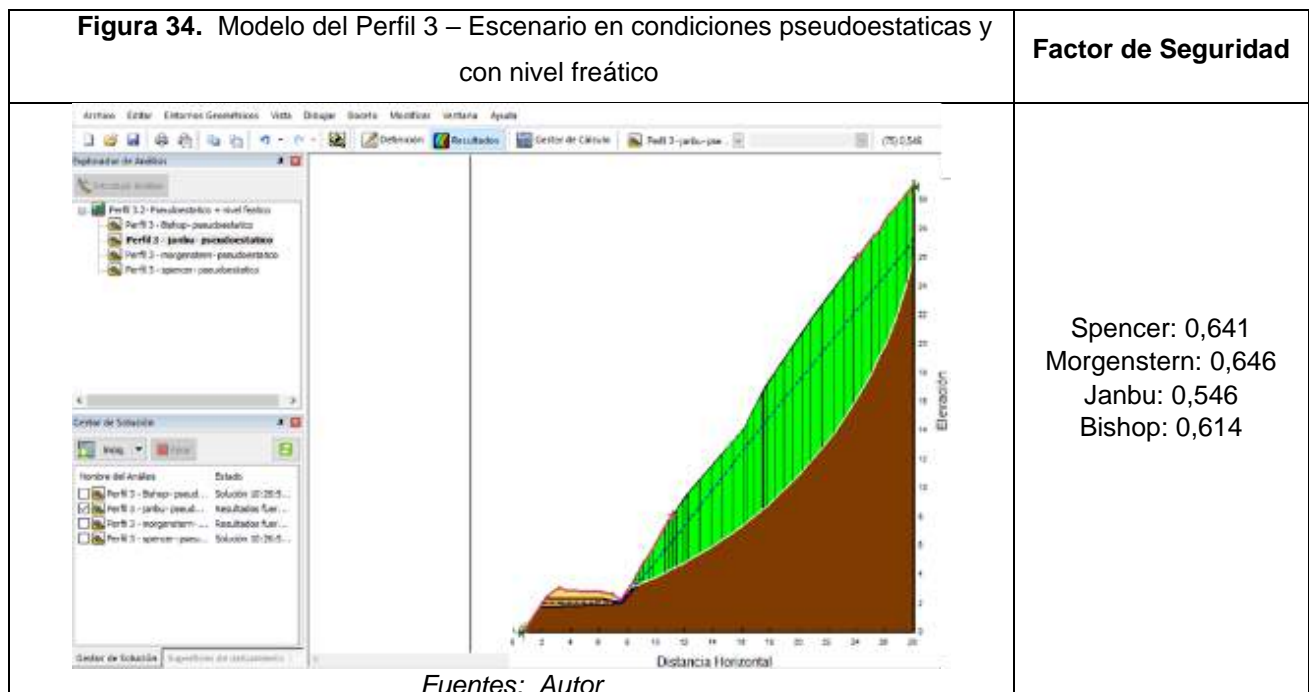
En la figura 32, se presenta la modelación del Perfil 2, con escenario en condiciones pseudoestáticas y con nivel freático.



En la figura 33, se presenta la modelación del Perfil 3, con escenario en condiciones estáticas y sin nivel freático.



En la figura 34, se presenta la modelación del Perfil 3, con escenario en condiciones pseudoestáticas y con nivel freático.



Del modelamiento efectuado en el software especializado para cada uno de los tres (3) perfiles del terreno se obtuvieron factores de seguridad entre 1,389 a 1,564 para condiciones estáticas y entre 0,367 a 0,646 para condiciones pseudoestáticas.

❖ **Recopilación de resultados de la modelación y análisis de estabilidad usando el software especializado.**

En la tabla 44, se presentan los datos arrojados por la modelación del talud en el software especializado, relacionando cada perfil, método de análisis, condición estática y condición pseudoestática.

Tabla 44. Recopilación de resultados de la modelación y análisis de estabilidad usando el software especializado.

MODELACIÓN Y ANALISIS DEL TALUD EN CONDICIONES NATURALES			
Detalle de perfil		Tipo de análisis	
		Estático	Pseudoestático
Perfil 1	Spencer	1,564	0,575
	Morgenstern	1,500	0,575
	Janbu	1,444	0,367
	Bishop	1,507	0,499
Perfil 2	Spencer	1,465	0,566
	Morgenstern	1,446	0,555
	Janbu	1,389	0,405
	Bishop	1,453	0,496
Perfil 3	Spencer	1,516	0,641
	Morgenstern	1,519	0,646
	Janbu	1,497	0,564
	Bishop	1,522	0,614

Fuente: Autor

Debido a que los valores obtenidos del factor de seguridad se encuentran en dichos rangos, no se garantiza la estabilidad del terreno, por tanto, se procede a proponer dos tipos de medidas de mitigación para alcanzar factores de seguridad acordes con las necesidades que se tienen en la zona, dando mayor énfasis en el perfil numero 2 ya que debido a los

resultados del factor de seguridad se determina que es el perfil más crítico de los analizados.

5.3.11. Propuestas de mitigación

Las siguientes son propuestas de mitigación con las cuales se pueden mejorar las condiciones de estabilidad, aumentando el factor de seguridad, relacionando cada propuesta con su respectiva validación según el modelo desarrollado con el software especializado.

❖ Propuesta 1 – perfilado y revegetalización del talud

Esta propuesta se basa en la modificación de la geometría del talud, donde es necesario retirar el material que se encuentra inestable. Así mismo se busca disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa y aumentar la resistencia al corte del terreno, así aumentando las tensiones normales en zonas que sean convenientes de la superficie de rotura; este perfilado permite que se borren las irregularidades que se presenten en el talud.

Posteriormente al perfilado del sitio, se debe llevar a cabo obras de revegetalización, con ello se para prevenir los efectos de la erosión, influyendo en los siguientes factores: se impide el impacto directo de la lluvia con el suelo y amortigua la energía de las gotas; se modifica el ciclo hidrológico de la lluvia, con la retención de agua en el follaje, disminuyendo la rafa de agua de escorrentía; se disminuye la humedad del suelo por el efecto de la evapotranspiración, donde las raíces absorben la humedad del suelo y es transmitida a la atmósfera por evaporación, incluyendo la traspiración por el follaje; se disminuye el potencial de avenidas torrenciales ya que el agua es acumulada en el follaje y depende directamente de la densidad interna del follaje medida por el área de hojas por área nominal. dicha revegetalización debe ser diseñada de acuerdo con las especies nativas y limitando el uso de especie exóticas. [11]

Las siguientes son los revestimientos más usados para este tipo de obras:

- ❖ **Revegetalización con biomanto y estolones**
- ❖ **Revegetalización con biomanto y semilla**

Es necesario la implementación de obras de drenaje superficial con el fin de reducir la infiltración y erosión debido a la acción del agua. Dicho sistema debe captar las aguas de escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud, llevando dichas aguas al sitio de disposición final. Cabe aclarar que dichas obras para el control de aguas superficiales deben diseñarse para recibir los caudales de una lluvia predeterminada con un período de retorno que generalmente son 100 a 500 años, según la importancia de la obra.

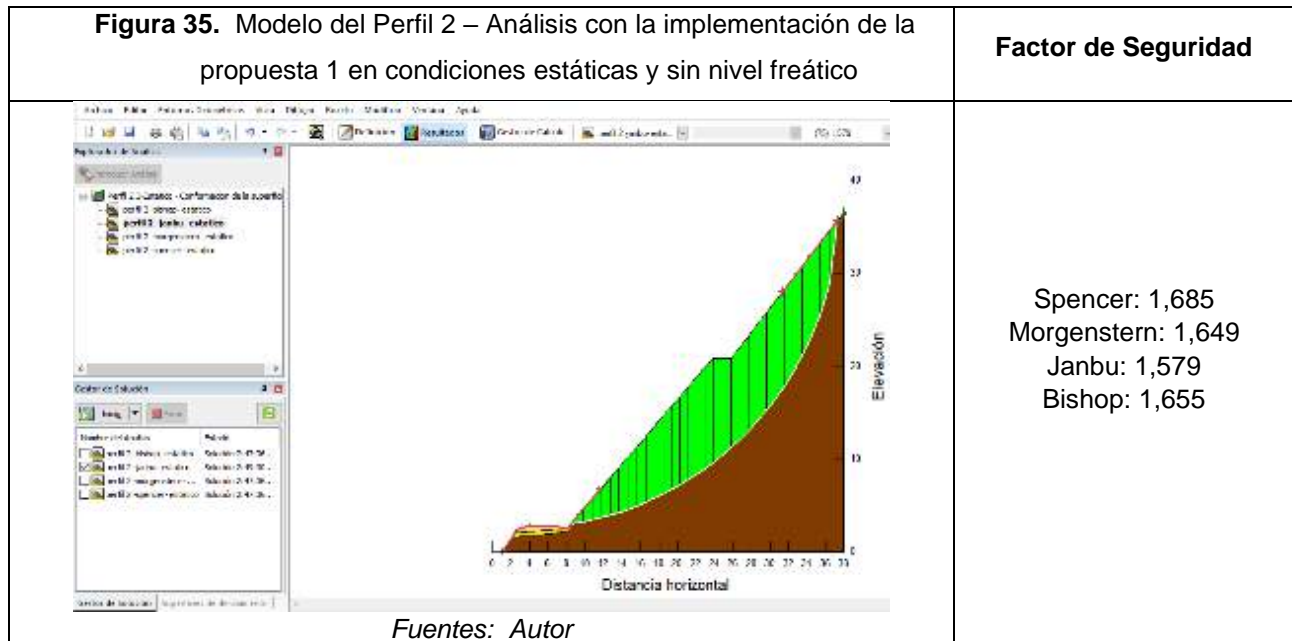
Las siguientes estructuras pueden ser alternativas para la implementación en el talud del sitio de estudio:

- ❖ Canales interceptores o cortacorriente, pueden estar localizados en la corona del talud, en cárcavas de erosión o en sitio intermedios, dicho canales deben ser recubiertos contra la erosión o posibles deslizamientos; algunos de ellos son: canal en sacos de suelo cemento, canal en concreto simple, canal en concreto reforzado.
- ❖ Canales colectores o disipadores, estas estructuras son las encargadas de tomar las aguas provenientes de los canales interceptores, generalmente en dirección del talud; por lo general se presentan altas pendientes en dichos taludes por ello, este sistema es el más eficiente para la disipación de energía, y se recomienda el uso de elementos que produzcan rugosidad para generar un flujo amortiguado y minimiza la velocidad en su pie. **[11]**

Las siguientes figuras se presenta la modelación del perfilado que se realiza en cada uno de los perfiles, para poder evidenciar el aumento del valor del factor de seguridad, haciendo al talud más estable:

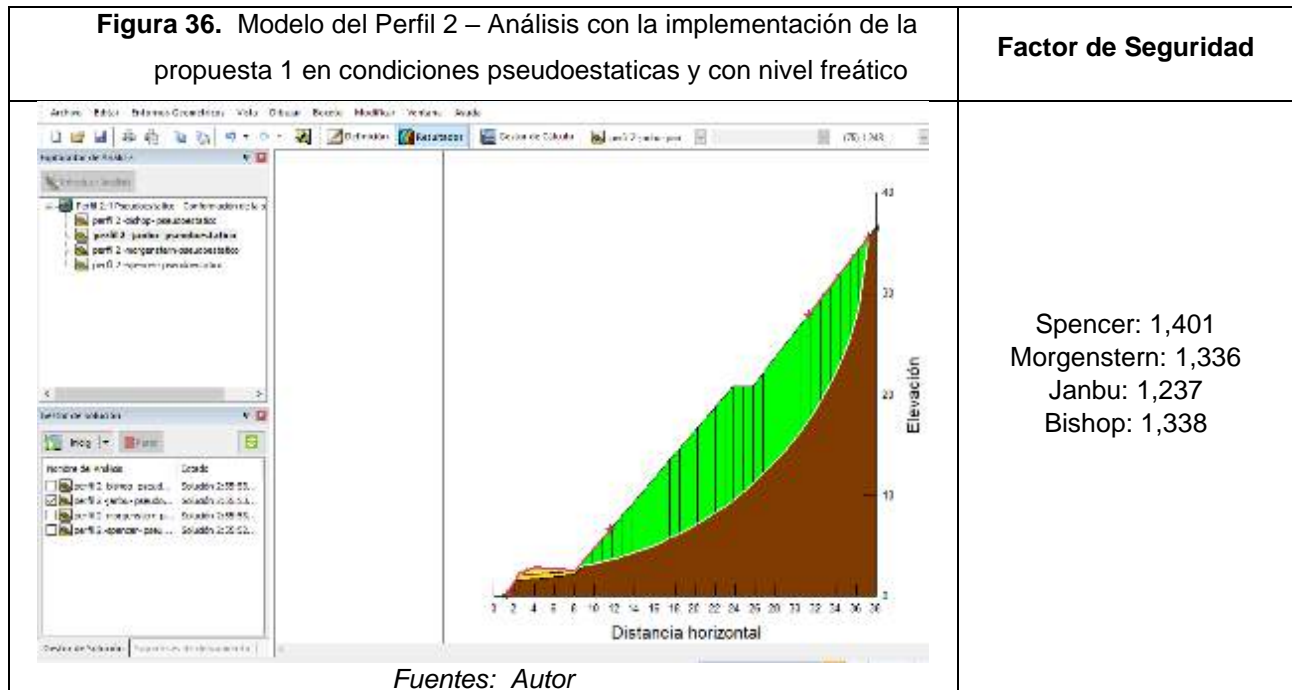
❖ Análisis estático

En la figura 35, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis con la implementación de la propuesta 1 en condiciones estáticas y sin nivel freático.



❖ Análisis pseudoestático

En la figura 36, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis con la implementación de la propuesta 1 en condiciones pseudoestáticas y con nivel freático.



❖ Propuesta 2- Revestimiento de concreto

Esta propuesta se basa en la aplicación de revestimiento de concreto sobre la superficie del talud, donde es necesario retirar el material que se encuentra inestable y posteriormente aplicar el concreto. Es usado generalmente para taludes que presentan pendientes mayores 1H:1V, usualmente se le colocan elementos de anclaje debajo de la pantalla para evitar su deslizamiento. Estos son elementos pueden ser pernos de varillas de acero o elementos que se puedan fundir integralmente con la pantalla. El espesor del revestimiento en concreto va desde los 5 a 15 centímetros y se recomienda reforzar con malla electrosoldada, dicho concreto debe poseer buena resistencia al desgaste y comúnmente se exigen resistencias del 4000 psi. Igualmente se deben satisfacer los siguientes criterios: lanzabilidad, resistencia temprana, resistencia a largo plazo, durabilidad y economía. [11]

Posteriormente al perfilado del sitio, se debe llevar a cabo obras de revegetalización, con ello se para prevenir los efectos de la erosión, influyendo en los siguientes factores: se impide el impacto directo de la lluvia con el suelo y amortigua la energía de las gotas; se modifica el ciclo hidrológico de la lluvia, con la retención de agua en el follaje, disminuyendo la rafa de agua de escorrentía; se disminuye la humedad del suelo por el efecto de la evapotranspiración, donde las raíces absorben la humedad del suelo y es transmitida a la atmósfera por evaporación, incluyendo la transpiración por el follaje; se disminuye el potencial de avenidas torrenciales ya que el agua es acumulada en el follaje y depende directamente de la densidad interna del follaje medida por el área de hojas por área nominal. dicha revegetalización debe ser diseñada de acuerdo con las especies nativas y limitando el uso de especie exóticas. [11]

Las siguientes son los revestimientos más usados para este tipo de obras:

- ❖ **Revegetalización con biomanto y estolones**
- ❖ **Revegetalización con biomanto y semilla**

Es necesario la implementación de obras de drenaje superficial con el fin de reducir la infiltración y erosión debido a la acción del agua. Dicho sistema debe captar las aguas de escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud, llevando dichas aguas al sitio de disposición final. Cabe aclarar que dichas obras para el control de aguas superficiales deben diseñarse para recibir los caudales de una lluvia predeterminada con un período de retorno que generalmente son 100 a 500 años, según la importancia de la obra.

Las siguientes estructuras pueden ser alternativas para la implementación en el talud del sitio de estudio:

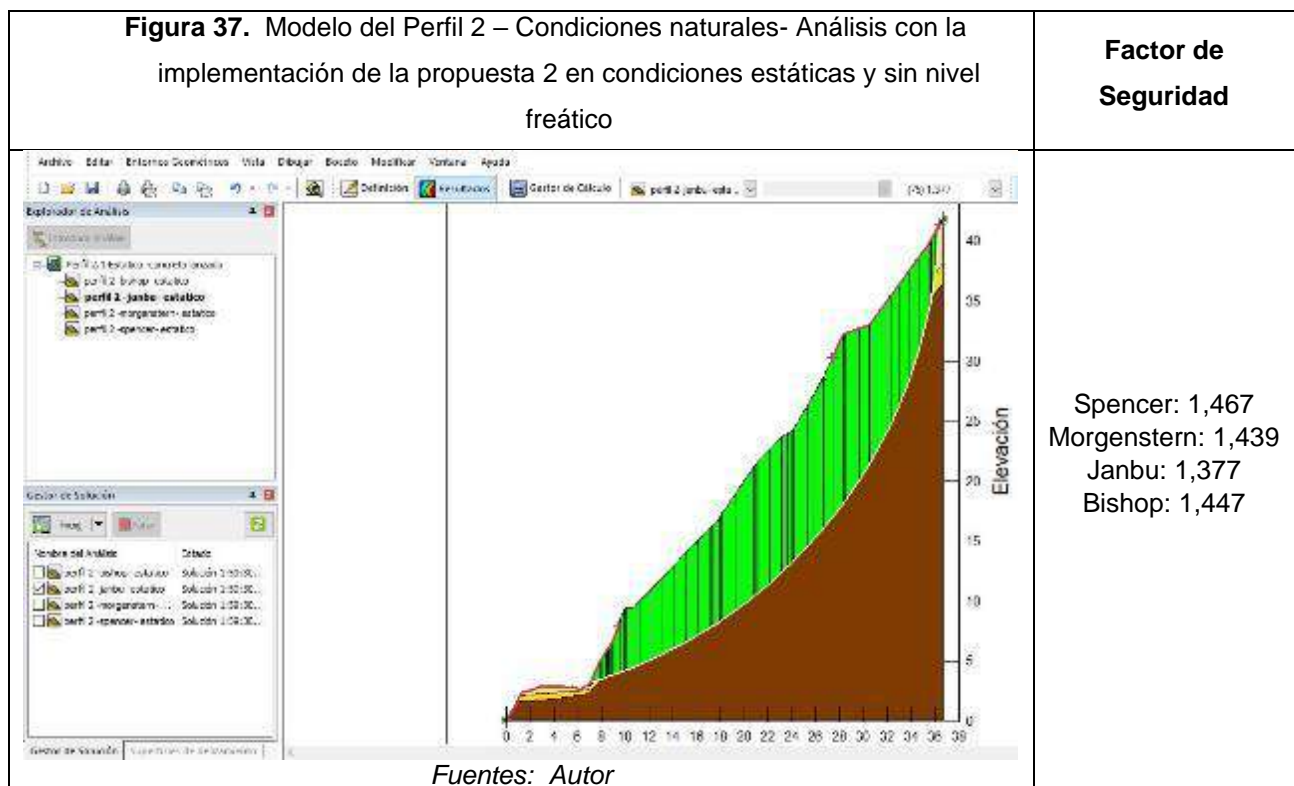
- ❖ Canales interceptores o cortacorriente, pueden estar localizados en la corona del talud, en cárcavas de erosión o en sitio intermedios, dicho canales deben ser recubiertos contra la erosión o posibles deslizamientos; algunos de ellos son: canal en sacos de suelo cemento, canal en concreto simple, canal en concreto reforzado.
- ❖ Canales colectores o disipadores, estas estructuras son las encargadas de tomar las aguas provenientes de los canales interceptores, generalmente en dirección del talud; por lo general se presentan altas pendientes en dichos taludes por ello, este sistema es el más eficiente para la disipación de energía, y se recomienda el uso de

elementos que produzcan rugosidad para generar un flujo amortiguado y minimiza la velocidad en su pie. [11]

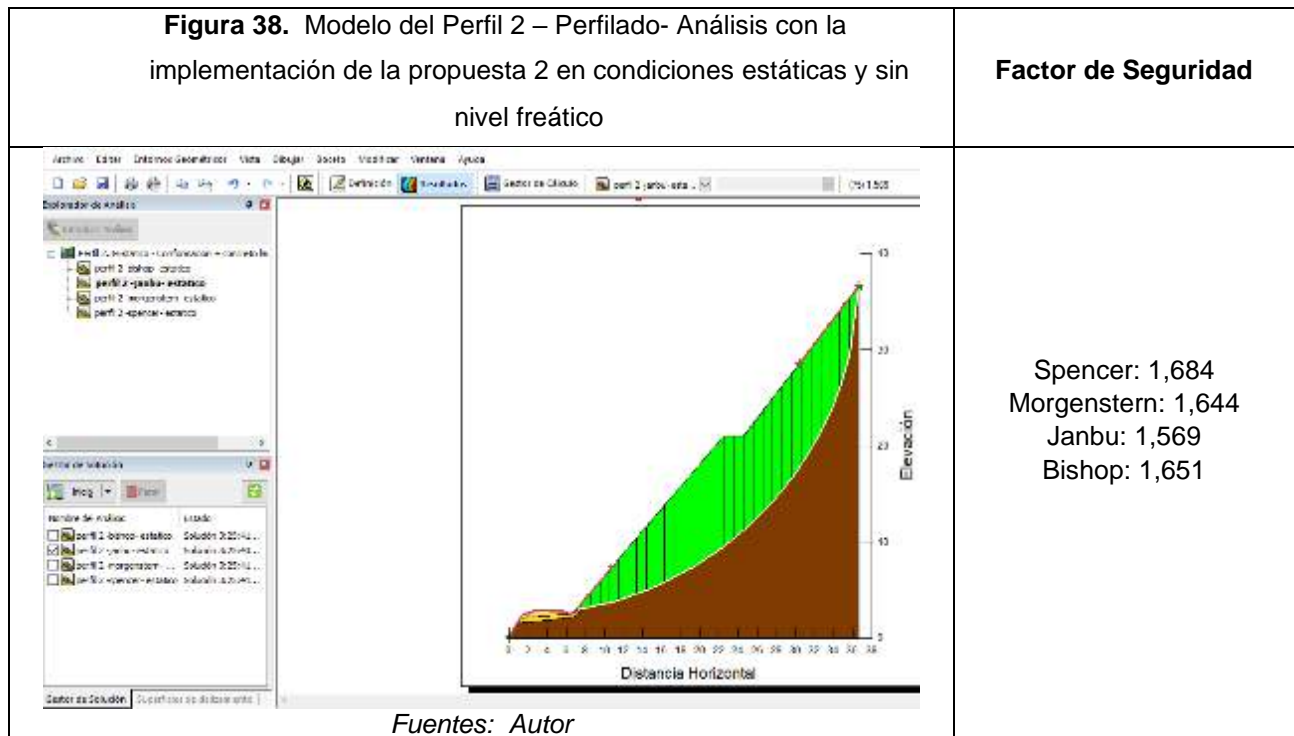
Las siguientes figuras se presenta la modelación del concreto lanzado, que se realiza en el perfil 2 el cual presenta las condiciones más crítico, teniendo como variable la superficie natural del suelo y la superficie perfilada, con ello evidenciar el aumento del valor del factor de seguridad, haciendo al talud más estable:

❖ **Análisis estático**

En la figura 37, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis en condiciones naturales con la implementación de la propuesta 2 en condiciones estáticas y sin nivel freático.

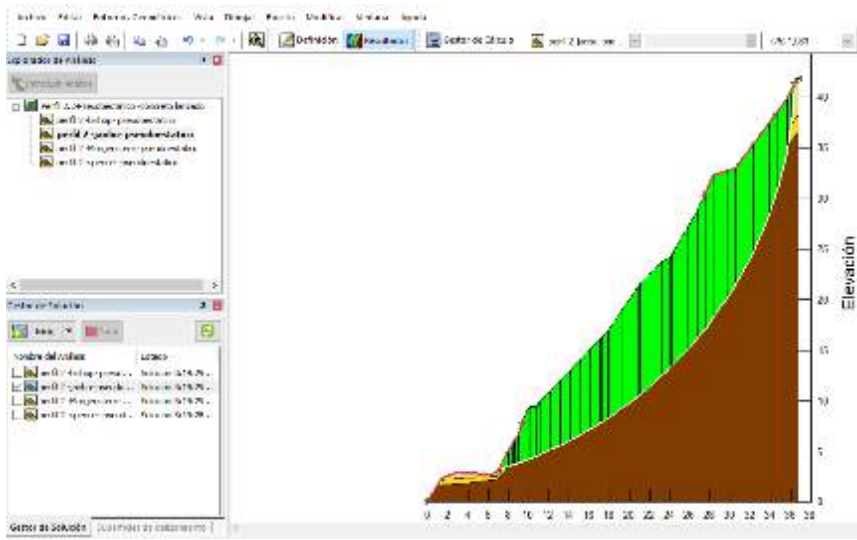


En la figura 38, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis con terreno perfilado y la implementación de la propuesta 2 en condiciones estáticas y sin nivel freático.

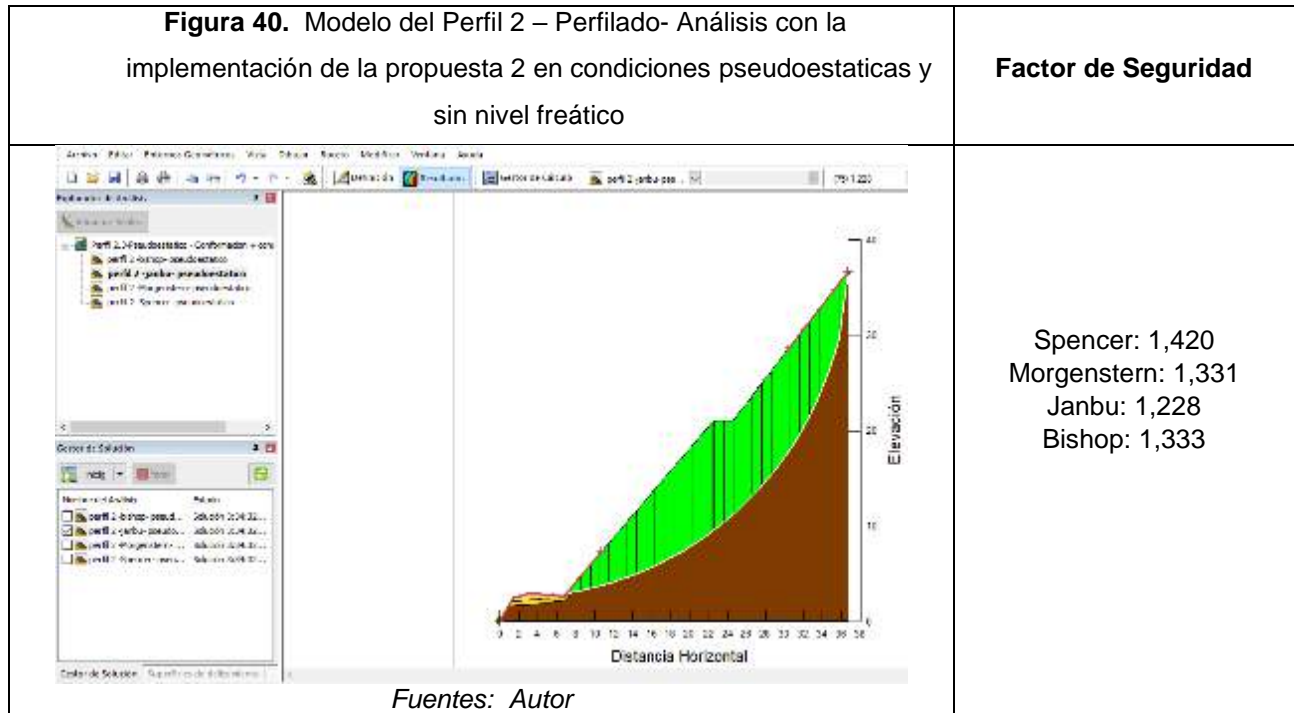


❖ **Análisis pseudoestático**

En la figura 39, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis en condiciones naturales con la implementación de la propuesta 2 en condiciones estáticas y sin nivel freático.

<p>Figura 39. Modelo del Perfil 2 – Condiciones naturales- Análisis con la implementación de la propuesta 2 en condiciones pseudoestáticas y sin nivel freático</p>	<p>Factor de Seguridad</p>
 <p>Fuentes: Autor</p>	<p>Spencer: 1,272 Morgenstern: 1,172 Janbu: 1,083 Bishop: 1,176</p>

En la figura 40, se presenta el modelamiento usando el software especializado, desarrollando el análisis con terreno perfilado y la implementación de la propuesta 2 en condiciones pseudoestáticas y sin nivel freático



❖ **Recopilación de resultados de la modelación y análisis de las propuestas de mitigación para el sitio de estudio.**

En la tabla 45, se presentan los datos arrojados por la modelación del talud en el software especializado, relacionando cada perfil, método de análisis, condición estática y condición pseudoestática.

Tabla 45. Recopilación de resultados de la modelación y análisis de las propuestas de mitigación para el sitio de estudio

MODELACIÓN Y ANALISIS DEL TALUD CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MITIGACIÓN			
Detalle de perfil		Tipo de análisis	
		Estático	Pseudoestático
ANALISIS DE TALUD + PERFILADO+ REVEGETALIZACIÓN			
Perfil 2	Spencer	1,685	1,401
	Morgenstern	1,649	1,336
	Janbu	1,579	1,237
	Bishop	1,655	1,338
ANALISIS DE TALUD NATURAL + CONCRETO LANZADO			
Perfil 2	Spencer	1,467	1,272
	Morgenstern	1,439	1,172
	Janbu	1,377	1,083
	Bishop	1,447	1,176
ANALISIS DE TALUD + PERFILADO + CONCRETO LANZADO			
Perfil 2	Spencer	1,684	1,420
	Morgenstern	1,644	1,331
	Janbu	1,569	1,228
	Bishop	1,651	1,333

Fuente: Autor

❖ **Recopilación de resultados General de las modelaciones realizadas para el sitio de estudio.**

En la tabla 46, se presentan la recopilación general de los factores de seguridad dados para el análisis de estabilidad y para las propuestas de mitigación en el sitio de estudio.

Tabla 46. Recopilación de resultados de la modelación del análisis estabilidad y las propuestas de mitigación para el sitio de estudio

ANALISIS DE TALUD EN CONDICIONES NATURALES			
Detalle de perfil		Tipo de análisis	
		Estático	Pseudoestático
Perfil 1	Spencer	1,564	0,575
	Morgenstern	1,500	0,575
	Janbu	1,444	0,367
	Bishop	1,507	0,499
Perfil 2	Spencer	1,465	0,566
	Morgenstern	1,446	0,555
	Janbu	1,389	0,405
	Bishop	1,453	0,496
Perfil 3	Spencer	1,516	0,641
	Morgenstern	1,519	0,646
	Janbu	1,497	0,564
	Bishop	1,522	0,614
ANALISIS DE TALUD + PERFILADO+ REVEGETALIZACIÓN			
Perfil 2	Spencer	1,685	1,401
	Morgenstern	1,649	1,336
	Janbu	1,579	1,237
	Bishop	1,655	1,338
ANALISIS DE TALUD NATURAL + CONCRETO LANZADO			
Perfil 2	Spencer	1,467	1,272
	Morgenstern	1,439	1,172
	Janbu	1,377	1,083
	Bishop	1,447	1,176
ANALISIS DE TALUD + PERFILADO + CONCRETO LANZADO			
Perfil 2	Spencer	1,684	1,420
	Morgenstern	1,644	1,331
	Janbu	1,569	1,228
	Bishop	1,651	1,333

Fuente: Autor

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Implementar un sistema de monitoreo, mediante un piezómetro e inclinómetro por parte del municipio, con la asesoría y colaboración técnica de la corporación ambiental.
- ❖ Se recomienda implementar un sistema de monitoreo mediante un punto GPS geodésico en la parte alta y baja del talud.
- ❖ Se recomienda implementar un plan de mantenimiento de obras cada 6 meses.
- ❖ Se recomienda realizar un proceso de sensibilización y socialización con la comunidad para buscar la apropiación del proyecto.

7. CONCLUSIONES

- ❖ De la información geológica se encontró que la geología regional del sector corresponde a formaciones metamórficas como lo es el Neis de Bucaramanga, Esquistos Silgará, en cuanto a la geología estructural la falla de Bucaramanga es la que posee mayor acción sobre la zona, generando deformaciones, plegamientos, y zonas de debilidad; mediante las UGI (Unidades Geológicas de Ingeniería) se observó que el estrato 1 y 2 del perfil tomado para el análisis corresponde a un suelo residual arenoso de intrusiones ígneas en el neis de Bucaramanga (Srainb) y el estrato 3 corresponde a un suelo residual areno-gravoso de intrusión ígnea en el Neis de Bucaramanga (Sraginb).
- ❖ De la exploración inicial que se realizó en el sitio de estudio se encontraron suelos residuales y un relicto muy meteorizado del neis de Bucaramanga, además se observó que el movimiento es a gran escala de tipo traslacional por lo tanto se evidencian deslizamientos en la banca externa e interna de la vía.
- ❖ De la información obtenida por medio de la tomografía eléctrica, se evidencia que en la zona existe una secuencia de materiales no consolidados, los cuales están definidos por un depósito de suelo residual de roca ígnea intrusiva en el neis de Bucaramanga y se caracteriza como materiales arenoso y arenoso-gravosos, mezclados con materiales limoso en algunas zonas, así como también se observan materiales que pueden ser definidos como bloques que aún no se han meteorizado completamente y por lo tanto presentan mayores valores de resistividad, con base en esta información se hace un comparativo con los materiales obtenidos a partir de los sondeos y la geología superficial, observando resultados iguales entre estos.
- ❖ Para la zona de estudio se determinó que el coeficiente pseudoestático que debe ser usado para el modelamiento es de 0,16g el cual es la medida aproximada de lo que puede genera un sismo sobre el talud.
- ❖ Según los resultados obtenidos en el laboratorio se observa que todos los ensayos de clasificación de las muestras arrojan un tipo de suelo SM (Arenas Limosas) y se caracterizan por ser de grano medio a fino, de baja compresibilidad, de baja dureza, de baja compacidad, fácilmente deleznable y de baja a nula plasticidad.
- ❖ Para definir los parámetros geotécnicos de cada estrato de suelo se analizó los datos obtenidos en el laboratorio, los datos de las correlaciones con el N SPT y las correlaciones obtenidas con el NOVO SPT, con base en esto se seleccionan los

parámetros de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario que simulen las condiciones más críticas en las que puede estar el talud.

- ❖ De acuerdo con el análisis de estabilidad sobre 3 perfiles ubicados dentro de la zona de deslizamiento, se concluye que el talud se encuentra inestable, debido a que el factor de seguridad obtenido en el análisis estático y pseudoestático se encuentra por debajo de los parámetros especificados por la NSR-10 en la tabla H.2.4-1 “Factores de seguridad básicos mínimos directos”.
- ❖ Se seleccionó el perfil número dos para realizar el análisis de estabilidad aplicando las medidas de mitigación debido a que este presentó factores de seguridad inferiores al resultante en el perfil uno y tres, lo cual lo cataloga como el caso más crítico y por ende el incremento de este factor de seguridad se verá reflejado en los demás perfiles.
- ❖ La primera propuesta consiste en realizar un perfilado para modificar la geometría del talud, retirando el material que se encuentra inestable, más meteorizado y erosionado, adicionalmente se contempla disminuir la erosión del talud mediante la revegetalización de este y la implementación de obras de drenaje como: canales interceptores o cortacorriente y canales colectores o disipadores.
- ❖ La segunda propuesta consiste en realizar un perfilado para modificar la geometría del talud, retirando el material que se encuentra inestable, más meteorizado y erosionado, adicionalmente ejecutar un recubrimiento de la superficie mediante el uso de concreto lanzado mejorando así la estabilidad de este y la implementación de obras de drenaje como: canales interceptores o cortacorriente y canales colectores o disipadores.

12. BIBLIOGRAFIA


- [1] J. S. Diaz, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Bucaramanga, Colombia : Ingeniería de Suelos Ltda. , 1998.
- [2] M. Cruden D y J. Varnes D , «A simple definition of a landslide.,» *Bulletin of the international Association of Enginnering Geology*, vol. 247, pp. 36-75, 1991.
- [3] D. J. Varnes, «Slope Movement Types and Processes,» *Transportation research boerd, National academy of sciences* , vol. Special Report 176, pp. 11-33, 1978.
- [4] J. Suarez, Deslizamientos- Vol 1: Análisis Geotécnico, Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2009.
- [5] D. M. Gerscovich, Estabilidad de taludes, Sao Paulo, Brasil: Lemoine Editores, 2012.
- [6] B. Juarez y E. R. Rodríguez, Mecanica de suelo 1: fundamentos de la mecanica de suelos, Mexico: Limusa, 2005.
- [7] C. E. Escobar Potes y G. Duque escobar, Geotecnia para el trópico andino, Manizales: Universidad Nacional de Colombia , 2017.
- [8] V. y. d. t. Ministerio de ambiente, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Bogota , 2010.
- [9] H. G. Mary E y G. f. Arley , Rationalizing the seismic coeffient method, Washington DC: Geotechnical Laboratory , 1948.
- [10] S. G. Colombiano, Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa., Bogota: Servicio Geologico Colombiano. , 2016.
- [11] J. S. Díaz, Control de erosión en zonas tropicales, Bucaramanga, Colombia : Libreria UIS , 2001.

- [12] G. P. Gualdron, Evaluación geotécnica de derecho de vía del gasoducto Gibraltar - Bucaramanga PK 101+500, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander , 2012.
- [13] G. GEMMA, Movimiento en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas, Canada : Grupo de estandares para movimientos en masa (GEMMA), 2007.
- [14] R. B. Peck, W. E. Hanson y T. H. Thornburn, Ingeniería de cimentaciones, México, España, Venezuela, Colombia : Lumusa- Noriega Editores.
- [15] 1.-1. INV E, *DETERMINACIÓN EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO - AGREGADO.*
- [16] L. William y V. W. Robert, Mecanica de suelos, Limusa Noriega Editores, 2004.
- [17] D. Braja M, Fundamentos de ingenieria geotecnica, Mexico: Thomson Learning, 2001.

13. ANEXOS


13.1. ANEXO 1 – REGISTROS DE PERFORACIÓN

Tabla 47. Registro de perforación Sondeo 1

		SONDEO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN (SPT DE CAMPO) RESULTADOS									
PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA						AP / SPT ASOCIADO:		SONDEO 1	
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro						FECHA DE ENSAYO:		28/05/2019	
H (m)		COLOR	No. Muestra	Toma de Muestras			N - SPT	S.U.C.S	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN	
DE	HASTA			0 - 6"	6" - 12"	0 - 12"					
0.00	0.50		1	3	3	4	7	SM	NO	Arena con poco limo, con presencia de materia orgánica de color marrón amarillento, de grano medio, con baja cohesión, con baja dureza, tenacidad y compacidad, fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.	
0.50	1.00		1	4	4	4	8				
1.00	1.50		2	4	4	4	8	SM			
1.50	2.00			13	16	19	34				
2.00	2.50		3	18	18	20	38	SM			
2.50	3.00			21	22	21	43				
3.00	3.50		4	23	24	27	51	SM			
3.50	4.00			27	28	29	57				
4.00	4.50		5	RECHAZO							
4.50	5.00										
5.00	5.50		6								
5.50	6.00										


Fuente: Autor.

Tabla 48. Registro de perforación Sondeo 2

		SONDEO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN (SPT DE CAMPO) RESULTADOS								
PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA				AP / SPT ASOCIADO:	SONDEO 2			
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro				FECHA DE ENSAYO:	28/05/2019			
H (m)		COLOR	No. Muestra	Toma de Muestras			N - SPT	S.U.C.S	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN
DE	HASTA			0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"				
0.00	0.50		1	14	19	22	41	SM	NO	Arena con poco limo, con presencia de material orgánico de color marrón amarillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compactación fácilmente desagregable, húmedo y nada plástico.
0.50	1.00			28	24	23	47			
1.00	1.50		2	25	20	23	57	SM		
1.50	2.00			38	37	38	76			
2.00	2.50		3	41	43	46	89	SM		
2.50	3.00			48	48	58	105			
3.00	3.50		4	RECHAZO				SM		
3.50	4.00									
4.00	4.50		5							
4.50	5.00									
5.00	5.50		6							
5.50	6.00									


Fuente: Autor.

Tabla 49. Registro de perforación Sondeo 3

		SONDEO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN (SPT DE CAMPO) RESULTADOS							
PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA				AP / SPT ASOCIADO:	SONDEO 3		
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro				FECHA DE ENSAYO:	28/05/2019		
H (m)	COLOR	No. Muestra	Toma de Muestras			N - SPT	S.U.C.S	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN
			0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"				
0.00	0.50	1	19	21	24	45	SM	NO	Arena con poco limo, de color marrón claro, con motas verdes de grano medio, de media dureza, tenacidad, y compactación medianamente deformable, húmedo y no plástico.
0.50	1.00		41	41	42	83			
1.00	1.50	2	38	55	61	116	SM		
1.50	2.00		56	63	71	134			
2.00	2.50	3	RECHAZO						
2.50	3.00								
3.00	3.50	4							
3.50	4.00								
4.00	4.50	5							
4.50	5.00								
5.00	5.50	6							
5.50	6.00								


Fuente: Autor.

Tabla 50. Registro de perforación Sondeo 4

		SONDEO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN (SPT DE CAMPO) RESULTADOS									
PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA						AP / SPT ASOCIADO:	SONDEO 4		
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro						FECHA DE ENSAYO:	29/05/2019		
H (m)		COLOR	No. Muestra	Toma de Muestras			N - SPT	S.U.C.S	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN	
DE	HASTA			0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"					
0.00	0.50		1	23	24	29	53	SM	NO	Arena con poco limo, de color marrón claro, de grano medio, de baja dureza, tenacidad, y compacidad, fácilmente desmenuzable, húmedo y no plástico.	
0.50	1.00			69	67	81	148				
1.00	1.50		2	RECHAZO							
1.50	2.00										
2.00	2.50		3								
2.50	3.00										
3.00	3.50		4								
3.50	4.00										
4.00	4.50		5								
4.50	5.00										
5.00	5.50		6								
5.50	6.00										

Fuente: Autor.

Tabla 51. Registro de perforación Sondeo 5


		SONDEO ESTÁNDAR DE PENETRACIÓN (SPT DE CAMPO) RESULTADOS									
PROYECTO:		ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA						AP / SPT ASOCIADO:		SONDEO 5	
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro						FECHA DE ENSAYO:		29/05/2019	
H (m)		COLOR	No. Muestra	Toma de Muestras			N - SPT	S.U.C.S	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN	
DE	HASTA			0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"					
0.00	0.50		1	9	20	21	41	SM	NO	Arena con poca presencia de limo, de color marron claro, de grano fino con presencia de pequeñas gravas, de baja cohesion, de baja dureza, tenacidad, de compacidad media, facilmente deleznable, humedo, y nada plastico.	
0.50	1.00			25	41		41				
1.00	1.50		2	HQ			0	SM			
1.50	2.00			HQ			0				
2.00	2.50		3	HQ			0	SM			
2.50	3.00			7	19	21	40				
3.00	3.50		4	17	15	16	31	SM			
3.50	4.00			12	12	12	24				
4.00	4.50		5	13	13	11	24	SM			
4.50	5.00			33	39	23	62				
5.00	5.50		6	30	15	30	45	SM			
5.50	6.00			20	20	19	39				
6.00	6.50		7	17	20	24	44	SM			
6.50	7.00			RECHAZO							

Fuente: Autor.

13.2. ANEXOS 2- RESULTADOS DE LABORATORIO

13.2.1. Descripción y caracterización de Sondeos / Apiques


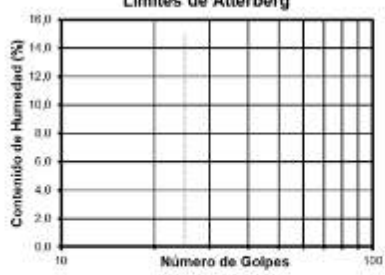
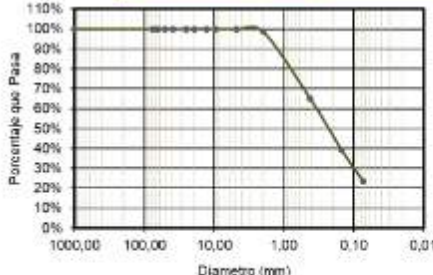
Tabla 52. Descripción y caracterización del Apique 3

 Universidad Pontificia Bolivariana		DESCRIPCION DE MUESTRAS SONDEOS Y APIQUES INV E - 101- 07							
PROYECTO:		ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO				AP/SPT		Apique 3	
LOCALIZACIÓN:		Vereda Pozo Negro				FECHA DE ENSAYO:		28/05/2019	
Profundidad		Muestra	Tipo de suelo S.U.C.S	DESCRIPCIÓN	% Humedad	% L.L	%L.P	% Pasa	
DE	A								
0.00	0.50	1	SP-SM	Arena con poco limo, de color marron claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, facilmente deleznable, humedo y nada plastico.	10.66%	N.P	N.P	7.90%	
0.50	1.00								

Fuente: Autor.



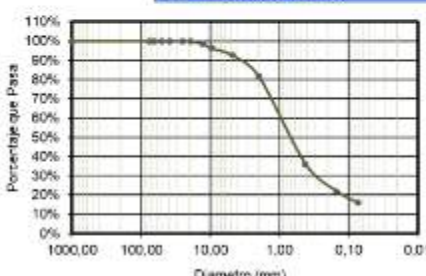
13.2.2. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario

Tabla 53. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 1

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO			
		RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13			
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA	AP/SPT ASOCIADO:	Sondeo 1		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	7/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0.2 m	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	1109.60	GRAVAS	0.1%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	911.80	ARENAS	76.2%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	62.40	FINOS	23.7%	ÍNDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	197.80	ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	849.40	A.A.S.H.T.O	A - 2 - 4		
% Humedad	23.29	U.S.C	SM		
GRADACION		SIN LÍMITE PLÁSTICO			
Peso inicial (gr):	431.00	Peso final (gr):	329.80	Recip. No	0 0
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	0.0			100.0%
3/4"	19.00	0.0			100.0%
1/2"	12.70	0.0			100.0%
3/8"	9.51	0.0			100.0%
4	4.76	0.5	0.1%	0.1%	99.9%
8	2.38	2.0	0.5%	0.6%	99.4%
10	2.00	3.0	0.7%	1.3%	98.7%
12	1.68	0.0		1.3%	98.7%
16	1.19	0.0		1.3%	98.7%
30	0.69	1.5	0.3%	1.6%	98.4%
40	0.42	144.2	33.5%	35.1%	64.9%
50	0.30	58.3	13.5%	48.6%	51.4%
80	0.18	26.4	6.1%	54.7%	45.3%
100	0.15	25.8	6.0%	60.7%	39.3%
200	0.07	87.1	15.6%	76.3%	23.7%
Pasa 200		0.0		76.3%	23.7%
Total		329.8	0.0%	0.0%	0.0%
		SIN LÍMITE LÍQUIDO			
		Determinación No 1 2 3			
		No. Golpes 0 0 0			
		Recip. No 0 0 0			
		Peso de recip. + S.H. 0 0 0			
		Peso de recip. + S.S. 0 0 0			
		Peso de recip. 0 0 0			
		Peso agua 0 0 0			
		Peso suelo seco 0 0 0			
		% Humedad 0 0 0			
		PESOS UNITARIOS DE SUELO			
		Profundidad	0.1m	2.3m	
		Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.73	1.51	
		Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.93	14.60	
		Peso unitario seco (g/cm ³)	1.44	1.38	
		Peso unitario seco (KN/M ³)	14.14	13.58	
Límites de Atterberg					
					
Descripción del material:		Arenas con poco limo, de color marrón amarillento, de grano medio, con baja cohesión, con baja dureza, tenacidad y compactación, fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.			


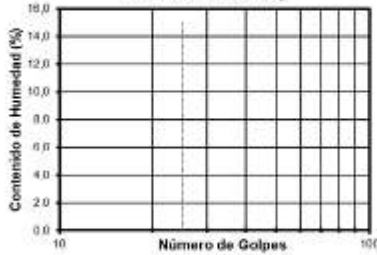
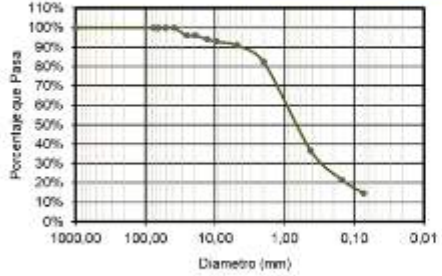
Fuente: Autor.

Tabla 54. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 1 y 2

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13			
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA	APISPT ASOCIADO:	Sondeo 2- Muestra 1 y 2		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	7/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0-2 m	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	1040.30	GRAVAS	7.5%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	968.90	ARENAS	78.5%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	61.10	FINOS	16.0%	ÍNDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	71.40	ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	907.80	A A S H T O	A - 1 - b		
% Humedad	7.87	U.S.C	SM		
GRADACIÓN					
Peso Inicial (gr):	849.70	Peso final (gr):	713.50		
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 3/4"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 3/4"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	0.0			100.0%
3/4"	19.00	0.0			100.0%
1/2"	12.70	13.5	1.6%	1.6%	98.4%
3/8"	9.51	18.2	2.1%	3.7%	96.3%
4	4.76	31.8	3.7%	7.5%	92.5%
8	2.38	69.5	7.0%	14.5%	85.5%
10	2.00	32.5	3.8%	18.3%	81.7%
12	1.68	0.0		18.3%	81.7%
16	1.19	0.0		18.3%	81.7%
30	0.69	179.2	21.1%	39.4%	60.6%
40	0.42	209.1	24.6%	64.0%	36.0%
50	0.30	68.2	8.0%	72.0%	28.0%
80	0.18	25.8	3.0%	75.1%	24.9%
100	0.15	24.9	2.9%	78.0%	22.0%
200	0.07	50.8	6.0%	84.0%	16.0%
Pasa 200		0.0		84.0%	16.0%
Total		713.5	0.0%	0.0%	0.0%
SIN LÍMITE PLÁSTICO					
Recip. No	0	0			
Peso de recip + S.H	0	0			
Peso de recip + S.S	0	0			
Peso de recip	0	0			
Peso agua	0	0			
Peso suelo seco	0	0			
% Humedad	0.00	0.00			
SIN LÍMITE LÍQUIDO					
Determinación No	1	2	3		
No Golpes	0	0	0		
Recip. No	0	0	0		
Peso de recip + S.H	0	0	0		
Peso de recip + S.S	0	0	0		
Peso de recip	0	0	0		
Peso agua	0	0	0		
Peso suelo seco	0	0	0		
% Humedad	0	0	0		
PESOS UNITARIOS DE SUELO					
Profundidad	0-1m	2-3m			
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.64	1.46			
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.11	14.36			
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.54	1.38			
Peso unitario seco (KN/M ³)	15.10	13.58			
Límites de Atterberg					
					
					
Descripción del material:	Arena con poco limo, con presencia de material orgánico de color marrón amarillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.				


Fuente: Autor.

Tabla 55. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 3

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO			
RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13					
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA			API/SPT ASOCIADO:	Sondeo 2- Muestra 3
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro			FECHA DE ENSAYO:	7/06/2019
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	2-3 m	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	1230.10	GRAVAS	9.2%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	1182.30	ARENAS	78.2%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	66.20	FINOS	14.7%	ÍNDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	67.80	ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	-
Peso suelo seco (gr)	1095.10	A.A.S.H.T.O	A - 1 b		
% Humedad	6.19	U.S.C	SM		
GRADACION					
Peso inicial (gr):	839.80	Peso final (gr):		715.80	
Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/4"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	33.8	4.0%	4.0%	96.0%
3/4"	19.00	0.0		4.0%	96.0%
1/2"	12.70	16.0	1.9%	5.9%	94.1%
3/8"	9.51	9.4	1.1%	7.1%	92.9%
4	4.76	17.8	2.1%	9.2%	90.8%
8	2.38	52.0	6.2%	15.4%	84.6%
10	2.00	19.7	2.3%	17.7%	82.3%
12	1.68	0.0		17.7%	82.3%
16	1.19	0.0		17.7%	82.3%
30	0.59	160.2	19.1%	36.8%	63.2%
40	0.42	224.1	26.7%	63.5%	36.5%
50	0.30	74.0	8.8%	72.4%	27.6%
80	0.18	27.5	3.3%	75.6%	24.4%
100	0.15	24.2	2.9%	78.5%	21.5%
200	0.07	57.2	6.8%	85.3%	14.7%
Fase 200		0.0		85.3%	14.7%
Total		715.8	0.0%	0.0%	0.0%
SIN LÍMITE PLÁSTICO					
Recip. No	0	0			
Peso de recip. + S.H.	0	0			
Peso de recip. + S.S.	0	0			
Peso de recip.	0	0			
Peso agua	0	0			
Peso suelo seco	0	0			
% Humedad	0.00	0.00			
SIN LÍMITE LÍQUIDO					
Determinación No	1	2	3		
No. Golpes	0	0	0		
Recip. No	0	0	0		
Peso de recip. + S.H.	0	0	0		
Peso de recip. + S.S.	0	0	0		
Peso de recip.	0	0	0		
Peso agua	0	0	0		
Peso suelo seco	0	0	0		
% Humedad	0	0	0		
PESOS UNITARIOS DE SUELO					
Profundidad	2-3m				
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.46				
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	14.38				
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.38				
Peso unitario seco (KN/M ³)	13.59				
Límites de Atterberg					
					
Descripción del material:	Arena con poco limo, de color marrón amarillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compactación, fácilmente deletzable, húmedo y nada plástico.				



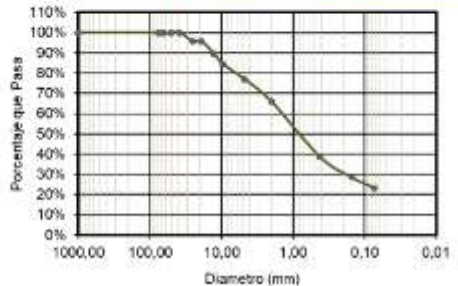
Fuente: Autor.

Tabla 56. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 2, muestra 4

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO				
		RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13				
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA		AP/SPT ASOCIADO:	Sondeo 2- Muestra 4		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro		FECHA DE ENSAYO:	7/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD			RESULTADOS			
Profundidad	3-4 m		GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	979.90		GRAVAS	0.4%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	829.90		ARENAS	70.3%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	68.60		FINOS	29.3%	ÍNDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	150.00		ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	761.30		A.A.S.H.T.O	A-2-4		
% Humedad	19.70		U.S.C	SM		
GRADACION						
Peso Inicial (gr):	627.20		Peso final (gr):	443.70		
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa	
3"	78.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%	
2"	50.80	0.0			100.0%	
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%	
1"	25.40	0.0			100.0%	
3/4"	19.00	0.0			100.0%	
1/2"	12.70	0.0			100.0%	
3/8"	9.51	0.0			100.0%	
4	4.76	2.8	0.4%	0.4%	99.6%	
8	2.38	12.1	1.9%	2.4%	97.6%	
10	2.00	8.5	1.4%	3.7%	96.3%	
12	1.68	0.0		3.7%	96.3%	
16	1.19	0.0		3.7%	96.3%	
30	0.69	87.5	10.8%	14.5%	85.5%	
40	0.42	124.1	19.8%	34.3%	65.7%	
50	0.30	66.5	10.6%	44.9%	55.1%	
80	0.18	35.4	5.6%	50.5%	49.5%	
100	0.15	41.4	6.6%	57.1%	42.9%	
200	0.07	85.4	13.6%	70.7%	29.3%	
Pasa 200		0.0		70.7%	29.3%	
Total		443.7	0.0%	0.0%	0.0%	
SIN LÍMITE PLÁSTICO						
Recip. No	0	0				
Peso de recip + S.H	0	0			100.0%	
Peso de recip + S.S	0	0			100.0%	
Peso de recip	0	0			100.0%	
Peso agua	0	0			100.0%	
Peso suelo seco	0	0			100.0%	
% Humedad	0.00	0.00				
SIN LÍMITE LÍQUIDO						
Determinación No	1	2	3			
No Golpes	0	0	0			
Recip. No	0	0	0			
Peso de recip + S.H	0	0	0			
Peso de recip + S.S	0	0	0			
Peso de recip	0	0	0			
Peso agua	0	0	0			
Peso suelo seco	0	0	0			
% Humedad	0	0	0			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="316 1312 706 1596"> <p>Límites de Atterberg</p> </div> <div data-bbox="795 1323 1242 1606"> </div> </div>						
Descripción del material:	Arena con poco limo, de color marrón amarillento, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.					



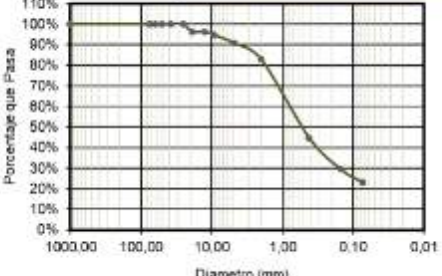
Fuente: Autor.

Tabla 57. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 3

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LIMITES LIQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13			
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO	AP/SPT ASOCIADO:	Sondeo 3		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	10/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0-2 m	GRANULOMETRÍA		LIMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	1651.00	GRAVAS	23.0%	LÍMITE LIQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	1532.40	ARENAS	53.6%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	64.70	FINOS	23.4%	INDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	118.60	INDICE DE GRUPO	0	INDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	1467.70	A.A.S.H.T.O	A-1-b		
% Humedad	8.09	U.S.C	SM		
GRADACIÓN		SIN LIMITE PLÁSTICO			
Peso inicial (gr):	736.60	Peso final (gr):	564.37	Recip. No	0 0
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	36.10	0.0			100.0%
1"	25.40	32.0	4.3%	4.3%	95.7%
3/4"	18.00		0.0%	4.3%	95.7%
1/2"	12.70	45.9	6.2%	10.6%	89.4%
3/8"	9.51	37.2	5.1%	15.6%	84.4%
4	4.76	54.6	7.4%	23.0%	77.0%
8	2.38	61.1	8.3%	31.3%	68.7%
10	2.00	20.5	2.8%	34.1%	65.9%
12	1.68	-	0.0%	34.1%	65.9%
16	1.19		0.0%	34.1%	65.9%
30	0.60	87.6	11.9%	46.0%	54.0%
40	0.42	112.9	15.3%	61.3%	38.7%
50	0.30	36.2	4.9%	66.2%	33.8%
60	0.18	16.8	2.3%	68.5%	31.5%
100	0.15	21.5	2.9%	71.4%	28.6%
200	0.07	38.1	5.2%	76.6%	23.4%
Pasa 200		0.0		76.6%	23.4%
Total		564.4	0.0%	0.0%	0.0%
		SIN LIMITE LIQUIDO			
		Determinación No			
		No Golpes			
		Recip. No			
		Peso de recip. + S.H.			
		Peso de recip. + S.S.			
		Peso de recip.			
		Peso agua			
		Peso suelo seco			
		% Humedad			
		PESOS UNITARIOS DE SUELO			
		Profundidad		0-1m	
		Peso unitario húmedo (g/cm ³)		1.69	
		Peso unitario húmedo (KN/M ³)		16.54	
		Peso unitario seco (g/cm ³)		1.57	
		Peso unitario seco (KN/M ³)		15.43	
Limites de Atterberg					
					
Descripción del material:	Arenia con poco limo, de color marron claro, con motas verdes de grano medio, de media dureza, tenacidad, y compacidad, medianamente doloznable, húmedo y no plastico.				


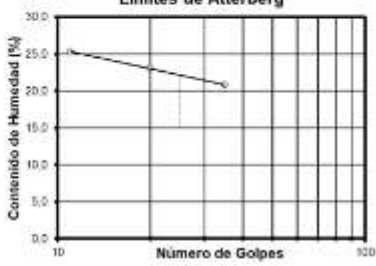
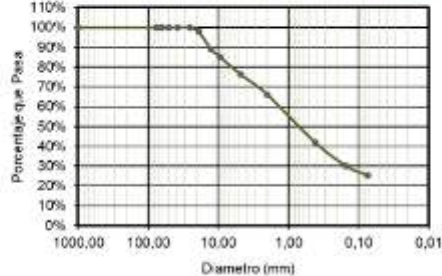
Fuente: Autor.

Tabla 58. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 4

ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO					
					
RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13					
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO	API/SPT ASOCIADO:	Sondeo 4		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	10/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0-1 m	GRANULOMETRÍA			
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	970.10	GRAVAS	9.3%		
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	897.90	ARENAS	67.7%		
Peso recipiente (gr)	88.50	FINOS	23.1%		
Peso agua (gr)	72.20	INDICE DE GRUPO	0		
Peso suelo seco (gr)	826.40	A.A.S.H.T.O	A - 1 - b		
% Humedad	8.72	U.S.C	SM		
		LÍMITES DE CONSISTENCIA			
		LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %		
		LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %		
		INDICE PLÁSTICO	- %		
		INDICE DE CONSISTENCIA			
GRADACIÓN					
Peso inicial (gr):	717.20	Peso final (gr):	553.40		
Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	0.0			100.0%
3/4"	19.00	26.3	3.7%	3.7%	96.3%
1/2"	12.70	-	0.0%	3.7%	96.3%
3/8"	9.51	11.1	1.5%	5.2%	94.8%
4	4.76	29.1	4.1%	9.3%	90.7%
8	2.38	36.1	5.0%	14.3%	85.7%
10	2.00	20.4	2.8%	17.2%	82.8%
12	1.68	-	0.0%	17.2%	82.8%
18	1.19	-	0.0%	17.2%	82.8%
30	0.60	119.2	16.5%	33.6%	66.4%
40	0.42	155.3	21.7%	55.3%	44.7%
50	0.30	52.2	7.3%	62.6%	37.4%
80	0.18	25.6	3.6%	66.1%	33.9%
100	0.15	31.9	4.4%	70.6%	29.4%
200	0.07	45.5	6.3%	76.9%	23.1%
Pasa 200		0.0		76.9%	23.1%
Total		553.4	0.0%	0.0%	0.0%
SIN LÍMITE PLÁSTICO					
Recip. No.	0	0			
Peso de recip. + S.H.	0	0			
Peso de recip. + S.S.	0	0			
Peso de recip.	0	0			
Peso agua	0	0			
Peso suelo seco	0	0			
% Humedad	0.00	0.00			
SIN LÍMITE LÍQUIDO					
Determinación No	1	2	3		
No. Golpes	0	0	0		
Recip. No	0	0	0		
Peso de recip. + S.H.	0	0	0		
Peso de recip. + S.S.	0	0	0		
Peso de recip.	0	0	0		
Peso agua	0	0	0		
Peso suelo seco	0	0	0		
% Humedad	0	0	0		
PESOS UNITARIOS DE SUELO					
Profundidad	0-1 m				
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.67				
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.40				
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.50				
Peso unitario seco (KN/M ³)	14.71				
Límites de Atterberg					
					
					
Descripción del material: Arena con poco limo, de color marrón claro, de grano mediano, de baja dureza, tenacidad, y compactación, fácilmente deleznable, húmeda y no plástico					


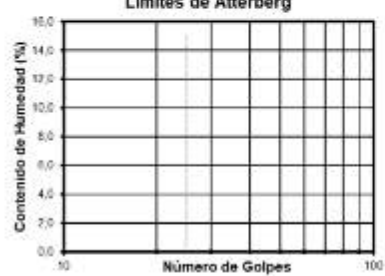
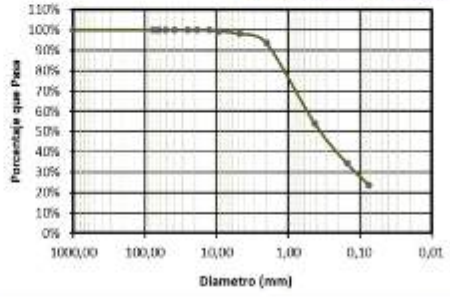
Fuente: Autor.

Tabla 59. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 1 y 2

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO			
RESULTADOS DE LABORATORIO INV F 122 13, INV F 125 13, INV F 126 13					
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA			API/SPT ASOCIADO:	Sondeo 5- Muestra 1 y 2
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro			FECHA DE ENSAYO:	11/06/2019
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0-1 m	GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	923.20	GRAVAS	23.7%	LÍMITE LÍQUIDO	22.14 %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	854.50	ARENAS	51.0%	LÍMITE PLÁSTICO	19.43 %
Peso rec.puente (gr)	68.50	FINOS	25.2%	INDICE PLÁSTICO	2.70 %
Peso agua (gr)	68.70	INDICE DE GRUPO	0	INDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	786.00	A.A.S.H.T.O	A - 2 - 4		
% Humedad	8.74	U.S.C	SM		
GRADACIÓN					
Peso inicial (gr):	493.00	Peso final (gr):	369.03		
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	0.0			100.0%
3/4"	19.00	10.2	2.1%	2.1%	97.9%
1/2"	12.70	43.6	8.9%	10.8%	89.1%
3/8"	9.51	19.0	3.9%	14.8%	85.2%
4	4.76	44.0	8.9%	23.7%	76.3%
6	2.36	38.8	7.4%	31.2%	68.8%
10	2.00	13.5	2.7%	33.9%	66.1%
12	1.68	0.0		33.9%	66.1%
16	1.18	0.0		33.9%	66.1%
30	0.58	51.8	10.5%	44.4%	55.6%
40	0.42	66.8	13.5%	57.9%	42.1%
50	0.30	29.8	6.0%	64.0%	36.0%
80	0.18	12.2	2.5%	66.4%	33.6%
100	0.15	17.5	3.5%	70.0%	30.0%
200	0.07	23.6	4.9%	74.8%	25.2%
Pasa 200		0.0		74.8%	25.2%
Total		369.0	0.0%	0.0%	0.0%
SIN LIMITE PLÁSTICO					
Recip. No	102	3			
Peso de recip + S.H.	39.6	33.44			
Peso de recip. + S.S.	31.6	29.33			
Peso de recip.	9.6	8.4			
Peso agua	5	4.11			
Peso suelo seco	26	20.93			
% Humedad	19.23	19.64			
SIN LIMITE LÍQUIDO					
Determinación No	1	2	3		
No Golpes	35	20	11		
Recip. No	41	57	11		
Peso de recip + S.H.	32.9	33.4	29.8		
Peso de recip. + S.S.	29.7	28.69	25.5		
Peso de recip.	8.49	8.3	8.5		
Peso agua	4.2	4.71	4.3		
Peso suelo seco	20.21	20.39	17.00		
% Humedad	20.78	23.10	25.29		
PESOS UNITARIOS DE SUELO					
Profundidad	0-1m	1-1.5 m			
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.64	1.756796			
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.07	17.21845			
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.50	1.567001			
Peso unitario seco (KN/M ³)	14.75	15.36701			
Límites de Atterberg					
					
					
Descripción del material:	Arena con poca presencia de limo, de color marrón claro, de grano fino con presencia de pequeñas gravas, de baja cohesión, de baja dureza, tenacidad, de compactación media, fácilmente cohesible, húmeda, y nada plástico.				


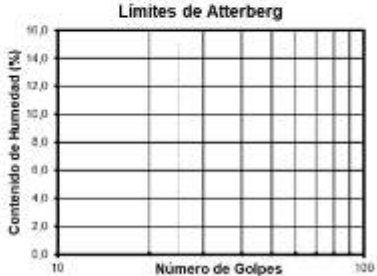
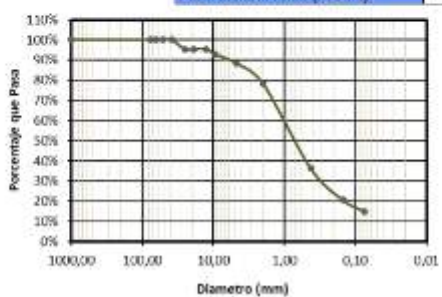
Fuente: Autor.

Tabla 60. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 3

 ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13			
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA	AP/SPT ASOCIADO:	Sondeo 5- Muestra 3
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	11/06/2019
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS	
Profundidad	1,3 - 2,5 m	GRANULOMETRÍA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	1519.00	GRAVAS	1.8%
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	1289.20	ARENAS	74.3%
Peso recipiente (gr)	62.30	FINOS	23.9%
Peso agua (gr)	229.80	ÍNDICE DE GRUPO	0
Peso suelo seco (gr)	1229.90	A.A.S.H.T.O	A - 2 - 4
% Humedad	18.73	U.S.C	SM
		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
		LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
		LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
		ÍNDICE PLÁSTICO	- %
		ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
GRADACIÓN			
Peso inicial (gr):	519.45	Peso final (gr):	395.45
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.
3"	76.10	0.0	0.0%
2 1/2"	64.00	0.0	0.0%
2"	50.80	0.0	0.0%
1 1/2"	38.10	0.0	0.0%
1"	25.40	0.0	0.0%
3/4"	19.00	0.0	0.0%
1/2"	12.70	0.0	0.0%
3/8"	9.51	2.7	0.5%
4	4.76	8.8	1.3%
8	2.38	14.8	2.8%
10	2.00	8.8	1.7%
12	1.68	0.0	6.3%
16	1.18	0.0	6.3%
30	0.59	77.1	14.8%
40	0.42	128.9	24.8%
50	0.30	64.0	12.3%
80	0.16	15.4	3.0%
100	0.15	22.0	4.2%
200	0.07	55.2	10.8%
Pasa 200		0.0	76.1%
Total		395.5	0.0%
SIN LÍMITE PLÁSTICO			
Recip. No.	0	0	
Peso de recip. + S.H.	0	0	100.0%
Peso de recip. + S.S.	0	0	
Peso de recip.	0	0	
Peso agua	0	0	100.0%
Peso suelo seco	0	0	
% Humedad	0.00	0.00	
SIN LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3
No Golpes	0	0	0
Recip. No.	0	0	0
Peso de recip. + S.H.	0	0	0
Peso de recip. + S.S.	0	0	0
Peso de recip.	0	0	0
Peso agua	0	0	0
Peso suelo seco	0	0	0
% Humedad	0	0	0
PESOS UNITARIOS DE SUELO			
Profundidad	1,3-2,5 m		
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.83		
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	17.96		
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.54		
Peso unitario seco (KN/M ³)	15.06		
Límites de Atterberg			
			
			
Descripción del material:	Arena con limos, de color marrón amarillento, de grano medio, medianamente cohesivo, de baja dureza, tenacidad y compacidad, fácilmente desmenuzable, húmedo, y de baja plasticidad.		



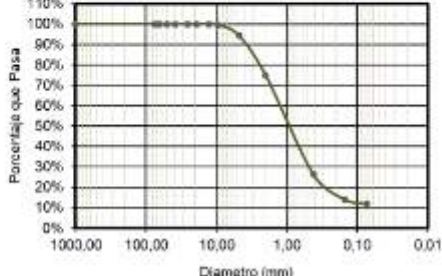
Fuente: Autor.

Tabla 61. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Sondeo 5, muestra 6

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO					
RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13							
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA			APISPT ASOCIADO:	Sondeo 5- Muestra 6		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro			FECHA DE ENSAYO:	11/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD			RESULTADOS				
Profundidad	4,5-5,5 m		GRANULOMETRÍA		LÍMITES DE CONSISTENCIA		
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	861.00		GRAVAS	11.6%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %	
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	886.10		ARENAS	73.6%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %	
Peso recipiente (gr)	69.30		FINOS	15.0%	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	- %	
Peso agua (gr)	74.90		ÍNDICE DE GRUPO	0			
Peso suelo seco (gr)	826.80		A.A.S.H.T.O	A - 1 - b			
% Humedad	9.06		U.S.C	SM			
GRADACIÓN			SIN LÍMITE PLÁSTICO				
Peso inicial (gr):	520.00		Peso final (gr):	442.94			
Tamiz (pulg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa		
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%		
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%		
2"	50.80	0.0			100.0%		
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%		
1"	25.40	21.0	4.6%	4.6%	95.4%		
3/4"	19.00	0.0		4.6%	95.4%		
1/2"	12.70	0.0		4.6%	95.4%		
3/8"	9.51	12.9	2.5%	7.1%	92.9%		
4	4.76	23.4	4.5%	11.8%	88.4%		
6	2.38	34.4	6.6%	18.2%	81.8%		
10	2.00	17.8	3.4%	21.6%	78.4%		
12	1.68	0.0		21.6%	78.4%		
16	1.19	0.0		21.6%	78.4%		
30	0.59	97.9	18.8%	40.4%	59.6%		
40	0.42	122.3	23.5%	63.9%	36.1%		
50	0.30	46.2	8.9%	72.7%	27.3%		
80	0.18	17.7	3.4%	76.1%	23.9%		
100	0.15	16.3	3.1%	79.3%	20.7%		
200	0.07	30.2	5.8%	85.0%	15.0%		
Pesa 200	0.0	0.0		85.0%	15.0%		
Total		442.9	0.0%	0.0%	0.0%		
			SIN LÍMITE LÍQUIDO				
			Determinación No				
			No Golpes				
			Recip. No				
			Peso de recip + S.H.				
			Peso de recip + S.S.				
			Peso de recip				
			Peso agua				
			Peso suelo seco				
			% Humedad				
			PESOS UNITARIOS DE SUELO				
			Profundidad	3,5-4,5 m	4,5-5,5 m	5,5-6,5 m	
				Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.87	1.64	1.99
				Peso unitario húmedo (kN/m ³)	18.37	16.04	18.54
				Peso unitario seco (g/cm ³)	1.53	1.49	1.64
				Peso unitario seco (kN/m ³)	15.04	14.63	16.07
			Límites de Atterberg				
							
							
Descripción del material:			Arena con poco limo, con algo de grava, de grano medio, de color marrón claro, con motas blancas, de baja dureza/atenuidad, compactada, fácilmente deleznable, húmeda y nada plástica.				


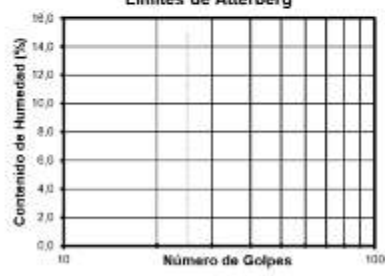
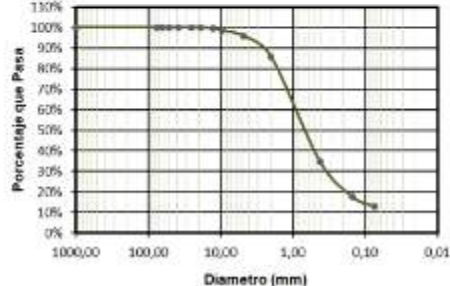
Fuente: Autor.

Tabla 62. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Apique 1

 ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13					
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA	AP/SPT ASOCIADO:	Apique 1		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	4/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD		RESULTADOS			
Profundidad	0- 1,2 m	GRANULOMETRÍA			
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	63.90	GRAVAS	5.8%		
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	60.96	ARENAS	62.2%		
Peso recipiente (gr)	18.10	FINOS	12.0%		
Peso agua (gr)	2.94	ÍNDICE DE GRUPO	0		
Peso suelo seco (gr)	12.96	A.A.S.H.T.O	A 1 - 5		
% Humedad	6.88	U.S.C	SM		
		LÍMITES DE CONSISTENCIA			
		LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %		
		LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %		
		ÍNDICE PLÁSTICO	- %		
		ÍNDICE DE CONSISTENCIA			
GRADACIÓN					
Peso inicial (gr):	593.80	Peso final (gr):	522.40		
Tamiz (pig)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%
2"	50.80	0.0			100.0%
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%
1"	25.40	0.0			100.0%
3/4"	19.00	0.0			100.0%
1/2"	12.70	0.0			100.0%
3/8"	9.51	2.1	0.4%	0.4%	99.6%
4	4.75	32.2	5.4%	5.8%	94.2%
8	2.38	84.3	14.2%	20.0%	80.0%
10	2.00	31.1	5.2%	25.2%	74.8%
12	1.68	112.5	18.9%	44.2%	55.8%
16	1.19	0.0		44.2%	55.8%
30	0.59	129.7	21.7%	65.9%	34.2%
40	0.42	46.7	7.8%	73.6%	26.4%
60	0.30	28.8	4.9%	78.5%	21.5%
80	0.18	31.1	5.2%	83.7%	16.3%
100	0.15	12.8	2.2%	85.9%	14.1%
200	0.07	12.6	2.1%	88.0%	12.0%
Pasa 200		0.0		88.0%	12.0%
Total		522.4	0.0%	0.0%	0.0%
SIN LÍMITE PLÁSTICO					
Recip. No	0	0			
Peso de recip + S.H	0	0			
Peso de recip + S.S	0	0			
Peso de recip	0	0			
Peso agua	0	0			
Peso suelo seco	0	0			
% Humedad	0.00	0.00			
SIN LÍMITE LÍQUIDO					
Determinación No	1	2	3		
No Golpes	0	0	0		
Recip. No	0	0	0		
Peso de recip + S.H	0	0	0		
Peso de recip + S.S	0	0	0		
Peso de recip	0	0	0		
Peso agua	0	0	0		
Peso suelo seco	0	0	0		
% Humedad	0	0	0		
PESOS UNITARIOS DE SUELO					
Profundidad	0- 1,2 m				
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.54				
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	15.13				
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.44				
Peso unitario seco (KN/M ³)	14.12				
Limites de Atterberg					
					
					
Descripción del material:	Arena con poco limo, de color marrón claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.				


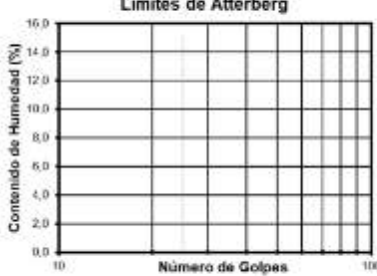
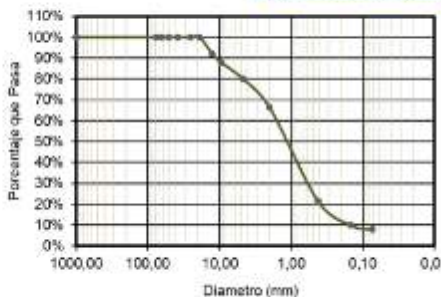
Fuente: Autor.

Tabla 63. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Apique 2

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LIMITES LIQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13																																																																																																																																																																																							
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA	AP/SPT ASOCIADO:	Apique 2																																																																																																																																																																																						
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro	FECHA DE ENSAYO:	4/06/2019																																																																																																																																																																																						
CONTENIDO DE HUMEDAD Profundidad: 0-1 m Peso de recipiente + suelo húmedo (gr): 58.50 Peso de recipiente + suelo seco (gr): 55.61 Peso recipiente (gr): 18.10 Peso agua (gr): 2.89 Peso suelo seco (gr): 37.51 % Humedad: 7.70		RESULTADOS <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">GRANULOMETRÍA</th> <th colspan="3">LIMITES DE CONSISTENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAVAS</td> <td>4.2%</td> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td>N.L.</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ARENAS</td> <td>82.8%</td> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td>N.P.</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>FINOS</td> <td>12.9%</td> <td>ÍNDICE PLÁSTICO</td> <td>-</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE DE GRUPO</td> <td>0</td> <td>ÍNDICE DE CONSISTENCIA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A A S H T O</td> <td>A - 1 - b</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>U. S. C</td> <td>SM</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				GRANULOMETRÍA		LIMITES DE CONSISTENCIA			GRAVAS	4.2%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L.	%	ARENAS	82.8%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P.	%	FINOS	12.9%	ÍNDICE PLÁSTICO	-	%	ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA			A A S H T O	A - 1 - b				U. S. C	SM																																																																																																																																																				
GRANULOMETRÍA		LIMITES DE CONSISTENCIA																																																																																																																																																																																							
GRAVAS	4.2%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L.	%																																																																																																																																																																																					
ARENAS	82.8%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P.	%																																																																																																																																																																																					
FINOS	12.9%	ÍNDICE PLÁSTICO	-	%																																																																																																																																																																																					
ÍNDICE DE GRUPO	0	ÍNDICE DE CONSISTENCIA																																																																																																																																																																																							
A A S H T O	A - 1 - b																																																																																																																																																																																								
U. S. C	SM																																																																																																																																																																																								
GRADACIÓN <table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso inicial (gr):</th> <th>618.10</th> <th colspan="2">Peso final (gr):</th> <th>534.90</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>Tamiz (plg)</th> <th>Tamiz (mm)</th> <th>Peso (gr)</th> <th>% Reten.</th> <th>% Ret.Acum</th> <th colspan="2">% pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>76.10</td><td>0.0</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>64.00</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.80</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>38.10</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.40</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.00</td><td>0.0</td><td></td><td></td><td colspan="2">100.0%</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.70</td><td>3.2</td><td>0.5%</td><td>0.5%</td><td colspan="2">89.5%</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.51</td><td>6.0</td><td>1.0%</td><td>1.5%</td><td colspan="2">88.5%</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.76</td><td>18.9</td><td>2.7%</td><td>4.2%</td><td colspan="2">85.8%</td></tr> <tr><td>8</td><td>2.38</td><td>43.0</td><td>7.0%</td><td>11.2%</td><td colspan="2">88.8%</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.00</td><td>18.2</td><td>2.9%</td><td>14.1%</td><td colspan="2">85.9%</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.68</td><td>0.0</td><td></td><td>14.1%</td><td colspan="2">85.9%</td></tr> <tr><td>16</td><td>1.19</td><td>0.0</td><td></td><td>14.1%</td><td colspan="2">85.9%</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.59</td><td>243.7</td><td>39.4%</td><td>53.0%</td><td colspan="2">46.4%</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.42</td><td>72.3</td><td>11.7%</td><td>65.2%</td><td colspan="2">34.8%</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.30</td><td>44.8</td><td>7.2%</td><td>72.6%</td><td colspan="2">27.5%</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.18</td><td>47.5</td><td>7.7%</td><td>80.2%</td><td colspan="2">19.8%</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.15</td><td>13.1</td><td>2.1%</td><td>82.3%</td><td colspan="2">17.7%</td></tr> <tr><td>200</td><td>0.07</td><td>29.4</td><td>4.8%</td><td>87.1%</td><td colspan="2">12.9%</td></tr> <tr><td>Fasa 200</td><td></td><td>0.0</td><td></td><td>87.1%</td><td colspan="2">12.9%</td></tr> <tr><td>Total</td><td></td><td>534.9</td><td>0.0%</td><td>0.0%</td><td colspan="2">0.0%</td></tr> </tbody> </table>		Peso inicial (gr):	618.10	Peso final (gr):		534.90			Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa		3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%		2 1/2"	64.00	0.0			100.0%		2"	50.80	0.0			100.0%		1 1/2"	38.10	0.0			100.0%		1"	25.40	0.0			100.0%		3/4"	19.00	0.0			100.0%		1/2"	12.70	3.2	0.5%	0.5%	89.5%		3/8"	9.51	6.0	1.0%	1.5%	88.5%		4	4.76	18.9	2.7%	4.2%	85.8%		8	2.38	43.0	7.0%	11.2%	88.8%		10	2.00	18.2	2.9%	14.1%	85.9%		12	1.68	0.0		14.1%	85.9%		16	1.19	0.0		14.1%	85.9%		30	0.59	243.7	39.4%	53.0%	46.4%		40	0.42	72.3	11.7%	65.2%	34.8%		50	0.30	44.8	7.2%	72.6%	27.5%		80	0.18	47.5	7.7%	80.2%	19.8%		100	0.15	13.1	2.1%	82.3%	17.7%		200	0.07	29.4	4.8%	87.1%	12.9%		Fasa 200		0.0		87.1%	12.9%		Total		534.9	0.0%	0.0%	0.0%		SIN LIMITE PLÁSTICO <table border="1"> <tbody> <tr><td>Recip. No.</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip. + S.H.</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip. + S.S.</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip.</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso agua</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso suelo seco</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>% Humedad</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr> </tbody> </table>		Recip. No.	0	0	Peso de recip. + S.H.	0	0	Peso de recip. + S.S.	0	0	Peso de recip.	0	0	Peso agua	0	0	Peso suelo seco	0	0	% Humedad	0.00	0.00
Peso inicial (gr):	618.10	Peso final (gr):		534.90																																																																																																																																																																																					
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% pasa																																																																																																																																																																																				
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%																																																																																																																																																																																				
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%																																																																																																																																																																																				
2"	50.80	0.0			100.0%																																																																																																																																																																																				
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%																																																																																																																																																																																				
1"	25.40	0.0			100.0%																																																																																																																																																																																				
3/4"	19.00	0.0			100.0%																																																																																																																																																																																				
1/2"	12.70	3.2	0.5%	0.5%	89.5%																																																																																																																																																																																				
3/8"	9.51	6.0	1.0%	1.5%	88.5%																																																																																																																																																																																				
4	4.76	18.9	2.7%	4.2%	85.8%																																																																																																																																																																																				
8	2.38	43.0	7.0%	11.2%	88.8%																																																																																																																																																																																				
10	2.00	18.2	2.9%	14.1%	85.9%																																																																																																																																																																																				
12	1.68	0.0		14.1%	85.9%																																																																																																																																																																																				
16	1.19	0.0		14.1%	85.9%																																																																																																																																																																																				
30	0.59	243.7	39.4%	53.0%	46.4%																																																																																																																																																																																				
40	0.42	72.3	11.7%	65.2%	34.8%																																																																																																																																																																																				
50	0.30	44.8	7.2%	72.6%	27.5%																																																																																																																																																																																				
80	0.18	47.5	7.7%	80.2%	19.8%																																																																																																																																																																																				
100	0.15	13.1	2.1%	82.3%	17.7%																																																																																																																																																																																				
200	0.07	29.4	4.8%	87.1%	12.9%																																																																																																																																																																																				
Fasa 200		0.0		87.1%	12.9%																																																																																																																																																																																				
Total		534.9	0.0%	0.0%	0.0%																																																																																																																																																																																				
Recip. No.	0	0																																																																																																																																																																																							
Peso de recip. + S.H.	0	0																																																																																																																																																																																							
Peso de recip. + S.S.	0	0																																																																																																																																																																																							
Peso de recip.	0	0																																																																																																																																																																																							
Peso agua	0	0																																																																																																																																																																																							
Peso suelo seco	0	0																																																																																																																																																																																							
% Humedad	0.00	0.00																																																																																																																																																																																							
		SIN LIMITE LIQUIDO <table border="1"> <tbody> <tr><td>Determinación No</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>No. Golpes</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Recip. No.</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip. + S.H.</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip. + S.S.</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso de recip.</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso agua</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso suelo seco</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>% Humedad</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				Determinación No	1	2	3	No. Golpes	0	0	0	Recip. No.	0	0	0	Peso de recip. + S.H.	0	0	0	Peso de recip. + S.S.	0	0	0	Peso de recip.	0	0	0	Peso agua	0	0	0	Peso suelo seco	0	0	0	% Humedad	0	0	0																																																																																																																																																
Determinación No	1	2	3																																																																																																																																																																																						
No. Golpes	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Recip. No.	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Peso de recip. + S.H.	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Peso de recip. + S.S.	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Peso de recip.	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Peso agua	0	0	0																																																																																																																																																																																						
Peso suelo seco	0	0	0																																																																																																																																																																																						
% Humedad	0	0	0																																																																																																																																																																																						
		PESOS UNITARIOS DE SUELO <table border="1"> <tbody> <tr><td>Profundidad</td><td>0-1 m</td></tr> <tr><td>Peso unitario húmedo (g/cm³)</td><td>1.70</td></tr> <tr><td>Peso unitario húmedo (KN/M³)</td><td>16.62</td></tr> <tr><td>Peso unitario seco (g/cm³)</td><td>1.56</td></tr> <tr><td>Peso unitario seco (KN/M³)</td><td>15.23</td></tr> </tbody> </table>				Profundidad	0-1 m	Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.70	Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.62	Peso unitario seco (g/cm ³)	1.56	Peso unitario seco (KN/M ³)	15.23																																																																																																																																																																										
Profundidad	0-1 m																																																																																																																																																																																								
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.70																																																																																																																																																																																								
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	16.62																																																																																																																																																																																								
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.56																																																																																																																																																																																								
Peso unitario seco (KN/M ³)	15.23																																																																																																																																																																																								
Límites de Atterberg 																																																																																																																																																																																									
Descripción del material: Arena con poco limo, de color marrón claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compacidad, fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico																																																																																																																																																																																									

Fuente: Autor.

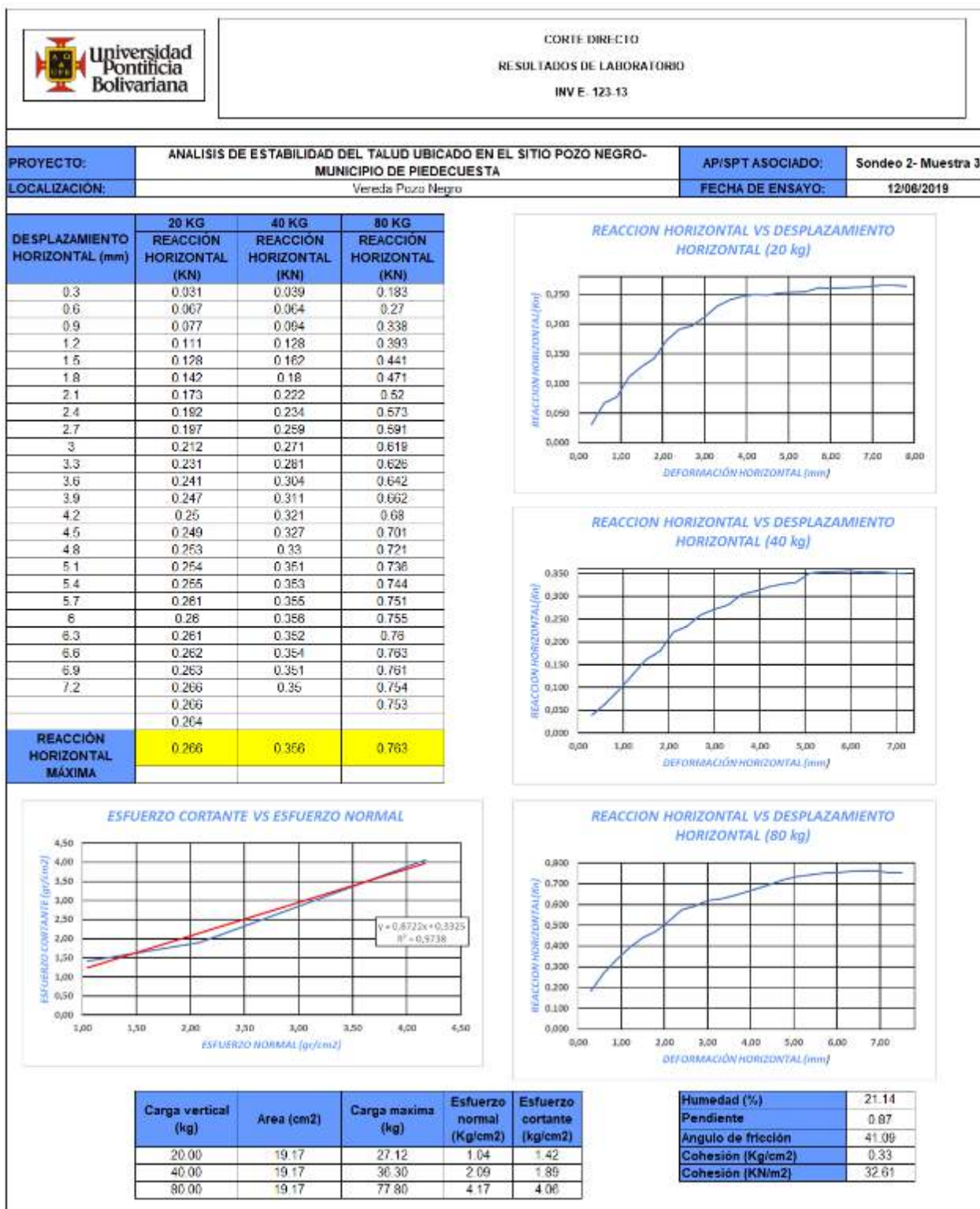
Tabla 64. Ensayo de humedad natural, límites líquido y plástico, peso unitario del Apique 3

		ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL, LÍMITES LÍQUIDO Y PLÁSTICO, PESO UNITARIO				
RESULTADOS DE LABORATORIO INV E- 122-13, INV E- 125-13, INV E- 126-13						
PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL SITIO POZO NEGRO- MUNICIPIO DE PIEDECUESTA		AP/SPT ASOCIADO:	Apique 3		
LOCALIZACIÓN:	Vereda Pozo Negro		FECHA DE ENSAYO:	4/06/2019		
CONTENIDO DE HUMEDAD			RESULTADOS			
Profundidad	0- 1 m		GRANULOMETRIA		LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Peso de recipiente + suelo húmedo (gr)	65.00		GRAVAS	19.9%	LÍMITE LÍQUIDO	N.L. %
Peso de recipiente + suelo seco (gr)	60.54		ARENAS	72.3%	LÍMITE PLÁSTICO	N.P. %
Peso recipiente (gr)	18.70		FINOS	7.9%	ÍNDICE PLÁSTICO	- %
Peso agua (gr)	4.46		ÍNDICE DE GRUPO	1	ÍNDICE DE CONSISTENCIA	
Peso suelo seco (gr)	41.84		A A S H T O	A - 1 - b		
% Humedad	10.66		U.S.C	SP-SM		
GRADACIÓN			SIN LÍMITE PLÁSTICO			
Peso inicial (gr):	639.42		Peso final (gr):	538.40		
Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Ácum	% pasa	
3"	76.10	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	
2 1/2"	64.00	0.0			100.0%	
2"	50.80	0.0			100.0%	
1 1/2"	38.10	0.0			100.0%	
1"	25.40	0.0			100.0%	
3/4"	19.00	0.0			100.0%	
1/2"	12.70	50.3	7.9%	7.9%	92.1%	
3/8"	9.51	20.8	4.2%	12.1%	87.9%	
4	4.76	49.5	7.7%	19.8%	80.2%	
8	2.38	67.6	10.6%	30.4%	69.6%	
10	2.00	21.0	3.3%	33.7%	66.3%	
12	1.68	0.0		33.7%	66.3%	
16	1.19	0.0		33.7%	66.3%	
30	0.59	238.0	37.4%	71.0%	29.0%	
40	0.42	48.4	7.6%	78.6%	21.4%	
50	0.30	31.1	4.9%	83.5%	16.5%	
80	0.18	32.7	5.1%	88.6%	11.4%	
100	0.15	8.8	1.4%	90.0%	10.0%	
200	0.07	13.5	2.1%	92.1%	7.9%	
Pasa 200		0.0		92.1%	7.9%	
Total		538.4	0.0%	0.0%	0.0%	
			SIN LÍMITE LÍQUIDO			
Determinación No	1	2	3			
No. Golpes	0	0	0			
Recip. No	0	0	0			
Peso de recip. + S.H.	0	0	0			
Peso de recip. + S.S.	0	0	0			
Peso de recip.	0	0	0			
Peso agua	0	0	0			
Peso suelo seco	0	0	0			
% Humedad	0.00	0.00	0.00			
			PESOS UNITARIOS DE SUELO			
Profundidad	0-1 m					
Peso unitario húmedo (g/cm ³)	1.80					
Peso unitario húmedo (KN/M ³)	17.64					
Peso unitario seco (g/cm ³)	1.69					
Peso unitario seco (KN/M ³)	16.57					
Límites de Atterberg						
						
Descripción del material:	Arena con poco limo, de color marrón claro, de grano medio, con baja compresibilidad, dureza, tenacidad, compactación fácilmente deleznable, húmedo y nada plástico.					

Fuente: Autor.

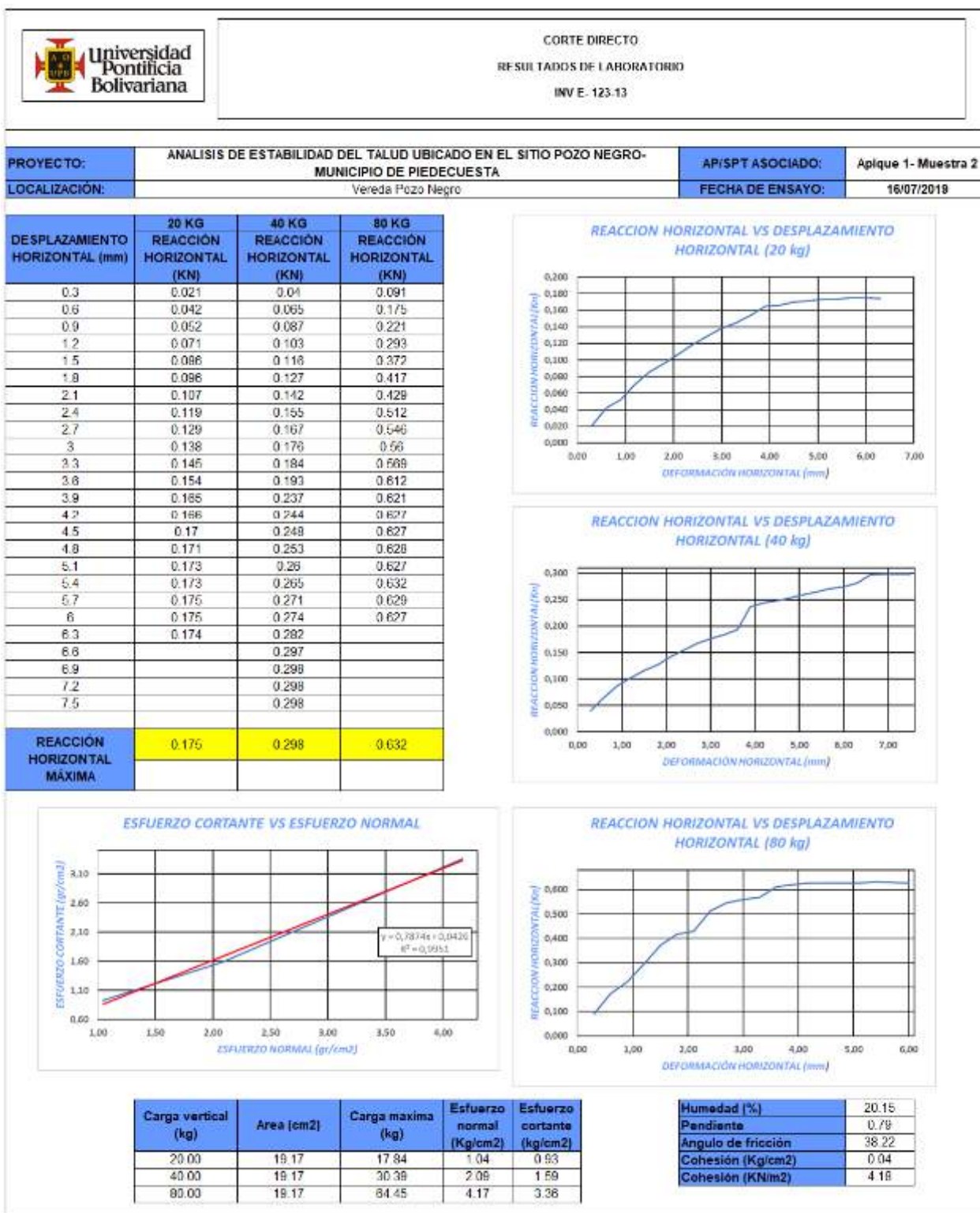
13.2.3. Ensayo de corte directo

Tabla 65. Ensayo de Corte directo del Sondeo 2, muestra 3



Fuente: Autor.

Tabla 66. Ensayo de Corte directo del apique 1, muestra 2



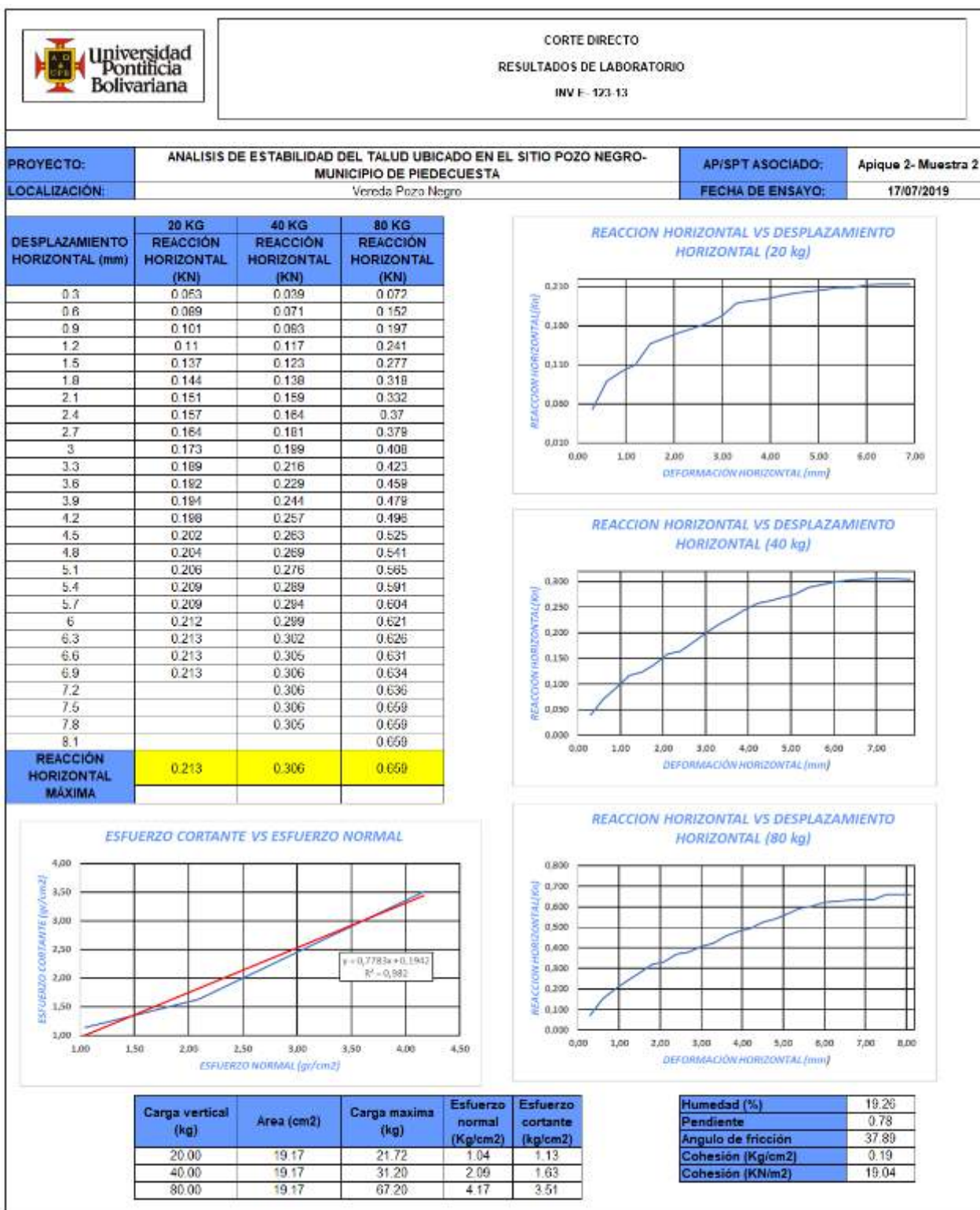
Fuente: Autor.

Tabla 67. Ensayo de Corte directo del apique 2, muestra 1



Fuente: Autor.

Tabla 68. Ensayo de Corte directo del apique 2, muestra 2



Fuente: Autor.

Tabla 69. Ensayo de Corte directo del Sondeo 5, muestra 5



Fuente: Autor.

Tabla 70. Ensayo de Corte directo del apique 3, muestra 2



Fuente: Autor.