

**BOGOTÁ D.C.**

## **ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA**



### **INFORME PRELIMINAR**

**JULIO 2018**



Certificado No. SG 2016001338 A  
Sistema de Gestión de Calidad



Certificado No. SG 2016001338 B  
Sistema de Gestión Ambiental



Certificado No. SG 2016001338 F  
Sistema de Gestión en Seguridad  
y Salud Ocupacional

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 2 de 70

**BOGOTÁ D.C.**

## **ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA**

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	APROBÓ CLIENTE
A	16/06/2018	Aprobado Interno	YD	FSS	GTM	
B	13/07/2018	Aprobado Interno	YD	FSS	GTM	

<b>PROYECTO No.</b> 270	<b>DOCUMENTO No.</b> IGC_EG_01_JardinSantaTeresita_VB.docx
----------------------------	---

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 3 de 70</b>

**BOGOTÁ D.C.**

## **ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA**

### **Contenido**

1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	7
1.1	INFORMACIÓN DEL PROYECTO .....	7
1.1.1	Objetivos .....	7
1.1.2	Alcance del Estudio.....	7
1.1.3	Metodología del Estudio.....	7
1.2	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN .....	8
2	INFORMACIÓN DE REFERENCIA ESTUDIO FASE II (GEOCING SAS) .....	11
2.1	ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	12
2.1.1	Geología Regional .....	12
2.1.2	Geología Local o de Detalle .....	13
3	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	18
3.1	CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	18
3.2	LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN .....	20
3.3	CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA.....	22
3.3.1	GENERALIDADES.....	22
3.3.2	Fundamento Teórico .....	22
3.3.3	Refracción de ondas .....	25
3.3.4	RESULTADOS.....	26
3.4	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO .....	29
3.5	CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES .....	34
3.5.1	Contenido de Material .....	34
3.5.2	Límites de Atterberg.....	34
3.6	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES .....	35
3.6.1	Peso Unitario.....	35
3.6.2	Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	36
3.6.3	Resistencia al Corte .....	42
3.6.4	Ensayo de Corte Directo .....	47

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 4 de 70</b>

3.6.5	Ensayo de Compresión Inconfinada .....	47
3.6.6	Análisis de Parámetros de Roca Arcillolita .....	48
3.7	NIVEL FREÁTICO.....	50
3.8	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO .....	50
4	CARACTERIZACIÓN SÍSMICA.....	50
5	ANÁLISIS GEOTÉCNICO .....	53
5.1	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	53
5.1.1	Generalidades.....	53
5.1.2	Consideraciones de Agua .....	53
5.1.3	Consideraciones de Sismo.....	55
5.1.4	Consideraciones de factor de Seguridad.....	55
5.1.5	Análisis de Factores de Seguridad .....	56
5.2	CAPACIDAD PORTANTE .....	63
5.3	ASENTAMIENTOS.....	64
5.4	MODULO DE REACCIÓN VERTICAL.....	64
5.5	EMPUJES DE TIERRAS.....	65
6	CONCLUSIONES.....	66
7	RECOMENDACIONES .....	67
7.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	67
7.2	PLACA DE CONTRAPISO .....	67
7.3	RELLENOS.....	68
8	BIBLIOGRAFÍA .....	69
9	LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	70

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Coordenadas sondeos.....	21
Cuadro 2	Coordenadas Trinchera .....	21
Cuadro 3	Coordenadas Líneas de Refracción Sísmica .....	22
Cuadro 4	Análisis de Vs a partir de Vp .....	28
Cuadro 5	Resultados de $\Phi$ para Rellenos con escombros .....	39
Cuadro 6	Resultados de $\Phi$ Suelo Residual y desechos de cantera .....	40
Cuadro 7	Resultados de $\Phi$ Saprolito .....	41

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 5 de 70</b>

Cuadro 8 Resistencia no drenada del suelo Rellenos con escombros.....	42
Cuadro 9 Resistencia no drenada Suelo Residual.....	43
Cuadro 10 Resistencia no drenada del suelo Saprolito .....	45
Cuadro 11 Resumen de resultados Corte Directo .....	47
Cuadro 12 Resultados Ensayo de Compresión Inconfinada sobre suelo.....	47
Cuadro 13 Resultados Ensayo de Compresión Inconfinada sobre roca Arcillolita .....	48
Cuadro 14 Parámetros de diseño.....	50
Cuadro 15 Coeficientes de Respuesta Sísmica.....	51
Cuadro 16 Coeficientes de umbral de daño.....	52
Cuadro 17 Variación de ru para diferentes alturas de la lámina de agua .....	54
Cuadro 18 Valoración de amenaza por FS.....	55
Cuadro 19 Factores de seguridad NSR-10.....	56
Cuadro 20 Resumen de Factores de seguridad .....	62
Cuadro 21 Capacidad de Carga .....	64
Cuadro 22 Asentamientos .....	64
Cuadro 23 Modulo de reacción del suelo.....	65
Cuadro 24 Coeficientes de presión de tierras.....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización general del proyecto.....	9
Figura 2 Vista Alzado Suroccidental Jardín Santa Teresita .....	10
Figura 3 Vista de las plantas del proyecto .....	11
Figura 4 Ubicación de exploración geotécnica .....	21
Figura 5 Ondas producidas por un impacto en superficie .....	23
Figura 6 Espectro de energía .....	24
Figura 7 Perfil LRS - 1 .....	26
Figura 8 Perfil LRS - 2.....	27
Figura 9 Perfil LRS - 3.....	27
Figura 10 Planta general topografía inicial y actual .....	29
Figura 11 Sección 1 .....	29
Figura 12 Sección 2 .....	30
Figura 13 Sección 3 .....	30
Figura 14 Ubicación en planta de la sección 1 .....	33
Figura 15 Sección 1 Perfil Estratigráfico .....	33
Figura 16 Contenido de Material .....	34
Figura 17 Carta de Plasticidad .....	35
Figura 18 Peso Unitario Vs Profundidad.....	36
Figura 19 Valor de N de campo con la profundidad .....	38
Figura 20 Normalización de N Rellenos con escombros.....	39
Figura 21 Normalización de N Suelo Residual y desechos de cantera .....	40
Figura 22 Normalización de N Saprolito .....	41
Figura 23 Resistencia no drenada del suelo Rellenos con escombros .....	43
Figura 24 Resistencia no drenada Suelo Residual .....	45

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 6 de 70</b>

Figura 25 Resistencia no drenada del suelo Saprolito .....	46
Figura 26 Resultados análisis de parámetros mediante RocData.....	49
Figura 27 Zonificación Sísmica para Bogotá .....	51
Figura 28 Variación de ru para diferentes alturas de la lámina de agua .....	54
Figura 29 Modelo de análisis en estado actual.....	56
Figura 30 Sección de análisis Condiciones Normales .....	57
Figura 31 Sección de análisis en Condiciones Extremas.....	57
Figura 32 Modelo de Análisis con Cortes .....	58
Figura 33 Sección de análisis con Cortes en Condiciones Normales .....	58
Figura 34 Sección de análisis con Cortes en Condiciones Extremas.....	59
Figura 35 Modelo de Análisis con Cortes y Cargas .....	59
Figura 36 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Normales .....	60
Figura 37 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Extremas .....	60
Figura 38 Modelo de Análisis con Cortes, con Cargas y Obras .....	61
Figura 39 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Normales .....	62
Figura 40 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Extremas .....	62
Figura 41 Modelo de Capacidad de Carga .....	63



	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 7 de 70

## 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1 INFORMACIÓN DEL PROYECTO

#### 1.1.1 Objetivos

El presente Estudio Geotécnico tiene como objetivo general la caracterización geotécnica del área de estudio y presentar las recomendaciones generales para el reforzamiento y construcción de estructuras nuevas a desarrollarse.

Los objetivos específicos son:

- Conocer las propiedades mecánicas de los materiales que conforman el subsuelo del sitio de estudio.
- Establecer los parámetros geotécnicos necesarios para definir la capacidad de soporte del suelo.
- Verificar las condiciones de estabilidad por fenómenos de remoción en masa.
- Definir las condiciones de obras para la mitigación y sistema de cimentación de las estructuras.

#### 1.1.2 Alcance del Estudio


El estudio comprende el siguiente alcance:

- Recopilación, análisis y evaluación de la información existente del proyecto.
- Reconocimiento de campo.
- Exploración del subsuelo.
- Interpretación y análisis de los resultados obtenidos.
- Elaboración del informe.

#### 1.1.3 Metodología del Estudio

A continuación, se describen cada una de las actividades llevadas a cabo en el desarrollo del estudio:

#### Recopilación, análisis y evaluación de información del proyecto

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 8 de 70</b>

Se recopiló información relacionada con la localización y topografía, los cuales permiten obtener una valoración aproximada de la magnitud de la intervención.

### **Exploración Geotécnica**

Los trabajos de exploración geotécnica estuvieron comprendidos por métodos de exploración directa.

#### **Métodos Directos**

Se denominan métodos directos o invasivos a la exploración realizada con el fin de obtener muestras representativas del subsuelo, para realizar ensayos de laboratorio destinados a la caracterización de los estratos que lo componen y obtener parámetros de resistencia geomecánicas de estos materiales. Las muestras obtenidas pueden ser inalteradas o alteradas.

Con base en los resultados de los sondeos se elaboraron los registros de campo donde se recopila la información obtenida. Los resultados de las exploraciones de campo se analizaron, se llevó a cabo la selección de muestras, programación y ejecución de ensayos de laboratorio para clasificación de los suelos encontrados y para determinar las propiedades de resistencia geomecánicas y otras propiedades necesarias para los análisis de estabilidad y modelamiento de obras.

#### **Métodos Indirectos**

Los métodos indirectos corresponden a los métodos de exploración del subsuelo que por su metodología no altera las condiciones del terreno, comúnmente relacionadas con ensayos in situ. En este caso se realizaron Líneas de Refracción Sísmica (LRS).

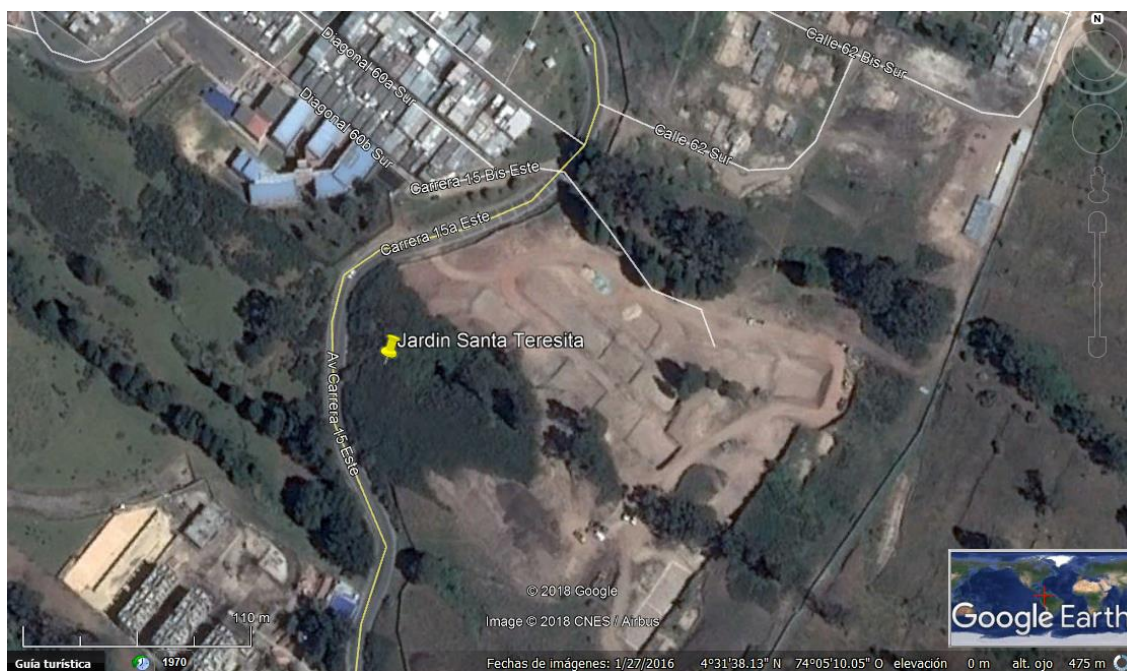
## **1.2 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN**

El área del proyecto corresponde al Jardín Santa Teresita, este se localiza en la localidad de San Cristóbal en la Dirección Av Cra 15ª Este Calle 62 Sur y cuenta un área de 213,74 m<sup>2</sup> de acuerdo con el levantamiento topográfico actualizado, el jardín se desarrolla sobre una topografía montañosa. A continuación se presenta la ubicación local del predio.



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 9 de 70</b>

**Figura 1 Localización general del proyecto**



A continuación se presentan algunas fotografías del estado actual del predio:

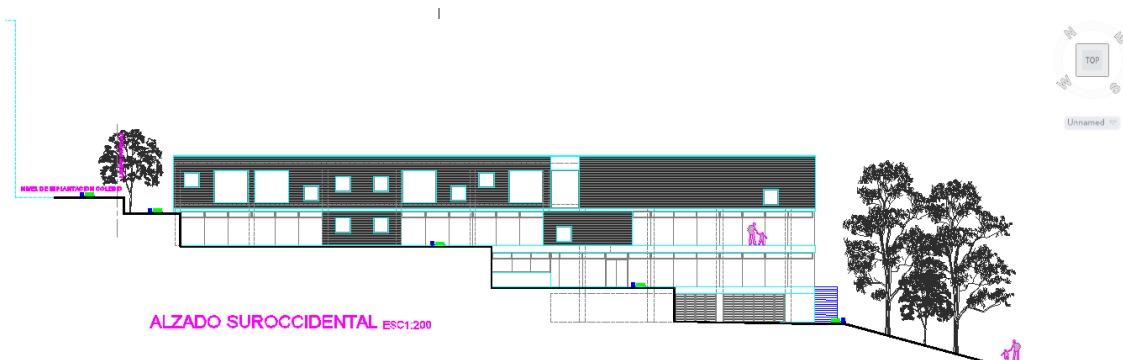
**Fotografía 1 Vista estado actual del predio**





El proyecto consiste en la implementación de una estructura de uso educativo que consta de 3 niveles y un nivel 0 para equipamiento de bombas y tanques. Este se desarrollara de forma escalonada para ajustarse de mejor manera la ladera de intervención. A continuación se presenta una sección longitudinal del proyecto.

**Figura 2 Vista Alzado Suroccidental Jardín Santa Teresita**

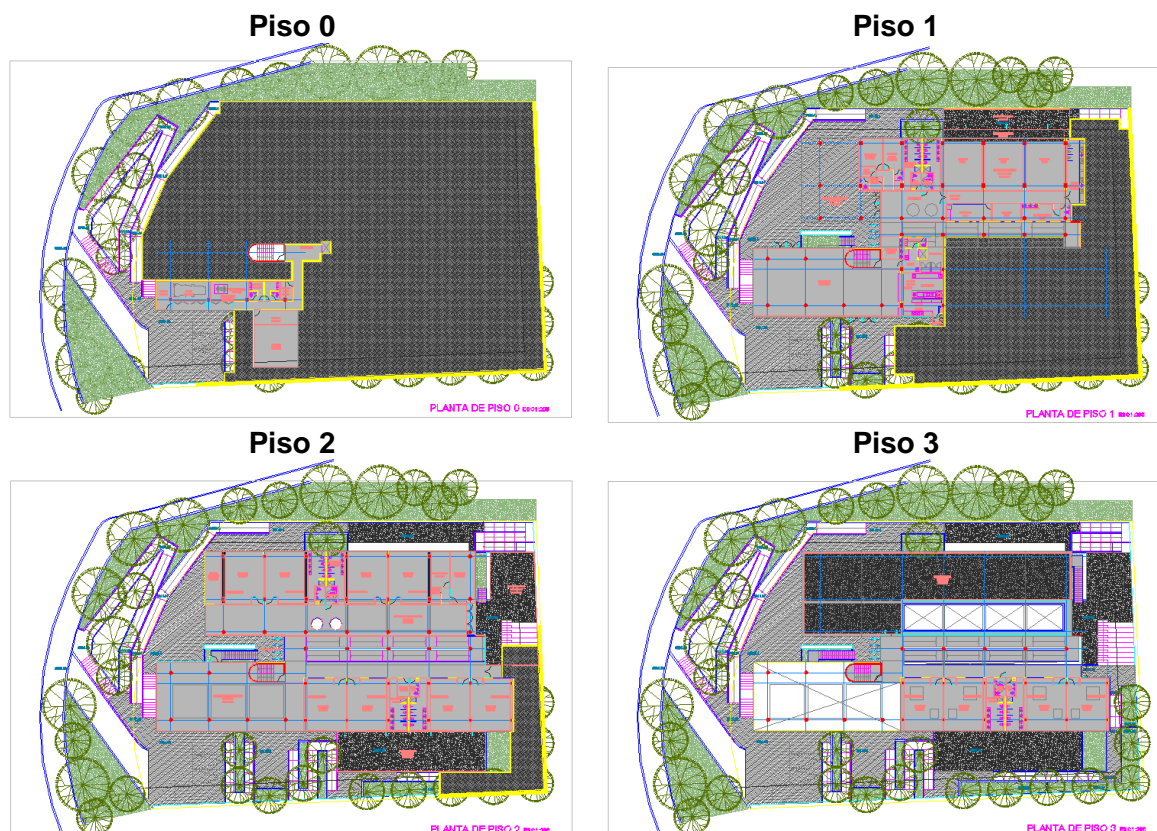


Y



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 11 de 70</b>


**Figura 3 Vista de las plantas del proyecto**



En el anexo planos se consigna el plano 3. Implantación Arquitectónica.

## 2 INFORMACIÓN DE REFERENCIA ESTUDIO FASE II (GEOCING SAS)

En el proyecto correspondiente al predio Arboleda Santa Teresita se propone la construcción de vivienda multifamiliar de 6 niveles, con un tipo de cimentación losa continua empotrada a 1.0 metros. El predio está ubicado en la localidad 4 de San Cristóbal, en Bogotá D.C, y tiene por dirección la Traversal 15 Este No. 61ª – 10 Sur, en un área bruta de 9.1 Há, ver la localización en la Ilustración 1. En el mapa de amenaza por remoción en masa del Plan de Ordenamiento Territorial - POT de Bogotá, el predio Arboleda Santa Teresita se localiza en una zona de amenaza media. Dada la categoría de amenaza por procesos de remoción en masa presente en las zonas de estudio, se requiere planear medidas de prevención o mitigación, bajo el marco normativo de la Resolución 227 de 2006.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 12 de 70</b>

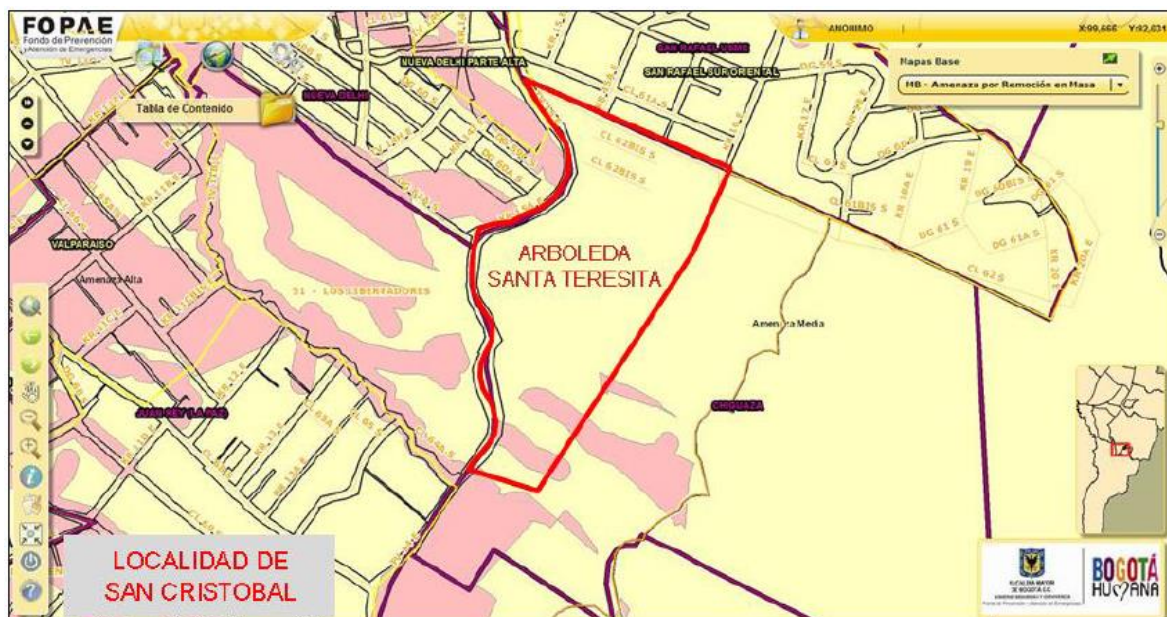


Ilustración 2. Localización general del Predio Santa Teresita, en el plano normativo de amenaza por remoción en masa del POT, definiendo una categoría de amenaza media y alta por fenómenos de remoción en masa. Tomado del portal [www.sire.gov.co-geoportal](http://www.sire.gov.co-geoportal) v2.

## 2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

### 2.1.1 Geología Regional

De acuerdo con los estudios geológicos regionales realizados hasta la fecha por INGEOMINAS (actualmente, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO), y especialmente lo efectuado en el año 1997, mapa geológico de la Sabana de Bogotá, escala 1:50.00, información que se toma como base de referencia principal, el sitio de estudio se encuentra localizado sobre rocas terciarias (Paleoceno superior Eoceno inferior), agrupadas en la Formación Bogotá (Tpb).

A continuación se presenta una descripción muy generalizada de la unidad geológica regional sobre el que se encuentra ubicado el sitio de estudio.

#### Estratigrafía

##### Formación Bogotá (Tpb)

Las rocas de la Formación Bogotá están conformadas principalmente por limolitas y arcillolitas intercaladas con niveles de areniscas (localmente con estratificación cruzada). Generalmente son descritos como intervalos granodecrecientes, desde areniscas de grano medio a fino a limolitas y arcillolitas.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>		
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>	
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 13 de 70</b>	

### **Depósitos aluviales Torrenciales (DA)**

Este estrato corresponde a los materiales de tamaño variado, desde grava hasta bloques de gran tamaño en matriz arena limosa de color rojizo.

### **Suelo Residual (Sr)**

Comprende la capa de suelo más la zona de alteración del sustrato perteneciente a la Formación Bogotá. La zona de alteración está constituida por arcillas y limo arcillosos, localmente con niveles arenosos. Su espesor varía entre 0.5m y 2m.

### **Suelo Antrópico (Sa)**

Corresponde a suelos superficiales dispuestos por el hombre, conformados por materiales heterogéneos con texturas entre arcillas, limos y arenas. Se localiza de manera generalizada en el lote; sin embargo en la geología de detalle no se cartografía a nivel superficial, teniendo en cuenta su bajo espesor.

### **Relleno Ingenieril (Ri)**

Corresponde a los materiales seleccionados para conformar la estructura de pavimento, base y subbase, dicha unidad se localizó en la vía principal (Transversal 15AE)

## **2.1.2 Geología Local o de Detalle**


Para el desarrollo del estudio, se llevó a cabo el levantamiento cartográfico de las unidades rocosas y de suelos aflorantes en el área de investigación, al igual que los elementos geomorfológicos, a escala de detalle (1: 1'000) y su caracterización correspondiente.

De acuerdo con los reconocimientos de campo, los materiales presentes en el sitio para su cartografía y caracterización con propósitos ingenieriles se han denominado como Unidades Geológicas Superficiales, para lo cual se clasificaron en unidades de suelos y unidades de rocas.

Una Unidad Geológica Superficial (Hermelín, 1987): se denomina al conjunto de materiales rocosos con características y propiedades geomecánicas propias que conforman la superficie de los terrenos hasta profundidades en que estos materiales cambian sus características. Estas unidades superficiales incluyen: rocas con diferentes grados de meteorización y fracturamiento, suelos residuales y depósitos inconsolidados (de origen aluvial, coluvial antiguos y recientes y antrópicos, etc).

### **Investigaciones del subsuelo**

Con el fin de obtener la mayor información sobre las características geológicas de los materiales geológicos del sector de estudio como son, características litológicas, espesores entre otras, se realizaron investigaciones del subsuelo como sondeos mecánicos y ensayos con piezocono CPTu. Además de la exploración directa, en el área de estudio se realizaron dos líneas de refracción sísmica.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 14 de 70</b>

### **Caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales.**

En la zona de estudio se distinguieron materiales distintos que se clasificaron en unidades de suelo, unidades de depósitos cuaternarios y unidades de rocas.

Los materiales clasificados como suelos se dividen según su origen en: materiales antrópicos (Sa); rellenos ingenieriles (RI). Los materiales clasificados como depósitos cuaternario se dividen según su origen en: depósitos aluviales (DA); La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de dureza o resistencia, se clasificó en: rocas blandas (Rb).

En el plano de la geología local a escala 1:1'000, (mapa geológico), se muestran las unidades geológicas superficiales así como los perfiles geológicos para establecer la relación, posición estratigráfica y espesor de los materiales geológicos. En la tabla 5 se describen en forma resumida sus características generales. Igualmente, se presentan fotografías de campo para indicar sus condiciones y características geológicas.

A continuación se presenta la descripción de las unidades geológicas superficiales, en orden de más reciente a más antigua.

#### **Unidad de Suelos:**

##### **Depósitos Antrópicos (Sa).**

Corresponden a los materiales de desechos originados por las actividades de desarrollo urbanístico de los alrededores (vías, viviendas, etc). Son depósitos de moderada extensión y se encuentran a lo largo del camino de acceso y en los sectores con viviendas, cubriendo la parte superior de los terrenos. Son de composición heterogénea (tierra, materiales de escombros sólidos, etc.) y de acuerdo con las observaciones de campo presentan bajo espesor.

#### **Unidad de Depósitos Cuaternarios:**

##### **Depósitos cuaternarios aluviales-torrenciales (DA).**

Se hace referencia a depósitos constituidos por elementos de tamaño muy variado, desde grava hasta bloques en matriz arena limosa de color rojizo. La proporción entre matriz y clastos puede variar mucho. Estos depósitos se encuentran principalmente en el área de la quebrada del río Nueva Delhi y sus inmediatas cercanías y en parte apoyan directamente sobre el sustrato expuesto de la Formación Bogotá (unidad de roca blanda). También se pueden encontrar alrededor de los otros ríos y riachuelos presentes en el área pero son depósitos de extensión muy limitada (no cartografiables).

##### **Suelo residual de la Formación Bogotá (Sr)**

Se hace referencia a la capa de suelo más la zona de alteración del sustrato perteneciente a la Formación Bogotá. Su espesor varía en general entre 0.5m y 2m.



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 15 de 70</b>

**Relleno Ingenieril (Sr).** Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, componentes de las capas base y sub-base para la construcción de las obras ingenieriles del desarrollo urbanístico, (viviendas, vías de acceso, entre otros), constituidos por gravas, arenas y limos, de espesor variable.

En el área de estudio de Santa Teresita el relleno ingenieril hace alusión a la vía principal (Transversal 15AE). Mientras que los caminos de acceso están hechos con material antrópico heterogéneo que resulta ser ligeramente compactado por el tránsito esporádico de vehículos.

#### **Unidad de Rocas**

Tomando como referencia el Mapa geológico de la Sabana de Bogotá, Escala 1:50.00 del año 1997, la unidad de rocas presentes en el área y sus alrededores corresponden a materiales agrupados en la Formación Bogotá (Tpb), y clasificados como rocas blandas (Rb). De acuerdo con los reconocimientos de campo, en el área de estudio dicha unidad aflora solo en el límite sur-oriental del área estudiada. En ese afloramiento, de origen antrópico, (excavación por camino) se puede observar, bajo el Suelo residual (Sr), un nivel de arena fina rojiza levemente cementada y, en posición más baja, arcilla color café claro.

Los datos de perforaciones, juntos con las observaciones de campo, indican que esta unidad está constituida en su parte más superficial por materiales finos cuales arcillas, arcillas limosas y limos de color muy variable, generalmente café claro a oscuro, localmente amarillo a gris claro. Se observa también la presencia de niveles arenosos de color rojizo, localmente blanco.

Los datos de las perforaciones también indican que a más profundidad (entre 6 y 15m) esta unidad está constituida por arcillolitas y limolitas con niveles de arenisca, aunque localmente se pueden encontrar estas litologías directamente bajo la capa de suelo residual (Sr). Los datos NSPT de las perforaciones indican que los materiales pertenecientes a esta formación, en profundidad, pueden ser clasificados como rocas de resistencia intermedia (Rbi)



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 16 de 70</b>

Tabla 5. Unidades Geológicas Superficiales

UNIDAD GEOLÓGICA BÁSICA/EDAD	UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL (Clase de Material)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Cuaternario	Depósitos Antrópicos (escombros)	Sa	Depósitos resultantes de los residuos procedentes del desarrollo de trabajos de explotación de fuentes de materiales y del desarrollo urbanístico de los alrededores del sitio; de composición heterogénea.
Cuaternario	Depósitos Aluviales Torrenciales	DA	Depósitos constituidos por elementos de tamaño muy variado, desde grava hasta bloques de gran tamaño en matriz arena limosa de color rojizo.
Cuaternario	Suelo Residual de la Formación Bogotá	Sr	Se trata de la capa de suelo más la zona de alteración del sustrato perteneciente a la Formación Bogotá. La zona de alteración está constituida por arcillas y limo arcillosos, localmente con niveles arenosos. Su espesor varía entre 0.5m y 2m.
TERCIARIO Formación Bogotá (Tpb)	Rocas de Resistencia Blanda	Rb	Arcillas, arcillas limosas y limos de color muy variable, generalmente café claro a oscuro, localmente amarillo a gris claro. Se observa también la presencia de niveles arenosos de color rojizo, localmente blanco.

#### Aspectos Sísmicos del Subsuelo:

Teniendo en cuenta la NSR-10, la zona de estudio se encuentra en una zona de amenaza sísmica INTERMEDIA; dados los trabajos de investigación del subsuelo, se puede catalogar el subsuelo en la zona de estudio como tipo C, al cual le corresponde los coeficientes de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos (Fa) y coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios (Fv) las cuales se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores del coeficiente Fv y Fa

Coeficiente	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$Aa \leq 0.1$	$Aa = 0.2$	$Aa = 0.3$	$Aa = 0.4$	$Aa \geq 0.2$
Fa	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Fv	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3

Fuente: NSR 2010

### 3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

#### 3.1 CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

La campaña de exploración geotécnica está comprendida por la realización de 3 Sondeos Mecánicos (S), 2 Sondeos Manuales (SM), 1 Trinchera (TR) y 3 Líneas de refracción Sísmica (LRS). En las siguientes fotografías se presenta la ejecución de la exploración geotécnica.

**Fotografía 2 Vista de ejecución de exploración geotécnica**



**S-1**



**S-2**



**S-3**



**S-4**





**S-5**



**TR-1**



**LRS-1**



**LRS-2**



LRS-3



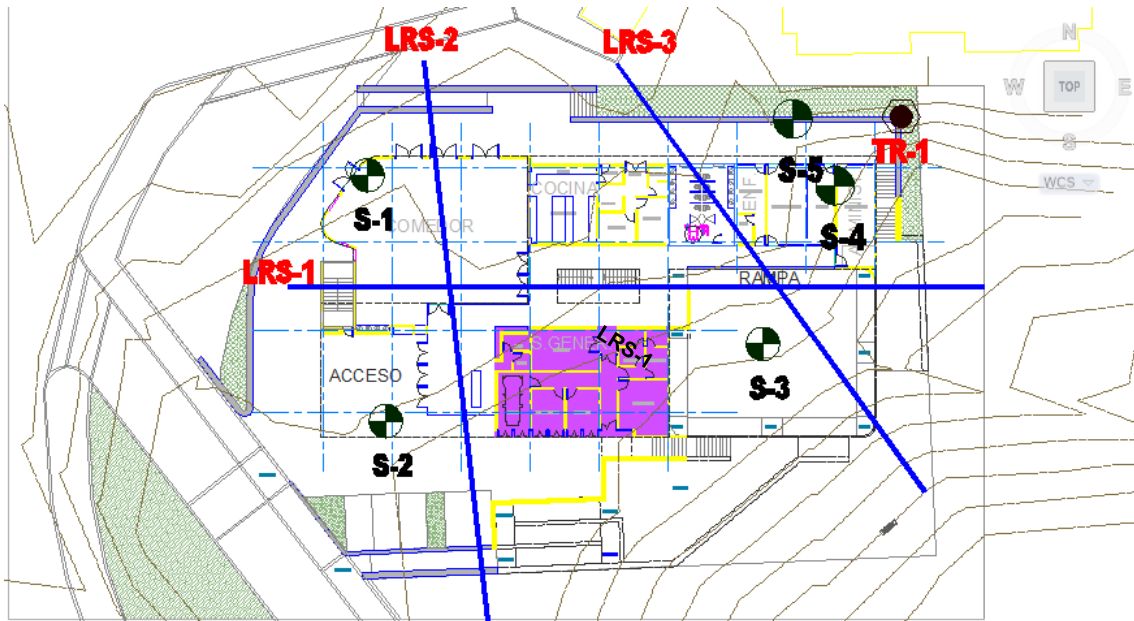
Equipo LRS

En el Anexo 1 se presentan los registros de exploración.

### 3.2 LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN

En la siguiente figura se presenta la ubicación de la exploración geotécnica:

**Figura 4 Ubicación de exploración geotécnica**



En el siguiente cuadro se presentan las coordenadas de la exploración geotécnica ejecutada:

**Cuadro 1 Coordenadas sondeos**

Sondeo	Prof (m)	Coordenadas	
		Norte (m)	Este (m)
S-01	11,3	92393,6	98972,5
S-02	10,2	92377,1	98955,7
S-03	15,4	92365,1	98974,3
SM-04	3,9	92367,6	99000,6
SM-05	1,3	92373,1	99008,6

**Cuadro 2 Coordenadas Trinchera**

Trinchera	Coordenadas	
	Norte (m)	Este (m)
TR-1	92368,174	99012,904

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 22 de 70</b>

**Cuadro 3 Coordenadas Líneas de Refracción Sísmica**

LRS	Coordenadas			
	Inicio		Fin	
	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)
LRS-1	92354,4	99013,7	92390,1	98969,9
LRS-2	92393,0	99001,0	92367,2	98955,7
LRS-3	92387,2	99002,0	92344,6	98999,5

### 3.3 CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA

#### 3.3.1 GENERALIDADES

Las líneas sísmicas proveen un método no invasivo de caracterización de geomateriales. Por ser un método no invasivo proveen una herramienta valiosa en términos de tiempo y costo para obtener información de alta calidad relacionada con la velocidad de propagación de ondas en el subsuelo.

El método sísmico identifica la geometría de las capas por medio de modelos de velocidad de ondas compresionales (P) basados en los tiempos de primeros arribos de estas ondas. Al viajar estas ondas por los diferentes estratos presentes se dispersa de energía, la cual es detectada por los geófonos en las líneas de adquisición, con esta información de forma indirecta es utilizada para caracterizar las velocidades de onda de corte (S) unidimensional en el perfil que se adquiere la información.

Particularmente el conocimiento de la velocidad de propagación de ondas de corte (Vs) en el subsuelo es un parámetro fundamental para poder determinar el comportamiento y respuesta de los geomateriales ante cargas dinámicas como sismos.

#### 3.3.2 Fundamento Teórico

##### 3.3.2.1 Dispersión de ondas superficiales

- Identificación de ondas Superficiales

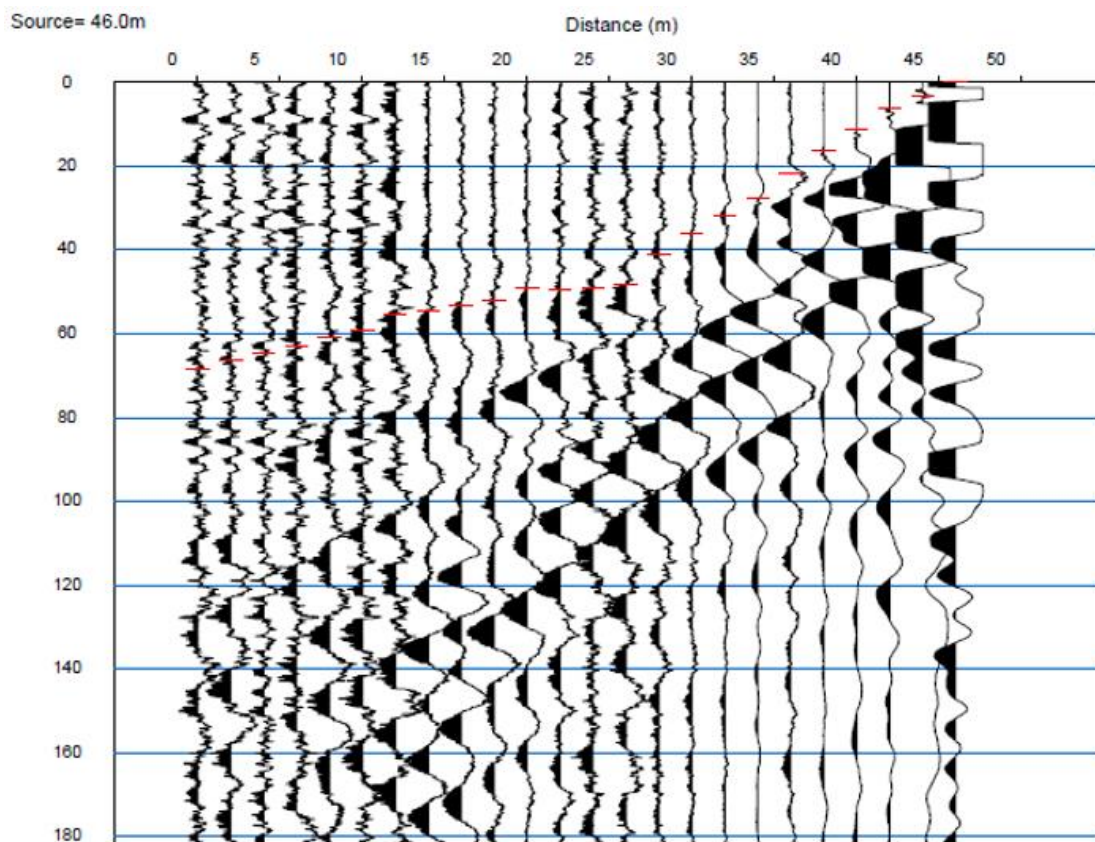
Perturbaciones producidas en la superficie del suelo generan diferentes tipos de ondas mecánicas. Si el pulso generado es un pulso donde se producen principalmente ondas de compresión. Más del 67% de la energía total imprimida al sistema se transfiere en la generación de ondas superficiales tipo Raleigh (Park, Miller, & Xia, 1999). El objetivo principal de la construcción de un arreglo con múltiples geófonos consiste en aprovechar esta energía producida por impactos y movimientos en superficie para producir ondas superficiales.



Una característica fundamental de las ondas superficiales tipo Raleigh es que son ondas dispersivas. La dispersividad de las ondas implica que para cada frecuencia existe una velocidad conocida como velocidad de fase. Esta propiedad de dispersividad de las ondas superficiales permite calcular la velocidad de onda de corte mediante la identificación del modo fundamental de las ondas superficiales.

Como se mencionó anteriormente, durante un impacto se generan diferentes tipos ondas, las cuales son registradas por geófonos dispuestos en un arreglo lineal y mostradas como un registro sísmico (Ver siguiente figura).

**Figura 5 Ondas producidas por un impacto en superficie**

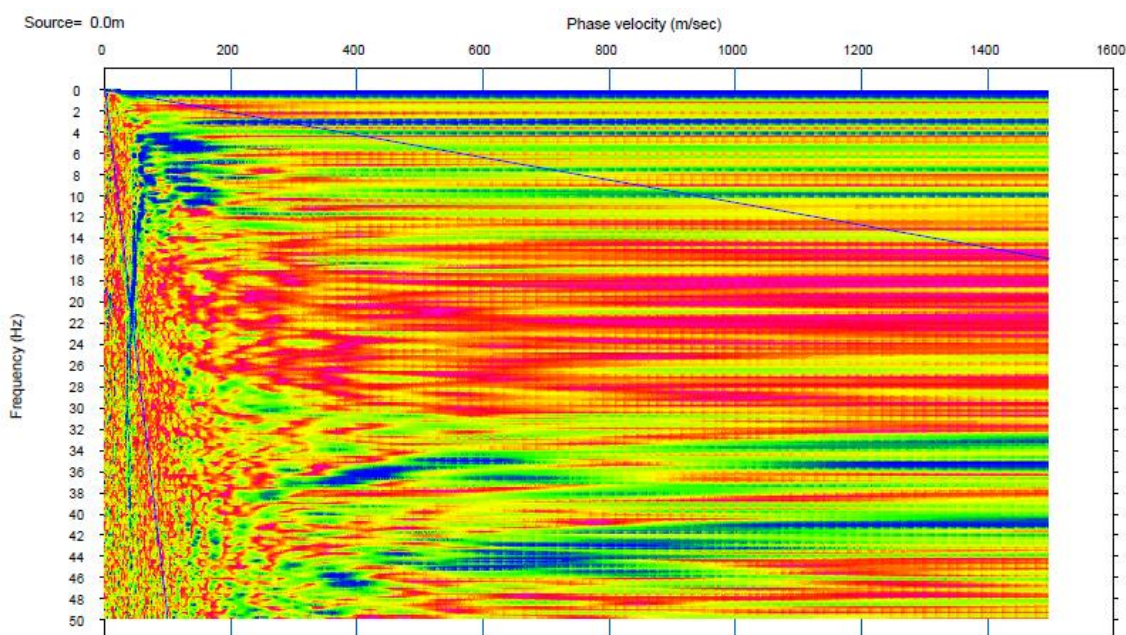


Con el fin de separar las ondas superficiales de otros tipos de ondas, se han desarrollado varias transformadas matemáticas entre las que se encuentran: F-K, SPAC, ESPAC y Tau-P entre otras. El objetivo principal de estas transformadas es convertir un registro de señales que se encuentra en el dominio del tiempo y transformarlo en otro dominio (Ejemplo: frecuencia) para poder separar el componente de interés del resto de la señal (ruido).

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 24 de 70</b>

El resultado de todos estos métodos es la construcción de un espectro de energía en el dominio de la Frecuencia vs. Velocidad de fase. (Ver Figura. 3) Las zonas de mayor concentración de energía (zonas azules) son las zonas donde las ondas superficiales poseen más intensidad.

**Figura 6 Espectro de energía**



Si bien las ondas superficiales se pueden presentar en diferentes modos distintos al fundamental, la estructura de la velocidad de onda de corte depende principalmente del modo fundamental. No obstante en perfiles muy heterogéneos con cambios abruptos en la velocidad de onda de corte, las ondas superficiales se pueden manifestar en modos superiores. Sin embargo, no existen actualmente modelos confiables que permitan diferenciar adecuadamente modos diferentes al modo fundamental y por lo tanto estos modelos no pueden ser tenidos en cuenta dentro de los análisis.

- Modelo de velocidad de onda de corte

Para modelar la velocidad de onda de corte en profundidad a partir de las ondas superficiales se debe identificar en el espectro de energía la curva de dispersión de las ondas superficiales en su modo fundamental. A partir de esta curva, se construye un modelo inicial de la variación de la estructura de la velocidad de onda de corte en profundidad. Debido a que el modelo inicial no reproduce adecuadamente la curva de dispersión de las ondas superficiales, se utiliza el programa SeisImager, el cual incorpora un algoritmo que encuentra la solución óptima que sea capaz de reproducir la curva de dispersión original con un el mínimo error posible.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 25 de 70</b>

Si bien diferentes modelos iniciales producirán diferentes modelos finales, los valores de velocidad de onda de corte se encuentran en un rango aproximado de  $\pm 15\%$  del valor real de la velocidad de onda de corte (Park, Miller, & Xia, 1999). No obstante la no unicidad de la solución dada por el proceso de inversión es una limitación inherente de los análisis de ondas superficiales. Por esta razón se debe tener cuidado al utilizar esta técnica para definir contactos entre materiales, dado que los errores pueden ser considerables.

### 3.3.3 Refracción de ondas

- Refracción sísmica, descripción general

Cuando se hacen trabajo de refracción sísmica el objetivo principal es el registro y posterior identificación de la llegada de las primeras ondas que provienen de la energía sísmica, ondas de compresión, comúnmente denominadas Ondas P. La velocidad con la que viajan estas ondas es menor cuando se tratan de formaciones de suelos blandos, y esta velocidad de propagación tiende a aumentar con la profundidad, a medida que se va encontrando el suelo residual y posteriormente la roca sana. Mediante el método de refracción sísmica las velocidades y espesores de los estratos son determinados a partir de los tiempos que emplea la onda refractada en viajar entre la fuente emisora y la fuente receptora, que se encuentran ubicadas sobre la superficie.

- Procedimiento

El principal interés de la sísmica de refracción radica en la obtención de un modelo del subsuelo, a través del cálculo de velocidades en profundidad de las superficies refractoras. Para lograr este objetivo se siguieron los siguientes pasos: la selección de las primeras llegadas de los registros, construcción de curvas camino-tiempo y cálculo de velocidades.

Seismager es el paquete de computación generado por Geometrics, casa que elaboró los equipos de adquisición usados para este proyecto. Está conformado por cuatro módulos que sirven para analizar datos de refracción. Estos módulos se llaman Pickwin, Plotrefa, WaveEq, Geoplot y son los módulos que conforman el programa Seismager/2D. Para el desarrollo de este trabajo se usó el módulo Plotrefa.

Los datos adquiridos en campo se procesaron inicialmente para el picado de primeros arribos. Se muestra el despliegue de un registro conformado por 24 trazas perteneciente al perfil parte superior. Las líneas rojas representan la selección de las primeras llegadas realizada de manera manual para el disparo en la posición 46 m.

A partir de los archivos de los picados de primeros arribos pertenecientes a cada disparo se obtuvo las domocronas, cada línea representa los primeros arribos de la onda a

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 26 de 70</b>

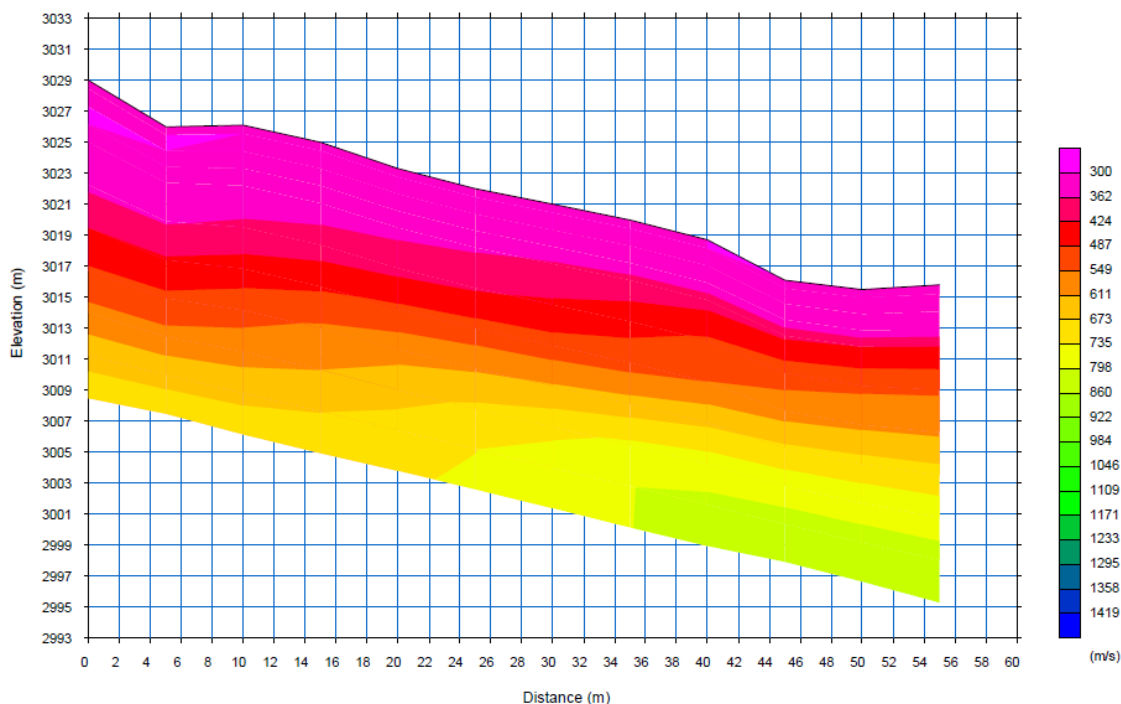
través del subsuelo, dependiendo del lugar en donde se haya realizado el golpe con el martillo y la posición de los geófonos en el tendido.

Una vez realizada la selección de los primeros arribos, el módulo Plotrefa, lleva a cabo la inversión sísmica de los datos y de esta manera generar el modelo de capas. Para llevar a cabo el método de tomografía de refracción sísmica, resulto necesario generar un modelo de velocidades inicial a través del cual se rastrean los rayos de manera iterativa a través de éste y se comparan el tiempo de viaje calculado con el tiempo de viaje observado, modificando así el modelo hasta minimizar el error entre los datos observados y los calculados. El objetivo de realizar la tomografía en el programa Seismager es conseguir el mínimo tiempo de viaje entre la fuente y el receptor para cada par fuente- receptor. La resolución se realiza a través de un planteamiento aproximado del problema y una ecuación para los tiempos de viaje.

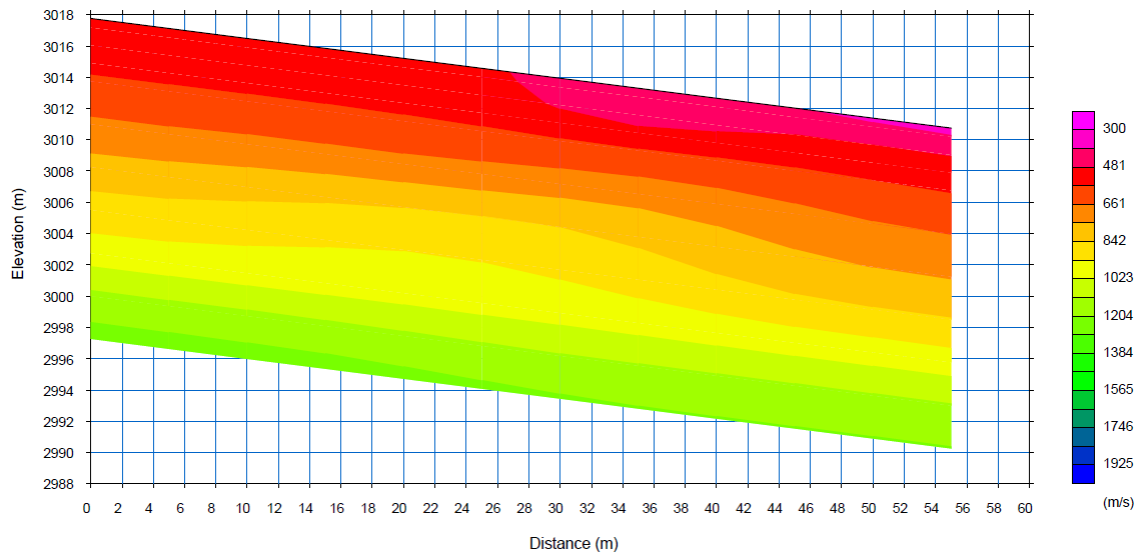
### 3.3.4 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la interpretación de los datos adquiridos en campo mediante el ensayo de refracción sísmica.

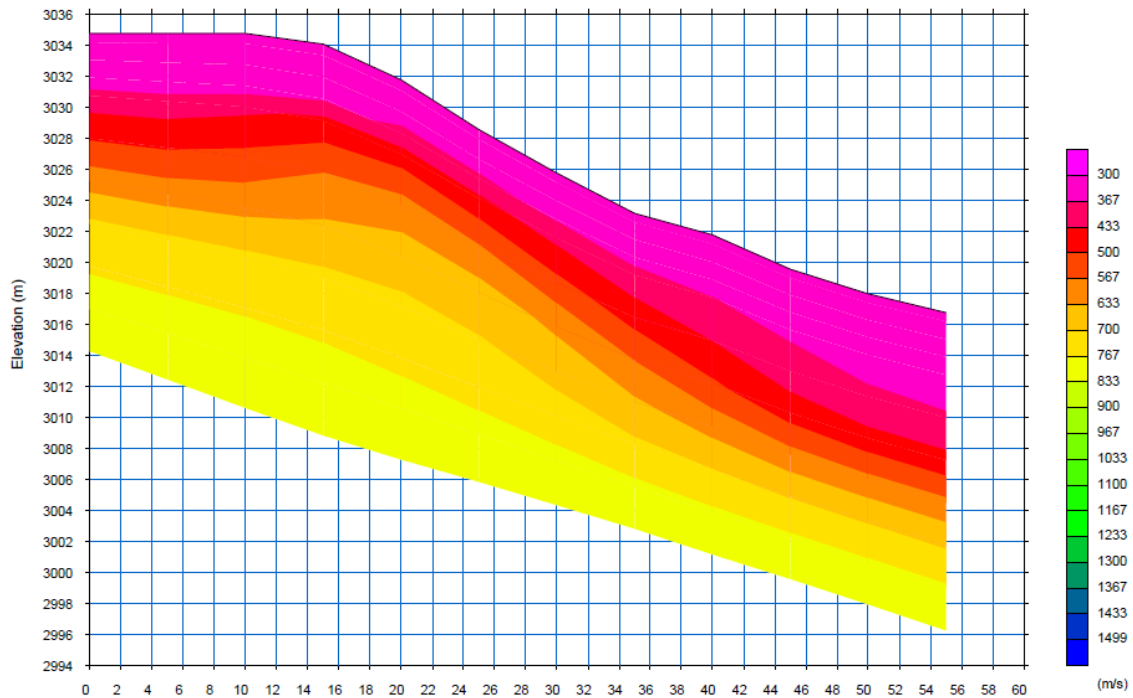
**Figura 7 Perfil LRS - 1**



**Figura 8 Perfil LRS - 2**



**Figura 9 Perfil LRS - 3**






**Cuadro 4 Análisis de Vs a partir de Vp**

Profundidad (m)	Espesor (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ponderado Vs (m/s)
3012,9	0,6	405,7	216,86	124,26
3012,3	1,1	432,1	230,98	264,70
3011,1	1,1	474,3	253,54	290,50
3010,0	1,1	521,9	278,97	319,69
3008,8	2,8	635,1	339,47	933,63
3006,1	2,8	795,8	425,35	1169,82
3003,3	2,8	825,3	441,12	1213,20
3000,6	2,8	934,5	499,49	1373,59
2997,8	2,8	1032,5	551,87	1517,79
			<b>ΣVs</b>	<b>7207,19</b>
			<b>Vs (m/s)</b>	<b>405,77</b>
			<b>T (seg)</b>	<b>0,18</b>

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis realizado se tiene que el valor de onda cortante es **Vs = 405 m/s** y un tiempo de concentración **T=0,18 seg.**

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 29 de 70

### 3.4 DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Para la definición del perfil en primera medida se realiza una comparación entre la topografía inicial del predio y la topografía actual del mismo. En la siguientes figuras se presenta la comparación en donde es evidente la depositación del relleno de escombros sobre el área del predio en estudio, en color rojo se presenta la topografía inicial y en color azul la topografía actual.

Figura 10 Planta general topografía inicial y actual

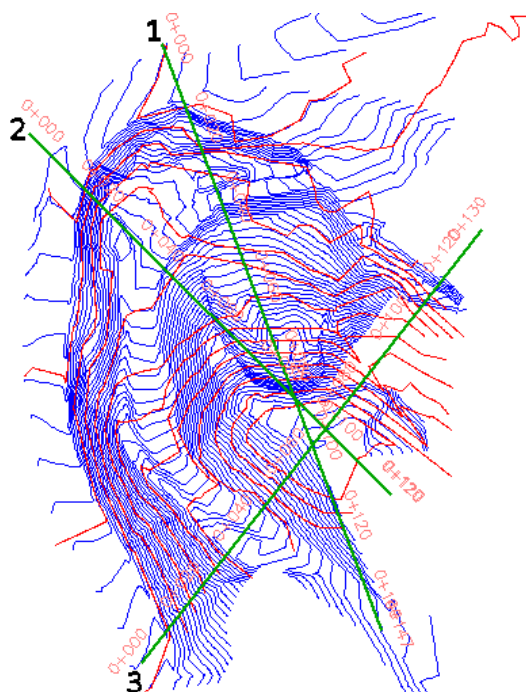
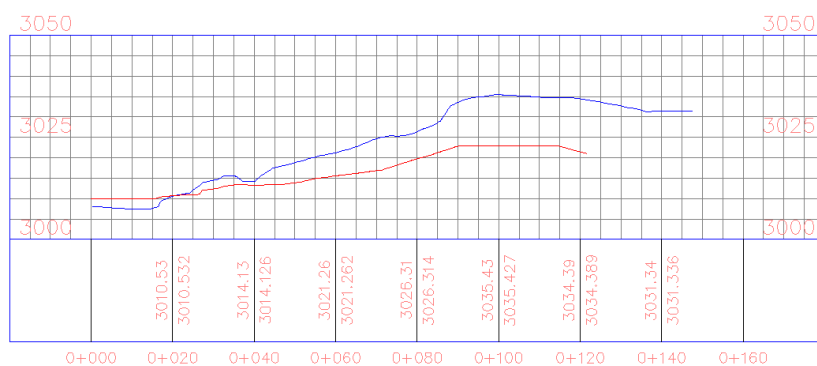


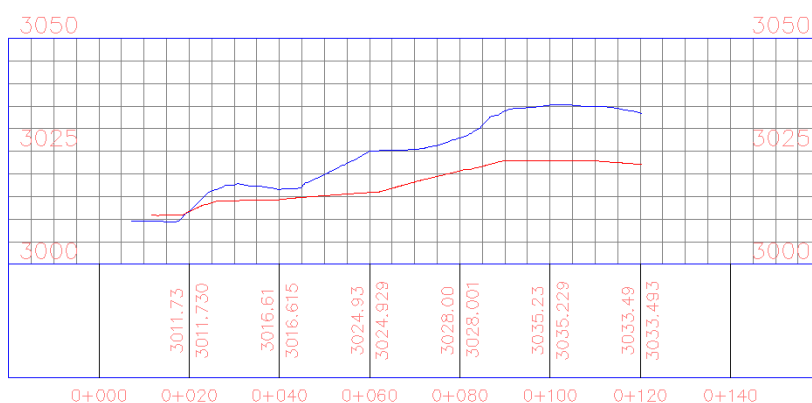
Figura 11 Sección 1



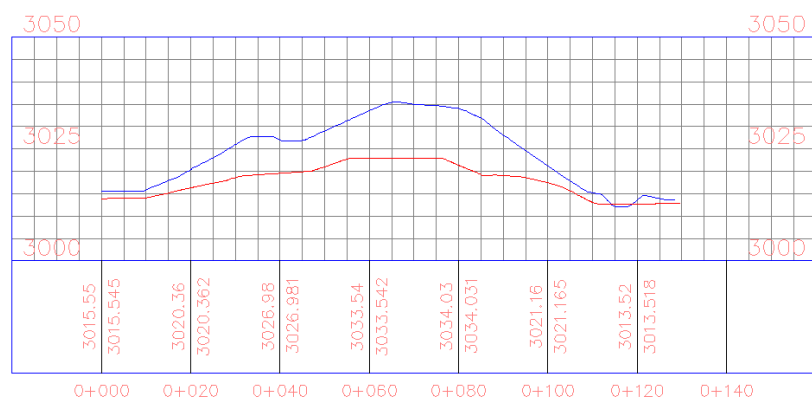


	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 30 de 70</b>

**Figura 12 Sección 2**



**Figura 13 Sección 3**



A continuación se describen los materiales encontrados durante la exploración geotécnica:

**Depósito con Escombros:** Se observa una capa de arcilla algo arenosa de color habano rojizo con algunas trazas grises y amarillentas, con presencia de gravas, fragmentos de ladrillo y material orgánico en algunos casos, de humedad media y debido a su conformación o depositación antrópica este material se encuentra suelto. Esta capa se encuentra desde el nivel superficial y cuenta con unos espesores del orden de 12 m en la parte superior y entre 6 a 7 metros de espesor en la zona de la ladera del proyecto. En las siguientes fotografías se presenta el material muestreado.

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 31 de 70

Fotografía 3 Depósito con Escombros



**Suelo Residual - Formación Bogotá (Sr-Tpb):** Se observa una capa de arcilla algo arenosa de color rojizo con trazas de color habano, de humedad media y con presencia de gravas de tamaño menor a 1". En las siguientes fotografías se presenta el material muestreado.

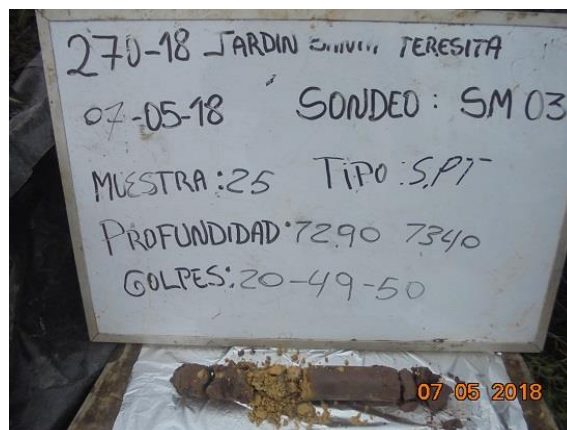
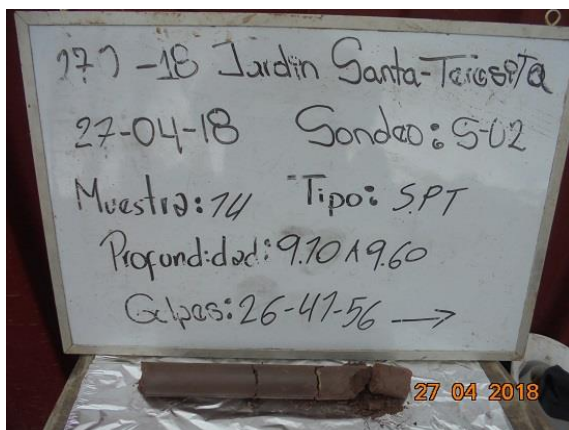
Fotografía 4 Suelo Residual - Formación Bogotá



**Saprolito - Formación Bogotá (Sr-Tpb):** Se observa un material conformado por arcillas muy firmes de color rojizo con lentes de arena de grano fino y de color grisáceo, de humedad media a baja, muy similar a la capa suprayacente pero con mayor resistencia. En las siguientes fotografías se presenta el material muestreado.

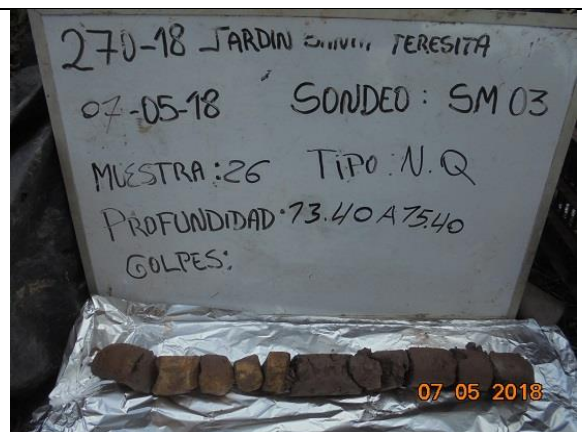
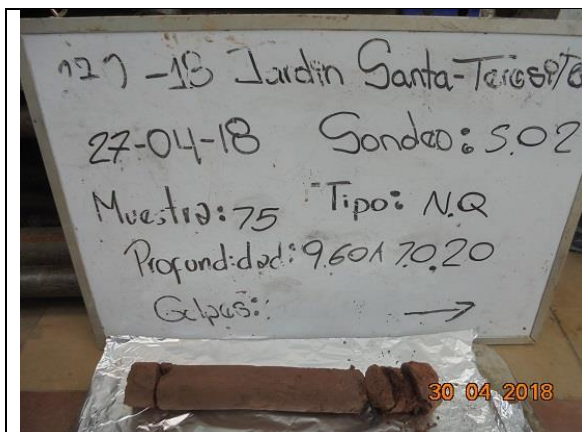
	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 32 de 70</b>

**Fotografía 5 Saprolito - Formación Bogotá**




**Formación Bogotá (Tpb):** Se barrena sobre roca tipo arcillolita de color rojizo con algunas intercalaciones de arenisca de color habano y grisáceo. En las siguientes fotografías se presenta el material muestreado.

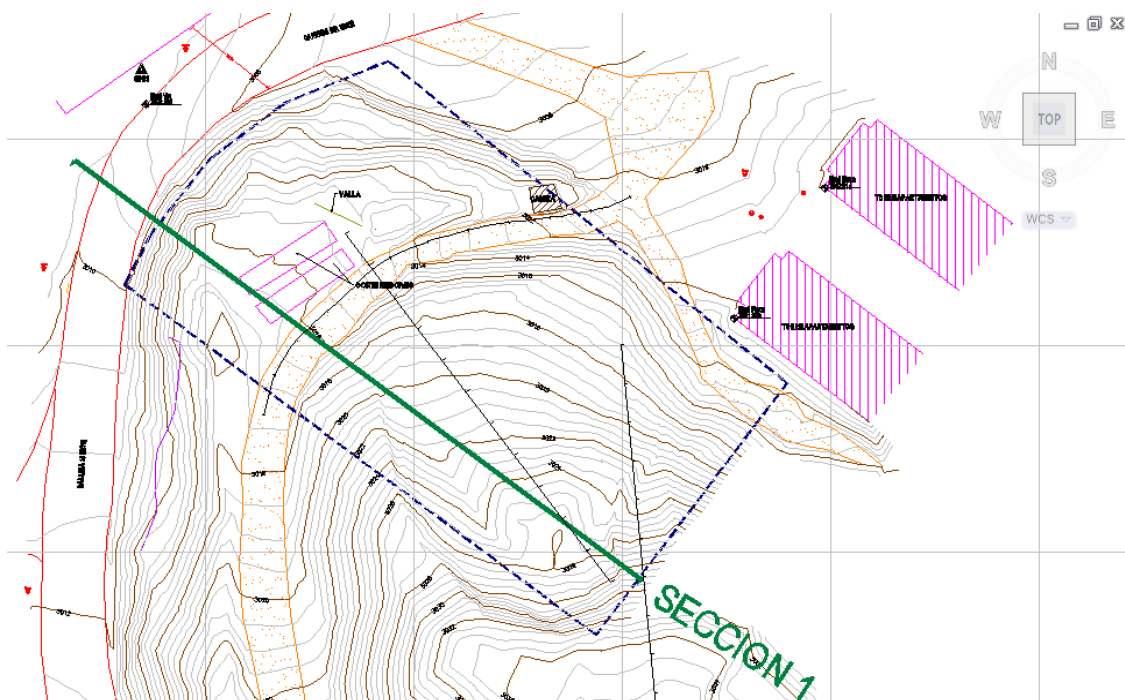
**Fotografía 6 Formación Bogotá**



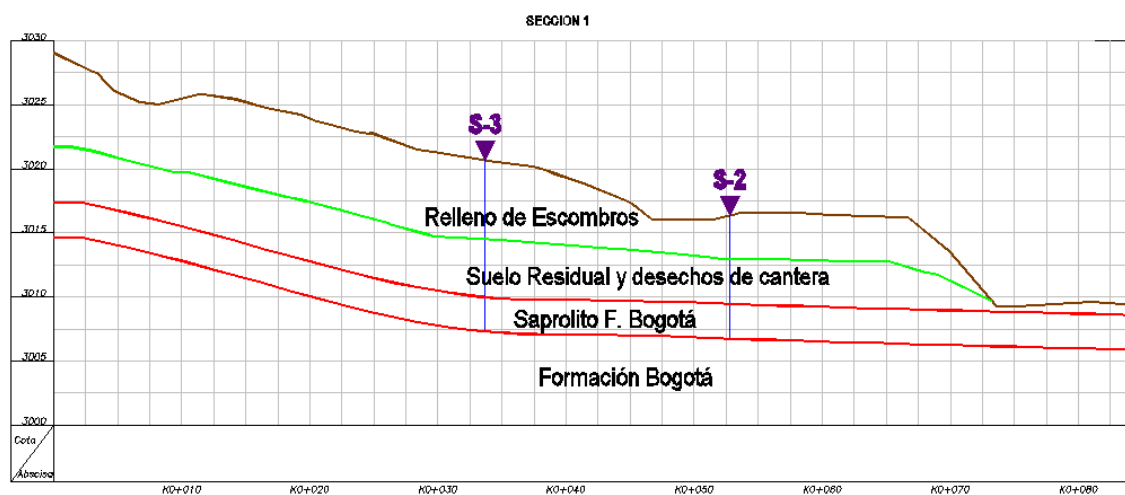
A continuación se presenta el perfil estratigráfico definido a partir de los resultados de la exploración geotécnica directa e indirecta:

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 33 de 70</b>

**Figura 14 Ubicación en planta de la sección 1**



**Figura 15 Sección 1 Perfil Estratigráfico**



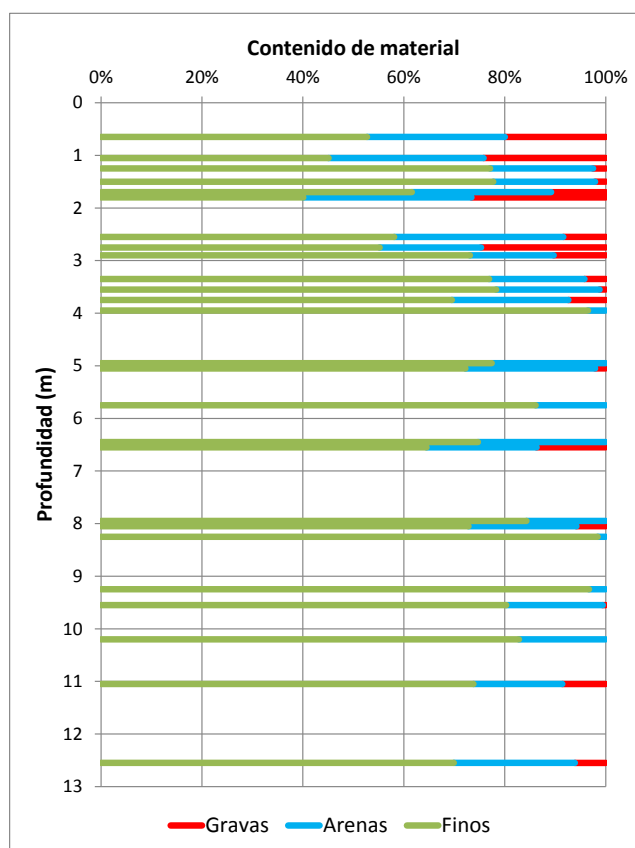
	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 34 de 70

### 3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

#### 3.5.1 Contenido de Material

De acuerdo con los resultados del ensayo de Lavado sobre Tamiz 200, tenemos un predominio de contenido de finos con un 73% seguido por el contenido de arenas con un 20 % y por último y en menor proporción se encuentran las gravas con una proporción del 7 %. Como se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 16 Contenido de Material

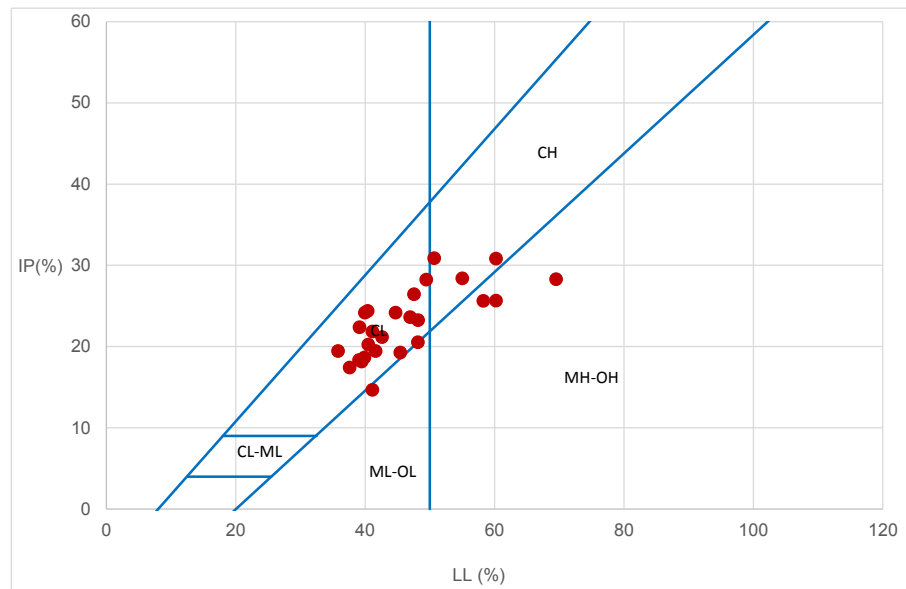


#### 3.5.2 Límites de Atterberg

De acuerdo con la carta de plasticidad, los materiales encontrados se clasifican como Arcilla de baja a media plasticidad. Como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 17 Carta de Plasticidad**



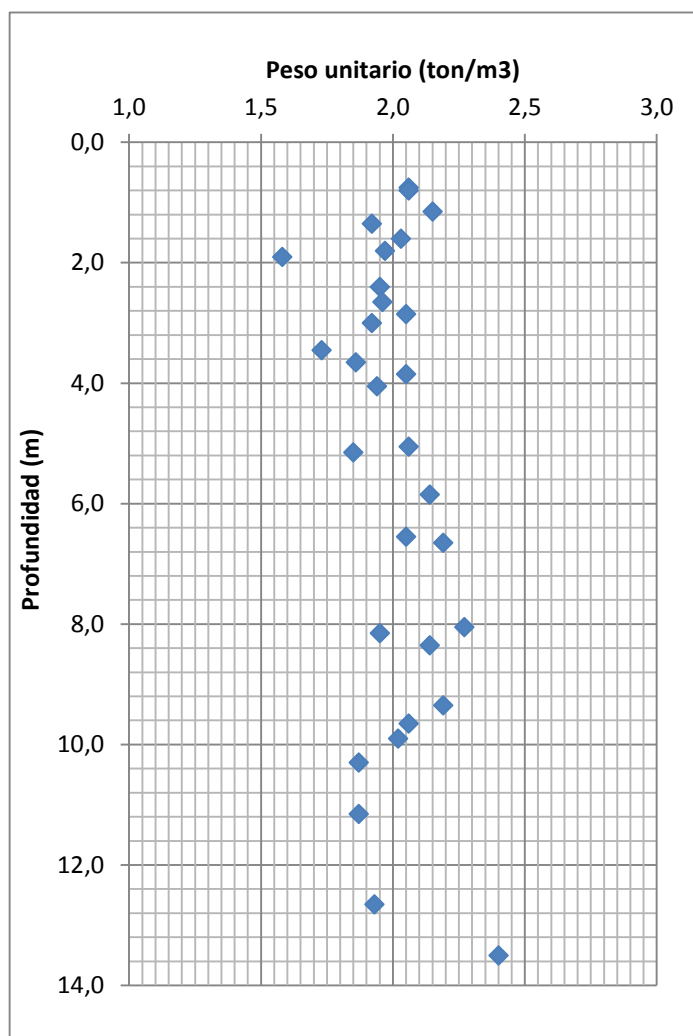
### 3.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

#### 3.6.1 Peso Unitario

En la siguiente figura se presentan los resultados de peso unitario parafinado de acuerdo con la profundidad de la muestra ensayada:

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 36 de 70

**Figura 18 Peso Unitario Vs Profundidad**



A lo largo del perfil se puede observar que el peso unitario no varía de manera significativa, a continuación se presentan los resultados obtenidos:

- Relleno con Escombros  $\gamma = 1,93 \text{ ton/m}^3$
- Suelo residual  $\gamma = 2,02 \text{ ton/m}^3$
- Saprolito  $\gamma = 2,20 \text{ ton/m}^3$
- Formación Bogotá (Arcillolita)  $\gamma = 2,38 \text{ ton/m}^3$

### 3.6.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 37 de 70</b>

Para tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, los resultados de campo del ensayo de penetración estándar se corrigieron de acuerdo con la siguiente expresión:

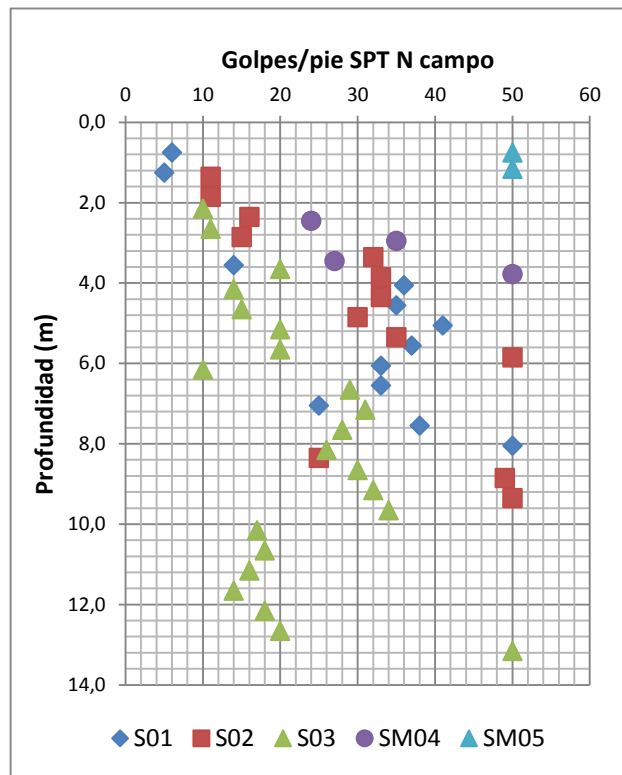
$$N'_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

En donde:

- $N'_i$ : Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía i.
- $C_N$ : Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático,  $\sigma'_v$ . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff-Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Seed-Isdriss, Schmertmann y A. González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2. Estos valores posteriormente se promediaron.
- $\eta_1$ : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al tomar muestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.
- $\eta_2$ : Factor de corrección por longitud del varillaje.
- $\eta_3$ : Factor de corrección por presencia de retenedor. Debido a que no se utilizó, el factor de corrección es 1.0.
- $\eta_4$ : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 0,12 m, por lo cual el factor de corrección es 1.0.

En la figura siguiente se presentan los valores de N de campo con la profundidad:

**Figura 19 Valor de N de campo con la profundidad**




Fuente: Elaboración Propia

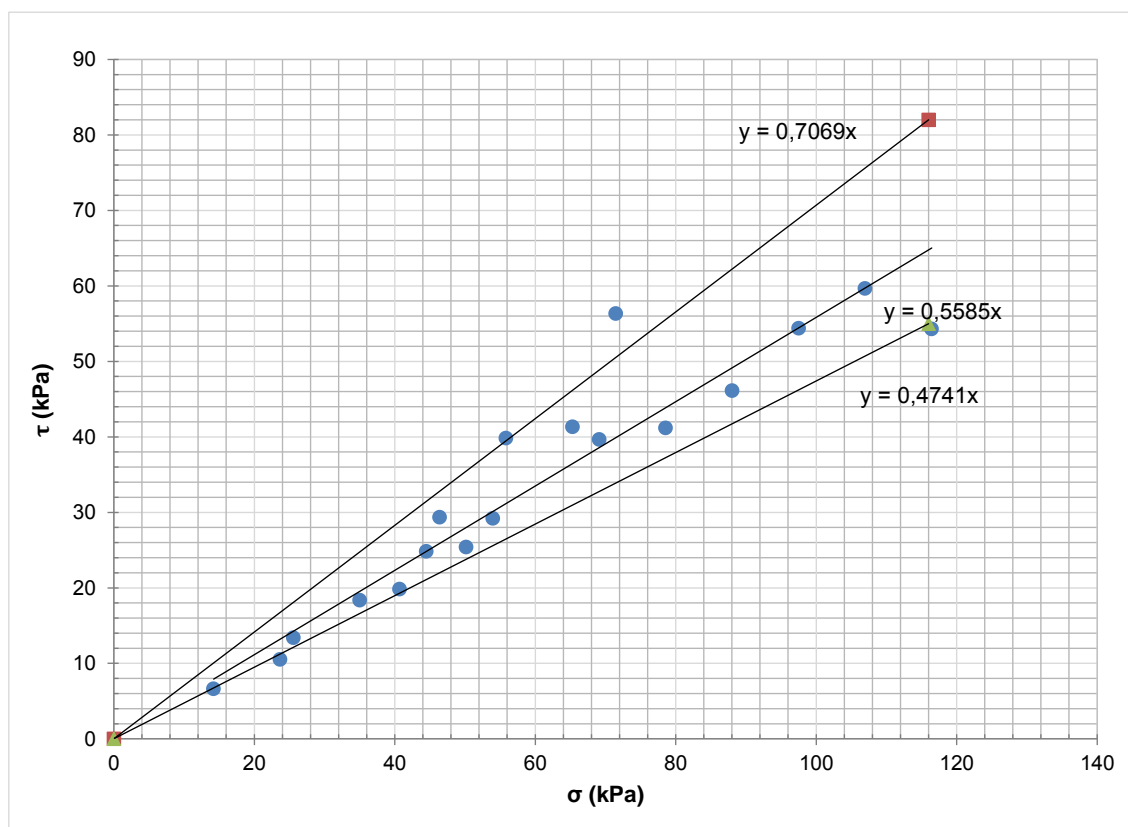
Finalmente, se estimaron los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  para cada material siguiendo la metodología propuesta por González, A. J. (1999) que consiste en graficar puntos ( $\sigma_v'$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr -Coulomb, donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical  $\delta v'$ , se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geoestático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo,  $\tau$ , se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

Para los materiales encontrados en los sondeos se realiza la correspondiente normalización de los datos anteriores para determinar parámetros de cohesión y ángulo de fricción.

El análisis de la normalización del N de campo para cada uno de los materiales encontrados se presenta a continuación:

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 39 de 70

**Figura 20 Normalización de N Rellenos con escombros**



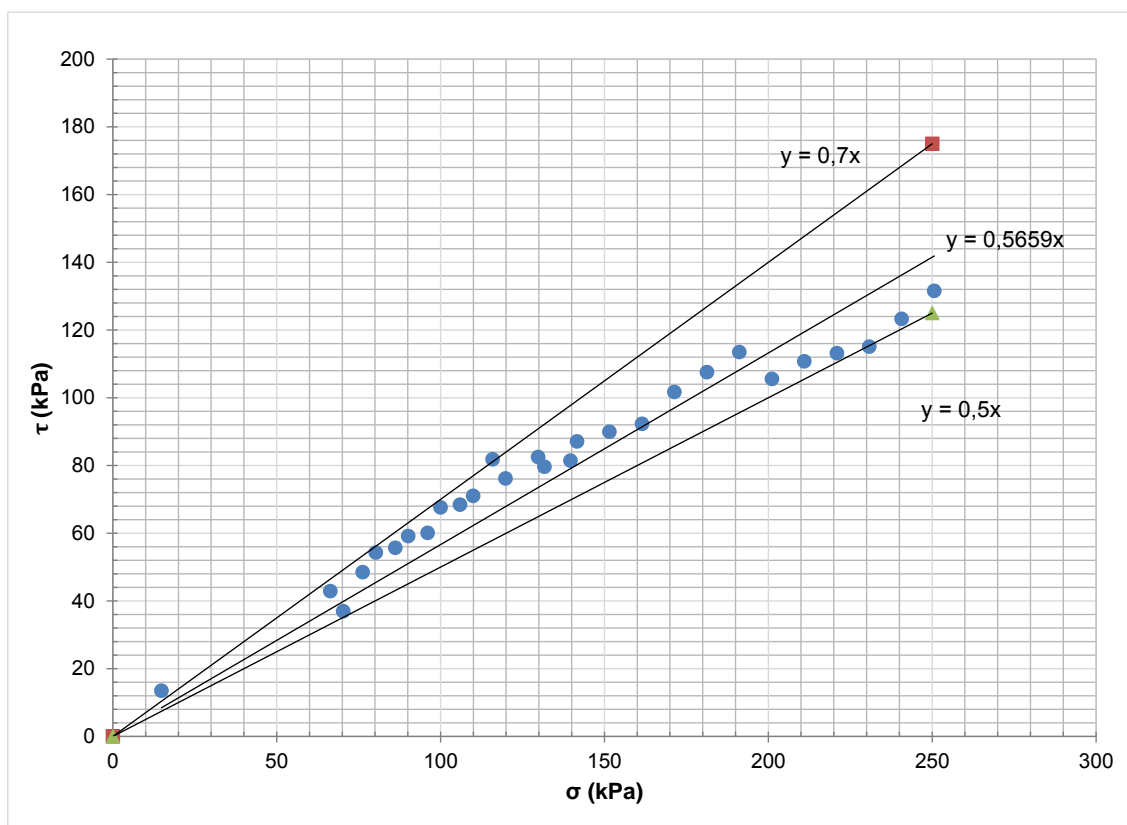
Los valores obtenidos con la normalización del valor de N para Suelo Residual son los siguientes:

**Cuadro 5 Resultados de  $\Phi$  para Rellenos con escombros**

Tendencia	c (ton/m <sup>2</sup> )	m	phi (°)
Promedio	0,0	0,559	29
Máximo	0,0	0,707	35
Mínimo	0,0	0,474	25

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 40 de 70

Figura 21 Normalización de N Suelo Residual y desechos de cantera



Los valores obtenidos con la normalización del valor de N para Relleno con Estériles son los siguientes:

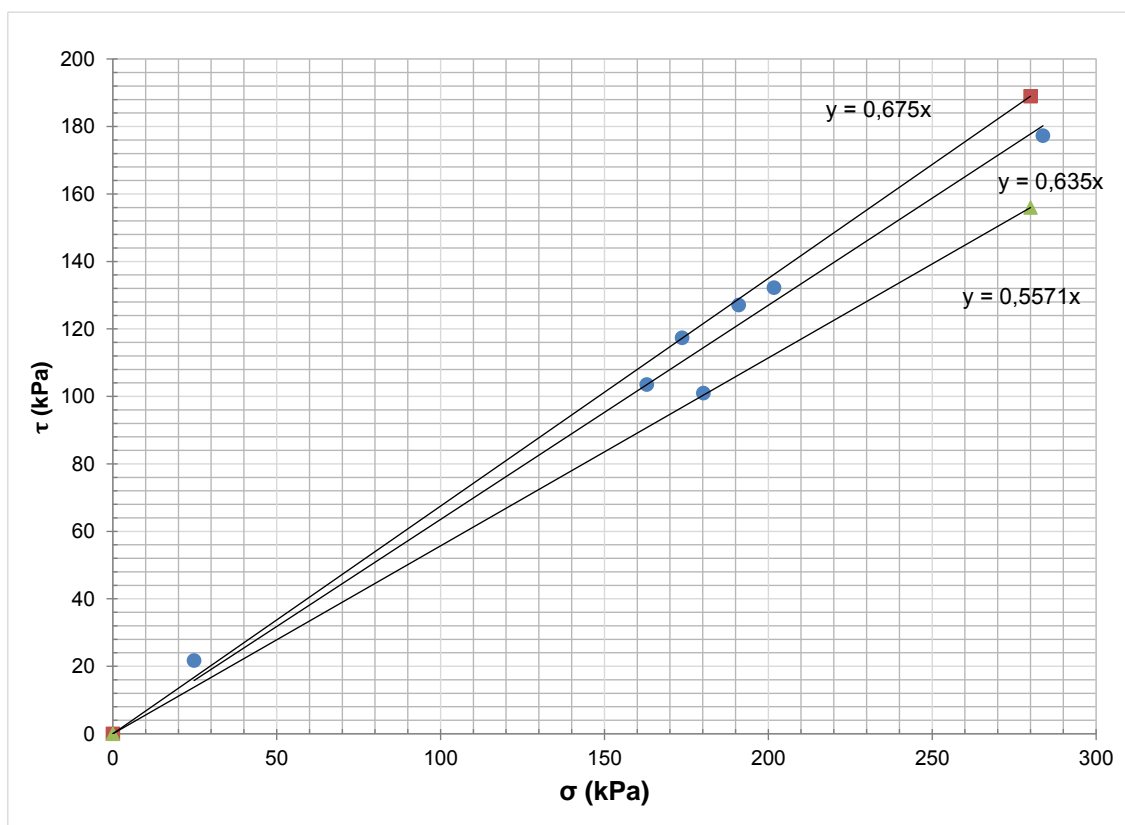
Cuadro 6 Resultados de  $\Phi$  Suelo Residual y desechos de cantera

Tendencia	c (ton/m <sup>2</sup> )	m	phi (°)
Promedio	0,0	0,566	30
Máximo	0,0	0,700	35
Mínimo	0,0	0,500	27



	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 41 de 70

Figura 22 Normalización de N Sapolito



Los valores obtenidos con la normalización del valor de N para Relleno con Estériles son los siguientes:

Cuadro 7 Resultados de  $\Phi$  Sapolito

Tendencia	c (ton/m <sup>2</sup> )	m	phi (°)
Promedio	0,0	0,566	32
Máximo	0,0	0,700	34
Mínimo	0,0	0,500	29

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, se tiene los siguientes valores de ángulo de fricción:

- **Relleno con Escombros**  $\phi = 29^\circ$
- **Suelo Residual**  $\phi = 30^\circ$
- **Sapolito Formación Bogotá**  $\phi = 32^\circ$

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 42 de 70</b>

### 3.6.3 Resistencia al Corte

La resistencia al esfuerzo cortante en condición no drenada del suelo se obtuvo de correlaciones del ensayo de penetración estándar utilizando la siguiente expresión, propuesta por Stroud, 1949.

$$C_u = 4.4 \times N_{60}/100$$

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el material correspondiente a Rellenos con Escombros:

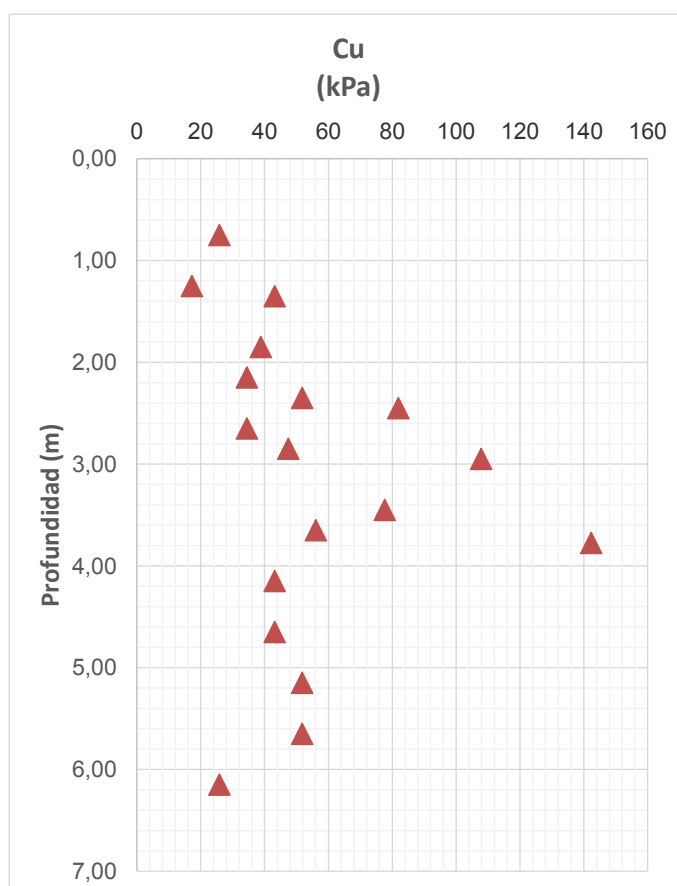
**Cuadro 8 Resistencia no drenada del suelo Rellenos con escombros**

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)		Cu(kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (kPa)
		de	a		
S01	1	0,50	1,00	0,264	25,9
S01	2	1,00	1,50	0,176	17,2
S02	2	1,10	1,60	0,44	43,1
S02	3	1,60	2,10	0,396	38,8
S02	---	2,10	2,60	0,528	51,7
S02	4	2,60	3,10	0,484	47,4
S03	3	1,90	2,40	0,352	34,5
S03	4	2,40	2,90	0,352	34,5
S03	6	3,40	3,90	0,572	56,1
S03	7	3,90	4,40	0,44	43,1
S03	8	4,40	4,90	0,44	43,1
S03	9	4,90	5,40	0,528	51,7
S03	10	5,40	5,90	0,528	51,7
S03	11	5,90	6,40	0,264	25,9
SM04	3	2,20	2,70	0,836	81,9
SM04	4	2,70	3,20	1,1	107,8
SM04	5	3,20	3,70	0,792	77,6
SM04	6	3,70	3,85	1,452	142,3

Los valores presentados en el cuadro anterior se presentan en la siguiente figura:

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 43 de 70

**Figura 23 Resistencia no drenada del suelo Rellenos con escombros**



A continuación se presentan los resultados obtenidos para el material correspondiente a Suelos Residuales:

**Cuadro 9 Resistencia no drenada Suelo Residual**

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)		Cu(kg/cm²)	Cu (kPa)
		de	a		
S01	6	3,30	3,80	0,396	38,8
S01	7	3,80	4,30	1,1	107,8
S01	8	4,30	4,80	1,012	99,2
S01	9	4,80	5,30	1,144	112,1
S01	10	5,30	5,80	0,968	94,9
S01	11	5,80	6,30	0,924	90,6
S01	12	6,30	6,80	0,88	86,2

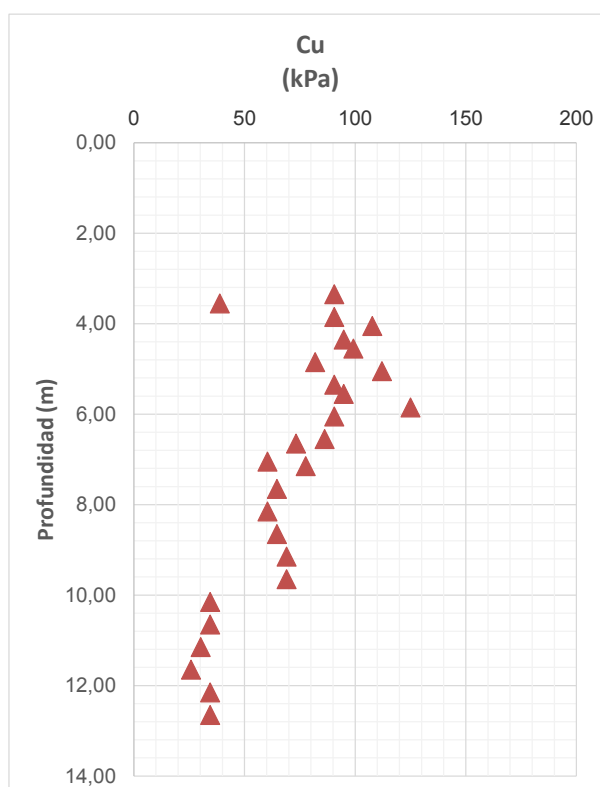
Sondeo	Muestra	Profundidad (m)		Cu(kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (kPa)
		de	a		
S01	13	6,80	7,30	0,616	60,4
S02	5	3,10	3,60	0,924	90,6
S02	6	3,60	4,10	0,924	90,6
S02	7	4,10	4,60	0,968	94,9
S02	8	4,60	5,10	0,836	81,9
S02	9	5,10	5,60	0,924	90,6
S02	10	5,60	6,10	1,276	125,0
S03	12	6,40	6,90	0,748	73,3
S03	13	6,90	7,40	0,792	77,6
S03	14	7,40	7,90	0,66	64,7
S03	15	7,90	8,40	0,616	60,4
S03	16	8,40	8,90	0,66	64,7
S03	17	8,90	9,40	0,704	69,0
S03	18	9,40	9,90	0,704	69,0
S03	19	9,90	10,40	0,352	34,5
S03	20	10,40	10,90	0,352	34,5
S03	21	10,90	11,40	0,308	30,2
S03	22	11,40	11,90	0,264	25,9
S03	23	11,90	12,40	0,352	34,5
S03	24	12,40	12,90	0,352	34,5

Los valores presentados en el cuadro anterior se presentan en la siguiente figura:



	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 45 de 70

**Figura 24 Resistencia no drenada Suelo Residual**



A continuación se presentan los resultados obtenidos para el material correspondiente a Saprolito:

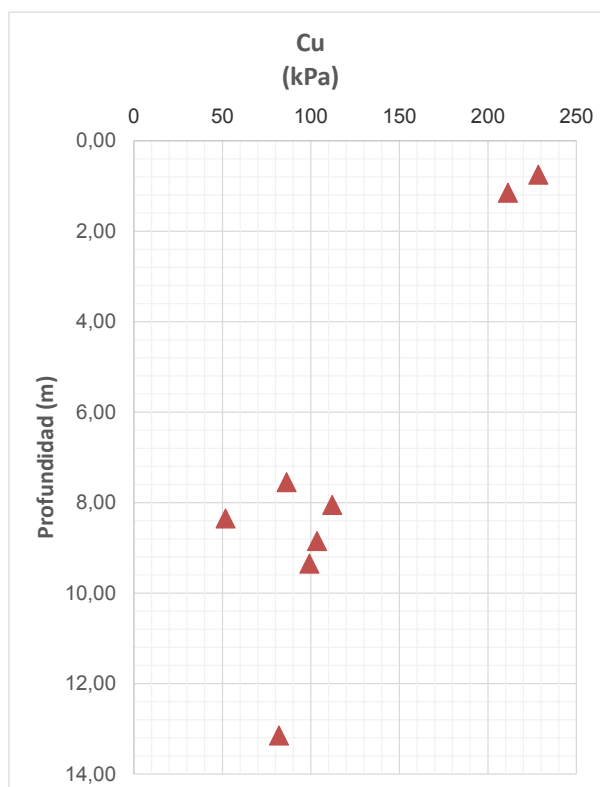
**Cuadro 10 Resistencia no drenada del suelo Saprolito**

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)		Cu(kg/cm²)	Cu (kPa)
		de	a		
S01	14	7,30	7,80	0,88	86,2
S01	15	7,80	8,30	1,144	112,1
S02	12	8,10	8,60	0,528	51,7
S02	13	8,60	9,10	1,056	103,5
S02	14	9,10	9,60	1,012	99,2
S03	25	12,90	13,40	0,836	81,9
SM05	1	0,50	1,00	2,332	228,5
SM05	2	1,00	1,30	2,156	211,3

Los valores presentados en el cuadro anterior se presentan en la siguiente figura:

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 46 de 70

Figura 25 Resistencia no drenada del suelo Saprolito



De acuerdo con lo anterior se presenta el resumen de resultados así:

- **Relleno con Escombros** Cu = 54,1 (kPa)
- **Suelo Residual** Cu = 71,7 (kPa)
- **Saprolito Formación Bogotá** Cu = 121,8 (kPa)

Teniendo en cuenta que el parámetro necesario para el análisis de estabilidad es el valor de cohesión, esta se calcula mediante el uso de la siguiente expresión, la cual es obtenida de un análisis del círculo de Mohr entre los parámetros efectivos y totales de los materiales y no obedece a una calibración en suelos de Bogotá:

$$c' = \frac{Cu * (1 - \sin \phi) - \sigma_h * \sin \phi}{\cos \phi}$$

Donde:

$c'$ : cohesión en esfuerzos efectivos.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 47 de 70</b>

$\phi$  = Angulo de fricción en esfuerzos efectivos.

Es importante indicar que esta ecuación es aplicable a todos los tipos de suelos ya que está asociada directamente a condiciones de frontera del círculo de Mohr y vinculada a la metodología de A. González para la normalización del valor de N - SPT.

De acuerdo con lo anterior se presenta el resumen de resultados así:

- **Relleno con Escombros**  $c' = 6 \text{ (kPa)}$
- **Suelo Residual**  $c' = 13 \text{ (kPa)}$
- **Saprolito Formación Bogotá**  $c' = 18 \text{ (kPa)}$

#### 3.6.4 Ensayo de Corte Directo

Se realiza ensayo de corte directo sobre muestras inalteradas tipo Shelby, buscando ensayar muestras de estratos diferentes. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

**Cuadro 11 Resumen de resultados Corte Directo**


Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Prof. Media (m)	Material	$\Phi$ (°)
S-1	3	SH	1,80	Relleno con Escombros	27
S-2	8	SH	4,85	Suelo Residual	28
S-3	25	SH	13,15	Saprolito	28

#### 3.6.5 Ensayo de Compresión Inconfinada

Se realiza el ensayo de Compresión Inconfinada sobre muestras inalteradas recuperadas durante la exploración geotécnica. Los resultados se presentan a continuación.

**Cuadro 12 Resultados Ensayo de Compresión Inconfinada sobre suelo**

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Prof. Media (m)	$q_u$ Prom (Kg/cm <sup>2</sup> )	$C_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_t$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\epsilon$ Falla (%)
S-1	4	SH	2,4	0,66	0,33	16,22	1,95	10,41
S-2	1	SH	0,8	2,45	1,23	106,35	2,06	5,96
S-2	15	SH	9,9	0,60	0,30	18,31	2,02	8,45

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 48 de 70

**Cuadro 13 Resultados Ensayo de Compresión Inconfinada sobre roca Arcillolita**

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Prof. Media (m)	qu Prom (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	E (Kg/cm <sup>2</sup> )	γt (gr/cm <sup>3</sup> )	ε Falla (%)
TR-1	1	Bloque	0,5	14,60	7,30	753,82	2,39	2,31
TR-1	1	Bloque	0,5	11,96	5,98	807,50	2,36	1,86

- Resistencia a la Compresión Uniaxial  $\sigma_c = 1,17 \text{ MPa}$ ;  $\gamma_t = 23,8 \text{ kN/m}^3$

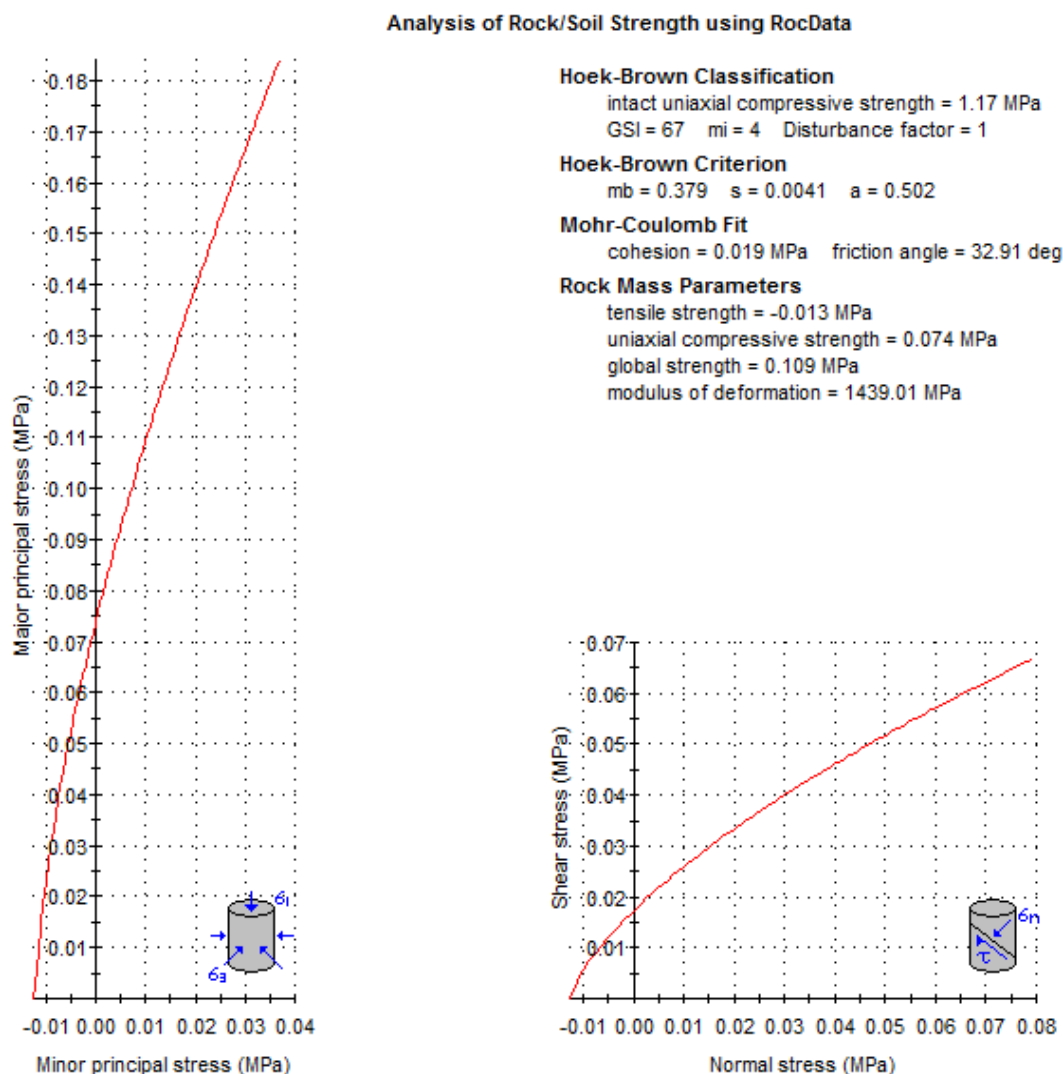
### 3.6.6 Análisis de Parámetros de Roca Arcillolita

Los parámetros geomecánicos de roca se calibraron mediante el software RocData, que permite definir los valores de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción en función de los valores de resistencia última obtenido de los ensayos de Compresión Inconfinada y del grado de sanidad de la roca GSI. En la siguiente figura se presentan los resultados obtenidos:



 Ingeniería, Geotécnica y Riesgos SAS	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 49 de 70</b>


**Figura 26 Resultados análisis de parámetros mediante RocData**



Como se muestra en la figura anterior los parámetros definidos mediante el software RocData para Arenisca son:

- Cohesión 19 kPa
- Angulo de fricción 33°

Las memorias de cálculo se encuentran en el anexo 4.

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 50 de 70

### 3.7 NIVEL FREÁTICO

Durante la ejecución de la exploración geotécnica no se reportó presencia del nivel freático.

### 3.8 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO


Teniendo en cuenta la composición de los materiales y sus características mecánicas, se presenta el siguiente cuadro con los parámetros de resistencia de los materiales encontrados.

**Cuadro 14 Parámetros de diseño**

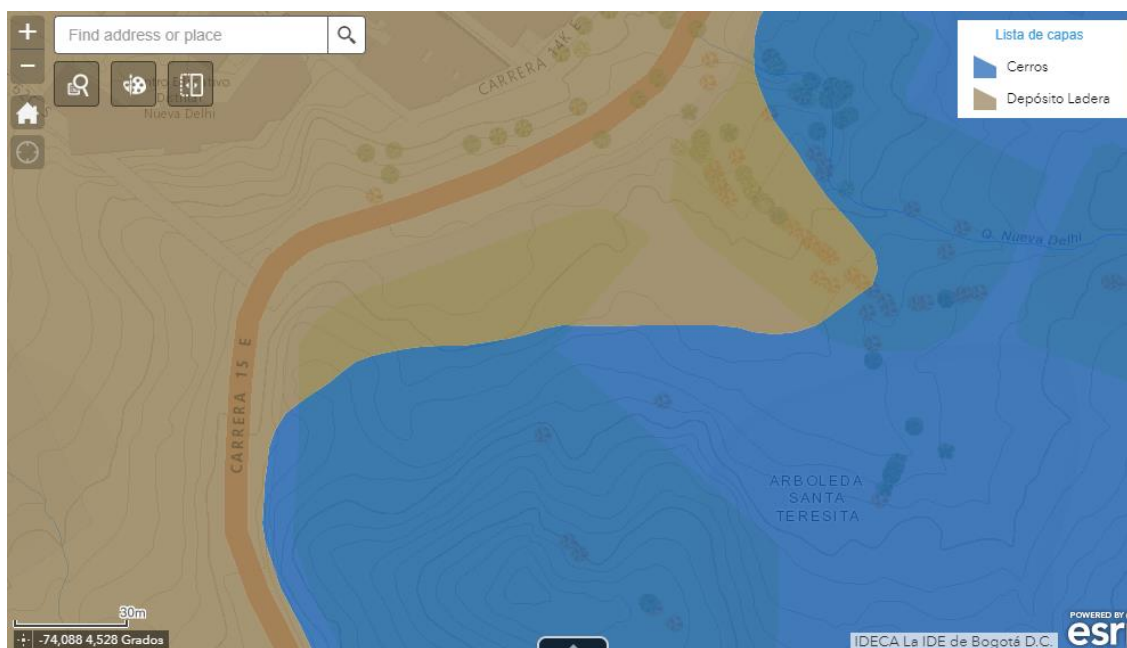
Estrato	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)	$C_u$ (kPa)	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )
Rellenos con Escombros	19,3	27	6	54,1	---
Suelo Residual	20,2	28	13	71,7	6720
Saprolito	22,0	28	18	121,8	---
Arcillolita F. Bogotá	23,8	33	19	---	---

## 4 CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

De acuerdo con el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., la zona de estudio, se encuentra en la zona de transición entre Cerros y Depósito de Ladera. La siguiente figura, tomada del geoportal [www.sire.gov.co](http://www.sire.gov.co) del IDIGER, muestra la ubicación y las capas de microzonificación sísmica antes mencionada.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 51 de 70</b>

**Figura 27 Zonificación Sísmica para Bogotá**



Fuente: [www.sire.gov.co](http://www.sire.gov.co); Modificado por INGERCIVIL SAS


Para esta zona el decreto indica que se debe verificar la clasificación teniendo en cuenta la profundidad a la cual podemos encontrar roca (*entendiéndose la roca como un material con velocidad de onda cortante  $V_s$  igual o superior a 750 m/s*), según el numeral 5,7 del presente decreto. Los valores de  $V_s$  obtenidos de la exploración geofísica clasifica el área de estudio como zona de Piedemonte, y en este numeral también se menciona que: “*se debe clasificar como zona de piedemonte más cercano (entendiéndose por piedemonte más cercano al piedemonte A, Piedemonte B o Piedemonte C que por su localización geográfica este a menor distancia del sitio de interés)*”. Como resultado de esto se obtuvo que el área de estudio se clasifica como **Piedemonte B**.

Los coeficientes para esta zona son:

**Cuadro 15 Coeficientes de Respuesta Sísmica**

Zona	$F_a$	$F_v$	$T_C$ (s)	$T_L$ (s)	$A_0$ (g)
Piedemonte B	1,95	1,70	0,56	3,00	0,26

- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos  $F_a = 1,65$
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios  $F_v = 2,00$

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 52 de 70


- c) Periodo corto  $T_C = 0,78$
- d) Periodo Largo  $T_L = 3,00$
- e) Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g)  $A_0 = 0,26$ .

De acuerdo con el numeral 5.14, el área de estudio corresponde a **Perfil Tipo D**.

Sin embargo para consideraciones de diseño estructural y siguiendo lo establecido en los numerales *A.1.3.10 EDIFICACIONES INDISPENSABLES* y el numeral *A.2.5.1.2 Grupo III Edificaciones de atención a la comunidad* el proyecto se clasifica como Grupo de uso III y siguiendo la clasificación de la microzonificación sísmica de Bogotá se presentan los siguientes coeficientes de respuesta sísmica:

**Cuadro 16 Coeficientes de umbral de daño**

Zona	$F_a$	$F_v$	$T_0$	$T_C$ (s)	$T_L$ (s)	$A_0$ (g)
Piedemonte B	2,20	2,25	0,10	0,51	3,00	0,12

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 53 de 70

## 5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

### 5.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

#### 5.1.1 Generalidades

De acuerdo con las características del sector se generó el modelo de estabilidad por material y sus propiedades. Para este análisis se contó con el programa Slide 6.0 licenciado.

El programa utiliza el método de equilibrio límite para el análisis. Se puede definir para las condiciones del suelo el siguiente modelo de análisis: Se definen la o las secciones típicas para análisis, la configuración o perfil geotécnico y sus propiedades mecánicas. Posterior a esto se define el mecanismo de falla y los niveles de aceptación que es función del factor de seguridad, FS para las combinaciones de variables aleatorias extremas como son: parámetros geomecánicos ( $c$  y  $\Phi$ ) e influencia de los sismos y las lluvias.

Se definió un modelo de análisis con el fin de determinar las condiciones de estabilidad teniendo en cuenta las profundidades de materiales, valores de parámetros geomecánicos y condiciones geológicas.

#### 5.1.2 Consideraciones de Agua

Para considerar el agua dentro del modelo se aplicó el concepto de  $r_u$ . Esta variable se conoce como el coeficiente de presión de poros y está definido como la relación de presión de poros  $\mu$  y el producto del esfuerzo total como el peso unitario total  $\gamma_t$  y la altura del punto en el suelo, es decir:

$$r_u = \frac{\mu}{\gamma_t H}$$

El valor de  $r_u$  matemáticamente oscila entre 0 y 1. Para un suelo completamente saturado el valor de  $r_u$  corresponde a la relación de pesos unitarios del agua y del suelo y entendiendo que el agua en general tiene un peso unitario de 1 t/m<sup>3</sup> el valor de  $r_u$  es directamente igual a  $1/\gamma_t$ . Para un peso unitario de 2 t/m<sup>3</sup> el valor de  $r_u$  no es superior a 0,5 para un suelo completamente saturado.

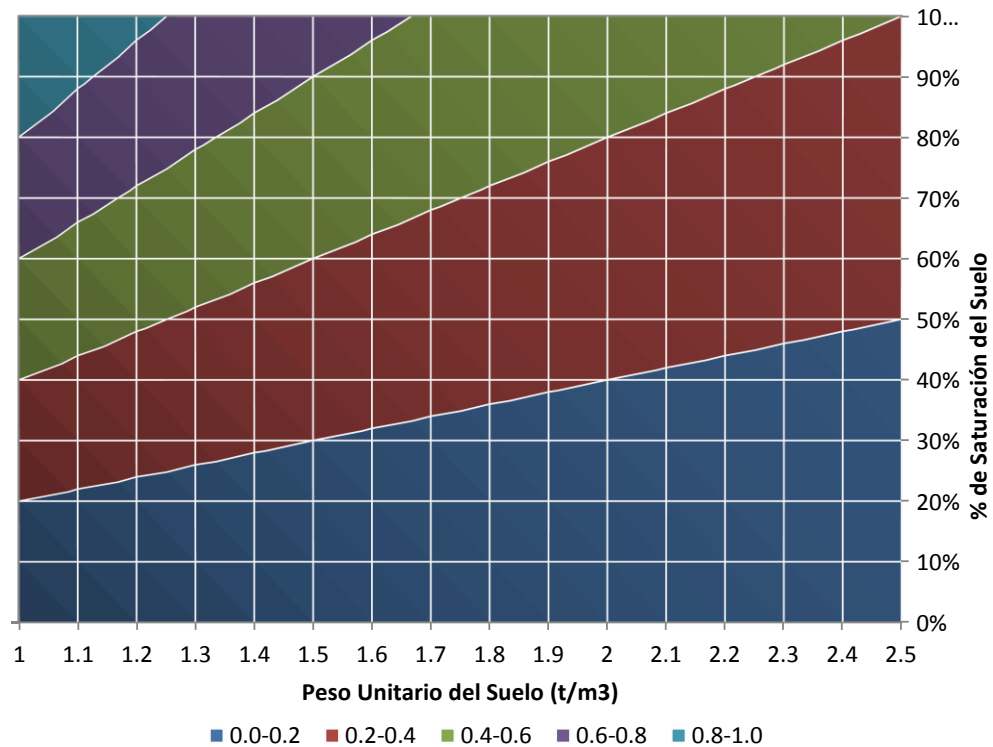
Teniendo en cuenta que el valor promedio del peso unitario de los suelos es del orden de 1,7 a 2,2 t/m<sup>3</sup> y variando la altura de lámina de agua se obtienen los valores de  $r_u$  para variación de altura de lámina de agua, descritos en el siguiente cuadro:



**Cuadro 17 Variación de  $r_u$  para diferentes alturas de la lámina de agua**

$\gamma_t(t/m^3)$	VALOR DE $r_u$			
	0.75H	H/2	H/3	H/4
2.0	0.375	0.250	0.165	0.125
1.8	0.417	0.278	0.183	0.139
1.5	0.500	0.333	0.220	0.167
1.3	0.577	0.385	0.254	0.192
1.1	0.682	0.455	0.300	0.227

**Figura 28 Variación de  $r_u$  para diferentes alturas de la lámina de agua**



*Fuente: Elaboración propia*

En la zona de estudio no se pudo identificar presencia de un nivel freático, por lo cual hace necesario el uso de  $r_u$  para el análisis de las condiciones de agua y que las mismas sean representativas para el talud analizado.

Teniendo en cuenta que el peso de los materiales encontrados se encuentra entre 1,6 y 2,4 t/m³ y suponiendo que el nivel freático se encuentre el 30% y el 40% de saturación,

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 55 de 70</b>

el valor de  $r_u$  así mismo varía entre 0,0 y 0,2. Algo importante del  $r_u$  es que considera cada punto de suelo saturado, de acuerdo a la cota o profundidad que tenga.

Esta condición es conservadora en razón a que si se trabaja con un nivel freático o tabla dada no todos los puntos están con presión de poros y solo depende de los puntos que estén debajo de este nivel. Es importante tener esto en cuenta para la evaluación de obras. Para los análisis de estabilidad se asume un valor de  $r_u = 0,10$  para condiciones normales y de 0,20 para condiciones extremas.

### 5.1.3 Consideraciones de Sismo

De acuerdo con la caracterización sísmica y las condiciones particulares del área de estudio se adoptara para consideraciones de estabilidad de obras un valor de  $A_a=0,26$ .

### 5.1.4 Consideraciones de factor de Seguridad

De acuerdo a la resolución N° 227 la evaluación debe ser realizada de acuerdo a los siguientes niveles de amenaza:

**Cuadro 18 Valoración de amenaza por FS**

Amenaza	Condiciones Normales FS
Baja	>1.90
Media	1.20-1.90
Alta	<1.20
Amenaza	Condición Extrema (50 años) FS
Baja	>1.30
Media	1.05 – 1.30
Alta	<1.05

En los análisis posteriores se identificaran con el respectivo color y dentro de la condición normal y extrema.

Para realizar el análisis de estabilidad durante la fase constructiva se adoptan los factores de seguridad de acuerdo con la normativa vigente NSR-10 en el título H Tabla 6.9-1, como se muestran a continuación:

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI ( ) NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 56 de 70

**Cuadro 19 Factores de seguridad NSR-10**

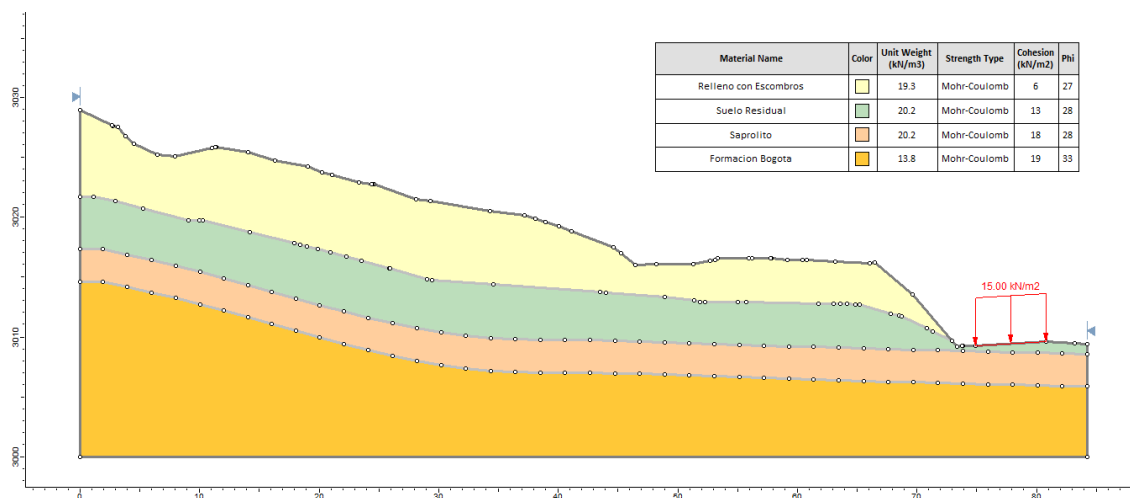
Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
Estabilidad general del material: Permanente o de larga duración (> 6 meses)	1,20	1,50	diseño	1,05
Temporal o de corta duración (< 6 meses)	1,20	1,30	50% de diseño	1,00

### 5.1.5 Análisis de Factores de Seguridad

#### Análisis Estado Actual:

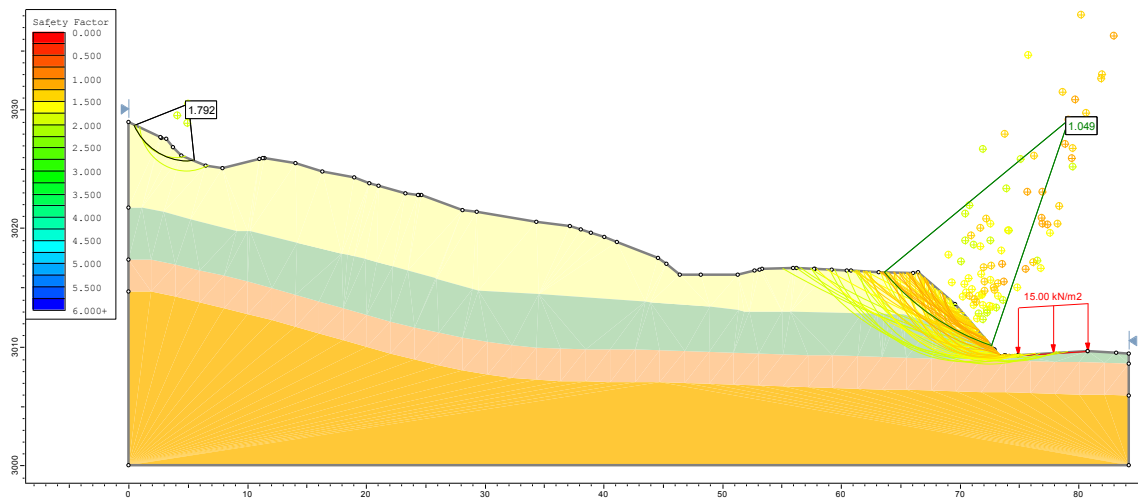
De acuerdo con las condiciones descritas anteriormente y las adecuaciones necesarias para hacer la implantación de las estructuras, se define la geometría de la sección de análisis. Como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 29 Modelo de análisis en estado actual**



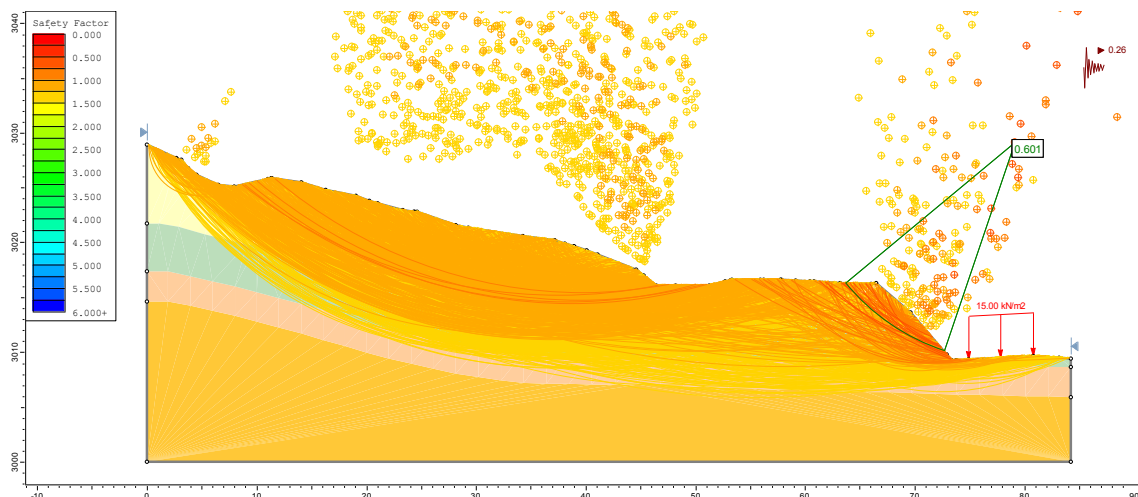
En la siguiente figura se presenta el modelo de análisis para la sección crítica en condiciones normales, bajo esta condición se obtiene un factor de seguridad de 1,049.

**Figura 30 Sección de análisis Condiciones Normales**



Al realizar el análisis para la condición extrema de tener agua y sismo, bajo la suposición de probabilidad baja de ocurrencia de esta combinación, se obtienen superficies de falla con un factor de seguridad mínimo de 0,601 como se muestra en la siguiente figura.

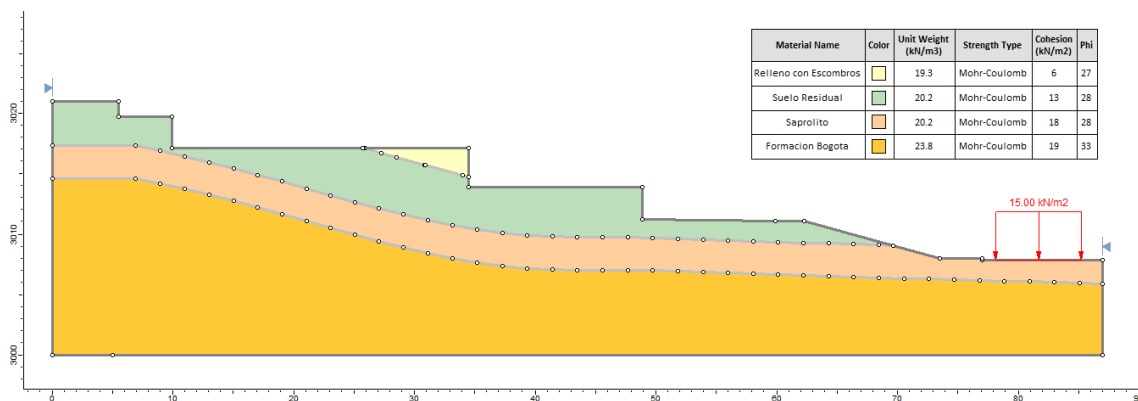
**Figura 31 Sección de análisis en Condiciones Extremas**



#### **Análisis con la Ejecución de Cortes:**

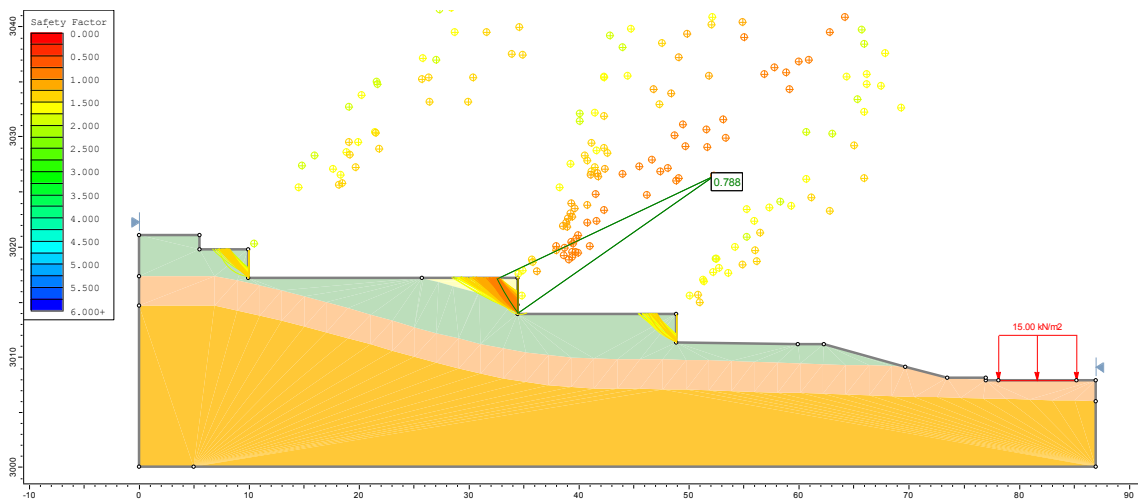
De acuerdo con el desarrollo arquitectónico del proyecto se plantea el retiro de gran parte del material de relleno de escombros, además se desarrolla de manera escalonada o por terrazas, en la siguiente figura se presenta el modelo de análisis:

**Figura 32 Modelo de Análisis con Cortes**



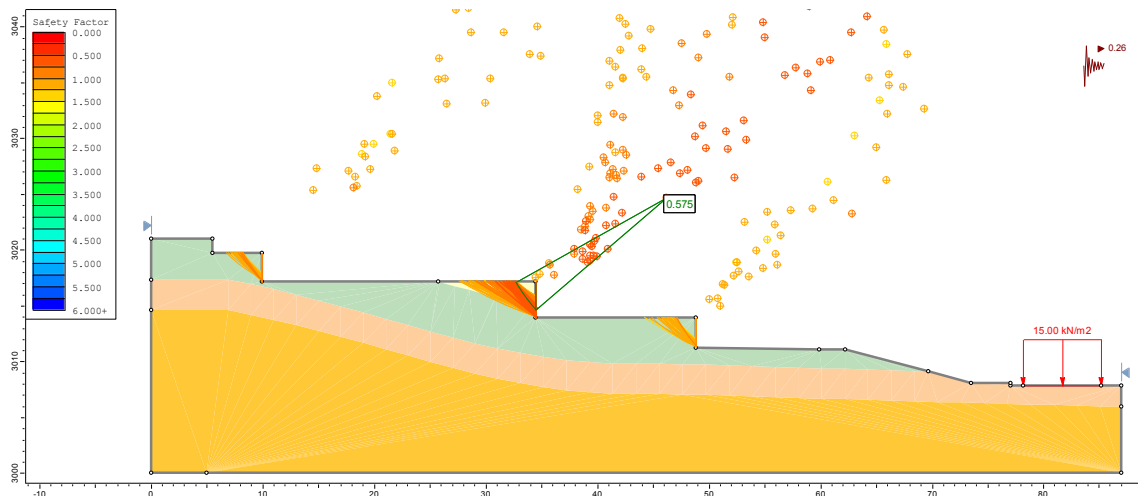
En la siguiente figura se presenta el modelo de análisis para la sección crítica en condiciones normales, bajo esta condición se obtiene un factor de seguridad de 0,788.

**Figura 33 Sección de análisis con Cortes en Condiciones Normales**



Al realizar el análisis para la condición extrema de tener agua y sismo, se obtienen superficies de falla con un factor de seguridad mínimo de 0,575 como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 34 Sección de análisis con Cortes en Condiciones Extremas**

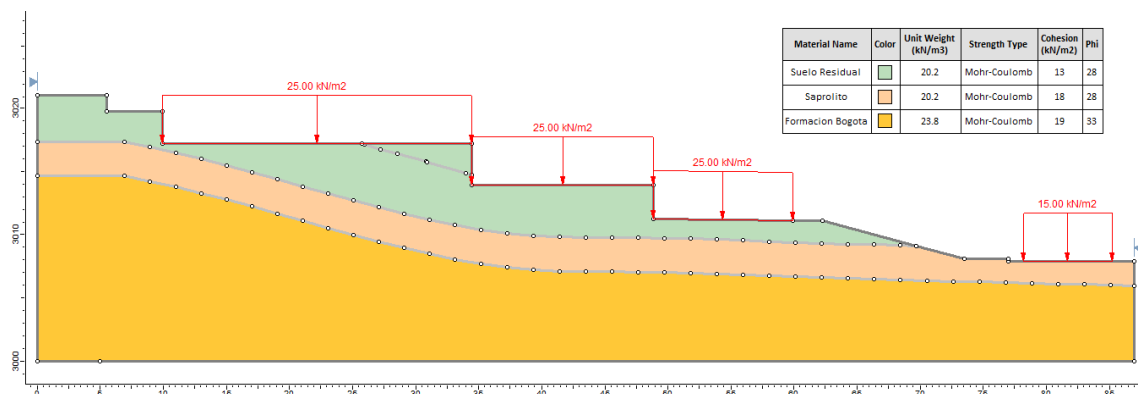


De acuerdo con lo anterior es evidente que se reducen las superficies de falla pero aún se presentan problemas de estabilidad en los taludes generados con los cortes.

### **Análisis con la Ejecución de Cortes y con Cargas:**

A continuación se presenta el modelo de análisis con la realización de los cortes y con colocación de las cargas impuestas por las estructuras:

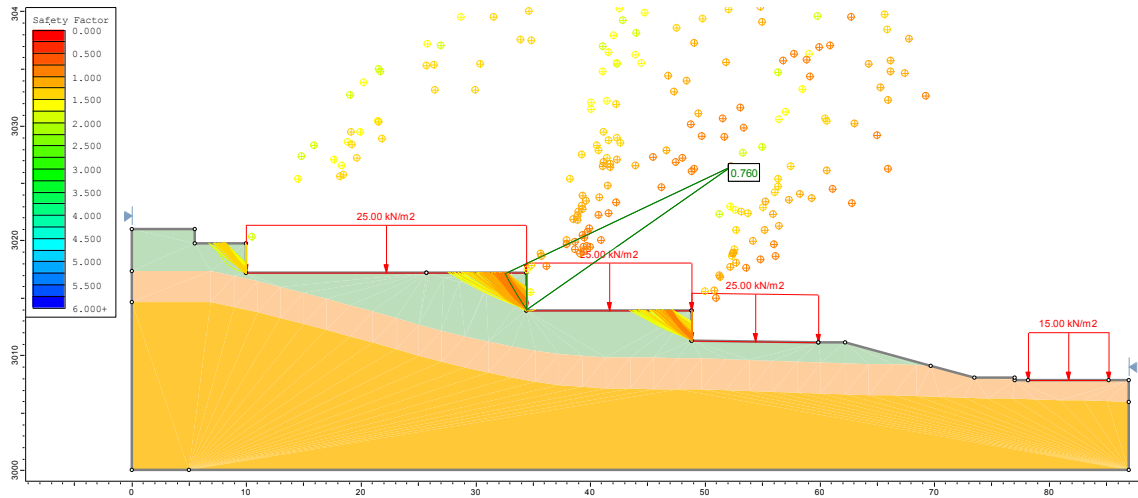
**Figura 35 Modelo de Análisis con Cortes y Cargas**



En la siguiente figura se presenta el modelo de análisis para la sección crítica en condiciones normales, bajo esta condición se obtiene un factor de seguridad de 0,760.

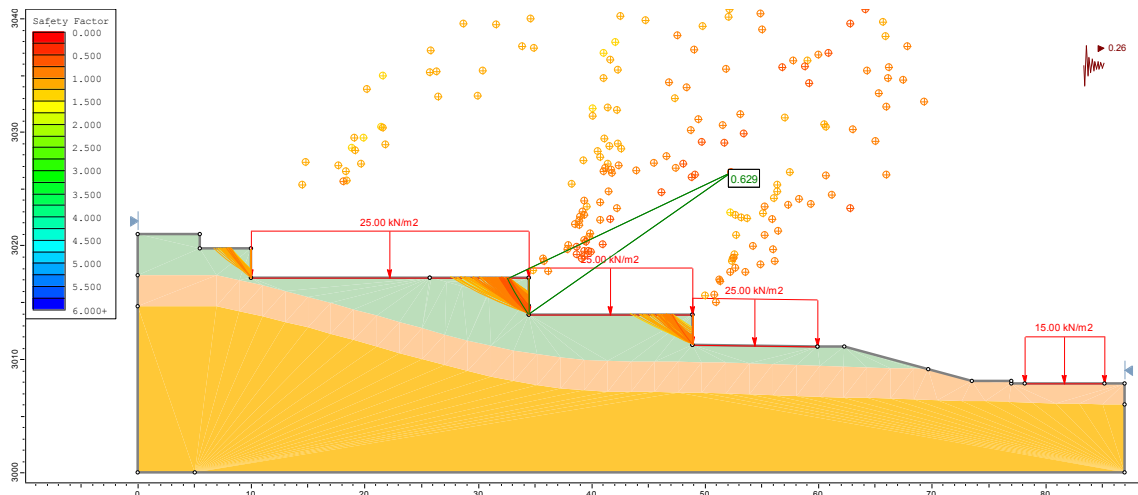


**Figura 36 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Normales**



Al realizar el análisis para la condición extrema de tener agua y sismo, se obtienen superficies de falla con un factor de seguridad mínimo de 0,575 como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 37 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Extremas**

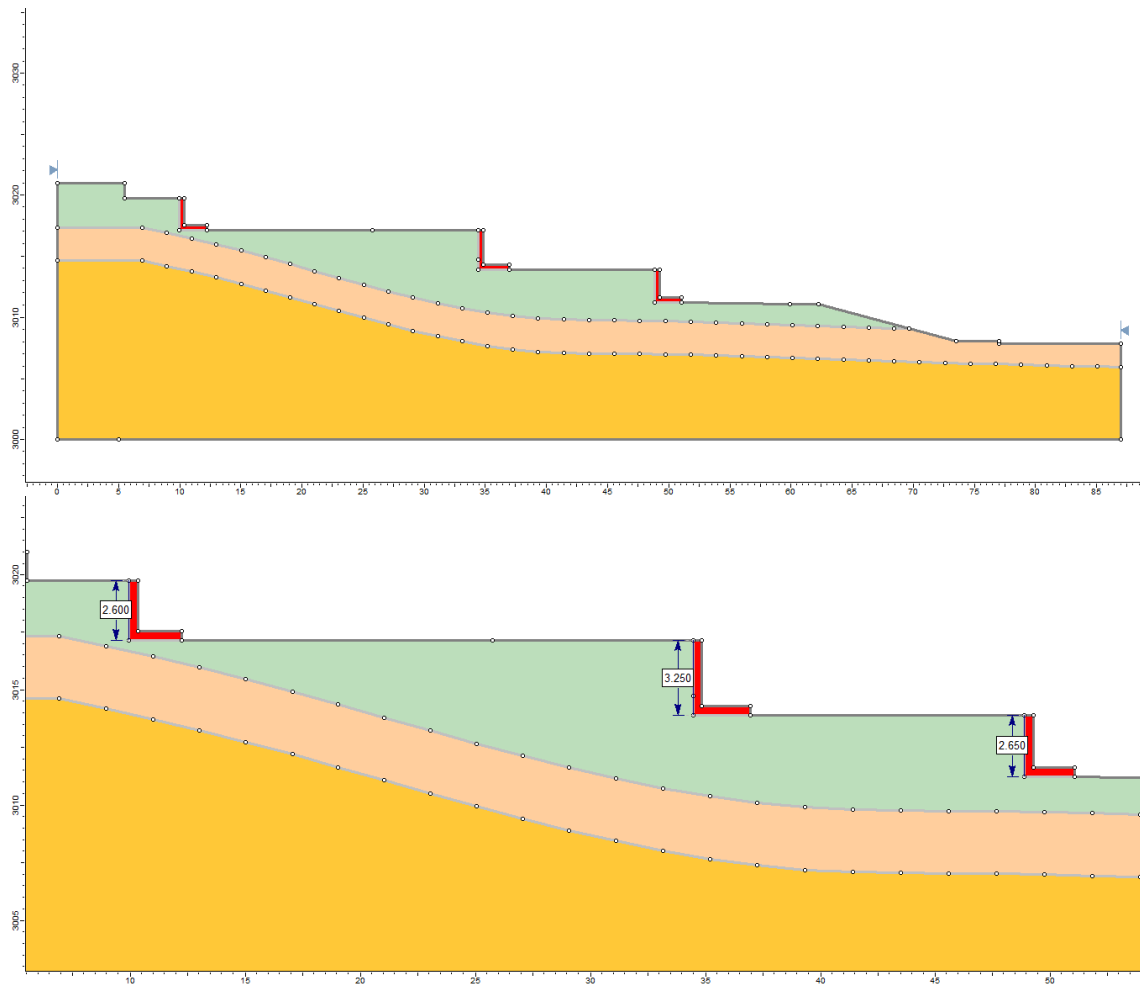


De acuerdo con lo anterior es evidente que con la colocación de las cargas el modelo es aún más crítico por tanto se requiere implementar obras de estabilidad, como se presenta a continuación:

**Análisis con la ejecución de Cortes, Cargas y con Obras:**

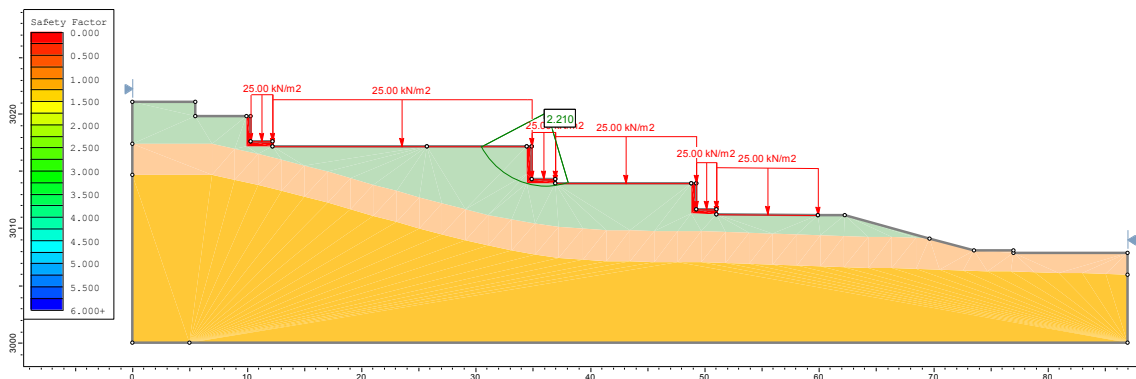
A continuación se presenta el modelo de análisis con la realización de los cortes, con cargas y con la implementación de obras de estabilidad como lo son los Muros en L:

**Figura 38 Modelo de Análisis con Cortes, con Cargas y Obras**



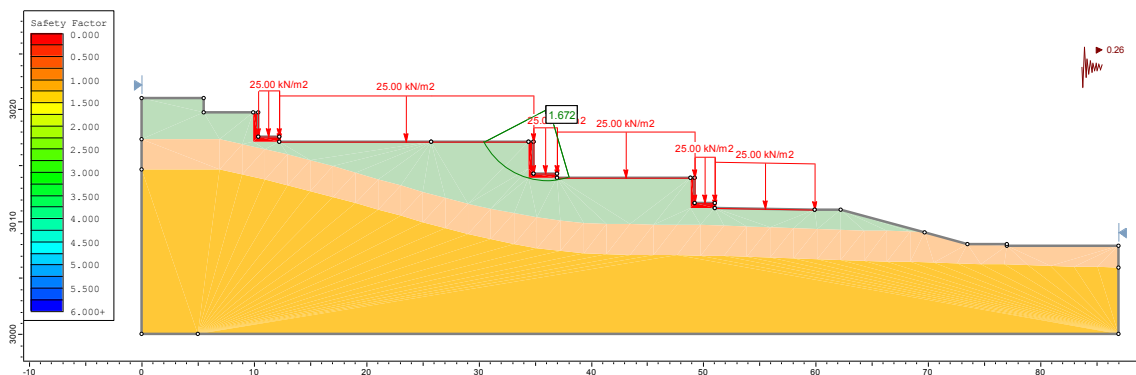
En la siguiente figura se presenta el modelo de análisis para la sección crítica en condiciones normales, bajo esta condición se obtiene un factor de seguridad de 2,210.

**Figura 39 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Normales**



Al realizar el análisis para la condición extrema de tener agua y sismo, se obtienen superficies de falla con un factor de seguridad mínimo de 1,672 como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 40 Sección de análisis Cortes y Cargas en Condiciones Extremas**



De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad se observa que la ladera es estable incluso en condiciones extremas con la implementación de los muros en L. En el siguiente cuadro se presenta el resultado del análisis de estabilidad verificándose los factores de seguridad calculados y los factores de seguridad admisibles.

**Cuadro 20 Resumen de Factores de seguridad**

Condición	FS Admisible	FS Calculado	Verificación
Actual Normal	1,90	1,049	No Cumple
Actual Extrema	1,30	0,601	No Cumple
Con Cortes Normal	1,90	0,788	No Cumple
Con Cortes Extrema	1,30	0,575	No Cumple

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 63 de 70</b>

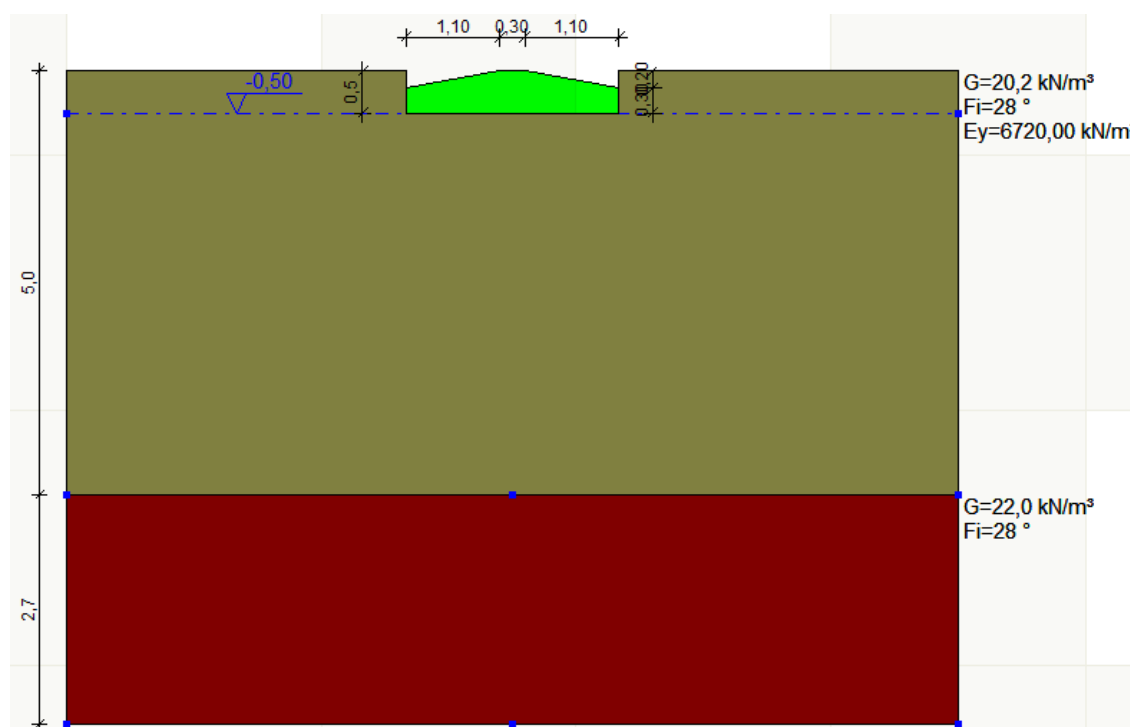
Condición	FS Admisible	FS Calculado	Verificación
Con Cortes y Cargas Normal	1,90	0,760	No Cumple
Con Cortes y Cargas Extrema	1,30	0,629	No Cumple
Con Cortes, Cargas y Muros Normal	1,90	2,210	Si cumple
Con Cortes, Cargas y Muros Extrema	1,30	1,672	Si cumple


## 5.2 CAPACIDAD PORTANTE

El cálculo de la capacidad portante se efectuó por los métodos de Hansen, Terzaghi, Meyerhof y Vesic. Se seleccionaron los valores obtenidos por el método de Meyerhof que muestra valores intermedios respecto a los demás métodos. Como herramienta computacional se utilizó el programa LoadCap de Geostud.

El nivel para el apoyo de la cimentación analizada es de 0,5 m por debajo de la cota de corte en cada caso. El esquema de cimentación y de materiales se presenta en la figura siguiente y considerando la condición crítica se modela contando con nivel de agua superficial. En la siguiente figura se presenta el modelo de análisis de capacidad portante del suelo.

**Figura 41 Modelo de Capacidad de Carga**



	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 64 de 70

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de capacidad portante, en donde se muestra que con una zapata de 2,5 \* 2,5 m de lado se pudo soportar la columna con mayor carga la cual es de 80,229 toneladas.

**Cuadro 21 Capacidad de Carga**

B (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Q. últ. (kPa)	Capacidad de carga Admisible (kPa)			Carga por zapata (kN/m <sup>2</sup> )	Toneladas
				Q. adm FS: 1,5	Q. adm FS: 2,5	Q. adm FS: 3,0		
1,0	1,0	1,00	286,1	190,72	114,43	95,36	95,4	9,7
1,5	1,5	2,25	317,9	211,96	127,18	105,98	238,5	24,3
2,0	2,0	4,00	352,4	234,95	140,97	117,48	469,9	47,9
<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>6,25</b>	<b>388</b>	<b>258,65</b>	<b>155,19</b>	<b>129,33</b>	<b>808,3</b>	<b>82,5</b>
3,0	3,0	9,00	424,1	282,70	169,62	141,35	1272,2	129,8

Las memorias de cálculo de Capacidad Portante se encuentran consignadas en el Anexo 4.

### 5.3 ASENTAMIENTOS

Los asentamientos analizados, corresponden a asentamientos inmediatos o para cortos periodos de tiempo, en el siguiente cuadro se presentan los valores de asentamientos calculados, para condiciones de carga admisible.

**Cuadro 22 Asentamientos**

Asentamientos (mm)	
Borde	Centro
11,28	28,44

### 5.4 MODULO DE REACCIÓN VERTICAL

El objetivo de este parámetro es el de reemplazar una masa de suelo por resortes elásticos equivalentes, con una constante k por unidad de área, lo que realmente es una conveniencia matemática que facilita los cálculos de esfuerzos y deformaciones en las interfaces estructura suelo, puesto que las deformaciones se hacen directamente proporcionales a los esfuerzos aplicados<sup>1</sup>. En el siguiente cuadro se presentan los resultados.

<sup>1</sup> Gonzales A (1993). "módulo de reacción de subrasante en cimentaciones superficiales"

	ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 65 de 70

**Cuadro 23 Modulo de reacción del suelo**

L(m)	B(m)	Q. adm FS:3 (kPa)	Asentamientos (mm)	Asentamientos (m)	Módulo de reacción (kN/m)	Módulo de reacción (MN/m)
2,5	2,5	129	28,44	0,02844	4547,4	4,55

## 5.5 EMPUJES DE TIERRAS

A partir de la teoría de esfuerzos laterales de Rankine, los coeficientes para el diseño estructural. Para hallar los diferentes coeficientes, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$K_o = 1 - \sin \varphi'$$

$$K_a = \left( \tan \left( 45 - \frac{\varphi'}{2} \right) \right)^2$$

$$K_p = \frac{1}{K_a}$$

**Cuadro 24 Coeficientes de presión de tierras**

Parámetro	Valor
$\Phi$ (°)	28
Kp	2,77
Ko	0,53
Ka	0,36



	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 66 de 70</b>

## 6 CONCLUSIONES

El área del proyecto corresponde al Jardín Santa Teresita, este se localiza en la localidad de San Cristóbal en la Dirección Av Cra 15ª Este Calle 62 Sur y cuenta un área de 213,74 m<sup>2</sup> de acuerdo con el levantamiento topográfico actualizado, el jardín se desarrolla sobre una topografía montañosa. A continuación se presenta la ubicación local del predio.

De acuerdo con la exploración geotécnica se presentan los siguientes materiales:

**Capa Vegetal sobre Limo Orgánico:** Cobertura vegetal comprendida por pastos de poca altura sobre capa de limos orgánicos de color marrón oscuro y de humedad baja. Esta capa presenta gran variabilidad a lo largo del predio y su espesor oscila entre 0,0 m y 1,7 m en algunos puntos específicos del predio.

**Depósito con Escombros:** Se observa una capa de arcilla algo arenosa de color habano rojizo con algunas trazas grises y amarillentas, con presencia de gravas, fragmentos de ladrillo y material orgánico en algunos casos, de humedad media y debido a su conformación o depositación antrópica este material se encuentra suelto. Esta capa se encuentra desde el nivel superficial y cuenta con unos espesores del orden de 12 m en la parte superior y entre 6 a 7 metros de espesor en la zona de la ladera del proyecto.

**Suelo Residual - Formación Bogotá (Sr-Tpb):** Se observa una capa de arcilla algo arenosa de color rojizo con trazas de color habano, de humedad media y con presencia de gravas de tamaño menor a 1".

**Saprolito - Formación Bogotá (Sr-Tpb):** Se observa un material conformado por arcillas muy firmes de color rojizo con lentes de arena de grano fino y de color grisáceo, de humedad media a baja, muy similar a la capa suprayacente pero con mayor resistencia.

**Formación Bogotá (Tpb):** Se barrena sobre roca tipo arcillolita de color rojizo con algunas intercalaciones de arenisca de color habano y grisáceo.

De acuerdo con el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., la zona de estudio, se encuentra en la zona **Piedemonte B** y corresponde a **Perfil Tipo D**.

Durante el proceso de exploración NO se encontró el nivel freático.

De acuerdo con el análisis de capacidad portante se recomienda emplear como sistema de cimentación zapatas cuadradas de 2,5 m de lado, con las cuales se obtuvo una capacidad portante admisible con un factor de seguridad de 3 es de 129,3 kN/m<sup>2</sup> con asentamientos máximos esperados de 28,44 mm.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 67 de 70</b>

Para el control de estabilidad de los taludes generados con los cortes, se recomienda implementar muros en L de concreto reforzado, de acuerdo a como se especifica en el presente estudio.

Es indispensable que para la ejecución del proyecto se respeten las consideraciones en cuanto al retiro del material de relleno tanto a los costados del proyecto como hacia la parte superior del predio en donde se debe alcanzar una cota de 3021 m.s.n.m. de lo contrario se deben incurrir en cortes sobre este material conservando una pendiente de 2H:1V con fin de evitar posibles desplazamiento del material suelo acumulado en esta zona además de implementar un sistema de drenaje que garantice un adecuado manejo de agua de escorrentía.

## 7 RECOMENDACIONES

Las excavaciones menores a 1,0 m de altura se podrán realizar manualmente o con equipo mecánico, con taludes 1,0 H:1,0 V.

Para mantener los niveles freáticos durante la ejecución de la excavación temporal, se deberá contar con un sistema de bombeo permanente que garantice el abatimiento del nivel freático en caso de presentarse.

Es indispensable implementar un sistema de drenaje conformado por cunetas, filtros y elementos de entrega que permitan garantizar un adecuado manejo de agua de escorrentía.

Se recomienda implementar filtro común de 0,40 \* 0,40 m al trasdós de los muros en L, este debe ir a nivel de cimentación del muro.

Para las excavaciones de zanjas para tuberías se recomienda emplear las "Especificaciones para la construcción de redes de servicios públicos", de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).


Se recomienda como sistema de cimentación el uso de zapatas aisladas cuadradas de 2,5 m de lado.

### 7.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones de materiales recomendadas son I.D.R.D.

### 7.2 PLACA DE CONTRAPISO

- Retirar materiales orgánicos existentes en el terreno.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 68 de 70</b>

- Con el objetivo de separar el terreno natural de los rellenos y evitar la mezcla de los materiales y el lavado de finos por acción del agua, se recomienda colocar un geotextil tejido entre el suelo natural y el relleno a compactar.
- Nivelar con subbase granular SBG-1. Este relleno no debe ser menor a 20 cm de espesor. Si se requiere se debe excavar para obtener este espesor mínimo.
- Los rellenos deben ser confinados para evitar pérdidas de borde.
- La placa puede tener un espesor de 0,15 m como mínimo y se debe dilatar en los dados de las columnas y vigas para evitar la formación de dilataciones irregulares. El concreto utilizado debe tener una resistencia a los 28 días de 21 MPa y es conveniente colocarle malla electrosoldada de 6 mm cada 15,0 cm. No obstante, las anteriores son recomendaciones y cualquier espesor de placa y su refuerzo debe ser definido por el ingeniero estructural de proyecto el cual soporta técnicamente el valor final de espesor y su refuerzo necesario.
- Con el fin de generar las dilataciones por retracción de fraguado y dilataciones térmicas, se recomienda trabajar con losas moduladas de máximo 3 m de lado.
- Se deben conseguir las pendientes y niveles necesarios para que todas las áreas drenen fácilmente hacia los desagües de piso. De igual manera la tubería de agua potable se debe colocar entre la capa de tierra y la placa de concreto, evitando que quede incrustada en la placa. No obstante, el diseño hidráulico y sanitario debe definir las condiciones de drenaje de la zona.

### 7.3 RELLENOS

Para los rellenos debajo de estructuras se deben seguir como mínimo las siguientes recomendaciones:

- Las dos últimas capas antes de llegar a la cota de implantación arquitectónica se deben realizar con material tipo sub-base granular SBG-1 compactado al 95% del P.M. Este relleno se debe conformar en capas que no superen los 25 cm de espesor.

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI () NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 69 de 70</b>

## 8 BIBLIOGRAFÍA

Foundation Analysis and Design, Bowles 1988, Cuarta edición.

Principles of Foundation Engineering, Braja M. Das 1995.

AIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, – Amenaza Sísmica, Bogotá, Comité AIS 300, (1996).

EL CONGRESO DE COLOMBIA, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente.

INGEOCIM LTDA, Zonificación por inestabilidad del terreno en diferentes localidades de Santa Fe de Bogotá, (1998).

GONZÁLEZ A. J., ZAMUDIO E. Y CASTELLANOS R. “Relaciones de Precipitación Crítica-Duración Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia”. Bogotá D.C, (1999).

Consorcio IGR, “Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias - Sitio 2 Barrio Juan José Rondón”, (2005).

ACHILLEOS, Eftychos. User Guide for PCSTABL 5 M. Purpue University – West Lafayette, Indiana. Diciembre de 1988.

DUNCAN, MICHEL EN TURNER, A. KEITH Y SHUSTER, ROBERT. Landslides, Investigation and Mitigation – Special Report 247, Chapter 13, National Academy Press – Washington, D.C. 1996.

FINLAY, P.J., MOSTYN, G.R. y FELL, R. Landslide Risk Assessment – Prediction of

	<b>ESTUDIO GEOTÉCNICO JARDÍN SANTA TERESITA</b>	
	<b>Código: FR-IN-05</b>	<b>Versión: 3</b>
<b>Controlado: SI ( ) NO (X)</b>	<b>Vigencia: 01/01/2018</b>	<b>Página 70 de 70</b>

## 9 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los análisis, conclusiones y recomendaciones del presente estudio se basan en los resultados de las investigaciones realizadas y en la suposición de que las condiciones del subsuelo no se desvían apreciablemente de aquellas obtenidas en los sondeos, ensayos y análisis técnico del proyecto.

Es indispensable que para la ejecución del proyecto se respeten las consideraciones en cuanto al retiro del material de relleno tanto a los costados del proyecto como hacia la parte superior del predio en donde se debe alcanzar una cota de 3021 m.s.n.m. de lo contrario se deben incurrir en cortes sobre este material conservando una pendiente de 2H:1V con fin de evitar posibles desplazamiento del material suelo acumulado en esta zona además de implementar un sistema de drenaje que garantice un adecuado manejo de agua de escorrentía.

Si durante el manejo de la información para proyectos en niveles de escala similares se detectan variaciones en la estratigrafía y/o demás condiciones del subsuelo, se deberán informar al proyectista para poder hacer los ajustes necesarios.

Á  
.

Á  
GERMÁN D. TAPIA M.  
A  
INGENIERO CIVIL  
E  
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA  
U  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
MP. 2520260095 CND