

Práctica empresarial en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia.

Jean Paul Diaz Maldonado

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

PHD. en Ingeniería del Terreno Cartografía y Geofísica

Tutor

José Neyith Contreras Sandoval

MSc.en Geotecnia

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

A madre María del Carmen Maldonado Roa, por el amor, la paciencia y el apoyo que me ha brindado en todos estos años de vida y finalmente, a mi padre Juan Carlos Diaz Ardila por ser un buen ejemplo para seguir.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	12
1.1. Objetivo General.....	12
1.2. Objetivos Específicos	12
2. Actividades desarrolladas durante la práctica empresarial	13
2.1. Visita de reconocimiento de campo.....	14
2.2. Diseño de la exploración geotécnica	14
2.3. Ejecución de la exploración geotécnica.....	15
2.4. Recepción de las muestras	16
2.5. Fase de laboratorio.....	17
2.5.1. Porcentaje de humedad.....	17
2.5.2. Análisis granulométrico de la fracción retenida en el tamiz de 2.0 mm (N°10)	19
2.5.3. Límites de Atterberg.....	22
2.5.4. Ensayo de corte directo	25
2.6. Interpretación de ensayos.....	28
2.6.1. Clasificación SUCS de las muestras de suelo	28
2.6.2. Elaboración de los registros fotográficos de sondeos y apiques.	29
2.6.3. Corrección de N del SPT	30
2.6.4. Potencial de expansión.	30

2.6.5. Compacidad	31
2.6.6. Consistencia.....	31
2.6.7. Apoyo en la elaboración de informes geotécnicos	32
3. Proyectos Relacionados	34
3.1. Construcción de obras de mitigación y estabilización de los taludes para los barrios Paseo del Mango, Caracolés y Nuevo Pablo Sexto, del municipio de San Gil – Santander.	34
3.2. Construcción de obras de mitigación y estabilización de los taludes para los barrios Ciudad Futuro I y II, Santa Catalina Campestre, Miradores del Bosque, Villas de San Gil, Villa Laura y Santa Bárbara del municipio de San Gil-Santander.....	37
3.3. Estudio geotécnico para el diseño de obras de mitigación y estabilización para la atención de las situaciones de emergencia acaecidas entre el PR 106+0000 al PR 117+0699 de la vía Málaga-Curos, en el departamento de Santander (Código 881-PR111+0270, Piedecuesta Santander)... ..	41
3.4. Estudio geotécnico para el diseño de obras de mitigación y estabilización para la atención de las situaciones de emergencia acaecidas entre el PR 106+0000 al PR 117+0699 de la vía Málaga-Curos, en el departamento de Santander (Código 881-PR107+0490, Santa Bárbara, Santander).	
44	
4. Aportes del practicante	49
4.1. Manual para el diseño de exploración geotécnica	49
4.2. Programación de la carta de plásticidad	50
4.3. Programación para la clasificación SUCS de las muestras de suelo.	50
5. Conclusiones	51
6. Recomendaciones.....	53
Referencias bibliográficas.....	54

Lista de Tablas**Pág.**

Tabla 1	Datos para registrar en el formato de laboratorio para el cálculo de humedad	18
Tabla 2	Cantidad de masa mínima para la porción de muestra de suelo retenida en el tamiz N°10	19
Tabla 3	Cantidad Ejemplo de formato diligenciado para el ensayo de granulometría para el proyecto del talud contiguo al barrio Las Palmas, en Barrancabermeja (SIMI).....	19
Tabla 4	Tiempo mínimo de aplicación del esfuerzo cortante para generar la falla del suelo.....	26
Tabla 5	Estado de compacidad de un suelo bajo la correlación con los valores de N del SPT ...	31
Tabla 6	Consistencia de arcillas bajo correlación con el N60 del ensayo SPT	32
Tabla 7	Ensayos de campo (Paseo del Mango)	35
Tabla 8	Ensayos de laboratorio (Paseo del Mango).....	35
Tabla 9	Parámetros utilizados para el modelamiento geológico-geotécnico (Paseo del Mango)	37
Tabla 10	Ensayos de campo (Ciudad Futuro).....	38
Tabla 11	Ensayos de laboratorio (Ciudad Futuro).....	38
Tabla 12	Parámetros utilizados para el modelamiento geológico-geotécnico (Ciudad Futuro)..	41
Tabla 13	Ensayos de campo (PR 111+0270).....	42
Tabla 14	Ensayos de laboratorio (PR 111+0270).....	42
Tabla 15		44
Tabla 16	Ensayos de campo (PR 107+0490).....	45
Tabla 17	Ensayos de laboratorio (PR 107+0490).....	45

Tabla 18 Parámetros utilizados para el modelamiento geológico- geotécnico (PR 107+0490).. 48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Metodología con la que se desarrollaron las actividades de la práctica empresarial	13
Figura 2 Ejemplo del embalaje de una muestra de suelo, extraída bajo sondeo tipo SPT.....	16
Figura 3 Ejemplo de la selección y agrupación de las muestras de suelo, para ser procesadas en laboratorio	17
Figura 4 Ejemplo de Curvas granulométricas.....	21
Figura 5 Montaje del suelo en la cazuela de Casa Grande, previo al inicio de los golpes que juntaran la ranura realizada	23
Figura 6 Curva de fluidez para el cálculo del límite líquido.....	24
Figura 7 Equipo de corte directo en funcionamiento, con una carga axial de 20Kg (A) y de 40 Kg (B).	27
Figura 8 Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto Paseo del Mango	35
Figura 9 Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI para el proyecto Paseo del Mango	36
Figura 10 Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto Ciudad Futuro.....	39
Figura 11 Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto Ciudad Futuro	40
Figura 12 Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto PR 111+0270.....	42
Figura 13 Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto PR 111+0270	43

Figura 14 Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto PR 107+0490.....	45
Figura 15 Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto PR 107+0490	47
Figura 16 Manual de diseño de exploración geotécnica (Sondeos y Apiques)	49

Resumen

Título: Práctica empresarial en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia.*

Autor: Jean Paul Diaz Maldonado**

Palabras Clave: Estudio Geotécnico, Laboratorio de suelos, informe geotécnico.

Descripción:

A continuación se describe el desarrollo de las actividades realizadas bajo la modalidad de auxiliar de ingeniería en el área de la geotecnia, como parte de la práctica empresarial en la entidad Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. en donde, durante un periodo de cuatro meses, se dio supervisión en el diseño de exploración geotécnica, ejecución de ensayos de laboratorio a muestras de suelo, junto con el tratamiento de resultados y la redacción de los informes respectivos, todo ello para cuatro de los proyectos que se encontraban vigentes, los cuales requerían de la ejecución de las actividades propias de un estudio de suelos que permitiera la abstracción de las características geotécnicas de cada una de las zonas de estudio.

Como resultado de la práctica empresarial se realizó un manual que facilitara el proceso de diseño de la exploración geotécnica, el cual incluye la configuración de una base de datos con información cartográfica tal como vías, límites administrativos, junto con datos referentes a los materiales y estructuras geológicas. Adicionalmente se realizaron ensayos de laboratorio tales como cálculo de porcentaje de humedad, granulometrías, cortes directos límites de Atterberg, junto con una programación que facilita la clasificación de las muestras de laboratorio, según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), organizando los resultados de la caracterización mecánica (cohesión y ángulo de fricción) en tablas que alimentan los respectivos modelos geológicos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. PHD. en Ingeniería del Terreno Cartografía y Geofísica. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. MSc. en Geotecnia

Abstract

Title: Internship at Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. as an engineering assistant in the geotechnical area*

Author: Jean Paul Diaz Maldonado**

Key Words: Geotechnical study, Soil Laboratory, Geotechnical report.

Description:

The following describes the development of the activities carried out under the modality of engineering assistant in the area of geotechnics, as part of the internship in the entity Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. where, during a period of four months, supervision was given in the design of geotechnical exploration, execution of laboratory tests on soil samples, together with the treatment of results and the writing of the respective reports, all of this for four of the Projects that were in force, which required the execution of the activities of a soil study that allowed the abstraction of the geotechnical characteristics of each of the study areas.

As a result of the internship, a manual was produced to facilitate the geotechnical exploration design process, which includes the configuration of a database with cartographic information such as roads, administrative limits, along with data regarding to geological materials and structures. Additionally, laboratory tests were carried out such as calculation of the percentage of humidity, granulometries, Atterberg's limits, direct cuts, together with a program that facilitates the classification of laboratory samples, according to the unified soil classification system (SUCS), organizing the results of the mechanical characterization (cohesion and friction angle) in tables that feed the respective geological models.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías físicas y mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. PHD. en Ingeniería del Terreno Cartografía y Geofísica. Tutor: José Neyith Contreras Sandoval. MSc. en Geotecnia

Introducción

En el presente documento se muestra a detalle las actividades realizadas durante la práctica empresarial en la Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S, como auxiliar de ingeniería en el área de la geotécnica, bajo el desempeño de actividades relacionadas con el diseño de la exploración geotécnica, prácticas de laboratorio de suelos y el tratamiento de los diferentes resultados, así como la elaboración de informes correspondientes a estudios de suelos, que permiten el conocimiento y caracterización de los materiales geológicos superficiales de una zona de estudio, desde el punto de vista del comportamiento mecánico, su configuración espacial, así como otras propiedades tales como la presencia de niveles freáticos. Permitiendo en el estudiante un contacto directo con el ejercicio de su profesión, bajo la supervisión de diferentes expertos, procurando la optimización de los procesos que para el presente caso consistieron en el desarrollo de manuales, bases de datos con información cartográfica y geotécnica, así como el diseño de programaciones para la obtención y tratamiento de los resultados del laboratorio de suelos.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar una práctica empresarial bajo la modalidad virtual, como auxiliar de ingeniería ejecutando actividades del área de la geotecnia, en la empresa ALIANZA CONSULTORA & INGENIERÍA S.A.S. de acuerdo con lo estipulado en el reglamento académico estudiantil de pregrado de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Apoyar actividades de supervisión de exploración geotécnica, en los diferentes proyectos que maneje la empresa, durante el desarrollo de la práctica empresarial en modalidad virtual.

Realizar labores de apoyo durante la ejecución de actividades de laboratorio tales como recepción y descripción física de las diferentes muestras de suelo, así como la ejecución de ensayos y determinación de propiedades índice de clasificación y de resistencia, siguiendo las especificaciones y normativa del INVIAS.

Apoyar las actividades de análisis, tratamiento y presentación de los resultados de laboratorio, de las muestras de suelo analizadas, para la correcta caracterización del perfil o corte geotécnico.

Realizar labores de apoyo en la ejecución del informe geotécnico en el que se plasmen los resultados de las prácticas de laboratorio realizadas para el proyecto asociado.

2 Actividades desarrolladas durante la práctica empresarial

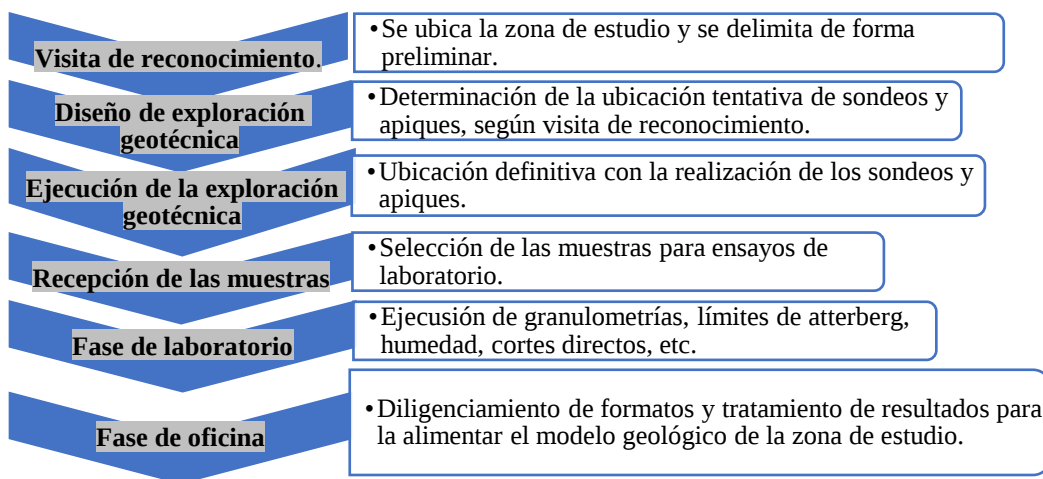
Alianza consultora & Ingeniería S.A.S. es una empresa ubicada en la ciudad de Bucaramanga, dedicada a prestar gran variedad de servicios desde cinco ejes fundamentales, tales como:

- Ingeniería geológica y geotecnia, correspondiente al eje que pertenecieron la totalidad de los proyectos desarrollados durante la presente práctica empresarial.
- Gestión del riesgo.
- Gestión de planeamiento minero.
- Gestión ambiental.
- Gestión y planificación urbana.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de las actividades se ejecutó bajo la metodología que se muestra en la figura siguiente:

Figura 1

Metodología con la que se desarrollaron las actividades de la práctica empresarial



A continuación, se detalla cada una de las actividades implicadas en el desarrollo de la práctica empresarial, como auxiliar de ingeniería en el área de la geotecnia:

2.1 Visita de reconocimiento de campo

Esta labor fue desarrollada por los profesionales de la empresa, y consiste en ir a la zona de estudio, para identificar las condiciones particulares del lugar, tales como topografía, presencia de deslizamientos o diferentes elementos morfodinámicos y sus dimensiones, la accesibilidad, delimitación de la zona a intervenir según los alcances del proyecto planteados por el cliente y la captura de información base, que sirva de punto de apoyo para los pasos subsiguientes, tales como la toma de un registro fotográfico preliminar y de reconocimiento, junto con la posible toma de puntos GPS en zonas de referencia.

2.2 Diseño de la exploración geotécnica

Este proceso corresponde a la etapa inicial de todo estudio de suelos, y tiene como objetivo la ubicación tentativa de los puntos en los cuales se tomarán las muestras de suelo, que serán analizadas. Su ejecución es posterior a la visita de reconocimiento de campo y en él se deben tener en cuenta aspectos tales como el tipo de exploración planteada (Apiques o Sondeos), la cantidad optima de los mismos, la accesibilidad de la maquinaria y del personal implicados en el proceso de toma de muestras, así como los límites de la zona que se desea caracterizar.

Con el propósito de facilitar dicho proceso se diseñó una cartilla en la que, a partir del uso de un sistema de información geográfico, se pueda tener una vista en planta de la zona de estudio, y

conocer las características geológico-estructurales a nivel regional (especialmente los materiales parentales), según el mapa geológico de Colombia, escala 1:1'000.000 (SGC, 2020) y la base cartográfica del IGAC (IGAC, 2017).

2.3 Ejecución de la exploración geotécnica

Hace referencia al proceso de exploración del subsuelo de la zona de estudio, con el objetivo de identificar las capas subyacentes, mediante la ejecución de perforaciones y ensayos de campo (en este caso tipo SPT y Apiques) (Braja M., 2015), que permitan la extracción de muestras de suelo representativas cuya masa mínima debe ser de 300 g. para suelos finos y de 1 a 300 Kg. según el tamaño máximo nominal, para agregados gruesos (Instituto Nacional de Vías, 2013). En este proceso la participación del practicante consistió en la verificación y explicación al personal de campo sobre los diferentes métodos de conservación y transporte de las muestras de suelo (Ver ejemplo en la figura siguiente), según el tipo de grupo al que pertenezcan, ya sean grupo A, B, C, o D (de acuerdo con el nivel de alteración permitido), así mismo se identificó la información mínima que debe tomarse en los rótulos de todas las muestras, según los ítems 6.1.1 al 6.1.9 de la norma INV E-103-13 (Código del estudio, fecha del muestreo, código y coordenadas X, Y e Z del muestreo, orientación, profundidad, nivel freático, etc.) (Instituto Nacional de Vías, 2013)

Figura 2

Ejemplo del embalaje de una muestra de suelo, extraída bajo sondeo tipo SPT



2.4 Recepción de las muestras

El primer paso consiste en la verificación de la información de los rótulos de cada muestra, corroborando, profundidad de exploración, código del proyecto y número serial de cada sondeo y/o apique, así como la cantidad de los puntos de exploración, haciendo la respectiva equivalencia entre aquellos propuestos y los tomados en campo, puesto que algunas ocasiones, por diversos factores de accesibilidad, topografía, entre otros, los puntos de exploración propuestos no se podían tomar o debían ser reubicados bajo la orden del ingeniero que acompañó el proceso de exploración de campo.

Una vez finalizado el procedimiento anterior, el paso a seguir consiste en la definición de las muestras de suelo que serán analizadas en laboratorio, para ello se hace el desembalaje de los suelos según cada sondeo, organizando los materiales de acuerdo con la secuencia estratigráfica de tope a base, con el objetivo de reconocer variaciones en la humedad, número de golpes según el ensayo de penetración estándar -SPT, la textura, color, composición mineralógica o características del perfil de meteorización al cual se hayan asociado (Deere & Patton, 1971) tal como se muestra en la siguiente, teniendo en cuenta que la cantidad de muestras tomadas y su

profundidad, sea acorde con las unidades geológicas para ingeniería (UGI) o estratos, que el geotecnista y/o geólogo reconozcan en el sondeo. El principal objetivo de este paso es la determinación de las propiedades mecánicas de cada una de las UGI, sus espesores y la posible zona de transición suelo-roca (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

Figura 3

Ejemplo de la selección y agrupación de las muestras de suelo, para ser procesadas en laboratorio



2.5 Fase de laboratorio

Al seleccionar todas las muestras de suelo, se procedió a ejecutar los ensayos siguientes:

2.5.1 Porcentaje de humedad

Ensayo descrito en la norma INV E-122-13, consiste en tomar una porción de suelo, según la cantidad de masa mínima, descrita en la tabla 122-1 de la misma norma (Instituto Nacional de

Vías, 2013), y llevarla al horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, por alrededor de 12 a 16 Horas, hasta que se registre un valor de masa constante, en mediciones espaciadas con un mínimo de dos horas, a continuación, se muestra la ecuación asociada a su cálculo y la tabla formato con la información requerida en dicho proceso:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} * 100 = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Tabla 1

Datos para registrar en el formato de laboratorio para el cálculo de humedad

HUMEDAD (I.N.V.E-122-13)	
Número de tara	Identificación del recipiente
W Tara + S. Hum (g)=W₁	Masa de tara y suelo húmedo
W Tara + S. Sec (g) =W₂	Masa de tara y suelo seco
W Tara (g)=W_c	Masa de tara
W S. Seco (g)=W_s	Masa de suelo seco
W Agua (g)=W_w	Masa de agua
Humedad %=W	Porcentaje de humedad

El siguiente ensayo realizado, consistió en la determinación del tamaño de grano de las partículas de los suelos, para ello fue necesario un proceso de preparación de cada una de las muestras, según la norma INV E-106-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013), la cual toma como referencia a la cantidad de suelo retenido o que pasa por la malla del tamiz de 2mm (N°10), siendo así que la cantidad de muestra para los suelos cuyas partículas son retenidas en el Tamiz N°10, dependerá del tamaño máximo de los granos de suelo, tal como se muestra en la tabla siguiente, mientras que para la porción que pasa el tamiz N°10, la masa de la muestra será de alrededor de 115 gramos, para suelos arenosos y de 65 gramos, para suelos limosos y arcillosos.

Tabla 2

Cantidad de masa mínima para la porción de muestra de suelo retenida en el tamiz N°10

Diámetro nominal de las partículas mayores	Masa mínima aprox. de la porción, g
9.5mm (3/8in)	500
19.0mm (3/4in)	1000
25.4mm (1in)	2000
38.1mm (1-1/2in)	3000
50.8mm (2in)	4000
76.2mm (3in)	5000

Nota: Tomado de INVIAS E-106-13, 2013.

2.5.2 Análisis granulométrico de la fracción retenida en el tamiz de 2.0 mm (N°10)

Consiste en determinar la cantidad de masa retenida, en una secuencia de tamices organizados de tal forma que la abertura de sus mallas sea descendente; el orden de los tamices está definido por la norma INV E-123-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013), en la tabla a continuación se muestra la secuencia de tamices utilizados según el formato para registrar los valores de masa parciales, bajo la aclaración que el tamizaje fue ejecutado manualmente con movimientos laterales y verticales, vibraciones y recorridos circulares, hasta que no más del 1% de la parte retenida pase, luego de tamizar por un minuto.

Tabla 3

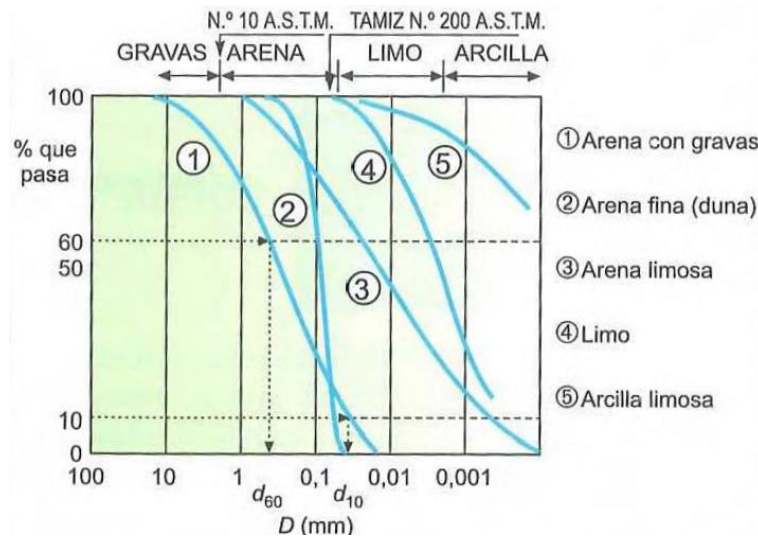
Cantidad Ejemplo de formato diligenciado para el ensayo de granulometría para el proyecto del talud contiguo al barrio Las Palmas, en Barrancabermeja (SIMI)

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123-13)					
Tamiz	Peso (gr)		Porcentaje (%)		
No.	mm	Ret	Acum	Ret	Pasa
3.0"	75.0	0.00	0.00	0.00	100.00
2 - 1/2	62.5	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1 - 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00

½	12.5	97.00	97.00	19.40	80.60
3/8	9.5	95.98	192.80	19.16	61.44
4	4.75	78.40	271.20	15.68	45.76
10	2	50.40	321.60	10.08	35.68
20	0.850	17.40	339.00	3.48	32.20
40	0.425	28.40	357.40	5.68	26.52
100	0.150	51.80	419.20	10.36	16.16
200	0.075	10.00	429.20	2.00	14.16
Pasa 200		-	500.00	14.16	00.00
P1			500.00 gr		

Previo al tamizaje, la muestra de suelo retenida en el tamiz N°10, esta fue disgregada, para luego ser lavada en el tamiz de 2mm de abertura, con el objetivo de remover partículas de tamaño inferior.

Con la información de la tabla anterior se elabora la curva granulométrica, la cual muestra la relación entre el porcentaje del material que pasa por cada uno de los tamices (en el eje vertical), y el diámetro de las partículas en milímetros, en escala logarítmica, sobre el eje horizontal, tal como se muestra en la figura siguiente, en donde además se pueden hacer inferencias sobre la granulometría dominante en las muestras, según la forma que tuviese dicha gráfica (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004), teniendo en cuenta que se consideran gravas todas aquellas partículas cuyo tamaño mínimo es de 4.75mm, mientras que las arenas se encuentran en el intervalo de tamaños de 4.75mm a 0.075mm y los limos y arcillas son partículas con diámetro inferior a los 0.075mm (Braja M., 2015).

Figura 4*Ejemplo de Curvas granulométricas*

Nota: Tomado de Ingeniería geológica, por L. Gonzales et al, 2004, Pearson Education S.A.

Con la realización de la curva granulométrica es posible la determinación de parámetros tales como el coeficiente de uniformidad “Cu” y el coeficiente de curvatura “Cc”; que permite hacer inferencias tales como que, si el “Cu” es menor a 5, es porque el suelo tiene una granulometría uniforme, mientras que si dicho valor se encuentra entre 5 y 20, se trata un suelo con granulometría poco uniforme y finalmente si “Cu” es mayor a 20, se trata de un suelo bien graduado, es decir que el tamaño de las partículas de las que se compone son más variadas (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004). A continuación, se muestran las ecuaciones para el cálculo de los coeficientes de uniformidad y de curvatura:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad ; \quad C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Donde:

C_u = Coeficiente de uniformidad.

C_C = Coeficiente de curvatura.

D_{10} , D_{30} , D_{60} = Tamaño de los tamices por los que pasa el 10, 30 y 60 por ciento de la masa de suelo analizada, respectivamente.

Los anteriores valores, además de indicar las características granulométricas de las muestras de suelo, también resultan indispensables para su clasificación SUCS, el cual, para los suelos con predominio de partículas limosas o arcillosas, requiere del análisis de su consistencia, es decir la naturaleza cohesiva que puede adquirir dicho suelo, según ciertos contenidos o porcentajes de humedad, lo cual se determina a partir de los límites de Atterberg, descritos a continuación:

2.5.3 Límites de Atterberg

Método que consiste en determinar la humedad a partir de la cual los suelos tienen un comportamiento ya sea sólido, semisólido, plástico y líquido, separando cada uno de estos cuatro estados básicos por límites los cuales se describen a continuación:

-Límite Líquido (LL): Es el contenido de humedad en porcentaje, presente en el suelo, que demarca el cambio entre los estados líquido y plástico; su determinación consiste en tomar alrededor de 150 a 200 gramos de muestra de suelo que pase por el tamiz N°40 (0.425mm), y agregarle agua gradualmente, homogenizando la mezcla de suelo-agua hasta obtener la

consistencia para permitir que se cierre la ranura en el suelo ubicado sobre el montaje de la Cazuela de Casagrande, para los intervalos de golpes de 25 a 35, 20 a 30, y 15 a 25 golpes, según lo indicado en la norma INV E-125-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013) (método A), tal como se muestra a continuación, cuya ranura o separación es de 13mm y el espesor máximo del suelo dentro de la cazuela es de 1cm:

Figura 5

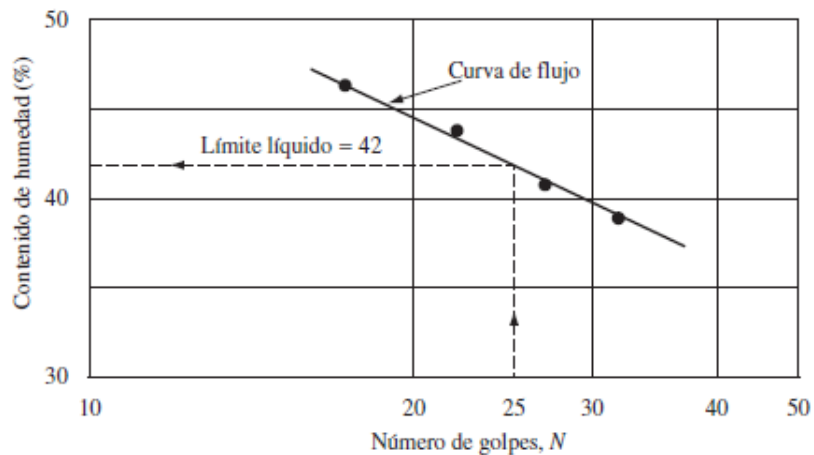
Montaje del suelo en la cazuela de Casa Grande, previo al inicio de los golpes que juntaran la ranura realizada



En el cálculo de las humedades para cada uno de los tres intervalos de golpes de cierre de ranura, descritos, se toma cierta cantidad de muestra y se mide su masa húmeda y seca, luego de someterla al horno en una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, seguidamente con las tres medidas de humedad, se crea la curva de fluidez, ubicando en el eje horizontal de escala logarítmica, el número de golpes de cada medida, con su respectiva pareja ordenada (porcentaje de humedad), ver figura siguiente:

Figura 6

Curva de fluidez para el cálculo del límite líquido



Nota: Tomado de Fundamentos de ingeniería geotécnica, por D. Braja, 2015, C. L. E. d. C.V. 2015.

Por último, el límite líquido implica el cálculo del porcentaje de humedad para la cual el cierre de la ranura realizada en el suelo de estudio ocurre a los 25 golpes, lo cual se realiza despejando dicho dato de la ecuación de la curva de fluidez.

-Límite Plástico (LP): Es el porcentaje de humedad que tiene el suelo, cuando se encuentra en la transición del estado semisólido y plástico. Su cálculo debe realizarse sobre el mismo material preparado para la determinación del límite líquido, tomando una porción de alrededor de 20 gramos de suelo, con la humedad tal que pueda permitir el desarrollo de rollos.

La práctica de laboratorio fue ejecutada bajo el método manual, que consiste en tomar una muestra del suelo y enrollarla con los dedos o con las palmas de las manos y una placa de vidrio, ejerciendo la presión necesaria hasta formar un rollo de diámetro uniforme de 3.2 mm (1/8"), el cual se divide en varios trozos los cuales se remezclan hasta que durante el proceso de generación de rollos, en ellos se desarrollen fracturas o grietas, en cuyo caso, el paso a seguir consiste en medir su masa y calcular la humedad respectiva, repitiendo dicho proceso al menos en dos ocasiones,

para poder calcular un valor promedio (entero cerrado), siempre y cuando los valores de límite plástico estén dentro del rango de aceptabilidad de la tabla 126-1 de la norma INVIAS 126-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013). Con el cálculo de los límites de Atterberg, el paso siguiente es la determinación del índice de plasticidad.

-Índice de plasticidad: Es el rango de humedad del suelo, en el cual éste tiene comportamiento plástico, calculado bajo la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Donde

IP= Índice de plasticidad.

LL= Límite líquido.

LP= Límite plástico.

Se aclara que en caso de no poder determinar alguno de los límites de Atterberg, o si el límite plástico es igual o mayor al límite líquido, se considera que el suelo es no plástico (NP).

El siguiente ensayo realizado consiste en la determinación de la resistencia a los esfuerzos cortantes.

2.5.4 Ensayo de corte directo

El ensayo consiste en someter una muestra de suelo debidamente preparada en un molde que le proporciona la forma de pastillas cilíndricas húmedas que se instalan en la caja del equipo

de corte (la cual debe estar debidamente asegurada por tornillos), bajo la aclaración de que la pastilla del suelo dentro del equipo de corte debe estar aislada con piedras porosas tanto en su tope, como en su base, en donde además se instala una placa de transferencia de cargas axiales (Instituto Nacional de Vías, 2013).

Una vez el montaje de la pastilla es realizado en el equipo de corte directo, se procede a ejercer sobre este una carga axial (la cual se iba incrementando) y se posiciona el deformímetro vertical, para seguidamente poner en ceros el medidor de desplazamiento horizontal; todo lo anterior, hasta conseguir la consolidación primaria (deformación de la muestra de suelo por drenado de humedad), registrando la deformación máxima y el tiempo transcurrido para su obtención bajo el análisis de la gráfica esfuerzo deformación; posteriormente, se retiran los tornillos que fijan los marcos de la caja de corte, para accionar el equipo que genera el desplazamiento horizontal de las dos mitades de la caja, lo cual ocurre a una velocidad lo suficientemente lenta para que exista disipación de la presión de poros, cuyo valor está definido en la Norma INVIAS E-151 (Instituto Nacional de vías, 2013), en donde además se identifican los tiempos mínimos para que ocurra la falla, según la clasificación SUCS del suelo, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4

Tiempo mínimo de aplicación del esfuerzo cortante para generar la falla del suelo

Clasificación SUCS (INV E 181)	Tiempo mínimo hasta la falla (tf)
SW, SP	10 min
SW-SM, SP-SM, SM	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	1440 min

Nota: Tomado de INVIAS E-151-13, 2013.

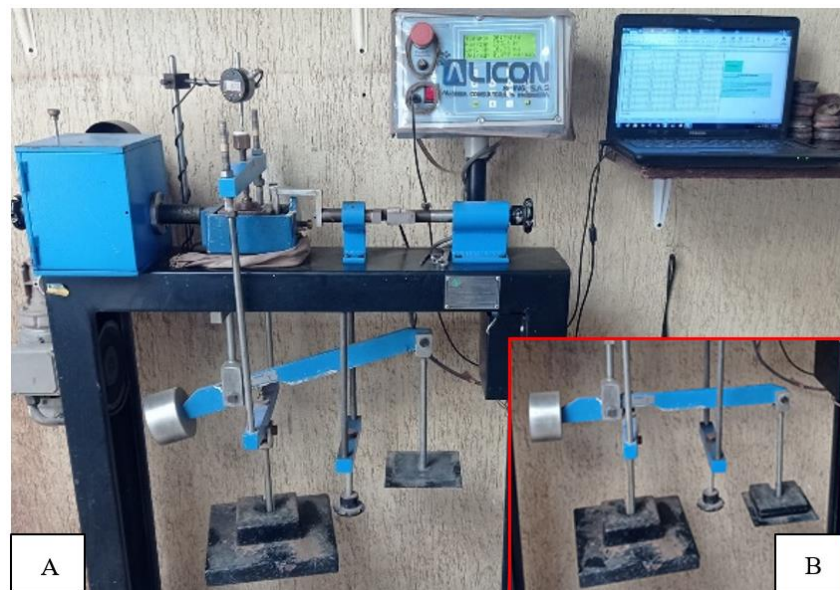
El cálculo de la velocidad máxima para la aplicación de la fuerza de corte se realizó con ayuda de la siguiente ecuación, en la cual el desplazamiento lateral relativo “ d_f ” es igual a 10 mm para suelos finos normalmente consolidados o ligeramente pre-consolidado, y de 5mm para los demás casos, con “ t_f ” en minutos, según los valores de la tabla anterior:

$$Rd = \frac{d_f}{t_f}$$

El procedimiento se repetía en tres ocasiones para un mismo material, variando la carga axial de 20Kg, a 40Kg y 50Kg, identificando la resistencia al corte, y los elementos de la envolvente de Mohr (cohesión y el ángulo de fricción del suelo), según el montaje siguiente:

Figura 7

Equipo de corte directo en funcionamiento, con una carga axial de 20Kg (A) y de 40 Kg (B).



2.6 Interpretación de ensayos

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se procede con el tratamiento de estos, lo cual implica diferentes procesos de clasificación y/o de presentación en gráficas, registros o informes, que se describen a continuación:

2.6.1 Clasificación SUCS de las muestras de suelo

Una vez realizada la determinación de la granulometría de cada una de las muestras de suelo, se aplica el sistema SUCS para propósitos de ingeniería, enunciado en la norma INV E-181-13 (Instituto Nacional de Vías, 2013), donde existen cuatro tipos principales de suelos, tal como se muestra a continuación:

-Gravas: Partículas que pasan el tamiz de 75 mm y son retenidas en el N°4. (4.75 mm), las cuales a su vez pueden ser gravas gruesas (pasan el tamiz 75mm y se retienen en el tamiz de 19mm) o gravas finas (que pasan por el tamiz de 19 mm y se retienen en el N° 4).

-Arenas: Partículas de suelo que pasan el tamiz N° 54 y se retienen en el N°200 (75µm).

-Limos: Suelos que pasan el tamiz N°200, con plasticidad baja o nula, cuyo índice plástico es menor de 4 o al representarlo en la carta de plasticidad, las coordenadas se ubican debajo de la línea de “A”, los cuales pueden ser orgánicos de acuerdo del contenido de materia orgánica.

-Arcillas: Son la granulometría más fina, caracterizados por tener fuerte resistencia cuando se encuentran secos, son aquellos suelos que pasan el tamiz N°200 y bajo ciertos contenidos de humedad presentan plasticidad (índice plástico igual o menor a 4, ubicados bajo la línea “A” en la carta de plasticidad); al igual que con los limos, de acuerdo con el contenido de materia orgánica, pueden ser arcillas orgánicas.

La clasificación se fundamenta en el porcentaje de predominio de gravas, arenas, limos y arcillas de cada muestra de suelo, así como de los límites de Atterberg y los coeficientes de uniformidad y curvatura, que determinan la cualidad de buena o mala gradación en el suelo, hasta asignar el nombre y símbolo del grupo respectivo.

2.6.2 Elaboración de los registros fotográficos de sondeos y apiques.

Finalizada la fase de campo, con la ejecución de los ensayos SPT y la toma de muestras de los sondeos y apiques, el practicante recibe la respectiva evidencia fotográfica y procede a organizarla, en documentos denominados “registros”, que se hacen para los sondeos y para los apiques por separado, en donde se pone información del proyecto tal como su nombre, las coordenadas y numeración de cada sondeo o apique y las fotografías que permiten ver la muestra obtenida y las características del entorno para reconocer la ubicación del muestreo.

2.6.3 Corrección de N del SPT

El proceso de corrección de los valores de N (número de golpes), del ensayo de SPT, fue realizado según el criterio de corrección por energía “Ce” y por profundidad “Cd” (Seed, Tokimatsu, Harder, & Chung, 1984), de acuerdo con la siguiente ecuación, la cual tiene como presunción que el valor de N está relacionado con el 60% de la energía teórica de la caída libre del mazo del equipo del SPT (Tokimatsu & Seed, 1984).

$$N_{60} = C_e * C_d * N$$

Donde:

N₆₀: Valor N de diseño o normalizado.

Ce: Corrección por energía, (0.75 debido a que el ensayo de SPT se desarrolló con un sistema de pesa, con un hueco circular y un sistema de poleas).

Cd: Corrección por profundidad (valores de 1.6 a 0.5, en el intervalo de profundidad de 0 a 20 m).

2.6.4 Potencial de expansión.

hace referencia a las variaciones en el volumen de un suelo, cuando cambia su contenido de humedad; esta es una particularidad de aquellos con predominio de granulometría fina, en los que, bajo el incremento de humedad, pueden llegar a aumentar su volumen o viceversa, ocasionando problemas de carácter geotécnico, tales como periodos de hinchamientos o depresiones del terreno, así como el desarrollo de grietas y fracturas en las edificaciones (Instituto Nacional de vías, 2013).

Existen diferentes métodos para determinar este parámetro, tales como las tablas 132-1, 132-2 y 132-3, de la norma Invias INV E-132-13, sin embargo, durante el desarrollo de la presente práctica empresarial, se utilizó lo indicado en la tabla H.9.1-1 de la Norma Sismo resistente del 2010, cuyo insumo de clasificación son los límites de Atterberg (NSR-10, 2010).

2.6.5 Compacidad.

Es el grado de compactación que puede tener un suelo granular, bajo relación entre su estado con mayor y menor densidad; para el presente caso la clasificación se realizó según la tabla siguiente (JamielKowski & y otros, 1988).

Tabla 5

Estado de compacidad de un suelo bajo la correlación con los valores de N del SPT

Numero de penetración estándar N	Densidad relativa	Estado del suelo
0 a 3	0 a 15	Muy suelto
3 a 8	15 a 35	Suelto
8 a 25	35 a 65	Medio
25 a 42	65 a 85	Denso
42 a 58	85 a 100	Muy denso

Nota: Tomado de New correlations of penetration test for desing practice, por Jamielkoswki et al, 1988, Balkema.

2.6.6 Consistencia.

Propia de suelos cohesivos, hace referencia a la facilidad con la que llegan a deformarse cuando es sometido a fuerzas, siendo esto dependiente del contenido de humedad; a continuación, se muestra la tabla utilizada para su determinación según los valores de N del ensayo SPT (Instituto Nacional de Vías, 2013):

Tabla 6*Consistencia de arcillas bajo correlación con el N60 del ensayo SPT*

Numero de penetración estándar N ₆₀	Consistencia	Resistencia a compresión kN/m ²
0 a 2	Muy blanda	0 a 25
2 a 5	Blanda	25 a 50
5 a 10	Medio firme	50 a 100
10 a 20	Firme	100 a 200
20 a 30	Muy firme	200 a 400
> 30	Dura	> 400

Nota: Tomado de INVIAS E-125-13, 2013.

2.6.7 Apoyo en la elaboración de informes geotécnicos

De forma general los proyectos en los que se intervino tienen en su estructura una introducción, los objetivos, las generalidades enfocadas en la localización y descripción de la problemática de cada punto, junto con información geológica a nivel regional, así como un análisis hidrológico e hidráulico, seguido por el apartado de exploración geotécnica y la evaluación del perfil geológico-geotécnico; siendo así que a partir de todo lo anterior se realizaba el debido diseño de obras geotécnicas de prevención, mitigación y estabilización. El aporte en este proceso por parte del practicante consistió en la elaboración del capítulo de exploración geotécnica donde se presenta la ubicación, cantidad y tipo de sondeos realizados, así como los resultados de los ensayos de laboratorio, junto con la información sísmica general de la zona de estudio, es decir el nivel de amenaza sísmica (alta, media y baja), y los valores de aceleración horizontal y vertical pico efectivos, “Aa” y “Av”, datos que fueron extraídos del apéndice A-4 de la Norma Sismo resistente del 2010 (NSR-10, 2010). Durante esta parte del proceso de trabajo de oficina, se complementa el modelo geológico de la zona de estudio, unificando los resultados del equipo de geología, con la información de caracterización mecánica de los suelos por parte del grupo de laboratorio, con el

objetivo de que el modelo geológico brinde una aproximación lo más cercanamente posible a la realidad.

3 Proyectos Relacionados

La totalidad de las actividades previamente descritas, fueron ejecutadas en los proyectos vigentes durante los cuatro meses de duración de la práctica empresarial, a continuación, se procede a describir cada uno de ellos:

3.1 Construcción de obras de mitigación y estabilización de los taludes para los barrios Paseo del Mango, Caracolés y Nuevo Pablo Sexto, del municipio de San Gil – Santander.

Es un estudio geotécnico en el que se realiza desde el proceso de caracterización geológica y geotécnica, hasta el diseño de obras de estabilización, para el talud norte de la vía nacional Aratoca-San Gil, en la zona en la que ésta se intercepta con la vía secundaria (Transversal 4), que conduce al barrio Paseo del Mango, ubicado en la vereda Montecitos, al noreste del casco urbano del municipio de San Gil. La problemática del lugar consiste en procesos morfodinámicos tipo deslizamientos rotacionales, reptación, caída de rocas y de material proveniente de la formación geológica “Tablazo”, donde la morfología dominante se constituye de pendientes empinadas a moderadamente inclinadas u onduladas.

Las 3 UGI de la zona, fueron caracterizadas con la realización de los ensayos siguientes:

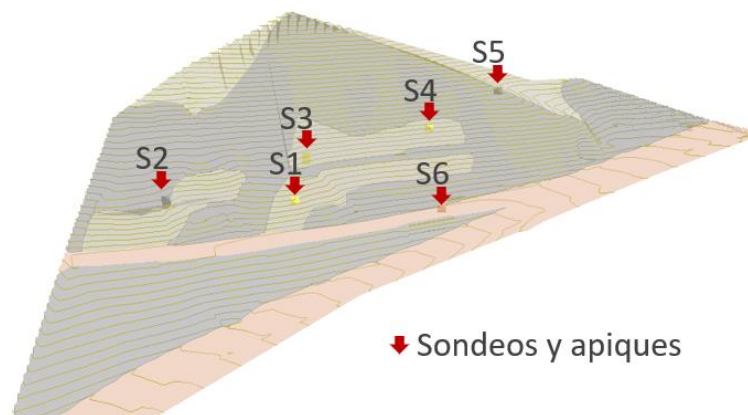
Tabla 7*Ensayos de campo (Paseo del Mango)*

Tipo de ensayo	Cantidad
Sondeos	6
Apiques	6

Tabla 8*Ensayos de laboratorio (Paseo del Mango)*

Tipo de ensayo	Cantidad
Análisis granulométrico por tamizado	10
Determinación de límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad	10
Humedad natural	10
Corte directo	6
Clasificación de suelo	10

A continuación, se muestra la ubicación aproximada de los sondeos y apiques realizados:

Figura 8*Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto Paseo del Mango*

Con los resultados de los ensayos anteriores se reconoce predominio de suelos con arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL), bajo potencial de expansión, consistencia dura, acompañados algunas arenas arcillosas (SC).

En la figura y tabla siguiente se aprecia el perfil geológico-geotécnico con los parámetros geomecánicos establecidos para cada UGI del modelo geológico, bajo la aclaración de que en los sondeos cuya profundidad máxima de exploración es de 3 metros, no se identificó nivel freático.

Figura 9

Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI para el proyecto Paseo del Mango

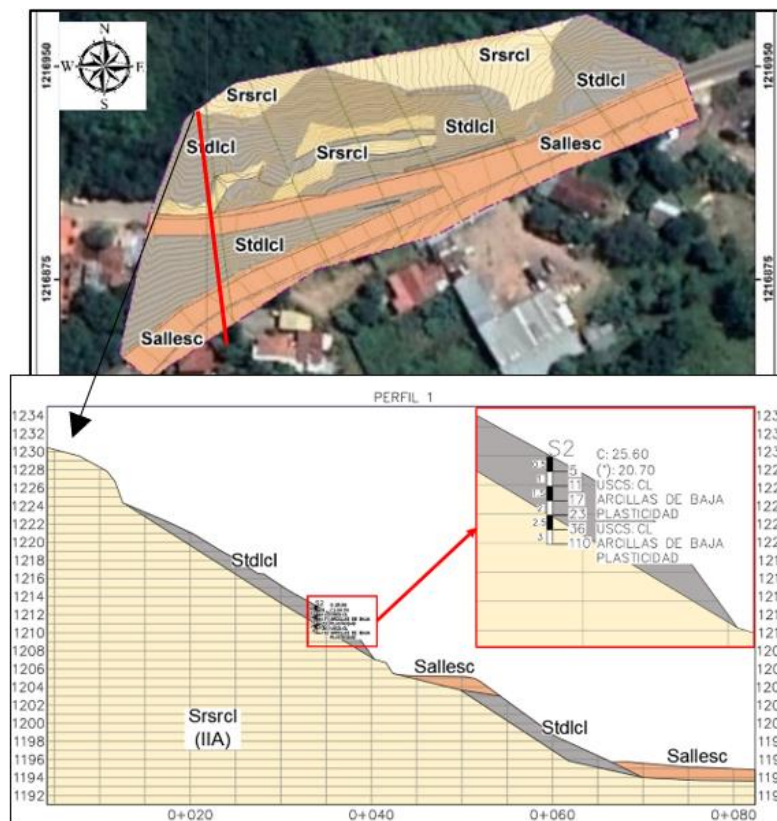


Tabla 9*Parámetros utilizados para el modelamiento geológico-geotécnico (Paseo del Mango)*

Tipo de suelo	Parámetro	Magnitud
Suelo antrópico de llenos areno-arcilloso (Salleasc)	Cohesión	19.30 KN/m ²
	Ángulo de fricción	25.20 °
Suelo Transportado de depósito de ladera arcilloso (Stdldcl)	Cohesión	25.60 KN/m ²
	Ángulo de fricción	20.70 °
Suelo residual saprolito a roca blanda areno-arcillosa de la Formación Tablazo (Srsrcl)	Cohesión	29.25 KN/m ²
	Ángulo de fricción	11.77 °

3.2 Construcción de obras de mitigación y estabilización de los taludes para los barrios Ciudad Futuro I y II, Santa Catalina Campestre, Miradores del Bosque, Villas de San Gil, Villa Laura y Santa Bárbara del municipio de San Gil-Santander.

La zona de estudio es el talud ubicado en la región posterior del barrio Ciudad Futuro, hacia el sector norte del mismo, en el municipio de San Gil, Santander; donde se reconocen procesos morfodinámicos complejos, tales como deslizamientos (traslacionales y rotacionales), caída de tierras, detritos y rocas, así como bloques rodados que pudieran llegar a afectar las viviendas cercanas. Dentro de los factores que favorecen dichos procesos se puede mencionar la existencia de pendientes predominantemente empinadas e inclinadas, llegando a ser hasta fuertemente escarpadas, en una zona en la que aflora la Formación Tablazo, la cual presenta diferentes grados de meteorización y erosión al tratarse de intercalaciones de capas competentes

(calizas, areniscas) e incompetentes (lodolitas físisles, lutitas y shales), lo cual facilita el desarrollo de un variado perfil de meteorización, que puede estar constituido por suelos residuales o

transportados, a lo cual se suman procesos antrópicos de rellenos con materiales tipo escombros o de excavaciones cercanas.

Este talud tiene la particularidad de que la roca propiamente dicha se encuentra con facilidad a una profundidad aproximada de diez metros o menos, llegando a estar expuesta en zonas aledañas, así mismo se menciona que durante el desarrollo de la exploración y ensayos de laboratorio (cuya ubicación y características se muestran en las tablas siguientes), no se identificó el nivel freático:

Tabla 10

Ensayos de campo (Ciudad Futuro)

Tipo de ensayo	Cantidad
Sondeos	7
Apiques	7

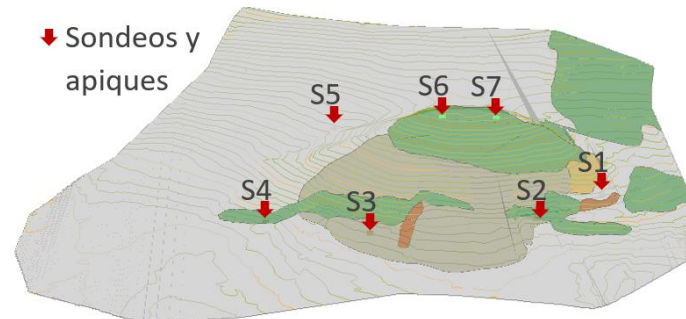
Tabla 11

Ensayos de laboratorio (Ciudad Futuro)

Tipo de ensayo	Cantidad
Análisis granulométrico por tamizado	14
Determinación de límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad	14
Humedad natural	14
Corte directo	7
Clasificación de suelo	14

Figura 10

Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto Ciudad Futuro



Los suelos en el área de estudio son principalmente arcillas inorgánicas de baja a mediana plasticidad (CL), encontrados en todos los sondeos realizados, junto con algunos puntos de exploración, en los que los materiales más superficiales, estaban constituidos por arenas arcillosas con gravas (SC) tal como ocurre en los sondeos S1-S3, así mismo también se encontraron gravas arcillosas con arenas (GC en el sondeo S6), y con menor predominio se hallaron gravas limosas con arenas (GM) en el sondeo S7 y limos arcillosos con arenas (ML-CL) en el sondeo S2, cuya consistencia generalmente es dura, y aquellos que presentan compacidad es de tipo densa y muy densa.

A continuación, se muestran las UGI identificadas para la zona de estudio, con sus propiedades mecánicas, en donde se aclara que la Unidad Srasragnclft, por decisión del equipo de geología fue caracterizada bajo la aplicación del índice geológico de resistencia “GSI”, la unidad no fue tratada como un suelo, sino como una roca muy alterada (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004). En los alcances de la presente practica no se contempla la caracterización de macizos rocosos, por tanto, en la tabla que se muestra a continuación no se mencionan

propiedades para las unidades de roca con buzamiento en contrapendiente del perfil geológico que se muestra en la figura siguiente:

Figura 11

Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto Ciudad Futuro

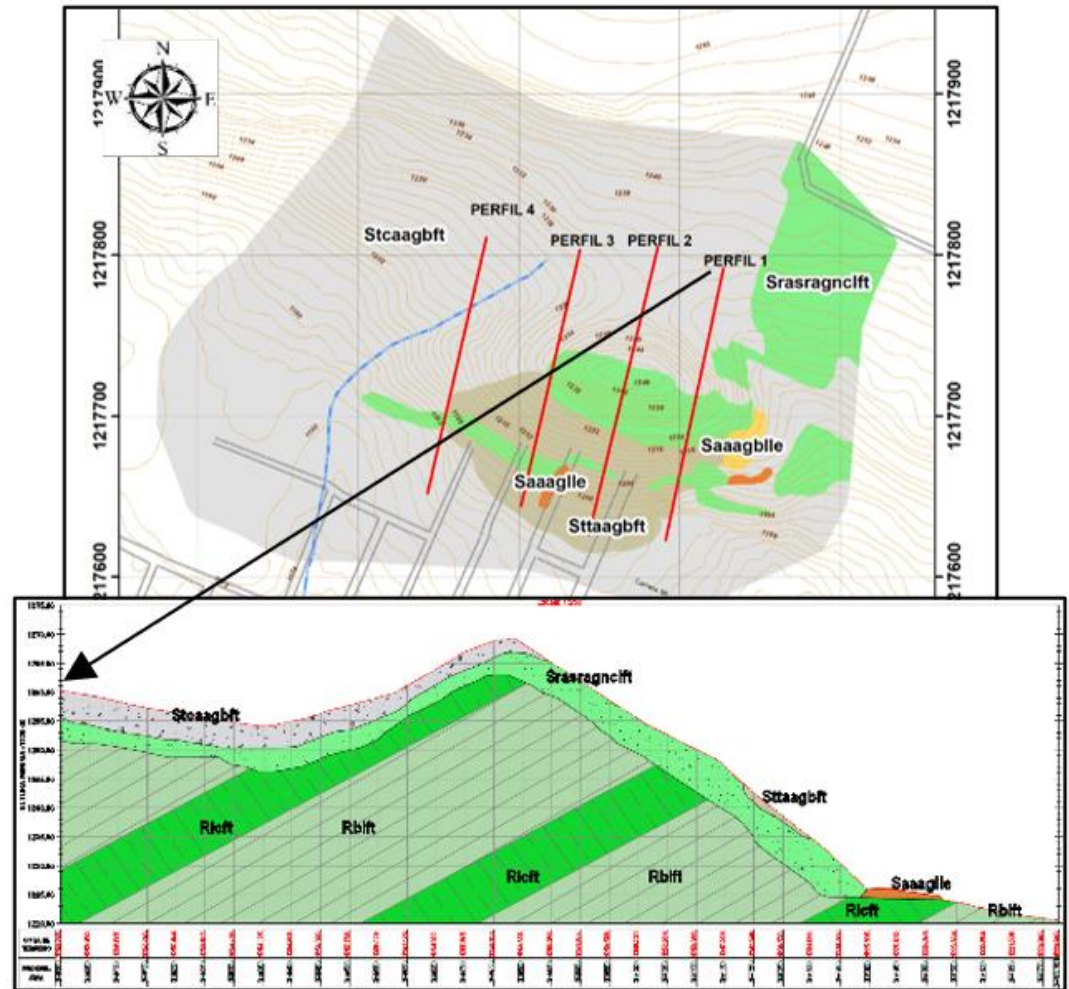


Tabla 12*Parámetros utilizados para el modelamiento geológico-geotécnico (Ciudad Futuro)*

Tipo de suelo	Parámetro	Magnitud
Suelo antrópico arcillo arenoso con gravas de llenos de escombros (Saaaglle)	Cohesión	15.00 KN/m ²
	Ángulo de fricción	15.00 °
Suelo antrópico arcillo arenoso con gravas y bloques de llenos de excavación (Saaagbllle)	Cohesión	15.00 KN/m ²
	Ángulo de fricción	15.00 °
Suelo transportado coluvial arcilloso con arenas, gravas y bloques de la Formación Tablazo (Stcaagbft)	Cohesión	17.30 KN/m ²
	Ángulo de fricción	8.70 °
Suelo transportado de talud arcilloso con arenas gravas y bloques de la Formación Tablazo (Sttaagbft)	Cohesión	26.40 KN/m ²
	Ángulo de fricción	15.50 °
Suelo residual arcilloso saprolito a roca, con arenas, gravas y núcleos de calizas y lodolitas de la Formación Tablazo (Srasragnclft)	UGS (kN/m ²)	30000
	GSI	40.00
	Mi	4.00
	D	0.00
	Peso específico	20.00 KN/m ³

3.3 Estudio geotécnico para el diseño de obras de mitigación y estabilización para la atención de las situaciones de emergencia acaecidas entre el PR 106+0000 al PR 117+0699 de la vía Málaga-Curos, en el departamento de Santander (Código 881-PR111+0270, Piedecuesta Santander).

La zona de estudio es el talud interno de la vía Curos-Málaga, a la altura del PR 111+0270, allí se identifican procesos morfodinámicos complejos los cuales se agruparon en una zona alta y otra baja, la primera de ellas se caracteriza por la presencia de deslizamientos traslacionales antiguos, mientras que en la región baja, sector “el derrumbe” predominan los deslizamientos rotacionales, con pérdida de bancada; la región de estudio se encuentra expuesta a procesos de erosión hídrica laminar, al tratarse de una zona de pendientes muy empinadas a escarpadas, con

alto grado de fracturamiento en la cual suelen ocurrir lluvias intensas, facilitando el desarrollo de suelos a partir de la Formación geológica predominante en la zona (Neis de Bucaramanga). A continuación, se resume la exploración geotécnica propuesta y los ensayos realizados:

Tabla 13

Ensayos de campo (PR 111+0270)

Tipo de ensayo	Cantidad
Sondeos	14
Apiques	17

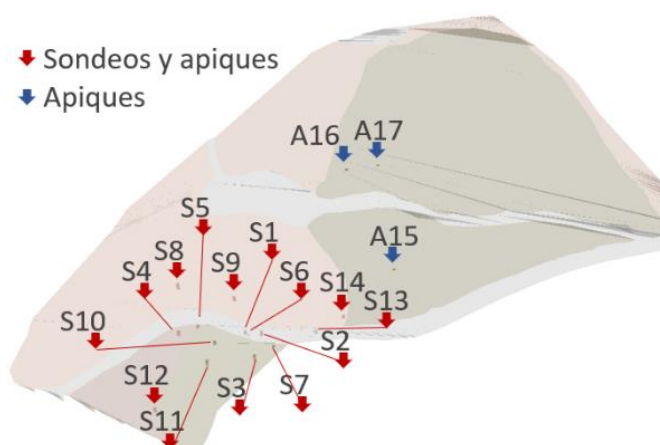
Tabla 14

Ensayos de laboratorio (PR 111+0270)

Tipo de ensayo	Cantidad
Análisis granulométrico por tamizado	31
Determinación de límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad	31
Humedad natural	31
Corte directo	17
Clasificación de suelo	31

Figura 12

Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto PR 111+0270



En los resultados de la exploración realizada, no se reconoce la existencia de nivel freático, según la profundidad máxima de exploración de cinco metros; de igual manera se identifica que en la zona de estudio hay un fuerte predominio de suelos constituidos por arenas limosas (SM) presentes en el 82% de las muestras analizadas, seguido por arenas arcillosas (SC) y arenas limosas mal gradadas (SP), con menor medida de arenas limosas bien gradadas (SW) y gravas limosas bien gradadas (GW); es decir, predominan suelos arenosos friccionantes con partículas finas y limosas de compresibilidad y plasticidad baja, que tienen bajo potencial de expansión, con compacidades que van desde compacta, densa y muy densa. A continuación, se muestra la configuración de las UGI en planta y perfil, junto con los parámetros resultados del ensayo de corte directo:

Figura 13

Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto PR 111+0270

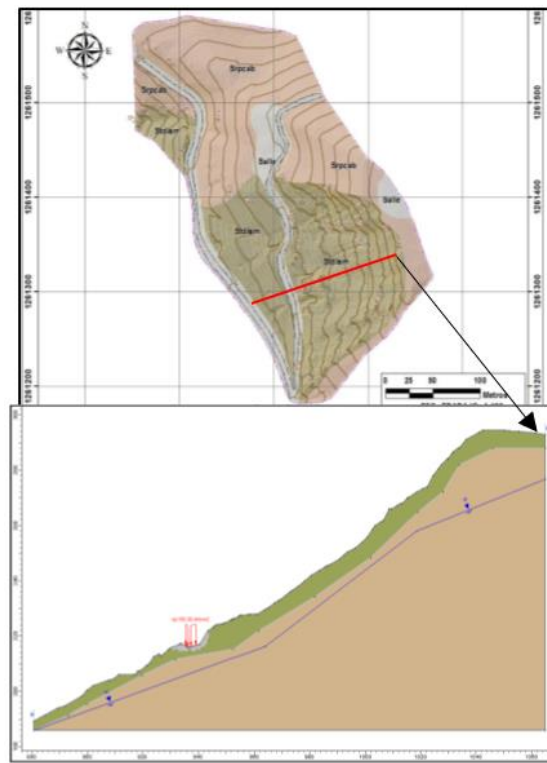


Tabla 15

Parámetros utilizados para el modelamiento geológico- geotécnico (PR 111+0270).

Tipo de suelo	Parámetro	Magnitud
Suelo antrópico de lleno de escombros derivados de las obras viales (Salle)	Cohesión	2.90 KN/m ²
	Ángulo de fricción	233.30 °
Suelo transportado de depósito de ladera areno-limoso (Stdlsn)	Cohesión	1.50 KN/m ²
	Ángulo de fricción	24.30 °
Suelo residual areno-limoso derivado del Ortoneis de Bucaramanga (Srpcab)	Cohesión	5. KN/m ²
	Ángulo de fricción	18.00 °

3.4 Estudio geotécnico para el diseño de obras de mitigación y estabilización para la atención de las situaciones de emergencia acaecidas entre el PR 106+0000 al PR 117+0699 de la vía Málaga-Curos, en el departamento de Santander (Código 881-PR107+0490, Santa Bárbara, Santander).

Corresponde a las afectaciones ocurridas en el PR 107+0490 de la vía Curos-Málaga, donde se desarrollaron procesos morfodinámicos en la banca interna (deslizamientos traslacionales en suelos de depósito de ladera o coluviales) y en la banca externa constituida de suelos antrópicos, tipo escombros y rellenos de construcción, adicionando el colapso de la capacidad del box coulvert en la intersección de la vía con el flujo de la quebrada La Coqueta, por disminución de su sección hidráulica, debido a flujos torrenciales, reptaciones y caída de rocas, en una zona de pendientes muy empinadas a escarpadas, cuya litología corresponden al complejo Bucaramanga del Macizo de Santander (Ortoneis y cuarzo monzonita).

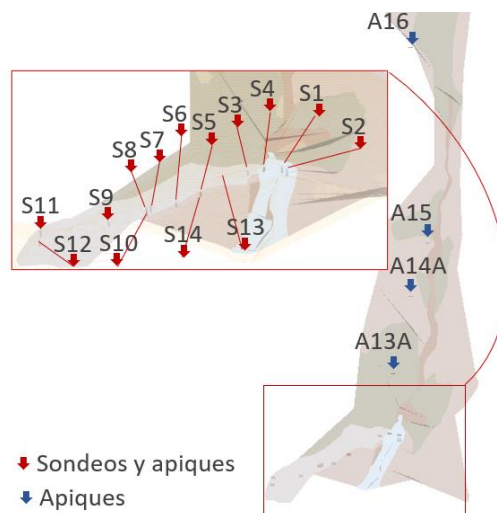
Se identificaron cinco UGI, las cuales fueron caracterizadas geotécnicamente con la exploración siguiente:

Tabla 16*Ensayos de campo (PR 107+0490)*

Tipo de ensayo	Cantidad
Sondeos	14
Apiques	18

Tabla 17*Ensayos de laboratorio (PR 107+0490)*

Tipo de ensayo	Cantidad
Análisis granulométrico por tamizado	21
Determinación de límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad	21
Humedad natural	21
Corte directo	18
Clasificación de suelo	21

Figura 14*Ubicación de los sondeos y apiques para la zona del proyecto PR 107+0490*

Según los resultados de laboratorio, las muestras de suelo se constituyen principalmente por partículas de arena, con fragmentos gravosos friccionantes, y finos limosos sin plasticidad, con un algo de gravas compuestas por fragmentos líticos con finos limosos en su estructura; tomando

en cuenta la clasificación SUCS la mayoría de las muestras de suelo se constituyen de arenas limosas con gravas (SM), mientras que el 15% restante, corresponden con arenas mal gradadas con gravas (SP), junto con arenas bien gradadas (SW) y gravas limosas con arenas (GM), cada una de ellas en partes iguales; en concordancia con lo anterior en ninguna muestra analizada se identificaron límites de Atterberg, así mismo en la mayoría de los sondeos, los suelos presentan compactidad de tipo compacta en los materiales más superficiales (menos de 1 metro de profundidad), la cual se aumenta a muy densa a medida que se desciende en el perfil de suelo, presentándose una excepción en los sondeos S13 y S14 en donde los materiales más superficiales tienen compactidad suelta a compacta y compacta, hasta profundidades de 4 metros y 3.5 metros, respectivamente. Adicionalmente se aclara que en ninguno de los ensayos de exploración realizados se identificó niveles freáticos y en todos ellos los materiales tienen bajo potencial de expansión.

A continuación, se muestra la configuración en planta y perfil de las UGI, y los resultados de los ensayos de corte directo de las muestras de suelo:

Figura 15

Vista en planta y perfil de la configuración que tienen las UGI en el proyecto PR 107+0490

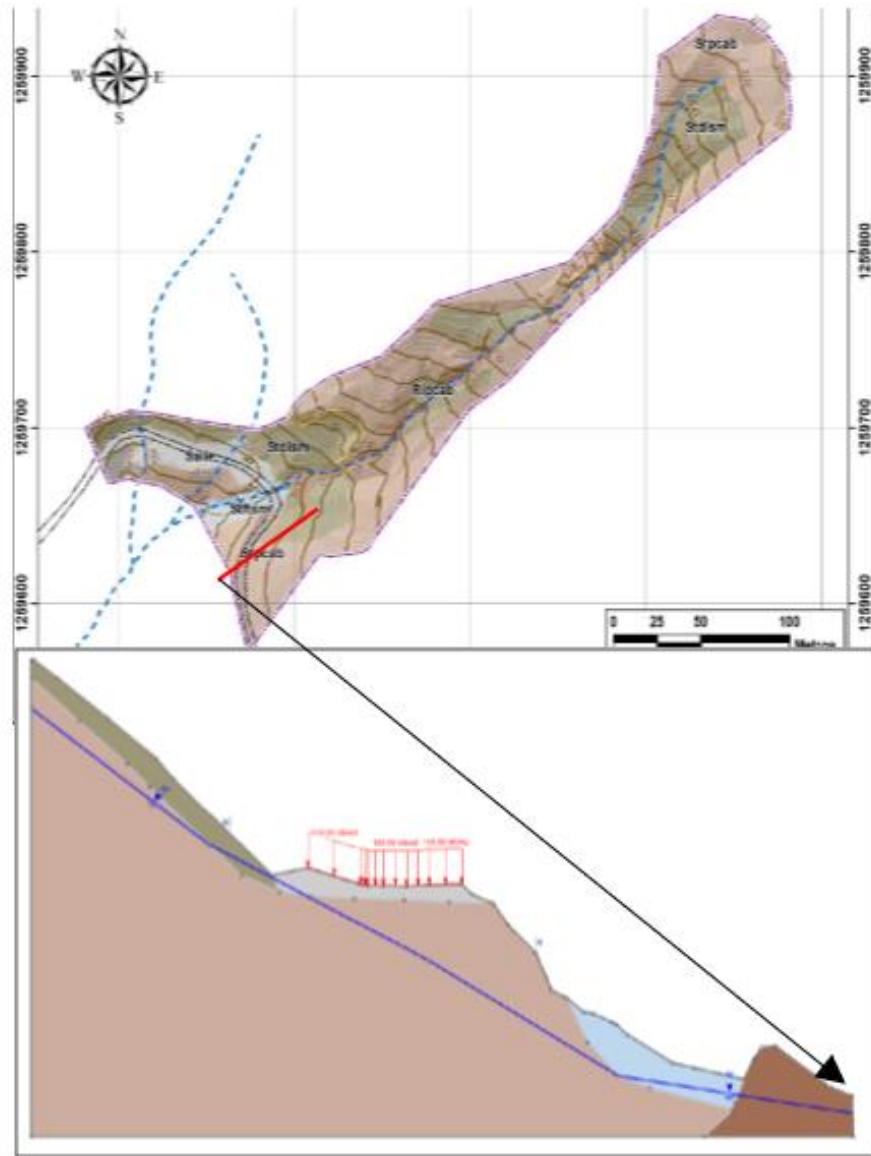


Tabla 18*Parámetros utilizados para el modelamiento geológico- geotécnico (PR 107+0490)*

Tipo de suelo	Parámetro	Magnitud
Suelo transportado fluviotorrencial areno-limoso con gravas y bloques (Stftsm)	Cohesión	9.13 KN/m ²
	Ángulo de fricción	37.00 °
Suelo antrópico de lleno de escombros derivados de las obras viales (Salle)	Cohesión	10.37 KN/m ²
	Ángulo de fricción	36.61 °
Suelo transportado de depósito de ladera areno-limoso (Stdlsn)	Cohesión	13.00 KN/m ²
	Ángulo de fricción	35.10 °
Suelo residual areno-limoso derivado del ortoneis de Bucaramanga (Srpcab)	Cohesión	47.80 KN/m ²
	Ángulo de fricción	35.20 °
Roca intermedia de ortoneis con intrusiones de cuarzo-monzonita (Ripcab)	UCS (kN/m ²)	30000
	Mb	0.125081
	A	0.527337
	S	5.20e-06
	Peso específico	24.00 KN/m ³

Nuevamente se aclara que dentro de los objetivos de esta práctica empresarial no se tenía en cuenta la caracterización mecánica de unidades de roca, sin embargo, se aclara que el proceso llevado a cabo por parte de equipo de geología para la UGI “Ripcab”, fue siguiendo la clasificación geomecánica RMR Bieniawski o el índice de resistencia geológica (GSI) propuesto por Hoek en 1994 y Hoek et al en 1995, para lo cual se hizo uso del Martillo de Schmidt (Gonzalez de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004).

4 Aportes del practicante

4.1 Manual para el diseño de exploración geotécnica

Con el objetivo de que el personal encargado del diseño de la exploración geotécnica, tuviese en cuenta todos los parámetros que se deben contemplar en dicho proceso, tales como las características topográficas, de accesibilidad, y geológicas, así como los requerimientos indicados en la NSR-10, se llevó a cabo un manual con el paso a paso, tomando información de referencia de fuentes oficiales como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entre otros; dicho manual viene acompañado con un archivo tipo MXD en el cual se compilan los insumos base para el proceso de ubicación de los puntos de exploración.

Figura 16

Manual de diseño de exploración geotécnica (Sondeos y Apiques)



4.2 Programación de la carta de plasticidad

Inicialmente el proceso de graficar el índice de plasticidad y el límite líquido en la carta de plasticidad se realizaba manualmente sobre una imagen base, ahora con la implementación de una programación solo es necesario el listado de parejas ordenadas con los datos de laboratorio.

4.3 Programación para la clasificación SUCS de las muestras de suelo.

El equipo de trabajo de ALICON S.A.S. contaba con una programación base que permitía la realización de la curva granulométrica y el cálculo de parámetros como el D10, D30, Cc, Cu, entre otros, sin embargo resultaba un proceso tedioso entrar a revisar la clasificación SUCS manualmente, especialmente cuando se trataba de un proyecto con una cantidad considerable de muestras analizadas, por tanto, con el objetivo de agilizar este proceso y evitar errores humanos, se procedió a programar el diagrama de flujo de la clasificación SUCS en donde solo es necesario entrar a verificar algunos parámetros relacionados con los resultados de la carta de plasticidad y con ello se podrá obtener las respectivas iniciales correspondientes a la clasificación del suelo.

5 Conclusiones

La práctica empresarial realizada en ALICON & ING S.A.S. permitió al estudiante, tener un contacto directo con el mundo laboral, bajo la participación en cuatro de los proyectos vigentes, contando con la supervisión de un equipo de profesionales especializados en el área de la geotecnia, y con vasta experiencia en la ejecución de estudios de suelos y geotécnicos en general, identificando sus respectivas etapas.

Se desarrolló un manual de diseño de exploración geotécnica el cual se puso en práctica para la determinación de la ubicación y cantidad de sondeos y apiques en cada uno de los cuatro proyectos en los que se participó, procurando la optimización de dicho proceso según las

particularidades y problemática de cada punto de estudio, identificadas en la visita de campo y con ayuda de sistemas de información geográfica.

Una vez realizada la exploración, extracción y transporte controlado de las muestras de suelo de cada proyecto, se dio apoyo en las actividades de laboratorio, implementando las programaciones realizadas que permitían graficar los resultados en la carta de plasticidad, con su respectiva clasificación SUCS, facilitando dicho proceso.

Con la realización de ensayos de laboratorio, así como el procesamiento y presentación de los resultados de forma técnica en los informes, planos y tablas desarrolladas en la etapa de oficina, se dio cumplimiento a los objetivos planteados para la presente práctica empresarial.

6 Recomendaciones

La totalidad de los ensayos de corte directo fueron realizados según una velocidad de desplazamiento de 0.5 mm/min, que corresponde a la relación entre un desplazamiento lateral relativo “ d_f ” de 5 mm y un tiempo mínimo hasta la falla “ t_f ” de 10 minutos, asociado a suelos tipo SW y SP (según los ítem 8.10.4 y 8.10.3 de la norma INV E – 154, respectivamente), sin embargo la anterior presunción puede no llegar a garantizar la disminución de la presión de poros, afectando los resultados del ensayo de corte directo, (dicha velocidad puede ser considerada como alta).

Adicionalmente a lo anterior es importante mencionar que, en el desarrollo de los ensayos de corte directo, las cargas axiales mencionadas de 20 Kg, 40 Kg y 50 Kg, pueden estar consideradas como altas y no son valores que se deben tomar como constantes, sino que dependen de las cargas particulares a las que estarán expuestos los suelos de estudio según cada proyecto, puesto que el objetivo del ensayo es determinar los valores de ángulo de fricción y cohesión, bajo la condición de cargas y principalmente de los esfuerzos que mejor se ajusten a las sollicitaciones reales, que para los casos de estudio corresponden a taludes los cuales requerían procesos de estabilización; así mismo se aclara que en la determinación de dichas cargas, generalmente se procura que sea una como el doble de la anterior (por ejemplo 8Kg, 16kg y 32Kg).

Referencias bibliográficas

Braja M., D. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). (C. L. C.V., Ed.)
México D.F.

Deere, D., & Patton, F. (1971). *Slope Stability in residual soils*. San Juan, Puerto Rico: American
Society of Civil Engineers.

Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid:
Pearson Educación S.A.

IGAC. (2017). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi, datos abiertos de cartografía y geografía*.
Obtenido de [https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-
0.17644239911865092,-
71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=204#](https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-0.17644239911865092,-71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=204#)

Instituto Nacional de Vías. (2013). *Análisis Granulométrico de los Agregados Grueso y Fino, INV
E-213-13*. Bogotá.

Instituto Nacional de Vías. (2013). *Conservación y Transporte de Muestras de Suelos, INV E-103-
13*. Bogotá.

Instituto Nacional de vías. (2013). *Consolidación Unidimensional de Suelos INV E-151-13*.
Bogotá.

Instituto Nacional de vías. (2013). *Determinación de suelos expansivos INV E-132-13*. Bogotá.

Instituto Nacional de Vías. (2013). *Determinación del límite líquido de los suelos INV E-125-13*.
Bogotá.

- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Determinación en el laboratorio del contenido agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado, E122-13*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Ensayo de Corte Directo en condición Consolidada Drenada*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos INV E-126-13*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Preparación de muestras de suelo por vía seca para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas, INV E-106-13*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Sistema Unificado de Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería INV E-181-13*. Bogotá.
- JamielKowski, & y otros. (1988). New correlations of penetration tests for design practice. *Balkema, ISOPT - 1*.
- NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente* (Vols. Titulo H - Estudios Geotécnicos). Bogotá, Colombia: Comisión asesora permanente para el regimen de construcciones sismo resistentes (creada por la ley 400 de 1997).
- NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente* (Vols. Titulo A - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente). Bogotá, Colombia: Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (creada por la ley 400 de 1997).
- Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L., & Chung, R. (1984). The Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *J. Geotech*, 1425-1445.
- Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá.

SGC. (2020). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de
https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc_1M2020.aspx

Tokimatsu, K., & Seed, H. (1984). *Simplified procedures for the evaluation of settlements in clean sands*. Berkeley, California: National technical information service.