

Práctica empresarial en la empresa Geotecnología S.A.S. como auxiliar de ingeniería en el área de Geotecnia.

Óscar Julián Gómez Rangel

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

Doctor en Ingeniería del Terreno Cartográfico y Geofísica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Dios que me acompaña en todo momento; me guía en cada paso que doy y me llena de fortaleza y tranquilidad para seguir adelante.

A mi padre Óscar Roberto Gómez Molina y mi madre María Ruth Rangel Henao que son los mejores educadores y me guiaron desde el primer momento para ser una persona correcta y con principios. Son el ejemplo para seguir trabajando y cumplir mis metas.

A mi hermana María Andrea Gómez Rangel y mi hermano Óscar Andrés Gómez Rangel, fueron el mejor ejemplo en mi niñez y consejeros a lo largo de toda mi vida.

A Martha Inés Pinto Vásquez que siempre ha estado pendiente de mí en todas las etapas de mi vida.

A todos mis familiares por el apoyo brindado durante este trayecto de mi vida.

Agradecimientos

A mi director de proyecto Vladimir Merchán por compartir su experiencia y conocimiento conmigo.

Agradezco a Geotecnología S.A.S. y su equipo de trabajo por el espacio y la oportunidad brindada para desarrollar la práctica empresarial. Especialmente a mi tutor Cristhian Peña y al doctor Jaime Suarez por su colaboración y acompañamiento técnico dentro de la empresa. De igual manera a Fanny Ardila, gerente de la empresa, por permitirme tener esta gran experiencia.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Marco Conceptual	15
2.1 Estudios geotécnicos	16
2.2 Ensayos de campo	16
2.3 Ensayo de penetración estándar (SPT)	17
2.4 Ensayos de laboratorio	17
2.5 Granulometría	17
2.6 Software geotécnicos	18
2.7 Equilibrio limite y factor de seguridad	18
2.8 Elementos finitos	19
2.9 Informe geotécnico	19
3. Metodología	20
4. Resultados	23
4.1 Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco”	23
4.1.1 Propiedades del suelo (Software Novo SPT)	23
4.1.1.1 Descripción geotécnica del perfil	24
4.1.1.2 Parámetros de diseño a partir del software NovoSPT.	26

4.1.2 Análisis de Estabilidad de los taludes (Slope/W)	28
4.1.2.1 Análisis de estabilidad para la etapa 1.	29
4.1.2.2 Análisis de estabilidad para la etapa 2.	32
4.1.2.3 Análisis de estabilidad para la etapa 3.	34
4.2 Estudio geotécnico proyecto Bellomonte, El Carrizal - Girón	36
4.2.1 Planificación y búsqueda de antecedentes	37
4.2.2 Seguimiento de las actividades y ensayos “in situ”	38
4.2.3 Seguimiento y control a los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos	40
4.2.4 Propiedades del suelo (Software NovoSPT).....	41
4.2.5 Capacidad de soporte utilizando el criterio de condición de rotura (Software LOADCAP)	42
4.2.6 Asentamientos y coeficiente de balasto (Software Plaxis 3D Foundation)	44
4.2.7 Análisis de Estabilidad de los taludes (Slope/W)	45
4.3 Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1	46
4.3.1 Seguimiento de las actividades y ensayos “in situ”	47
4.3.2 Seguimiento y control a los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos	48
4.3.3 Propiedades del suelo (Software NovoSPT).....	50
4.3.4 Capacidad de soporte utilizando el criterio de condición de rotura (Software LOADCAP)	50
4.3.5 Asentamientos y coeficiente de balasto (Software Plaxis 3D Foundation).	51
4.3.6 Procesamiento en oficina del ensayo de onda sísmica “in situ” (DownHole).....	52
4.3.7 Procesamiento en oficina del ensayo de tomografía geoelectrica	54
5. Conclusiones.....	56
6. Recomendaciones técnicas.....	57

6.1 Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” (etapa 1, 2 y 3).....	57
6.2 Estudio geotécnico proyecto Bellomonte Barrio Carrizal – Girón.....	59
6.3 Estudio geotécnico proyecto Parque Turístico Topocoro - etapa 1	59
Referencias.....	61

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Factores de Seguridad Básicos Mínimos	19
Tabla 2 Etapas generales de un estudio geotécnico	20
Tabla 3 Resumen de actividades realizadas durante la en práctica empresarial.....	21
Tabla 4 Perfil representativo detallado – sondeo 4.....	25
Tabla 5 Parámetros del suelo para el análisis de estabilidad.	28
Tabla 6 Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 1	32
Tabla 7 Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 2	34
Tabla 8 Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 3	35
Tabla 9 Resultado de los ensayos SPT	38
Tabla 10 Ensayos de laboratorio realizados.....	40
Tabla 11 Resumen de ensayos de laboratorio.....	41
Tabla 12 Parámetros de diseño recomendados	42
Tabla 13 Resultados de capacidad de soporte para condición de rotura.....	43
Tabla 14 Resultados del modelo de elementos finitos.....	45
Tabla 15 Resumen factores de seguridad obtenidos para el perfil A-A’	46
Tabla 16 Resultado de los ensayos de laboratorio	49
Tabla 17 Parámetros de diseño recomendados	50
Tabla 18 Resultados de capacidad de soporte para condición de rotura.....	51
Tabla 19 Resultados de los modelos de elementos finitos.....	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción correlacionado con el SPT – Sondeo 4.....	27
Figura 2 Planta de localización de perfiles analizados - etapa 1.....	30
Figura 3 Análisis de estabilidad estática etapa 1 – Perfil A.....	31
Figura 4 Análisis de estabilidad con sismo etapa 1 – Perfil A.....	31
Figura 5 Planta de localización de perfiles analizados – etapa 2.....	33
Figura 6 Planta de localización de perfiles analizados – etapa 3.....	35
Figura 7 Planta arquitectónica del proyecto Bellomonte.....	36
Figura 8 Localización de los sondeos realizados.....	37
Figura 9 Sitio del sondeo 1	40
Figura 10 Modelo de zapata 2x2 metros.....	43
Figura 11 Modelo tridimensional de zapata 2x2 metros.....	44
Figura 12 Planta de localización del perfil analizado	45
Figura 13 Planta arquitectónica preliminar del proyecto.....	47
Figura 14 Sitio del sondeo 5	47
Figura 15 Localización de los sondeos	48
Figura 16 Localización de los ensayos DownHole.....	52
Figura 17 Resultado del picado y velocidad de las ondas para el DownHole 2 sondeos 2	53
Figura 18 Localización de las líneas de tomografía geoeléctrica	54
Figura 19 Interpretación de la tomografía geoeléctrica No 1	55
Figura 20 Localización general de pozos de extracción forzada	58

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

Apéndice A. Procedimiento del manejo del software Slope W

Apéndice B. Procedimiento del manejo del software Plaxis 3D Foundation

Resumen

Título: Práctica empresarial en la empresa Geotecnología S.A.S. como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia*

Autor: Óscar Julián Gómez Rangel**

Palabras Clave: práctica empresarial, estudio geotécnico, ensayos de campo, laboratorio mecánica de suelos, *software* geotécnico.

Descripción: En el presente documento se exponen de manera general las actividades realizadas por el autor en la empresa Geotecnología S.A.S. durante la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en la ejecución de estudios geotécnicos en el área metropolitana de Bucaramanga y el departamento de Santander.

Se indican los estudios geotécnicos y las etapas de cada uno en las cuales se participó, así como la explicación detallada para los trabajos más representativos que se llevaron a cabo en el periodo de la práctica. En los proyectos se explican aspectos como: interpretación de los ensayos en campo; seguimiento de resultados en el laboratorio geotécnico; correlación de sondeos representativos; modelación en los *softwares* LOADCAP y Plaxis 3D Foundation (*software* de elementos finitos) para determinar capacidad de carga de los suelos y asentamientos respectivamente; análisis de estabilidad de taludes por medio del *software* de equilibrio límite (Slope/w), entre otros procesos que permiten mejorar la caracterización del suelo donde se plantea la construcción de la obra civil y dar las recomendaciones de ingeniería necesarias para el diseño de la cimentación y las actividades de excavación y construcción.

Como resultado general de la práctica empresarial, el auxiliar de ingeniería comprendió, de primera mano, el proceso de la planificación de un estudio geotécnico y su importancia. Como también, la evidente necesidad de tener clara y realizadas cada una de las etapas de un estudio para poder concluir y dar recomendaciones geotécnicas. Adicionalmente, la práctica empresarial fortaleció y dio bases para que el auxiliar de ingeniería creara un criterio técnico y pudiera dar puntos de vista sobre los resultados y recomendaciones en los lotes estudiados en el periodo de práctica.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. Doctor en Ingeniería del terreno cartográfico y geofísica.

Abstract

Title: Internship in the company Geotecnología S.A.S. as an engineering assistant in the geotechnical area *

Author(s): Óscar Julián Gómez Rangel**

Key Words: in-company internship, geotechnical survey, field tests, soil mechanics laboratory, geotechnical software.

Description: This document presents in a general way the activities that were performed by the author in the company Geotecnología S. A. S. during his internship as an engineering assistant in the execution of geotechnical studies in the metropolitan area of Bucaramanga and the department of Santander.

The geotechnical studies and the stages of each one in which the author participated are described, as well as the detailed explanation for the most representative works that were executed during the internship period. The projects explain aspects such as: interpretation of field tests; follow-up of results in the geotechnical laboratory; correlation of representative borings; modeling in LOADCAP and Plaxis 3D Foundation software (finite element software) to determine soil bearing capacity and settlements respectively; slope stability analysis using limit equilibrium software (Slope/w), among other processes that allows improving the soil characterization where the construction of the civil work is proposed and giving the necessary engineering recommendations for the foundation designs, excavation and construction activities.

As a general result of the internship, the engineering assistant understood, first-hand, the process of planning a geotechnical study and its importance. As well as, the evident need to understand and execute each of the stages of a study to be able to conclude and provide geotechnical recommendations. Additionally, the internship strengthened and provided the basis for the engineering assistant to create a technical criterion and to be able to present with points of view over the results and recommendations in the studied soils during the internship period.

* Degree Work.

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Vladimir Ernesto Merchan Jaimes. Doctor in Cartographic and Geophysical Terrain Engineering.

Introducción

Este trabajo de grado se desarrolló mediante práctica empresarial, una modalidad que incentiva el trabajo en equipo y le permite al estudiante conocer y adaptarse al entorno laboral con el objetivo de complementar las habilidades, mayormente teóricas, adquiridas en el ámbito académico.

El escenario laboral obliga al estudiante a enfrentarse con problemas prácticos y formularse preguntas que deben ser abordadas con el conocimiento adquirido en las diferentes asignaturas, que para el caso de esta práctica se relacionan con la geotecnia. Las respuestas a dichos interrogantes son oportunidades para aclarar y fortalecer conceptos mediante la práctica y con la ayuda de profesionales capacitados en el área, y que, además contribuyan a resolver los diversos inconvenientes que se presentan durante la ejecución de un proyecto.

La geotecnia es una rama de la ingeniería civil que se ocupa de la generación, interpretación y utilización del conocimiento de los materiales y procesos que ocurren en la corteza terrestre y su importancia radica en la solución de problemas de ingeniería como lo son: los suelos para obras de infraestructura, estabilidad de taludes, estructuras de tierra, drenajes, subdrenajes, entre otras (Duque y Escobar, 2017). Tal vez la geotecnia parezca «simple», porque enseguida se puede pensar, «si todos los suelos parecen iguales, ¿Qué tan necesario puede llegar a ser un estudio de suelos?».

La geología, la zona geográfica y el nido sísmico de Bucaramanga hacen que la mayor parte del territorio del departamento de Santander sea una zona de amenaza sísmica alta, según la NSR-10. Los múltiples sismos de magnitudes importantes que ocurren con frecuencia en el departamento dejan ver la gran necesidad del estudio de la geotecnia.

Esto hace al departamento, especialmente al Área Metropolitana de Bucaramanga, un lugar apto para llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollarse profesionalmente en el área de la Geotecnia.

Por lo anterior, surgen necesidades que es necesario solventar; Geotecnología S. A. S. es una empresa líder en la investigación y el desarrollo científico de la geotecnia, con más de 47 años de experiencia en el ramo, caracterizada por la excelencia técnica de cada uno de sus servicios y en la ejecución de proyectos, cuyo propósito es brindar seguridad y realizar estudios geotécnicos con la más alta calidad y profesionalismo en el país, en el Departamento y en Bucaramanga y su área metropolitana (Geotecnología S. A. S, 2021).

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Apoyar como auxiliar de ingeniería, las actividades de supervisión de ensayos in situ, laboratorio y diseño básico en el área de geotecnia.

1.2 Objetivos específicos

Realizar labores de supervisión y control en actividades de exploración en campo, para la obtención de información disponible “in situ” durante el desarrollo del proyecto.

Supervisar ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos para la caracterización de las propiedades de los materiales, ensayos como: Granulometría, humedad, corte directo, límites de Atterberg, Comprensión simple, Peso unitario, entre otros.

Apoyar actividades de conceptualización de modelos geotécnicos y diseño para la simulación con *software* de elementos finitos o equilibrio límite.

Apoyar la elaboración de informes geotécnicos plasmando resultados del proyecto.

2. Marco Conceptual

La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra. (Das, 2012)

La finalidad de la obtención de las propiedades mecánicas de la superficie y el subsuelo es darle los primeros parámetros que serán la base para las obras civiles que se planean construir o en los casos más extremos tiene como finalidad diseñar y recomendar obras de control y mitigación para prevenir posibles desastres o detener el avance en caso de que ya haya ocurrido.

GEOTECNOLOGÍA S.A.S es una empresa de consultoría geotécnica especializada en estabilidad de taludes y erosión, y se destaca por su rigor científico y calidad técnica con tecnologías de última generación. Brinda diferentes servicios como: exploración del subsuelo mediante sondeos mecánicos y ensayos geofísicos, ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y rocas, estudios geotécnicos para obras de infraestructura, análisis de deslizamientos, erosión y estabilidad de taludes, análisis de respuesta sísmica, diseño de obras geotécnicas, instrumentación y control de calidad y consultoría geotécnica especializada (GEOTECNOLOGÍA S.A.S, 2021).

La empresa fue creada en el año 1975 por el ingeniero Jamie Suárez Díaz con sede en la ciudad de Bucaramanga. Para desarrollar los conocimientos en la empresa en el área de la geotecnia, se hace necesario identificar o definir términos relacionados con dicho ámbito.

2.1 Estudios geotécnicos

Según la NSR-10 se define como un trabajo donde se debe precisar todo lo relativo a las condiciones físico-mecánicas del subsuelo y las recomendaciones particulares para el diseño y construcción de todas las obras relacionadas. El contenido de un estudio geotécnico comprende descripción general del proyecto, información obtenida en campo, análisis geotécnicos, recomendaciones para el diseño y construcción de la obra (NSR-10, 2010).

La obtención de lo antes mencionado es el primer paso para la construcción de la obra civil, estos parámetros y recomendaciones son luego usados para el diseño estructural. Y en el peor de los casos son los estudios geotécnicos los que deciden si la obra planteada esta fuera del alcance por el perfil geotécnico encontrado en el estudio y si es posible remediarlo con una obra civil adicional.

2.2 Ensayos de campo

Son ensayos sobre el terreno de forma manual para obtener datos complementarios, a parte de la información obtenida a través de las técnicas de reconocimiento. Estos ensayos, permiten solicitar la materia en su medio natural y quedar a salvo en gran parte de las posibles modificaciones inevitables en el momento de manipular la muestra, además, se caracterizan por su rapidez y su bajo costo (Cassan, 1982).

Estos ensayos aportan claridad al estudio geotécnico y permiten evaluar y conocer las características del terreno. Dentro de los ensayos más conocidos se encuentran el ensayo de penetración estándar (SPT), la prueba de corte con veleta y la prueba de penetración con cono (CPT).

2.3 Ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar consiste en enterrar un tubo partido, aplicando golpes con un martillo de 63 kilogramos que cae de una altura de 750 milímetros. El número de golpes requerido para hincar los últimos 300 milímetros, se denomina N de penetración estándar. Con el número de golpes se puede estimar el valor del ángulo de fricción interna para arenas. También, se puede obtener la densidad relativa y con ese valor extraer el ángulo de fricción interna.

Algunas ventajas que presenta este ensayo es su gran uso a nivel mundial, además, el equipo para realizar el ensayo es económico y de fácil consecución. También es útil debido a que se pueden recoger muestras alteradas. Sin embargo, tiene un uso restringido para el análisis de resistencia en arcillas saturadas (Suárez, 2009).

2.4 Ensayos de laboratorio

Se trata de recoger y trasladar muestras en condiciones similares a como se encontraron en el terreno y realizar una serie de pruebas para evaluar parámetros como clasificación del suelo, ángulo de fricción, cohesión, índice de plasticidad, entre otros. Algunos ensayos usados en el estudio de suelos son: granulometría, límites de Atterberg, peso unitario, entre otros.

2.5 Granulometría

Es una característica física de las partículas, que consiste en la distribución de las partículas mayores a el tamiz N° 200 o también llamados suelos granulares mediante tamizado; pero aquellos que pasan el tamiz N° 200 serán catalogados como suelos finos y contarán con un ensayo distinto a la granulometría. La finalidad, entonces, es presentar de manera tabulada o en

grafica los porcentajes retenidos y/o que pasan, para cada uno de los tamices utilizados (I.N.V. E-123, 2013).

2.6 Software geotécnicos

Los programas desarrollados en esta rama de la ingeniería han ahorrado tiempo y han brindado más seguridad en la obtención de parámetros y resultados. La cantidad de análisis que se pueden hacer en poco tiempo es un factor decisivo en el uso de estos *softwares* cada vez son más sofisticados y de fácil uso; un ejemplo son los *softwares* de estabilidad de taludes, los cuales pueden realizar miles de superficies de falla en poco tiempo por varios métodos. Algunos *softwares* geotécnicos comunes son los siguientes: Novo SPT, Plaxis 3D foundation, LOADCAP, Slope/w, entre otros.

2.7 Equilibrio limite y factor de seguridad

Un análisis de límite de equilibrio permite obtener factores de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla, una vez se tengan las propiedades de resistencia al corte de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades, se puede calcular el factor de seguridad del talud.

La mayoría de los métodos de equilibrio límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre la superficie de falla. Es importante tener en cuenta las variaciones entre los métodos son el tipo de superficie de falla y la forma en que actúan internamente las fuerzas de superficie de falla.

Según (Fellenius, 1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material del talud y los esfuerzos de corte críticos que

tratan de producir la falla. En Colombia se rige el factor de seguridad por la tabla H.2.4-1 de la NSR-10 expuesta en la siguiente tabla:

Tabla 1

Factores de Seguridad Básicos Mínimos

Condición	F _{SBM} Diseño	F _{SBM} Construcción
Taludes – Condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25
Taludes – Condición seudo-estática y agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00

Nota. Adaptado de Tabla H.2.4-1 NSR-10.

2.8 Elementos finitos

Es un método que divide la masa de suelo en unidades discretas, en otras palabras, genera una malla de elementos con sus respectivos nodos en las que son necesarias las propiedades elastoplásticas de los materiales. El método es hoy es el más usado y versátil (Carter et al., 2001).

2.9 Informe geotécnico

Al finalizar el programa de exploración del suelo, la recolección de muestras en campo, la realización de pruebas de laboratorio apropiadas y los resultados de los *softwares* geotécnicos se recopila la información y se prepara un informe con sus respectivas recomendaciones de diseño. Los informes geotécnicos deben tener estudios que los sustenten y estar adecuadamente planificados, porque tienen como fin último responder y resolver problemas de cimentación que puedan surgir en un futuro en la construcción que se quiera llevar a cabo en el terreno (Das, 2012).

3. Metodología

Durante el desarrollo de la práctica empresarial se brindó apoyo en la ejecución de diferentes estudios geotécnicos, los cuales, de manera general, comprenden las siguientes etapas que se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2

Etapas generales de un estudio geotécnico

Etapa	Descripción
1	Visita al sitio para identificar las condiciones del lote en estudio.
2	Ubicación exacta de los sitios de los sondeos, las profundidades y cantidades de todos los ensayos de acuerdo con los resultados obtenidos durante las visitas al predio, los estudios cercanos y la información brindada por el cliente.
3	Seguimiento permanente del desarrollo de todas las actividades y novedades ocurridas durante los ensayos en campo.
4	Determinación de los ensayos de laboratorio que se deben realizar a las muestras de acuerdo con el avance de los trabajos en campo.
5	Realización del informe geotécnico y obtención de parámetros para el diseño por medio del uso de <i>softwares</i> . Esta etapa está condicionada al avance del trabajo en campo y a los resultados obtenidos en el laboratorio.
6	Una vez realizado el documento por parte del ingeniero encargado, este pasa a revisión por el director del estudio.

En el transcurso de la práctica empresarial en Geotecnología S. A. S se colaboró en algunas de las etapas del estudio geotécnico de los siguientes proyectos: «Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” (etapas 1, 2 y 3)»; «Estudio geotécnico proyecto Bellomonte, El Carrizal - Girón»; «Estudio geotécnico proyecto Parque Turístico Topocoro – etapa 1»; «Estudio geotécnico proyecto Nueva Sede UDI, San Gil» y «Estudio geotécnico proyecto Parque Acuático Sede Campoalegre».

En la Tabla 3 se hace una descripción general de las actividades realizadas en los mencionados proyectos:

Tabla 3

Resumen de actividades realizadas durante la en práctica empresarial.

Proyecto	Descripción de actividades
Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” (etapas 1, 2 y 3)	<p>Etapa 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apoyo en la utilización del <i>software</i> NovoSPT y de Excel para la obtención de los parámetros del suelo. - Apoyo en el análisis de estabilidad utilizando el <i>software</i> Slope/W. - Apoyo en la elaboración del informe, específicamente en los capítulos: Geotecnia general, Geotecnia del pie de la etapa 1, Geotecnia para la vía y canal del sector norte, Geotecnia del sector central del relleno sanitario, Análisis de datos y propiedades geotécnicas y Análisis de estabilidad de los taludes. <p>Etapa 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apoyo en la utilización del <i>software</i> NovoSPT y de Excel para la obtención de los parámetros del suelo. - Apoyo en el análisis de estabilidad utilizando el <i>software</i> Slope/W. - Apoyo en la elaboración del informe, específicamente en los capítulos: Geotecnia del pie de la etapa 2, Análisis de datos y propiedades geotécnicas y Análisis de estabilidad de los taludes. <p>Etapa 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apoyo en el análisis de estabilidad mediante el uso el <i>software</i> Slope/W. - Apoyo en la elaboración del informe, específicamente en el capítulo Análisis de estabilidad de los taludes.
Estudio geotécnico proyecto Bellomonte, El Carrizal - Girón	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a las actividades y ensayos en campo, realizadas por los operadores. - Seguimiento y control a los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio. - Apoyo en el uso del <i>software</i> Novo SPT y de Excel para obtener los parámetros del suelo. - Apoyo utilizando los <i>softwares</i> PLAXIS 3D Foundation y LOADCAP para la obtención de los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y otras obras de infraestructura. - Apoyo, mediante el <i>software</i> Slope/W, en la realización del análisis de estabilidad del talud. - Apoyo en la elaboración del informe geotécnico.

Proyecto	Descripción de actividades
Estudio geotécnico proyecto Parque Turístico Topocoro - etapa 1	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a las actividades y ensayos en campo, realizadas por los operadores. - Seguimiento y control a los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio. - Apoyo en la utilización del <i>software</i> Novo SPT y de Excel para la obtención de los parámetros del suelo. - Apoyo utilizando los <i>softwares</i> PLAXIS 3D Foundation y LOADCAP para la obtención de los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y otras obras de infraestructura. - Apoyo en el procesamiento de ensayos geofísicos en oficina: tomografías geoeléctricas utilizando el <i>software</i> RES2DINV y ensayos de onda sísmica “in situ”, Downhole, utilizando los <i>softwares</i> Pickwin y PSLog; para determinar el perfil del suelo. - Apoyo en la elaboración del informe geotécnico.
Estudio geotécnico proyecto Nueva Sede UDI, San Gil	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a las actividades y ensayos en campo, realizadas por parte de los operadores. - Seguimiento y control a los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio. - Apoyo en el uso del <i>software</i> Novo SPT y Excel para obtener los parámetros del suelo. - Apoyo utilizando los <i>softwares</i> PLAXIS 3D Foundation y LOADCAP para la obtención de los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y otras obras de infraestructura. - Apoyo en la elaboración del informe geotécnico.
Estudio geotécnico proyecto Parque Acuático Sede Campoalegre	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a las actividades y ensayos en campo, realizadas por los operadores. - Seguimiento y control a los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio. - Apoyo en el uso del <i>software</i> Novo SPT y de Excel para obtener los parámetros del suelo. - Apoyo utilizando los <i>softwares</i> PLAXIS 3D Foundation y LOADCAP para la obtención de los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones y otras obras de infraestructura. - Apoyo en la elaboración del informe geotécnico.

Adicionalmente a los proyectos antes relacionados, y con el fin de facilitar su aprendizaje, se realizaron los procedimientos necesarios para utilizar los *softwares* Slope/W y Plaxis 3D Foundation (*softwares* de equilibrio límite y elementos finitos, respectivamente). Se presentan en los Apéndices A y B del documento.

4. Resultados

A continuación, se expondrá de manera más detallada los resultados de los estudios que fueron más relevantes y en los cuales se tuvo más participación durante el desarrollo de la práctica empresarial:

4.1 Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco”

El proyecto tiene como objetivo analizar la viabilidad de aumentar la capacidad del sitio de disposición final El Carrasco, a través de estudios y diseños geotécnicos, los cuales se dividieron en tres grandes etapas.

Se participó de manera activa en cada una de las etapas como se mostró en la metodología, principalmente en el estudio geotécnico en donde se empleó el uso del *software* NovoSPT para la obtención de parámetros del suelo y el *software* Slope/W para analizar la estabilidad del relleno.

4.1.1 Propiedades del suelo (*Software Novo SPT*)

Para la obtención de los parámetros de diseño para la zona en estudio, se trabaja con el *Software* Novo SPT, el ensayo de penetración estándar (SPT) realizado “in situ” y laboratorios. El *Software* hace una correlación con el ensayo de penetración estándar (SPT), el ensayo más utilizado del mundo. (Zekkos et al., 2004)





El *Software*, después de realizar una correlación con el ensayo SPT hecho en campo, arroja parámetros que nos permiten realizar el perfil geotécnico del suelo estudiado. Para la etapa 1 se colaboró en la realización de ocho correlaciones y para la etapa 2 en dos correlaciones.





A continuación, se expone cómo se logró la obtención del perfil geotécnico y propiedades del suelo con base en ensayos SPT y la correlación del *Software* para el sondeo 4:

4.1.1.1 Descripción geotécnica del perfil. Una vez hecho el sondeo y los ensayos SPT en campo, son llevadas las muestras al laboratorio, se hace una descripción visual de cada una de ellas y luego se realizan ensayos de laboratorio que me indican la composición y propiedades del suelo con mayor seguridad. A continuación, en la Tabla 4 se presentan las características de mayor importancia de uno de los sondeos más representativos de los veintisiete realizados por Geotecnología en el sitio de disposición final “El carrasco”:

Tabla 4

Perfil representativo detallado – sondeo 4

Prof. (m)	N Diseño	Muestra	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
0,0 a 0,5	12		Rellenos compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia medio densa, húmedos, algo permeables con presencia de fragmentos de ladrillo, fragmentos de concreto, sin olor específico, de color marrón-muy pálido, marrón-fuerte, naranja y blanco.	SC
0,5 a 1,0	12		Rellenos compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia suelta, húmedas, algo permeables, con presencia de fragmentos de concreto, sin olor específico, de color marrón-muy pálido, gris-claro.	SC
1,0 a 1,5	5		Rellenos de residuos compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia suelta, húmedas, algo permeables con presencia de fragmentos de concreto, neumático, con olor a orgánico, de color marrón-muy fuerte, gris, negro.	SC
1,5 a 2,0	5		Rellenos de residuos compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia suelta, saturados, algo permeables, con presencia de fragmentos de concreto, neumático, con olor a orgánico, de color marrón- muy fuerte, gris, negro.	SC
2,0 a 2,5	3		Rellenos de residuos compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia suelta, saturados, algo permeables, con presencia de caucho, tela, con olor a basura, de color gris-verdoso, marrón-amarillento, marrón.	SC
2,5 a 3,0	6		Suelos residuales compuestos por arcillas arenosas, coherentes, de consistencia medio densa, saturados, poco permeables, sin olor eso específico, de color gris-oscuro, amarillo pálido, negro.	CL
3,0 a 3,5	9			
3,5 a 4,0	8			
4,0 a 4,5	6			
4,5 a 5,0	5			
5,0 a 5,5	14			
5,5 a 6,0	23			

Prof. (m)	N Diseño	Muestra	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
6,0 a 6,5	43		Suelos residuales compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia muy densa, saturado, algo permeable, sin olor específico, de color gris-verdoso.	SC
6,5 a 7,0	55		Suelos residuales compuestos por arenas arcillosas, con algo de gravas, de granos semiangulosos, no coherentes, de consistencia muy densa, saturados, algo permeables, sin olor específico, de color amarillo- marrón, blanco, marrón-amarillo.	SC
7,0 a 7,5	34			
7,5 a 8,0	50			
8,0 a 8,5	46	NO SE RECUPERÓ MUESTRA.		
8,5 a 9,0	57			
9,0 a 9,5	20		Suelos residuales compuestos por arcillas arenosas, coherentes, de consistencia dura, saturados, poco permeables, sin olor específico, de color marrón-oscuro, marrón-rojizo, negro.	CL
9,5 a 10,0	46			

Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p. 88-90), por O. Gómez, 2023.

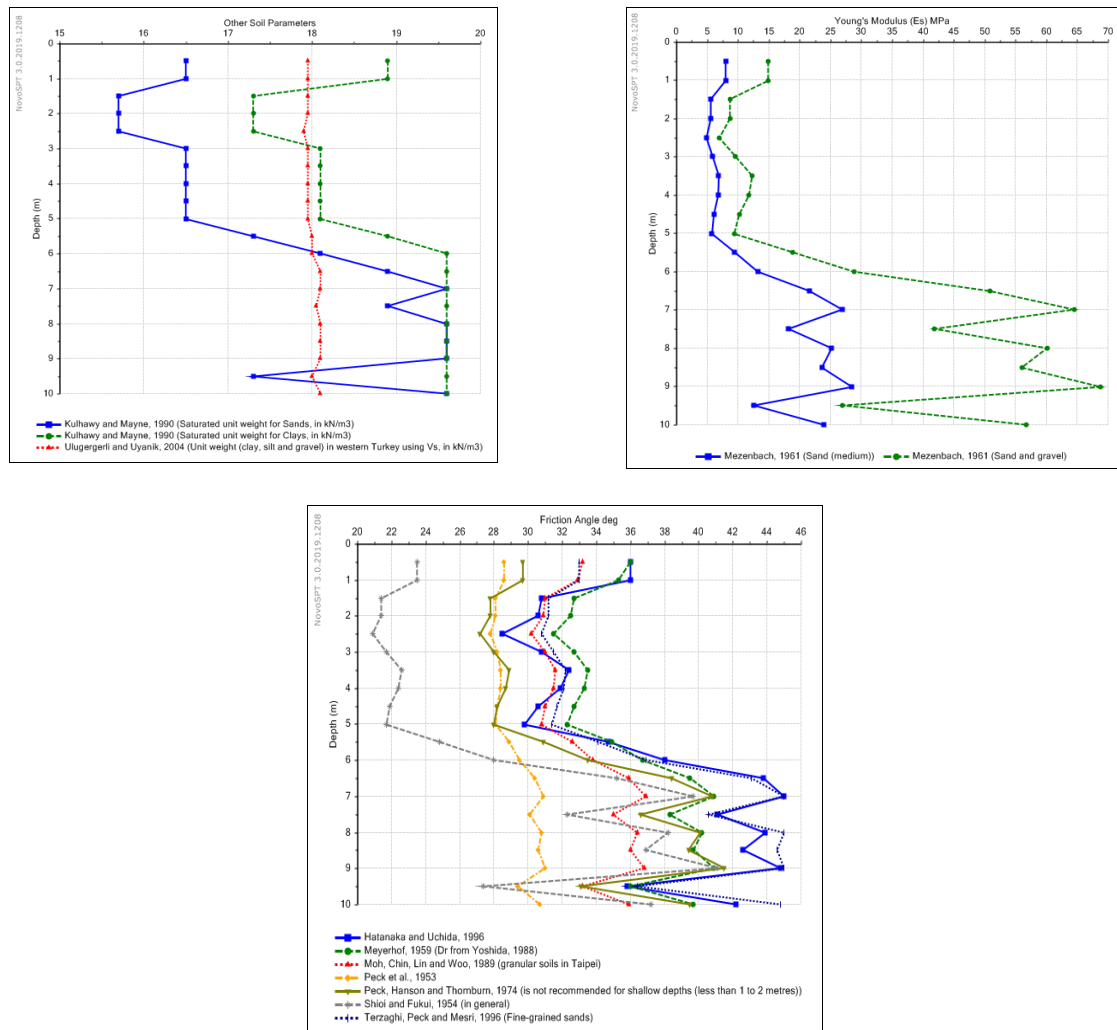
4.1.1.2 Parámetros de diseño a partir del software NovoSPT. Una vez se tiene clara la constitución del suelo y los estratos que tiene el terreno en estudio tras la descripción, ensayos en campo y los ensayos en el laboratorio, se procede a obtener los parámetros de diseño utilizando el *software* mencionado.

Normalmente la empresa realiza la correlación para los siguientes parámetros de suelo: peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción. Para el primero se usan las expresiones de (Kulhawy & Mayne, 1990) para arenas y arcillas saturadas y (Ulugergerli & Uyanik, 2004) para Arcillas, Limos y Gravas; para el segundo parámetro se usa las expresiones (Mezenbach, 1961) para arenas medias y (Mezenbach, 1961) para gravas; y por último para el ángulo de fricción se utilizan un total de siete expresiones.

A continuación, se mostrará en la Figura 1 los resultados obtenidos de la correlación del peso unitario, módulo de elasticidad y el ángulo de fricción en el *Software* para el sondeo 4.

Figura 1

Peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción correlacionado con el SPT – Sondeo 4



Nota. Adaptado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p.117, 125, 127), por O. Gómez, 2023.

Tras arrojar estos resultados, en el programa Excel se realiza un procedimiento utilizando las diferentes expresiones para cada uno de los parámetros. Es necesario aclarar que las expresiones que utiliza la empresa para cada uno de los parámetros del suelo son reflejo de la experiencia y de los buenos resultados que dan en los suelos del área metropolitana de Bucaramanga.

Por último, cabe aclarar que los valores o parámetros que arroja el *software* son una referencia, más no los definitivos, ya que se deben tener en cuenta los resultados de laboratorio de suelos y la literatura existente con relación a las propiedades geotécnicas de los residuos para definir los parámetros de diseño que se usarán para el análisis del proyecto de El Carrasco. En la Tabla 5, se muestra los parámetros geotécnicos que definió la empresa Geotecnología como los más recomendados para el análisis de estabilidad del sitio de disposición final El carrasco:

Tabla 5

Parámetros del suelo para el análisis de estabilidad.

Suelo	Peso Unitario γ (kN/m ³)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión C (kN/m ²)
Relleno	9,7	24	18,5
Relleno antiguo	10,4	31	19,8
Dique	19,4	34	36,0

Nota. Adaptado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p.135), por Geotecnología, 2023.

4.1.2 Análisis de Estabilidad de los taludes (Slope/W)

Para el análisis conceptual de estabilidad actual del sitio de disposición final El Carrasco se utilizó el *Software Slope/W* (Geoslope Internacional de Canadá), el cual se caracteriza por

evaluar varias formas de superficies de deslizamiento, propiedades del suelo, condiciones de carga, entre otras.

El análisis se hizo por los métodos de Spencer, Janbu, Bishop y Fellenius, así como siguiendo la reglamentación NSR-10 mostradas en la Tabla 1.

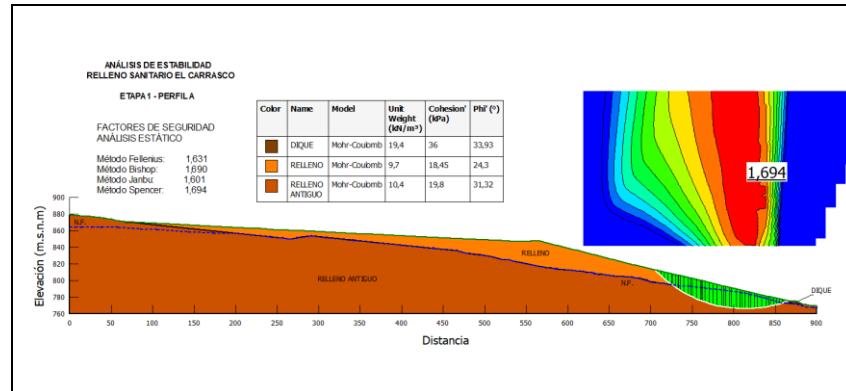
A continuación, se presenta para cada una de las tres etapas del proyecto: la planta de localización de los perfiles y la tabla resumen donde se encuentran los resultados de los factores de seguridad. Adicionalmente, para la etapa 1 se mostrará un ejemplo del análisis de estabilidad estática y con sismo (seudo-estático) para uno de los sectores del perfil A en el *software* Slope/w.

4.1.2.1 Análisis de estabilidad para la etapa 1. La etapa 1 representa el diseño más ambicioso entre las tres etapas, por el volumen de relleno que puede llegar a soportar tras la construcción de las obras civiles recomendadas en el estudio y diseño hechos por la empresa. La etapa consta de doce subetapas en donde el mayor reto es la conducción de lixiviados a los drenes, subdrenes y canales que desembocan en las piscinas, procurando la estabilidad del relleno.

Con respecto al análisis de estabilidad, que fue la actividad en donde más se participó, se realizaron siete perfiles mostrados en la Figura 2 y un total de veinte análisis de estabilidad para dichos perfiles cumpliendo con los factores de seguridad de la norma NSR-10.

Figura 3

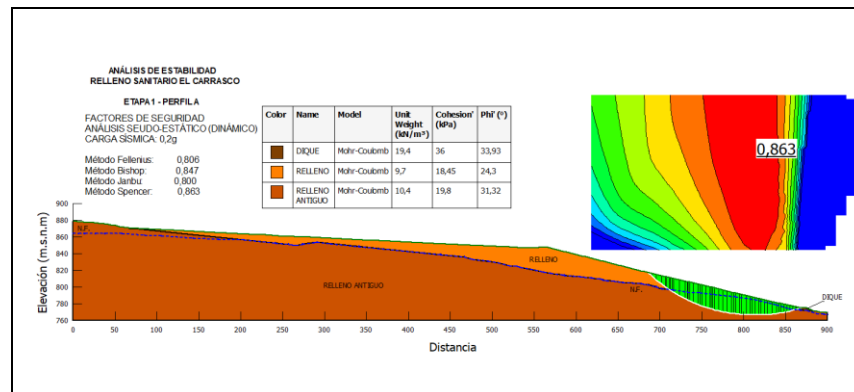
Análisis de estabilidad estática etapa 1 – Perfil A



Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p.137), por O. Gómez, 2023.

Figura 4

Análisis de estabilidad con sismo etapa 1 – Perfil A



Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p.137), por O. Gómez, 2023.

La Figura 4 muestra la inestabilidad que se da en la zona baja del talud, la solución y recomendación geotécnica para este problema se abarcará en el capítulo de recomendaciones. La

Tabla 6 mostrada a continuación resume los factores de seguridad de los veinte análisis hechos para la etapa 1.

Tabla 6

Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 1

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer
Análisis perfil A, estático	1,631	1,690	1,601	1,694
Análisis perfil A, pseudo-estático aceleración: 0,2g	0,806	0,847	0,800	0,863
Análisis perfil A sector superior, estático	6,551	6,790	6,575	6,790
Análisis perfil A sector superior, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,575	1,629	1,594	1,631
Análisis perfil A sector central, estático	6,951	7,633	7,044	7,631
Análisis perfil A sector central, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,419	1,598	1,483	1,609
Análisis perfil A sector inferior, estático	1,633	1,692	1,603	1,698
Análisis perfil A sector inferior, pseudo-estático aceleración: 0,2g	0,807	0,847	0,801	0,865
Análisis perfil B, estático	2,856	2,803	2,784	2,855
Análisis perfil B, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,541	1,573	1,530	1,574
Análisis perfil C, estático	4,103	4,206	4,049	4,205
Análisis perfil C, pseudo-estático aceleración: 0,2g	2,025	2,063	2,003	2,065
Análisis perfil D, estático	3,993	3,995	3,750	3,993
Análisis perfil D, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,948	2,011	1,904	2,013
Análisis perfil E, estático	3,134	3,274	3,096	3,273
Análisis perfil E, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,533	1,594	1,522	1,597
Análisis perfil F, estático	4,423	4,508	4,363	4,507
Análisis perfil F, pseudo-estático aceleración: 0,2g	2,085	2,148	2,050	2,149
Análisis perfil G, estático	3,235	3,400	3,175	3,409
Análisis perfil G, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,645	1,718	1,646	1,728

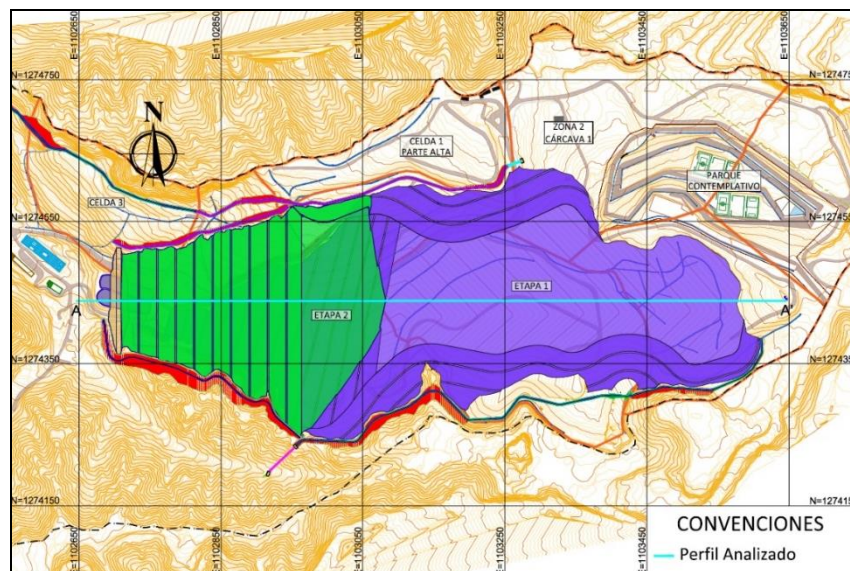
Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p.147), por O. Gómez, 2023.

4.1.2.2 Análisis de estabilidad para la etapa 2. La etapa 2 consta de diez subetapas, cada una de ellas con obras de recolección de lixiviados. Al igual que el Perfil A de la etapa 1, se

realizaron varios análisis al perfil A de la etapa 2 el cual atraviesa la etapa 1 y 2. El análisis de estabilidad dio como resultado que el diseño de la etapa 2 no representa ningún riesgo según los factores de seguridad obtenidos. El esquema de localización del perfil se evidencia en la Figura 5.

Figura 5

Planta de localización de perfiles analizados – etapa 2



Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 2* (p.42), por O. Gómez, 2023.

La Tabla 7 mostrada a continuación resume los factores de seguridad de los ocho análisis hechos para la etapa 2.

Tabla 7*Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 2*

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer
Análisis zona alta, estático	3,093	3,302	3,040	3,307
Análisis zona alta, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,586	1,675	1,556	1,680
Análisis zona media, estático	2,855	3,030	2,808	3,029
Análisis zona media, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,480	1,577	1,455	1,579
Análisis zona baja, estático	3,004	3,201	2,943	3,198
Análisis zona baja, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,563	1,672	1,531	1,676
Análisis zona dique, estático	1,505	1,521	1,510	1,519
Análisis zona dique, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,160	1,190	1,136	1,186

Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 2* (p.47), por O. Gómez, 2023.

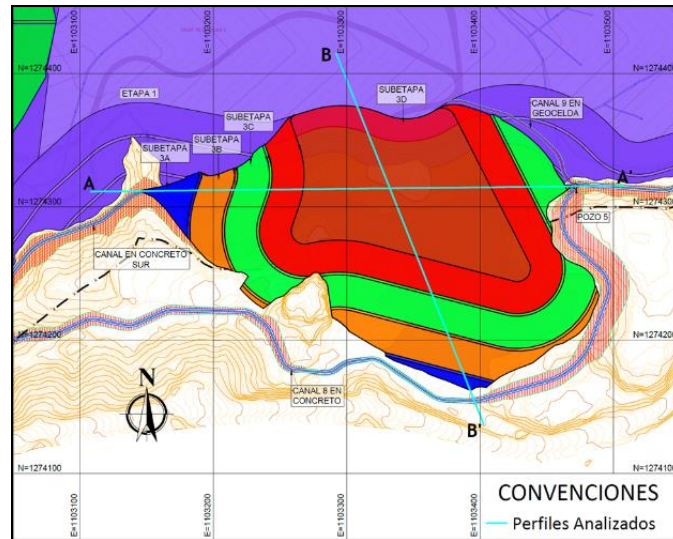
4.1.2.3 Análisis de estabilidad para la etapa 3. La etapa 3 consta de cuatro subetapas, cada una de ellas con obras de recolección de lixiviados. Al igual que la etapa 2, la estabilidad no representó ningún riesgo según los análisis realizados.

Se realizaron dos perfiles y un total de seis análisis de estabilidad, los perfiles atraviesan todo el relleno de la etapa 3 de norte-sur y occidente-oriente.

El esquema de localización de los perfiles se evidencia en la Figura 6.

Figura 6

Planta de localización de perfiles analizados – etapa 3



Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 3* (p.16), por O. Gómez, 2023.

La Tabla 8 mostrada a continuación resume los factores de seguridad de los seis análisis hechos para la etapa 3.

Tabla 8

Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de la etapa 3

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer
Análisis zona occidental, estático	3,997	4,140	3,941	4,145
Análisis zona occidental, pseudo-estático aceleración: 0,2g	1,949	1,995	1,927	1,997
Análisis zona oriental, estático	4,874	5,054	4,776	5,052
Análisis zona oriental, pseudo-estático aceleración: 0,2g	2,235	2,309	2,194	2,311
Análisis zona sur, estático	5,002	5,157	4,936	5,157
Análisis zona sur, pseudo-estático aceleración: 0,2g	2,072	2,136	2,048	2,138

Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 3* (p.20), por O. Gómez, 2023.

4.2 Estudio geotécnico proyecto Bellomonte, El Carrizal - Girón

El proyecto Bellomonte comprende la construcción en un lote de 8042 m², dos edificaciones de apartamentos de dieciséis niveles, sin sótanos y un edificio de parqueaderos de hasta tres niveles; con categoría según la tabla H.3.1-1 de la NSR-10 alta y baja respectivamente.

Figura 7

Planta arquitectónica del proyecto Bellomonte



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.12), por Inacar, 2023.

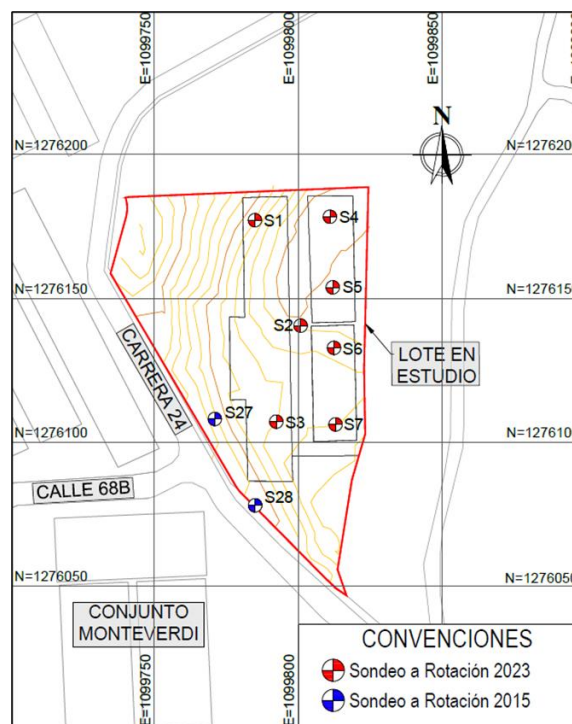
En este proyecto además del uso de los *softwares* geotécnicos: Novo SPT, Slope/W, Plaxis 3D foundation y LOADCAP, se realizaron actividades de apoyo que involucran planificación del proyecto, salidas a campo, seguimiento en laboratorio y colaboración en el informe geotécnico. A continuación, se expondrán detalladamente los resultados de estas actividades.

4.2.1 Planificación y búsqueda de antecedentes

Se colaboró en la ubicación estratégica de los sondeos antes de comenzar los trabajos en campo, considerando el lugar donde se piensan construir las edificaciones.

Figura 8

Localización de los sondeos realizados



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.23), por O. Gómez, 2023.

Como se muestra en la Figura 8, los sondeos realizados en el año 2023 se ubican en donde se tiene planteado construir las edificaciones de vivienda así como el parqueadero. Adicionalmente, para cualquier proyecto es necesario buscar antecedentes y proyectos en zonas cercanas para verificar información relevante para el proyecto en estudio. La empresa realizó en el año 2015 dos sondeos en el lote en estudio que sirven para el proyecto actual.

4.2.2 Seguimiento de las actividades y ensayos “in situ”

En esta etapa del proyecto, es fundamental realizar seguimiento a cada uno de los sondeos realizados en campo, esto implica estar pendiente de que el operador realice el sondeo y llene debidamente los formatos de campo, tomar fotos, guardar adecuadamente las muestras para posteriormente llevarlas al laboratorio y por último que los sondeos lleguen hasta un estrato de suelo competente.

A continuación, en la Tabla 9 se muestra los ensayos SPT de los sondeos realizados en el año 2023, así como los que la empresa Geotecnología realizó en el año 2015.

Tabla 9

Resultado de los ensayos SPT

Profundidad (metros)	Sondeo								
	SPT - N Golpes/Pie								
	Año								
	2023				2015				
	1	2	3	4	5	6	7	27	28
0,0 a 0,5	3	4	10	2	6	6	R	12	14
0,5 a 1,0	7	8	RT	13	23	9	RT	13	19
1,0 a 1,5	12	21	RT	20	17	13	RT	7	37
1,5 a 2,0	15	32	RT	18	18	26	RT	19	47
2,0 a 2,5	15	42	28	11	17	26	34	12	94
2,5 a 3,0	30	60	30	22	25	22	43	7	54
3,0 a 3,5	30	RT	26	24	18	30	R	20	24
3,5 a 4,0	23	RT	19	R	R	41	RT	28	27
4,0 a 4,5	24	RT	17	RT	RT	32	RT	47	48
4,5 a 5,0	44	RT	25	RT	RT	31	RT	44	66
5,0 a 5,5	25	37	15	RT	RT	RT	RT	26	51
5,5 a 6,0	35	R	30	RT	RT	RT	RT	RT	44
6,0 a 6,5	32	RT	17	39	19	RT	RT	RT	22
6,5 a 7,0	69	RT	27	R	22	37	34	RT	46
7,0 a 7,5	43	RT	26	RT	33	28	R	RT	60
7,5 a 8,0	99	R	28	RT	25	48	RT	44	73
8,0 a 8,5				RT	29	66	RT		
8,5 a 9,0				RT	54	RT	RT		
9,0 a 9,5				29	RT	RT	RT		
9,5 a 10,0				35	31	RT	48		
10,0 a 10,5				R	27	RT	87		
10,5 a 11,0				RT	47	RT	RT		
11,0 a 11,5				RT	R	33	RT		

Profundidad (metros)	Sondeo								
	SPT - N Golpes/Pie								
	Año								
	2023				2015				
	1	2	3	4	5	6	7	27	28
11,5 a 12,0				RT	RT	43	RT		
12,0 a 12,5				RT	RT	34	RT		
12,5 a 13,0				21	RT	63	59		
13,0 a 13,5				24	32	RT	RT		
13,5 a 14,0				RT	96	RT	RT		
14,0 a 14,5				18	79	65	RT		
14,5 a 15,0				13	49	135	RT		
15,0 a 15,5				39			RT		
15,5 a 16,0				RT			44		
16,0 a 16,5				RT			R		
16,5 a 17,0				RT			RT		
17,0 a 17,5				RT			RT		
17,5 a 18,0				RT			RT		
18,0 a 18,5				54			RT		
18,5 a 19,0				RT			RT		
19,0 a 19,5				RT			42		
19,5 a 20,0				RT			R		

Nota. RT = rotación y R = rechazo. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.27), por O.

Gómez, 2023.

Como se dijo anteriormente, las fotos a las muestras y sondeos son necesarios para incluirse en el informe final. A continuación, se muestra en la Figura 9 uno de los sondeos realizados.

Figura 9*Sitio del sondeo 1*

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.75), por Geotecnología, 2023.

4.2.3 Seguimiento y control a los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos

Las muestras tomadas en campo se trasladan al laboratorio de suelos de Geotecnología y después de la descripción visual de las muestras, se identifican aquellas que son típicas a las cuales se les harán los ensayos mostrados en la Tabla 10:

Tabla 10*Ensayos de laboratorio realizados*

Ensayo	Norma	No. de ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123	10
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122	10
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4318 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E. 126	10
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	10
Compresión inconfínada	ASTM D2166 NLT 202 – AASHTO T208 – I.N.V.E. 152	2
Peso unitario	ASTM D2937-71	1

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.28), por Geotecnología, 2023.

Los resultados obtenidos en laboratorio se les hizo control y revisión de acuerdo con las recomendaciones de la norma INVIAS. Los resultados junto con la descripción visual de muestras son importantes para el posterior trabajo en oficina, particularmente, en la obtención de los parámetros de suelo. A continuación, se mostrará en la Tabla 11 el resumen de los ensayos de laboratorio del proyecto.

Tabla 11*Resumen de ensayos de laboratorio*

Ensayos de clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasif S.U.C.S.
1	6,0	10	53,48	32	19	13	CL
2	2,0	7	36,15	29	19	10	SC
3	3,0	9	27,53	25	17	8	SC
4	7,0	7	34,37	31	20	11	SC
4	20,0	17	52,38	32	23	9	CL
5	9,0	7	22,57	25	13	12	SC
5	14,0	11	41,54	27	19	8	SC
6	12,0	11	39,00	24	13	11	SC
6	15,0	16	44,62	32	19	13	SC
7	10,5	20	42,07	44	32	12	SM
Ensayo de compresión inconfiada (Simple)							
Sondeo	Profundidad (m)	σ_c [kPa]		Su (kPa)			
4	4,0	233,7		116,9			
5	4,0	146,7		73,4			
Ensayo de peso específico							
Sondeo	Profundidad (m)	Peso unitario seco (gr/cm ³)					
4	4,0	2,009					

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.28), por O. Gómez, 2023.

4.2.4 Propiedades del suelo (Software NovoSPT)

Una vez se realizan los sondeos, la descripción del suelo y laboratorios geotécnicos, se procede a realizar la correlación para obtener parámetros de diseño. A continuación, se muestra en la Tabla 12 los parámetros obtenidos a partir del *software*.

Tabla 12*Parámetros de diseño recomendados*

Profundidad (m)	Peso Unitario (kN/m³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m²)
0,0 a 1,5	17,5	20	30	5
1,5 a 10,0	18,7	45	35	10
10,0 a 20,0	18,9	70	38	20

Nota. Los parámetros sacados del software no son necesariamente los definitivos, los laboratorios y estudios cercanos también son de gran importancia para determinar los parámetros de diseño. Adaptado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.42), por O. Gómez, 2023.

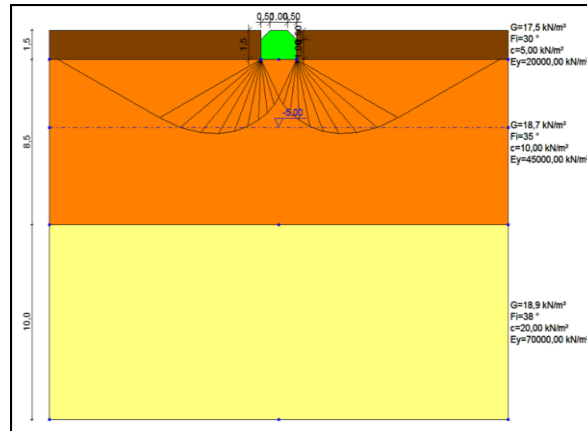
4.2.5 Capacidad de soporte utilizando el criterio de condición de rotura (Software LOADCAP)

En estos modelos se simula la falla del cimiento a rotura y se obtiene la capacidad última del suelo y no el asentamiento máximo. Los ingenieros y director del proyecto consideraron, después de tener el perfil geotécnico de la zona en estudio, recomendar una profundidad de cimentación de 1.5 metros; adicionalmente se apoyó en el modelamiento en los programas con zapata 2x2 metros para la zona de parqueaderos y cimiento corrido de 2x14 metros para las torres de apartamentos.

A continuación, se mostrará en la Figura 10 el modelamiento de la zapata de 2x2 metros

Figura 10

Modelo de zapata 2x2 metros



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.61), por O. Gómez, 2023.

Con los modelos anteriores se calcula la capacidad de carga Q_{ult} y q_a para falla del cimiento a rotura. Los resultados de los modelos se expondrán en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados de capacidad de soporte para condición de rotura

Autor	Zapata		Cimiento corrido	
	Carga última (kN/m ²)	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m ²)	Carga última (kN/m ²)	Carga Máxima Admisible Con FS = 3.0 (kN/m ²)
Hansen (1970)	3184,29	1061,43	2343,10	781,03
Terzaghi	2473,63	824,54	2458,82	819,61
Meyerhof	3489,55	1163,18	2546,05	848,68
Vesic	3342,32	1114,11	2591,45	863,82
Brinch-hansen	3037,37	1012,46	2383,95	794,65
Promedio	3105,43	1035,14	2464,67	821,56

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.62), por O. Gómez, 2023.

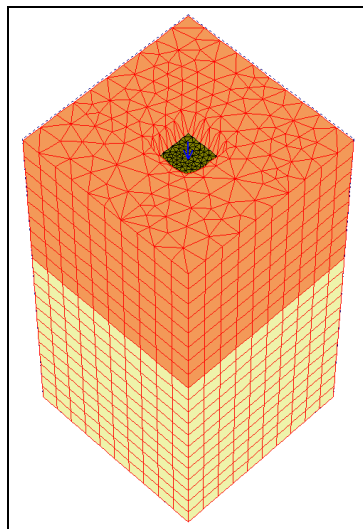
4.2.6 Asentamientos y coeficiente de balasto (*Software Plaxis 3D Foundation*)

Para el análisis de capacidad de soporte de asentamientos se utilizó el *software* Plaxis 3D Foundation desarrollado por la Universidad de Delft en Holanda, el cual trabaja con el método de elementos finitos para calcular deformaciones y esfuerzos que soportan los suelos producto del peso de una estructura.

Al igual que con el *software* LOADCAP se apoya en la realización del análisis con los mismos tipos y dimensiones de cimientos, así como con la misma profundidad de cimentación. A continuación, se muestra el modelo de zapata 2x2 metros en la Figura 11.

Figura 11

Modelo tridimensional de zapata 2x2 metros



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.63), O. Gómez, 2023.

Realizados los modelos de elementos finitos, se expondrán en la Tabla 14 los análisis de la zapata y el cimiento corrido.

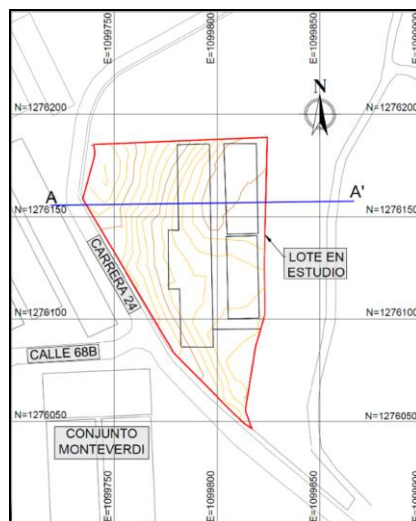
Tabla 14*Resultados del modelo de elementos finitos*

Tipo de cimentación	Presión Promedio (kN/m ²)	Coefficiente de reacción Ks (kN/m ³)	Asentamiento (cm)
Zapata	460	18400	2,5
Cimiento corrido	315	12600	2,5

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.64), por O. Gómez, 2023.

4.2.7 Análisis de Estabilidad de los taludes (Slope/W)

El terreno del lote cuenta con una ladera en el sector occidental cuya pendiente es aproximadamente del 50%, mientras que el sector oriental, donde se plantea construir las edificaciones es una zona relativamente plana. Por lo que los ingenieros de la empresa consideraron realizar un análisis de estabilidad para dicha ladera. A continuación, en la Figura 12 se presenta el perfil que se consideró para el análisis de estabilidad:

Figura 12*Planta de localización del perfil analizado*

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.68), por O. Gómez, 2023.

La Tabla 15 mostrada a continuación expone de manera resumida los factores de seguridad para las condiciones estáticas y pseudo-estáticas para el perfil en estudio.

Tabla 15

Resumen factores de seguridad obtenidos para el perfil A-A'

Análisis	F.S. Fellenius	F.S. Bishop	F.S. Janbú	F.S. Spencer
Análisis perfil A, estático	1,679	1,769	1,670	1,766
Análisis perfil A, pseudo-estático aceleración: 0,16g	1,201	1,277	1,192	1,280

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Bellomonte, El Carrizal - Girón* (p.69), por O. Gómez, 2023.

4.3 Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1

El proyecto tiene como fin hacer el estudio geotécnico preliminar donde se plantea la construcción de un proyecto turístico en un área de aproximadamente 31 hectáreas, donde a futuro, pero sin tener aun planos estructurales o arquitectónicos definitivos, se plantea construir un área turística, hotel, piscinas y un puente sobre la vía a San Vicente de Chucurí.

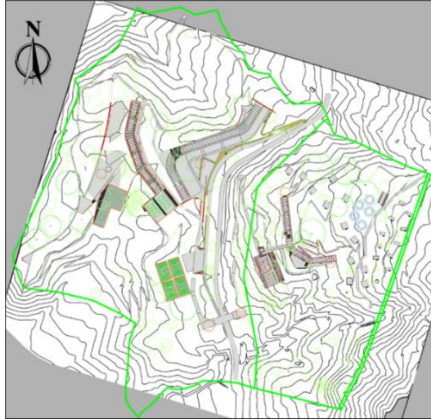
También pretende dar un panorama general de la viabilidad del proyecto sobre el lote en estudio, para posteriormente realizar los estudios geotécnicos correspondientes a cada una de las edificaciones que Cajasan pretenda construir en el lote.

El lote está ubicado en el kilómetro 5 de la nueva vía a San Vicente de Chucurí, vereda La Parroquia, municipio de Girón, departamento de Santander.

A continuación, en la Figura 13 se muestra la planta arquitectónica preliminar del proyecto.

Figura 13

Planta arquitectónica preliminar del proyecto



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.12), por Cajasan, 2023.

4.3.1 Seguimiento de las actividades y ensayos “in situ”

Se realizó seguimiento a las actividades en campo como: sondeos, diligenciamiento de formatos, ensayos geofísicos, toma de muestras y fotos para el informe como en la Figura 14.

Figura 14

Sitio del sondeo 5

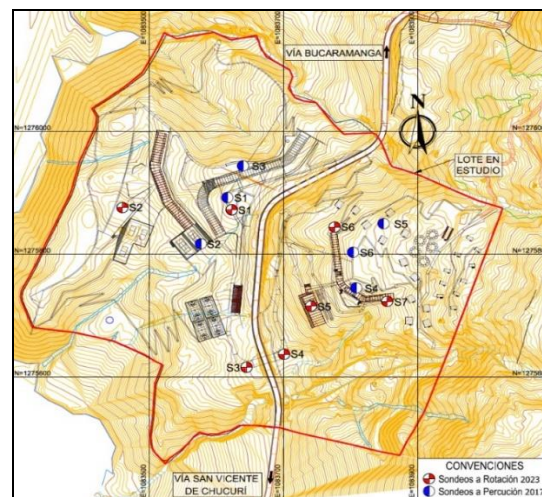


Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.7), por Geotecnología, 2023.

Se realizaron un total de siete sondeos a rotación en los sectores donde se plantea la construcción de la plaza, piscina, puente y el hotel. Adicionalmente, Geotecnología realizó seis sondeos a percusión en el año 2017. En la Figura 15 se mostrará la localización de los sondeos.

Figura 15

Localización de los sondeos



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.23), por Geotecnología, 2023.

4.3.2 Seguimiento y control a los resultados obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos

Después de apoyar en la descripción de muestras, se realizaron los siguientes ensayos en el laboratorio de suelos: granulometría, humedad, límite líquido, plástico e índice de plasticidad, clasificación de los suelos, compresión inconfiada, peso unitario y resistencia al corte directo consolidado drenado. A estos ensayos se les hizo supervisión y control, con el fin de que los resultados estuvieran dentro de los rangos normales o cercanos a estudios en lotes colindantes.

En la Tabla 16 se muestran los resultados de los ensayos:

Tabla 16*Resultado de los ensayos de laboratorio*

Ensayos de clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasif S.U.C.S.
1	10,0	17	70,37	50	32	18	ML
2	2,0	23	60,68	70	33	37	CH
2	5,0	26	76,20	66	36	30	MH
2	8,0	13	64,09	37	26	11	ML
3	2,0	13	82,97	26	16	10	CL
3	5,0	9	28,69	33	15	18	GC
4	2,0	9	40,02	39	21	18	SC
6	8,0	18	48,77	43	21	22	SC
Ensayos de corte directo							
Sondeo	Profundidad (m)	Ángulo de fricción (ϕ)		Cohesión (kN/m²)			
1	7,0	18		9,1			
Ensayo de peso específico							
Sondeo	Profundidad (m)	Peso unitario seco (gr/cm³)					
1	4,0	1,417					
Ensayo de compresión inconfiada (Simple)							
Sondeo	Profundidad (m)	σ_c [kPa]		Su (kPa)			
1	4,0	348,073		174,04			

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.27), por O. Gómez, 2023.

Según los ensayos de laboratorio realizados y las descripciones visuales, los suelos del estudio subsuperficialmente están compuestos por arcillas arenosas con algo de gravas de consistencia firme, hasta una profundidad de 3,5 metros. En niveles inferiores, aparecen suelos compuestos principalmente por arcillas arenosas de consistencia dura, con presencia de gravas gruesas de roca calcárea con fósiles de color gris hasta una profundidad máxima de exploración de 12,0 metros.

4.3.3 Propiedades del suelo (Software NovoSPT).

Una vez se realiza el ensayo SPT en campo, la descripción del suelo y laboratorios geotécnicos, se continua con la realización de la correlación para obtener parámetros de diseño. A continuación, se muestran en la Tabla 17 los parámetros obtenidos a partir del *software*.

Tabla 17

Parámetros de diseño recomendados

Profundidad (m)	Peso Unitario (kN/m ³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m ²)
0,0 a 1,5	17,96	20	30	7
1,5 a 3,5	18,44	35	32	12
3,5 a 10,0	19,00	50	38	25

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.63), por O. Gómez, 2023.

Con los resultados del *software*, y tomando como referencia los estudios realizados en la zona, se logra recomendar los parámetros mostrados en la Tabla 17.

Se separó el perfil del suelo en tres estratos tras analizar detalladamente el número de golpes (N) de los ensayos SPT. Los dos primeros estratos cuentan con unos parámetros inadecuados o no competentes para cimentación para el proyecto que se piensa ejecutar; por lo que el tercer estrato según las decisiones tomadas por los ingenieros de la empresa y el director del proyecto es el más adecuado para realizar la cimentación de la estructura.

4.3.4 Capacidad de soporte utilizando el criterio de condición de rotura (Software LOADCAP)

Los ingenieros y director del proyecto consideraron después de tener el perfil geotécnico de la zona en estudio, recomendar una profundidad de cimentación de 3.5 metros;

adicionalmente el auxiliar de ingeniería colaboró en el modelamiento en el programa LOADCAP con zapata 2x2 metros para la zona en estudio.

A continuación, en la Tabla 18 se expondrán los resultados de cargas ultima y admisible.

Tabla 18

Resultados de capacidad de soporte para condición de rotura

Autor	Zapata	
	Carga última (kN/m ²)	Carga Máxima Admisible con FS = 3.0 (kN/m ²)
Hansen (1970)	11320	3773,34
Terzaghi	7300,8	2433,6
Meyerhof	12674,25	4224,75
Vesic	11510,58	3836,86
Brinch-hansen	10390,46	3463,49
Promedio	10639,22	3546,41

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.81), por O. Gómez, 2023.

4.3.5 Asentamientos y coeficiente de balasto (Software Plaxis 3D Foundation).

Para el análisis se modeló al igual que el *software* LOADCAP una zapata de 2x2 metros con los estratos y parámetros mostrados en la Tabla 17. Se debe aclarar que los resultados obtenidos del *software* de elementos finitos son un apoyo para las recomendaciones que se hacen al cliente, ya que como se ha venido comentando, la información de estudios cercanos y la experiencia del equipo de ingenieros de la empresa también se debe tener en cuenta. Los resultados del programa de elementos finitos se muestran a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19*Resultados de los modelos de elementos finitos*

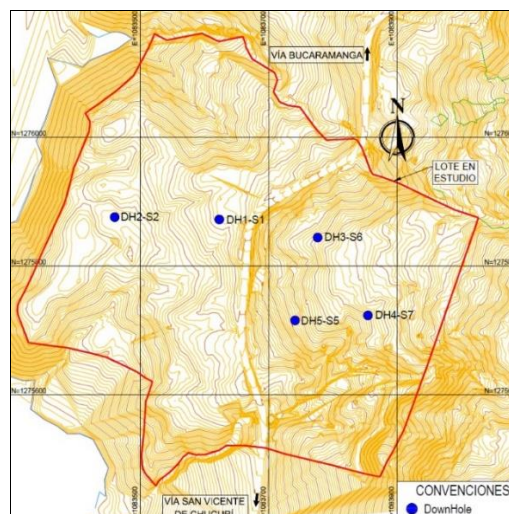
Tipo de cimentación	Presión Promedio (kN/m ²)	Coefficiente de reacción Ks (kN/m ³)	Asentamiento (cm)
Zapata	725	29000	2,5

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.82), por O, Gómez, 2023.

4.3.6 Procesamiento en oficina del ensayo de onda sísmica “in situ” (DownHole)

Se realizaron un total de cinco ensayos de onda sísmica tipo DownHole para determinar los valores de velocidad de onda de compresión V_p y velocidad de onda de cortante V_s .

Se realizó medición cada 1.0 metro a lo largo del perfil de los sondeos perforados y encamisados con tubería PVC de 2 pulgadas. La localización se muestra a continuación:

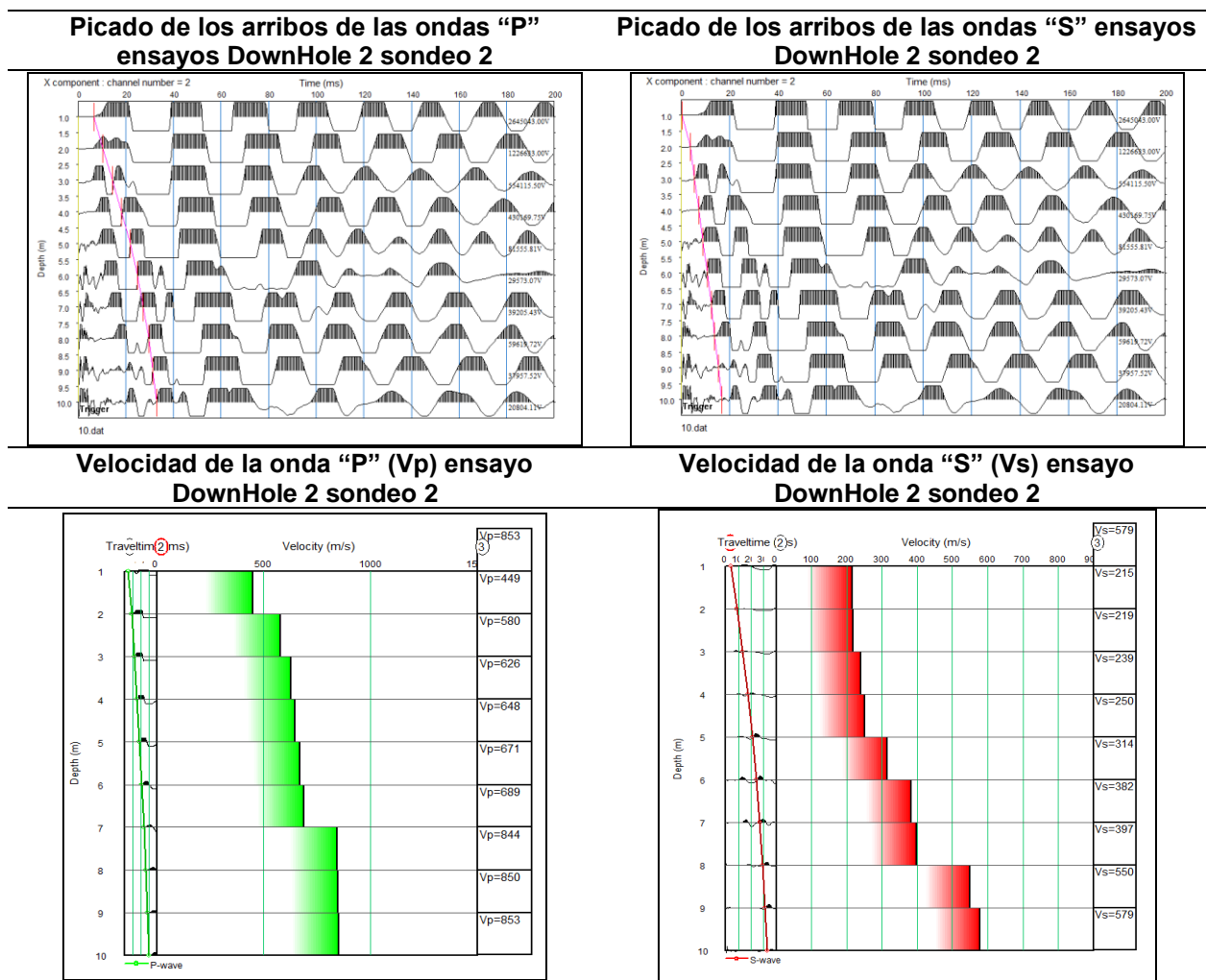
Figura 16*Localización de los ensayos DownHole*

Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.44), por Geotecnología, 2023.

Los ensayos “DownHole” se realizaron en los sitios de los sondeos 1, 2 y 6 hasta los 10 metros, para el sondeo 7 se alcanzó los 8 metros de profundidad y el sondeo 5 hasta alcanzar los 12 metros de profundidad. En la Figura 17, se muestra el resultado de los picados y velocidades de onda para el sondeo 2 obtenidos con los *softwares* Pickwin y PSLog respectivamente.

Figura 17

Resultado del picado y velocidad de las ondas para el DownHole 2 sondeos 2



Nota. Adaptado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.47), por O. Gómez, 2023.

Como resultado y después de procesar los cinco ensayos de onda sísmica, se observó que la velocidad de onda “S” se encuentra principalmente entre $180 \text{ m/s} < V_s \leq 360 \text{ m/s}$ por lo cual se concluye que para el perfil de suelo donde se realizó la medición es perfil D según la NSR-10.

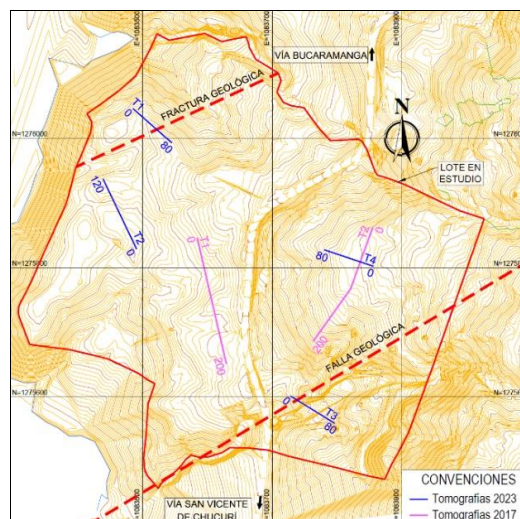
4.3.7 Procesamiento en oficina del ensayo de tomografía geoelectrica

Se realizaron cuatro líneas 2D de tomografías geoelectricas para determinar los valores de resistividad eléctrica del suelo y elaborar el perfil geotécnico de resistividades. Adicionalmente, se hizo una recopilación de información de estudios, en el año 2017 la empresa Geotecnología realizó dos tomografías geoelectricas.

En la figura 18 mostrada a continuación se localizan de las dos tomografías del año 2017 y las cuatro realizadas en el año 2023.

Figura 18

Localización de las líneas de tomografía geoelectrica



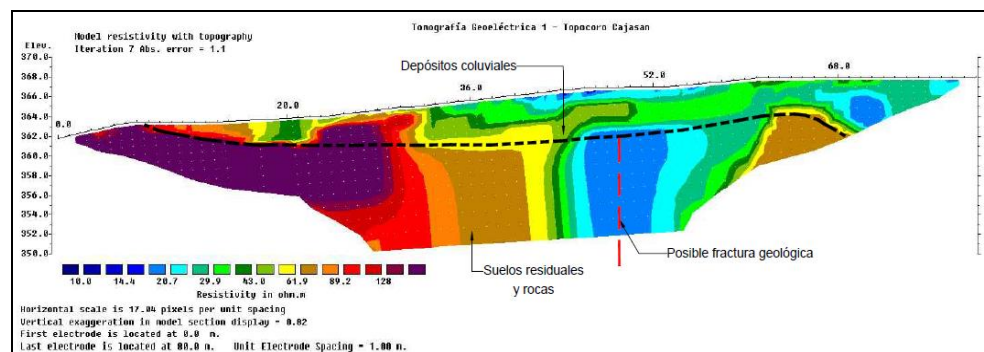
Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.32), por O. Gómez, 2023.

Del procesamiento se obtienen tres pseudosecciones de la tomografía geoelectrica: la primera muestra la resistividad aparente media en el terreno, la segunda la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo y la tercera la resistividad del terreno obtenida a partir de las dos secciones anteriores.

La tomografía geoelectrica 1 ilustrada en la Figura 19 muestra la resistividad del terreno incluyendo la topografía del mismo, así como la interpretación realizada por el director del proyecto.

Figura 19

Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1



Nota. Tomado de *Estudio geotécnico Parque Turístico Topocoro - etapa 1* (p.34), por Geotecnología, 2023.

En las tomografías realizadas se identifica una zona superficial de depósitos coluviales compuesto por suelos arcillosos con resistividades bajas (entre los 5 y 25 ohm) y en profundidad se observan suelos residuales y rocas que presentan resistividades mayores (entre 20 y 130 ohm) por la capacidad de estas de impedir el paso de la corriente eléctrica. También, se detectó la presencia de una posible fractura geológica en el costado noroccidental del lote, tal como se muestra en la Figura 19. El costado sur del lote cuenta con una falla geológica transtensional.

5. Conclusiones

- Se logró la supervisión y control constante de las actividades desarrolladas durante la exploración en campo. Se realizaron visitas de reconocimiento del lote en estudio, así como acompañamiento presencial en ensayos SPT. También, se realizó seguimiento al registro fotográfico de las muestras, formato de numero de golpes “N” y a la correcta ubicación de los sondeos en campo.

- Se realizó supervisión y seguimiento a los resultados obtenidos en los ensayos de mecánica de suelos. La empresa al tener laboratorio dentro de sus instalaciones facilitó el afianzamiento de los conocimientos previos adquiridos en la universidad, específicamente de las normas y especificaciones del INVIAS.

- Se apoyaron actividades para el desarrollo de simulación numéricas mediante software especializados. Se colaboró con el procesamiento de *softwares* geotécnicos para hallar propiedades del suelo, estabilidad de taludes, capacidad de rotura, asentamientos y perfil del terreno con el procesamiento de ensayos geofísicos.

- Se colaboró en la elaboración de algunos capítulos de los informes geotécnicos. Se comprendió el contenido global de un informe, así como la importancia de las recomendaciones dentro de éstos.

- Se elaboraron procedimientos para la utilización de *softwares* especializados en la empresa: de equilibrio limite y elementos finitos; comunes en estudios geotécnicos.

6. Recomendaciones técnicas

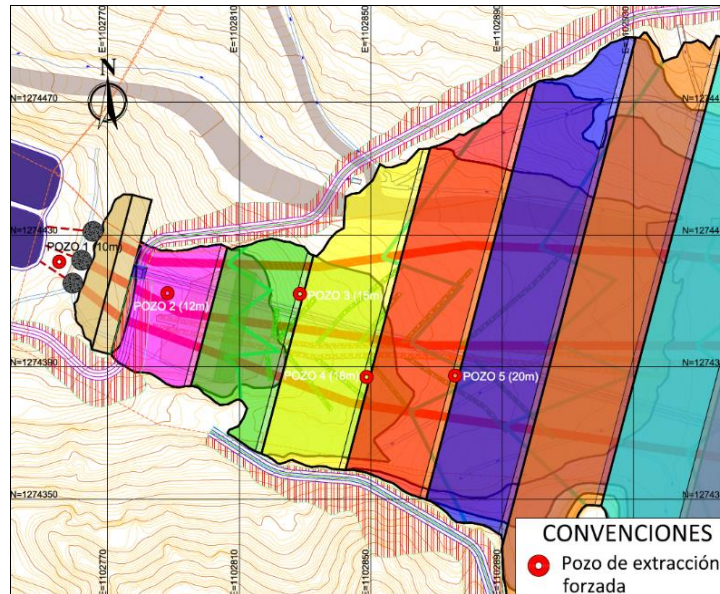
Tras realizar las actividades en campo, laboratorios de mecánica de suelos, procesamiento de *softwares* geotécnicos y la elaboración del informe geotécnico, en los cuales tuve la posibilidad de participar; seguidamente muestro de manera resumida las recomendaciones técnicas de los proyectos más representativos.

6.1 Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” (etapa 1, 2 y 3)

- Para garantizar la estabilidad del relleno para todas las etapas, se requiere utilizar pendientes superficiales de taludes de máximo 4H:1V.

- Para la etapa 1, el sector inferior del perfil A presentó una inestabilidad, por lo que se propuso la simulación del abatimiento o reducción del nivel freático para estabilizar el talud inferior de la etapa 1. Fue necesario abatir el nivel freático hasta los diez metros para garantizar la estabilidad en los taludes.

Tras realizar el abatimiento del nivel freático en el *software*, el equipo de ingenieros de la empresa Geotecnología recomendó la instalación de pozos de extracción forzada en el sector del pie de la etapa 1, con el objeto de garantizar que no se presenten problemas de estabilidad por la concentración de fluidos. Debe tenerse en cuenta que los subdrenes no son suficientes para evitar la formación de bolsas de lixiviados en la zona cercana al pie del sistema de relleno. En la Figura 20 se muestra la localización de los pozos de extracción recomendados por Geotecnología.

Figura 20*Localización general de pozos de extracción forzada*

Nota. Tomado de *Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1* (p. 25), por O. Gómez, 2023.

- Para la etapa 1, se recomienda inspeccionar de manera frecuente la zona cercana al pie del dique, con el objeto de determinar si se requieren obras adicionales de estabilización.

- Las recomendaciones anteriores se realizan debido a la necesidad e importancia de reducir el nivel de líquidos; este último puede representar un grave problema en caso de no ser controlado, en pocas palabras, el control de los líquidos en el sitio de disposición final El Carrasco es el factor clave para que no hallan deslizamientos de los rellenos.

6.2 Estudio geotécnico proyecto Bellomonte Barrio Carrizal – Girón

- El perfil de suelo al nivel de cimentación se clasifica como C según el reglamento NSR-10. Los materiales del suelo están constituidos por suelos de depósitos aluviales compuestos por arenas arcillosas medio densas a densas y arcillas arenosas duras.

- La cimentación se recomienda a una profundidad superior a 1,5 metros a partir del nivel actual del terreno.

- Para la zona social y de parqueaderos se recomienda cimentar sobre un sistema de zapatas unidas por vigas de amarre. Se recomienda utilizar una presión admisible promedio de trabajo para cargas de servicio de hasta 300 kN/m^2 (30 Ton/m^2) y un coeficiente de balasto de hasta 12000 kN/ m^3 . Para las torres de apartamentos se recomienda cimentar sobre cimientos corridos en dos direcciones. Es posible que se requieran placas de cimentación. Se recomienda utilizar una presión admisible promedio de trabajo para cargas de servicio de hasta 300 kN/ m^2 (30 Ton/ m^2) y un coeficiente de balasto de hasta 12000 kN/ m^3 .

- Para la carga máxima admisible del terreno de 300 kN se deben esperar asentamientos máximos de $2,5 \text{ cm}$ a una profundidad de $1,5$ metros tanto para las zapatas como los cimientos corridos en dos direcciones.

6.3 Estudio geotécnico proyecto Parque Turístico Topocoro - etapa 1

- El perfil de suelo al nivel de cimentación se clasifica como D según el reglamento NSR-10. Los materiales del suelo están constituidos subsuperficialmente de suelos coluviales compuestos por arcillas arenosas con algo de gravas hasta una profundidad alrededor de $3,5$ metros. Por debajo aparecen suelos coluviales compuestos principalmente por arcillas arenosas,

con presencia de gravas gruesas de roca calcárea con fósiles de color gris, hasta una profundidad máxima de exploración de 12,0 metros.

- La cimentación se recomienda a una profundidad superior a 3,5 metros a partir del nivel actual del terreno.

- Se recomienda cimentar sobre un sistema de zapatas unidas por vigas de amarre. Posiblemente se requiera colocar recuperaciones en concreto ciclópeo por debajo de las zapatas para bajar al nivel de suelo competente. Se recomienda utilizar una presión admisible promedio de trabajo de cargas de servicio de hasta 300 kN/m^2 (30 Ton/m^2) y un coeficiente de balasto de hasta 12000 kN/m^3 .

- Para la carga máxima admisible del terreno de 300 kN se deben esperar asentamientos máximos de 2,5 centímetros a una profundidad de 3,5 metros para las zapatas.

Referencias

- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. Enero de 2010.
- Cassan, M. (1982). Los ensayos in situ en la mecánica del suelo: su ejecución e interpretación (Vol. 1). Reverte.
- Carter, J.P., Desai, C.S., Potts, D.M., Schweiger, H.F. y Sloan, S.W. (2001). Computing and Computer Modelling in Geotechnical Engineering.
- DAS. (2012). FUNDAMENTOS DE INGENIERIA DE CIMENTACIONES (7ed. ed.). Cengage Learning.
- Duque-Escobar, G. (2017). Geotecnia para el trópico andino. Universidad Nacional de Colombia.
- Fellenius W. (1922). Statens Jarnjvagens Geotekniska Commission, Stockholm, Sweden.
- Geotecnología S. A. S. (2021). Consultoría para estudio de la estabilidad actual – sitio de disposición final El Carrasco.
- Geotecnología S. A. S. (2022). Consultoría especializada para el monitoreo geoeléctrico para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados – sitio de disposición final El Carrasco.
- Geotecnología S. A. S. (2023). Estudios geotécnicos proyecto Bellomonte, El carrizal - Girón.
- Geotecnología S. A. S. (2023). Estudios geotécnicos proyecto Parque Turístico Topocoro - etapa 1.
- Geotecnología S. A. S. (2023). Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 1.

Geotecnología S. A. S. (2023). Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 2.

Geotecnología S. A. S. (2023). Estudios y diseños geotécnicos para la estabilización, adecuación y aumento de la capacidad del sitio de disposición final “El Carrasco” - etapa 3.

I.N.V. E-123. (2013). Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Bogotá: Instituto Nacional de Vías.

Quiénes Somos. (2021). Erosion.com.co: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ.
<https://www.erosion.com.co/quienes-somos/>

Suárez Díaz, J. (2009). Deslizamientos. División de Publicaciones UIS.

Zekkos, D. P., Bray, J. D., & Der Kiureghian, A. (2004). Reliability of shallow foundation design using the standard penetration test. Proceedings ISC-2 on geotechnical and geophysical site characterization, 1575-1582.