



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

TABLA DE CONTENIDO

1.0	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.-	5
2.0	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.-	6
3.0	GEOLOGÍA.-	14
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL	14
3.1.1	ESTRATIGRAFÍA.	15
3.1.2	ESTRUCTURAL	20
3.2	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.-	21
3.3	GEOLOGÍA LOCAL.-	24
3.3.1	ESTRATIGRAFÍA	25
3.3.2	ESTRUCTURAL	29
3.4	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	30
3.4.1	UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO ANTROPOGÉNICO	32
3.4.2	UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO DENUDACIONAL	35
3.4.3	UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO MIXTO DENUDACIONAL - AGRADACIONAL	36
3.4.4	UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO FLUVIAL	38
3.4.5	UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO ESTRUCTURAL	38
3.4.6	MORFODINÁMICA – INVENTARIO DE PROCESOS	39
3.5	ANÁLISIS MULTITEMPORAL.-	49
3.5.1	RESUMEN MULTITEMPORAL AÑO 1952 – 2004.	54
4.0	INVESTIGACIÓN SUBSOLAR.-	55
4.1	DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO.-	55
4.2	NIVEL DE AGUAS.-	57
4.3	ENSAYOS DE CAMPO.-	60
4.4	ENSAYOS DE LABORATORIO.-	61
4.5	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.-	62
5.0	ANÁLISIS DETALLADO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN.-	69
5.1	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO.-	69
5.2	FORMULACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO.-	71
5.2.1	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO.-	75
5.3	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – ESCENARIO ACTUAL.-	82
6.0	PLAN DE MEDIDAS DE REMEDIACIÓN.-	88
6.1	DREN EN ESPINA DE PESCADO CONFORMADO CON TRINCHERAS DRENANTES.-	89
6.2	LLAVE DE CORTANTE Y CONTRAPESO.-	90
6.3	REVEGETALIZACIÓN DE TODA LA ZONA AFECTADA.-	92



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

7.0	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – ESCENARIO CON MEDIDAS DE REMEDIACIÓN.- _____	93
8.0	RECOMENDACIONES PARA EL PROCESO CONSTRUCTIVO.- _____	95
8.1	DRENAJE Y MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA.- _____	95
8.2	RECOMENDACIONES PARA CORTES.- _____	96
8.3	SISTEMA DE ENTIBADO.- _____	96
8.4	CIMENTACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE DRENAJE.- _____	100
8.5	MATERIAL DE RELLENO DE ZANJAS.- _____	100
8.6	GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN.- _____	101
8.7	MONITOREO DURANTE CONSTRUCCIÓN.- _____	101
9.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.- _____	102



SC-1230-1
SC-CER457592



ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN

INFORME FINAL

Fecha	Versión	Proyecto	Modificaciones	Motivo
28-06-19	1	“La Arboleda de Santa Teresita” Estudio de estabilidad y estabilización de taludes.	---	---
4-07-19	2	“La Arboleda de Santa Teresita” Estudio de estabilidad y estabilización de taludes.	Ajustes de forma.	Se ajusta el contenido de acuerdo con observaciones del cliente.
22-08-19	3	“La Arboleda de Santa Teresita” Estudio de estabilidad y estabilización de taludes.	Se complementan las recomendaciones.	Observaciones de la CVP

AGOSTO DE 2019



Bogotá, D.C., Agosto 22 de 2019
EYR- 15819 ESTABILIDAD

Señores
ODICCO LTDA
Atn; **Dr. Luis Alfredo Quintero**
Ciudad

Estimados señores:

Tenemos el gusto de entregarles el **ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN** de la ladera donde actualmente se construye el proyecto **LA ARBOLEDA DE SANTA TERESITA**, localizado en la **Transversal 15 Este No. 61A – 10 Sur**, localidad de San Cristóbal, en la ciudad de Bogotá (Ver **Figura 1**).



Figura 1 Localización de la zona de estudio (Fuente Google Earth).

1.0 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.-

A mediados del 2018 se detectó la presencia de un proceso de inestabilidad (ver **Figura 2**) que afecta la parte alta de la urbanización Santa Teresita. El movimiento y los empujes de la masa inestable han generado que un tramo de la Línea Quindío – Juan Rey de la red de acueducto, se desempate y genere filtraciones, las cuales a su vez saturan el material potencialmente inestable y aceleran el proceso de inestabilidad.



Figura 2 Proceso de inestabilidad que afecta la parte alta de la urbanización Santa Teresita y a un tramo de la Línea Quindío – Juan Rey de la red de acueducto. Se resalta en rojo el escarpe de falla y la dirección del movimiento. En amarillo se resalta la deformación que presenta uno de los muros de contención contiguos al sector afectado por el proceso de inestabilidad.

Debido a la afectación detectada, se contrató a esta consultoría para realizar el análisis de estabilidad de la zona y proponer las medidas que puedan ser



necesarias para controlar el avance del proceso y garantizar la estabilidad de la urbanización y su entorno.

2.0 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.-

Se realizó la revisión y análisis de algunos conceptos e informes geotécnicos relacionados con la zona de estudio (ver **Tabla 1**), información que fue integrada en el presente documento con el fin de interpretar y comprender adecuadamente la problemática del sector.

Todos los documentos analizados exceptuando al presentado por INGENIERÍA Y GEOTECNIA, coinciden con que en el sector no se presentaban procesos de inestabilidad que impidieran el futuro desarrollo de los proyectos urbanísticos.

Hasta hace algunos años la ladera presentaba una pendiente homogénea y buena cobertura vegetal, solo se podían identificar algunos árboles torcidos y zonas con concentración de flujos de agua. Años después, durante la construcción del proyecto ARBOLEDA SANTA TERESITA, se presenta el evento que afecta un tramo de la línea Quindío - Juan Rey, razón por la cual se contrata al grupo de trabajo de INGENIERÍA Y GEOTECNIA, para que emita su concepto sobre el proceso que afectó el tramo de la tubería de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Solo hasta ese momento y debido a la afectación presentada, fue posible, por medio de un análisis multitemporal que abarcó un periodo de 52 años, delimitar el proceso de inestabilidad y caracterizarlo a través del tiempo con cierto grado de detalle.

De acuerdo a toda la información disponible y sobre su posible afectación sobre la red de acueducto y alcantarillado proyectada se menciona lo siguiente:

- Superficialmente el sector inestable de la zona de estudio se encuentra cubierto por un estrato de suelo residual arcillo-arenoso de alta



SC-1230-1
SC-CER457592



compresibilidad y consistencia muy blanda a firme, que en algunos sectores se encuentra muy saturado.

De acuerdo con el concepto presentado por INGENIERÍA Y GEOTECNIA (ver tabla 1), se estima que el espesor del material potencialmente inestable oscila entre los 4 y 9 metros. Este espesor fue determinado a partir de la información correspondiente a los estudios geotécnicos de la Subestación Eléctrica La Arboleda – Santa Teresita y del Proyecto de Vivienda la Arboleda de Santa Teresita, específicamente con base en los valores de N de campo del ensayo SPT. Estos materiales presentan una resistencia al corte menor 0.2 kg/cm² y un N de campo que varía entre 2 y 14 golpes/pie.

Como parte del estudio geotécnico de cimentación de la red de acueducto y alcantarillado proyectada, efectuado por esta consultoría en el año 2016, se realizaron 17 sondeos de 6.0 y 8.0 metros de profundidad, en la parte media de la ladera, cerca al perímetro de la carrera 5 este. En la **Figura 3** se presenta la variación del N de campo y de la resistencia al corte no drenada, de los materiales muestreados en los principales sondeos realizados dentro del cuerpo del proceso de inestabilidad.

Hasta una profundidad cercana a los 2.5 m se presentan materiales con valores de N, iguales o menores a 10 golpes/pie, con una resistencia al corte no drenada menor a 2.0 kg/cm². Entre 2.5 m y aproximadamente 5.5 m los materiales presentan valores de N que oscilan entre 10 y 15 golpes/pie y una variación en la resistencia al corte de entre 2.0 y 4.0 kg/cm². A partir de dicha profundidad los valores de N superan los 30 golpes y la resistencia al corte no drenada es igual o mayor a 4.0 kg/cm². Esta información permite concluir que en la zona colindante con la vía, los suelos residuales blandos y muy blandos asociados al proceso de inestabilidad tienen espesores que

varían entre 2.5 y 5.5 m, lo cual es consistente con la información reportada por **INGENIERÍA Y GEOTECNIA**.

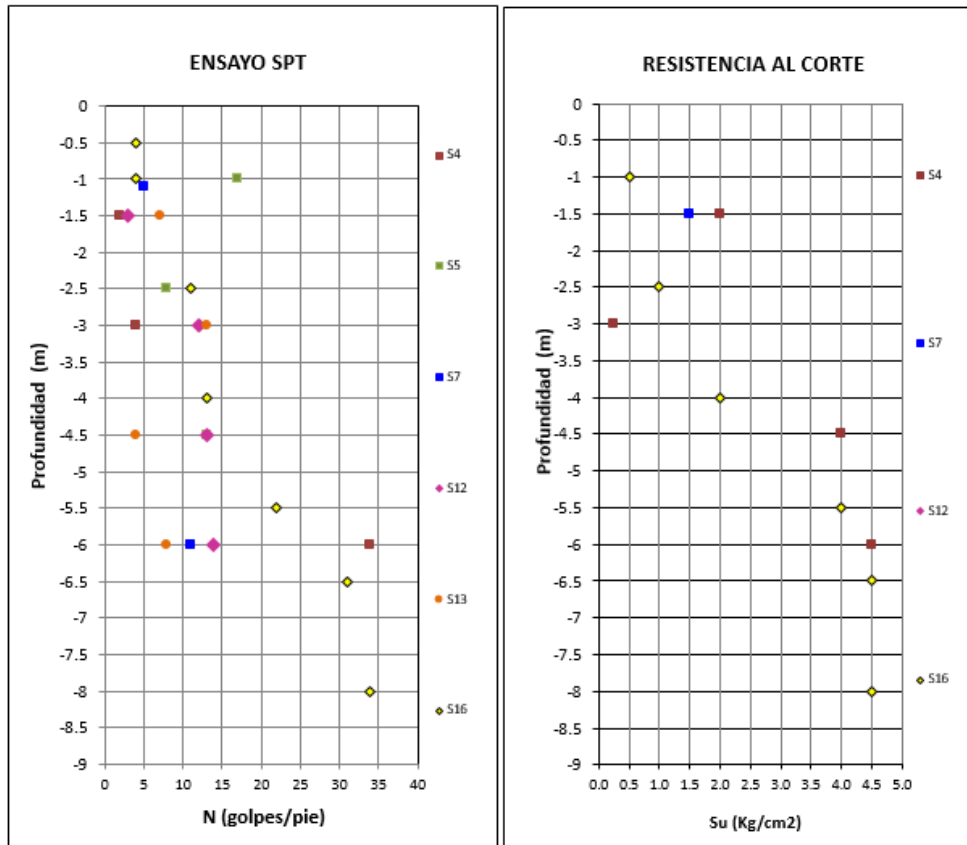


Figura 3 Variación en profundidad del N de campo y la resistencia al corte no drenada - Sondeos S4, S7, S12 y S16 del estudio geotécnico de cimentaciones realizado para las redes de acueducto y alcantarillado de la Urbanización.

- Tanto en la vía como en la zona baja donde se localiza el barrio Nueva Delhi no se identifica evidencia de afectaciones, como fisuras, grietas, deformaciones o cualquier tipo de indicio de procesos de inestabilidad. A diferencia de la parte alta de la ladera, esta zona se encuentra urbanizada hace más de 30 años y de acuerdo con la información consultada, no ha sido afectada por procesos de remoción, ni cuenta con conceptos técnicos de entidades como el IDIGER (antes FOPAE) que indiquen problemas de inestabilidad.



SC-1230-1
SC-CER457592



Se estima que en esta zona, gracias a la cobertura existente y a la construcción de redes de alcantarillado, aún durante los periodos de lluvias largas o intensas, el volumen de precipitación que se infiltra en los suelos, es mucho menor al que se infiltra en la parte alta de la ladera, lo cual teniendo en cuenta las características del material potencialmente inestable, representa una condición muy favorable para su estabilidad.

- Se identifica que el segmento del proceso que actualmente se encuentra activo, se localiza en la parte alta de la ladera. La actividad del proceso se aceleró, durante los periodos prolongados de lluvias intensas que se presentaron a mediados y finales del año 2017 (ver **Figura 4**).

De acuerdo con las condiciones actuales y según las características del proceso, los elementos que podrían considerarse expuestos a las solicitaciones generadas por el proceso de inestabilidad, son el tramo de la Línea Quindío – Juan Rey y las torres de la Urbanización Arboleda Santa Teresita colindantes con la zona activa del proceso. Sin embargo, se espera que la actividad de este proceso se controle, gracias a la construcción de las medidas de mitigación que han sido diseñadas como parte del presente estudio.

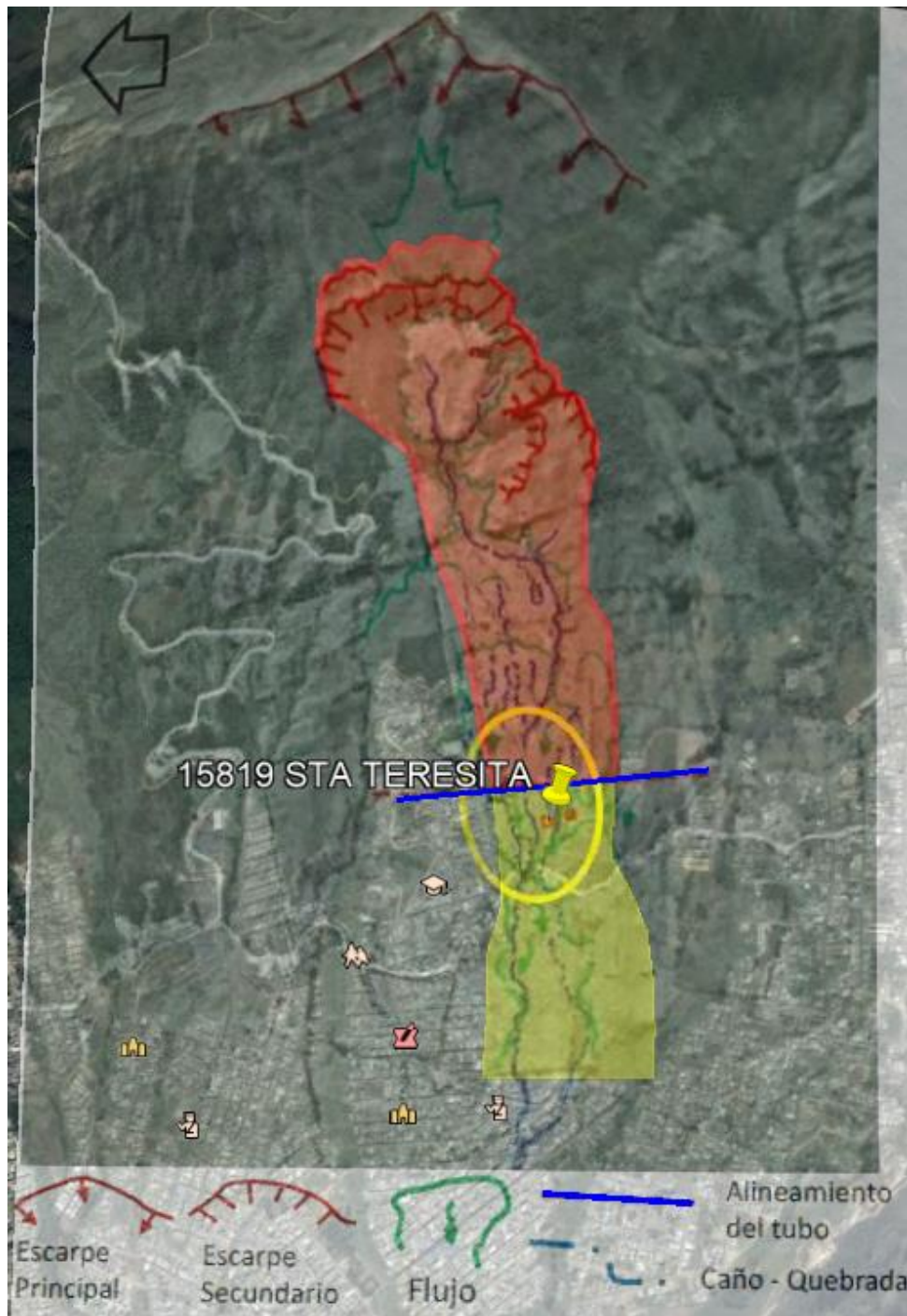


Figura 4 Imagen generada a partir de la superposición de un análisis de foto-interpretación realizado por INGENIERÍA Y GEOTECNIA con la imagen satelital de Google Earth. En color rojo se resalta el sector potencialmente inestable, que se estima activo, en color amarillo la zona del proceso que preliminarmente se considera inactiva.



SC-1230-1
SC-CER457592



Tabla 1- RELACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

FECHA	ENTIDAD	DOCUMENTO TIPO	ID	OBJETO	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
13/06/2017	DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES LTDA (ODICCO)	CONCEPTO TÉCNICO	CVP-ST-ODC-525	Informe estado red matriz línea impulsión Quindío- Juan Rey de la EAB.	Se presenta el desempate de la tubería (línea Quindío - Juan Rey) debido a los empujes de tierras. Al momento de la falla el suelo se encontraba saturado debido a las fuertes lluvias.	No se emiten recomendaciones especiales, solo se solicita a la EAAB el acompañamiento y supervisión de las actividades relacionadas con la tubería que presenta problemas.
25/08/2017	INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.A.S	CONCEPTO TÉCNICO	C132-2017	Concepto Geotécnico sobre el deslizamiento que afecta la línea Quindío- Juan Rey de la EAAB; en el sitio de la Urbanización Santa Teresita.	A partir de un análisis multitemporal de fotografías aéreas que abarcó un periodo de 52 años (1954-2004), se identifica la existencia de un flujo de tierras, que ha presentado actividad en los periodos de intensas lluvias y/o de duración larga. Con base en la información analizada, se estima que el espesor del material potencialmente inestable oscila entre 2,0 y 9,0 m. Parte del trazado de la línea Quindío - Juan Rey de la EAAB atraviesa el cuerpo del proceso de inestabilidad. Hasta la fecha se ha presentado la afectación de 70,0 m del segmento de la red.	Se recomienda construir obras de drenaje superficial y subsuperficial y proteger el segmento de la línea Quindío - Juan Rey con una estructura de contención que deberá quedar cimentada por debajo del límite de la masa potencialmente inestable. De igual forma se recomienda reemplazar la tubería existente por una sin juntas soldadas que le confiera mayor flexibilidad.



SC-1230-1
SC-CER457592



Tabla 1- RELACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

FECHA	ENTIDAD	DOCUMENTO TIPO	ID	OBJETO	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
??/08/2017	OFICINA DE DISEÑOS CÁLCULOS Y CONSTRUCCIONES LTDA (ODICCO)	INFORME TÉCNICO		Actualización de los estudios detallados de riesgos y amenaza por fenómenos de remoción en masa para proyectos urbanísticos y de construcción fase II en los predios que indica la caja de vivienda popular.	Como resultado del análisis realizado se concluye que las condiciones hidrogeológicas del sector no son un factor desfavorable para la proyección de obras civiles, teniendo en cuenta que solo se identificaron algunos procesos erosivos menores en la periferia de las escorrentías presentes en el sector y a que no se identificaron procesos de inestabilidad de gran magnitud. Se identifican algunos pequeños procesos localizados en zonas afectadas por la intervención antrópica.	Como medidas de mitigación del riesgo se propone la construcción de sistemas de drenaje superficial y subsuperficial. Para zonas de plataformas y cambios de nivel significativos, se plantea la construcción de muros de contención. Para cortes mayores localizados en algunas zonas perimetrales a los bloques de apartamentos se proyectan muros anclados. Como parte del plan de seguimiento y monitoreo se recomienda el reconocimiento e inspección visual, sobre todo en periodos de lluvias y la instalación de puntos de control topográfico, los cuales deberán contar con un seguimiento mensual por un periodo no menor a 6,0 meses.



SC-1230-1
SC-CER457592



Tabla 1- RELACIÓN DE FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

FECHA	ENTIDAD	DOCUMENTO TIPO	ID	OBJETO	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
20/10/2017	INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y GEOTÉCNICA	INFORME TÉCNICO	AR-104	Evaluación geotécnica y planteamiento de obras de mitigación de los taludes en corte y rellenos con muros perimetrales a los bloques de apartamentos sectores Sur y Suroriental, perimetrales a la tubería Red matriz del Acueducto, en la Urbanización La Arboleda Santa Teresita.	Se presenta el análisis, diseño y las recomendaciones para la construcción de obras de contención, principalmente muros de contención en concreto reforzado para sectores específicos. Para algunos sectores se especifica que los muros deberán ir cimentados sobre pilotes con una longitud máxima de 5.0 metros.	No se emiten recomendaciones diferentes a las asociadas con los procesos constructivos de las obras.



3.0 GEOLOGÍA.-

Con base en la información secundaria recopilada y la información levantada en la visita de campo realizada, se presenta la descripción geológica, geomorfológica e hidrológica del área donde se localiza la zona de estudio.

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Con base en los estudios geológicos regionales realizados hasta la fecha por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, antiguo Ingeominas) y especialmente, los efectuados en los años 1988, y 2005 (Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá, Esc. 1:25.000, y Mapa geológico de la Sabana de Bogotá, Escala 1:100.000), y estudio de mayor detalle realizados por el FOPAE (año 1997) y la Secretaria de Ambiente (Año 2012), la zona de estudio se ubica en los Cerros Orientales de Bogotá, en donde afloran rocas sedimentarias, y continentales, principalmente del Cretáceo-Terciario, recubiertas en sectores por depósitos cuaternarios, como es el caso del sector donde se ubica la zona de estudio.

Las rocas Cretácicas conforman la parte media-alta de los cerros; están agrupadas en las formaciones: Arenisca Dura y Plaeners del Grupo Guadalupe; las rocas de la serie paleoceno - eoceno que conforman la parte media-baja de los Cerros, se agrupan en las Formaciones Guaduas, Cacho y Bogotá; sobre esta última unidad, se ubican los depósitos donde se encuentra la zona de estudio.

Desde el punto de vista estructural, los cerros conforman el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá, el cual tienen un rumbo general NNE, y se encuentra influenciado por la falla de Bogotá, de índole inversa y dirección paralela a la estructura anticlinal.



3.1.1 ESTRATIGRAFÍA.

Con base en el plano geológico del estudio de Zonificación de Riesgo por inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa fe de Bogotá de la localidad de Rafael Uribe (UPES – FOPAE. Año 1.997), y del plano geológico del proyecto: Sistema de modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital (Alcaldía mayor de Bogotá, Secretaria de Ambiente. Año 2012), se indica las unidades geológicas y estructuras, aflorantes en cercanías de la zona de estudio (**Ilustración 1 e Ilustración 2**).

Las diferencias en estas dos fuentes para la zona de estudio radican en la extensión de depósitos cuaternarios, siendo de mayor detalle en el estudio del UPES – FOPAE, y las rocas aflorantes en la parte alta, donde el estudio de la SDA identifica la secuencia completa del Grupo Guadalupe, mientras que el estudio del UPES – FOPAE identifica una sola unidad.

Grupo Guadalupe, Ksg.

Corresponde a un conjunto de formaciones de rocas sedimentarias, definidas originalmente como una sola formación por Karsten, 1858, quien les atribuyó un espesor de 1000 m y modificado por Hettner, 1892, quien las denominó como un piso, pero con límites estratigráficos imprecisos. Posteriormente en 1926, Stutzer, describió la unidad con el rango de formación sin introducir modificaciones apreciables; de 1931 a 1933 Huback, divide el Grupo Guadalupe en areniscas Tierna, Plaeners y Dura, y un conjunto superior arcilloso, bajo un conjunto denominado Guaduas y sobre un nivel calizo que denominó conjunto de Chipaque. El mismo autor en 1957, eleva el Guadalupe al rango de Grupo con dos formaciones: Guadalupe Superior constituido de base a techo por las areniscas duras, los Plaeners y la arenisca Tierna, expuesto en la angostura del río San Francisco de Bogotá, y el Guadalupe Inferior arcilloso expuesto en la hoya del río San Cristóbal.



Posteriormente Bürgl en 1959, propone una nueva nomenclatura constituida de techo a base por la arenisca tierna, los Plaeners Superiores, la Arenisca Dura, plaeners y arcillas, arenisca no denominada, plaeners y areniscas, primera lidita, arenisca no denominada, plaeners y areniscas, segunda lidita. Más recientemente y después de varias discusiones de Jullivert y Renzoni modifican todos estos términos y en 1971 Pérez y Salazar hacen un levantamiento detallado y el Grupo Guadalupe lo dividen de base a techo en: Formación Arenisca Dura (Ksgd), Formación Plaeners (Ksgp), Formación Arenisca de Labor y Tierna (Ksgl).

Los macizos rocosos correspondientes a rocas del Grupo Guadalupe se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso en los miembros Labor y Tierna y Dura, donde predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos rocosos explotados (bancos de areniscas) tienen delgadas intercalaciones de lodolitas grises, que han conformado los planos a lo largo de los cuales se han presentado deslizamientos planares de grandes magnitudes en ciertos sectores de Bogotá.

Los procesos típicos donde afloran estas rocas corresponden a caídas menores de bloques de arenisca en los escarpes estructurales y procesos de volteos mayoritarios, condicionados juntos por la verticalidad de la estratificación y el espaciamiento y orientación de las discontinuidades

Formación Guaduas (KTgi).

Consta principalmente de arcillolitas con frecuentes intercalaciones de areniscas. Dentro de estas últimas se destacan las denominadas Areniscas La Guía y Arenisca Lajosa que ha permitido subdividir el Guaduas en tres conjuntos:



SC-1230-1
SC-CER457592



- a) Conjunto inferior (KTgi): Consta esencialmente de arcillolitas de color gris oscura con una delgada capa delgada de carbón en el tope. El espesor del conjunto alcanza los 65 metros.
- b) Conjunto medio (KTgm): Está determinado por dos niveles de arenisca. En la base la Arenisca la Guía (de 30 metros de espesor aproximadamente), y en la parte superior la Arenisca Lajosa. Entre ambas areniscas se encuentra una masa de arcillolita gris oscura, compacta, que contiene mantos de carbón potencialmente explotables. Las areniscas de esta parte del Guaduas son ortocuarcitas similares a las de la parte superior del Grupo Guadalupe.
- c) Conjunto superior (KTgs): Consta de arcillolitas abigarradas (rojizas, azuladas, verdes, y moradas) en las que localmente hay mantos delgados de carbón y bancos de areniscas, poco compactas de grano medio a grueso. Las rocas de este conjunto tienen mayor plasticidad que las lutitas del nivel inferior.

Formación Cacho, Tpc.

Areniscas de grano fino a grueso, a veces conglomeráticas de color pardo a blanco y rosado, friables con textura ripiosa (no homogénea). A la base presentan estratificación cruzada e intercalaciones con capas delgadas a medias de arcillolitas abigarradas (amarillentas y rojizas). El espesor en la quebrada de San Cristóbal según HUBACH (1957) es de 50-100 m.

Formación Bogotá, Tpb. Tib.

Hubach (1931), denominó piso de Bogotá a la secuencia del terciario medio que está constituido por tres conjuntos, el inferior, es arenoso y arcilloso e incluía el Horizonte de Cacho en la parte basal; el conjunto medio conformado por arcillolitas



abigarradas entre las cuales se intercalan algunos bancos gruesos de areniscas y areniscas arcillosas y el conjunto superior, formado por bancos de areniscas de grano grueso, blandas que alternan con arcillolitas abigarradas.

Sus arcillas se utilizan para la fabricación de ladrillos y por su carácter impermeable se emplea para la conformación de depósitos de basura.

Formación Regadera, Teri, Tir.

Acosta y Beltrán (1987) describen a la Formación Regadera como un conjunto predominantemente de areniscas (80%). Estas varían desde areniscas lodosas conglomeráticas en la base de la secuencia, a lodosas de grano medio al tope, mostrando un grano de crecimiento general y una selección regular. En esta secuencia, las estructuras sedimentarias presentes son estratificación inclinada en artesa de pequeña y mediana escala y paleocanales, dominantes en los últimos 25 m. Los colores de estas areniscas son amarillo, blanco y rojo, que aumentan hacia los contactos donde hay formación de costras ferruginosas. En el conjunto predominan las areniscas y conglomerados dando a esta unidad el carácter de nivel duro que destaca netamente en el relieve dando fuertes crestones.

La Formación Regadera ha sido estudiada y sus parámetros geotécnicos cuantificados en la Localidad de Rafael Uribe en estudios contratados por el DAMA (2006). Tanto areniscas como arcillolitas presentan comportamiento de roca blanda. Los estudios sobre los macizos rocosos (areniscas) han dado como resultado macizos tipo IV y V según la clasificación de Bieniawski, es decir, macizos de calidad mala y muy mala.

Los procesos típicos en los escarpes de contrapendiente de areniscas son caídas de bloques de areniscas friables, los cuales se producen por extracción de materiales en capas infrayacentes a las areniscas quedando voladizos que configuran la posibilidad de caída.

En los estudios llevados a cabo por el DAMA (2006) en la zona de chircales de la Localidad de Rafael Uribe, se tienen valores de cohesión para lodolitas entre 0 y 2,4 ton/m² y ángulo de fricción interna para lodolitas entre 17 a 34° y de 20 a 34° para areniscas. Los valores similares pueden explicarse dada la presencia de matriz arcillosa de las areniscas y el hecho que la textura de estas rocas sea matriz-soportada.

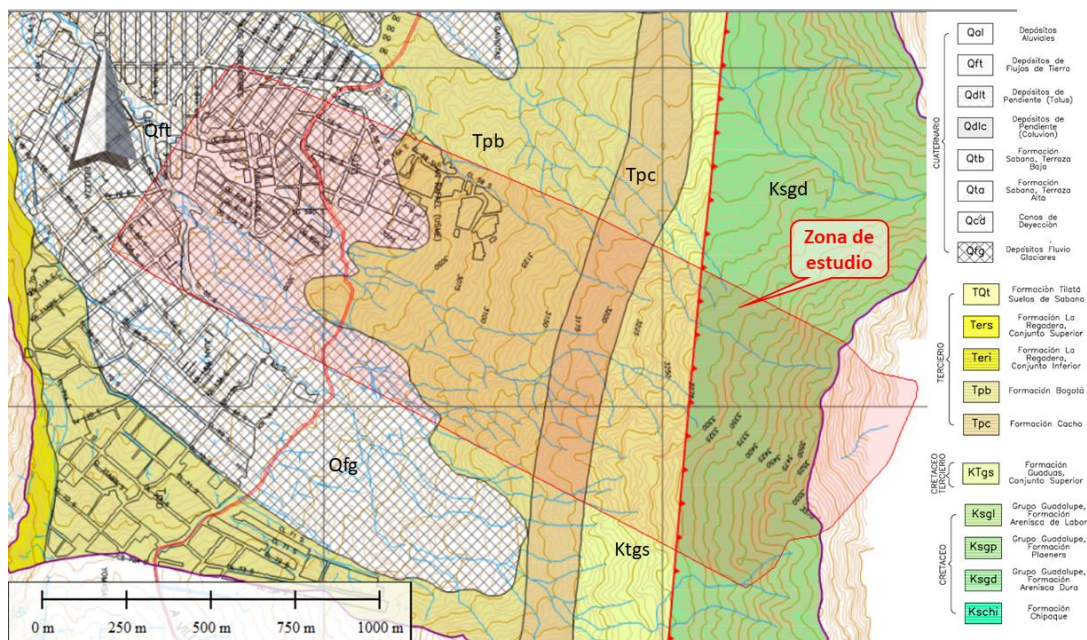


Ilustración 1 Figura extraída del estudio de Zonificación de Riesgo por inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa fe de Bogotá. UPES – FOPAE, 1.997, donde se plasma a nivel regional las unidades geológicas aflorantes y cercanas de la zona estudio. La zona de estudio se enmarca en polígono rojo.

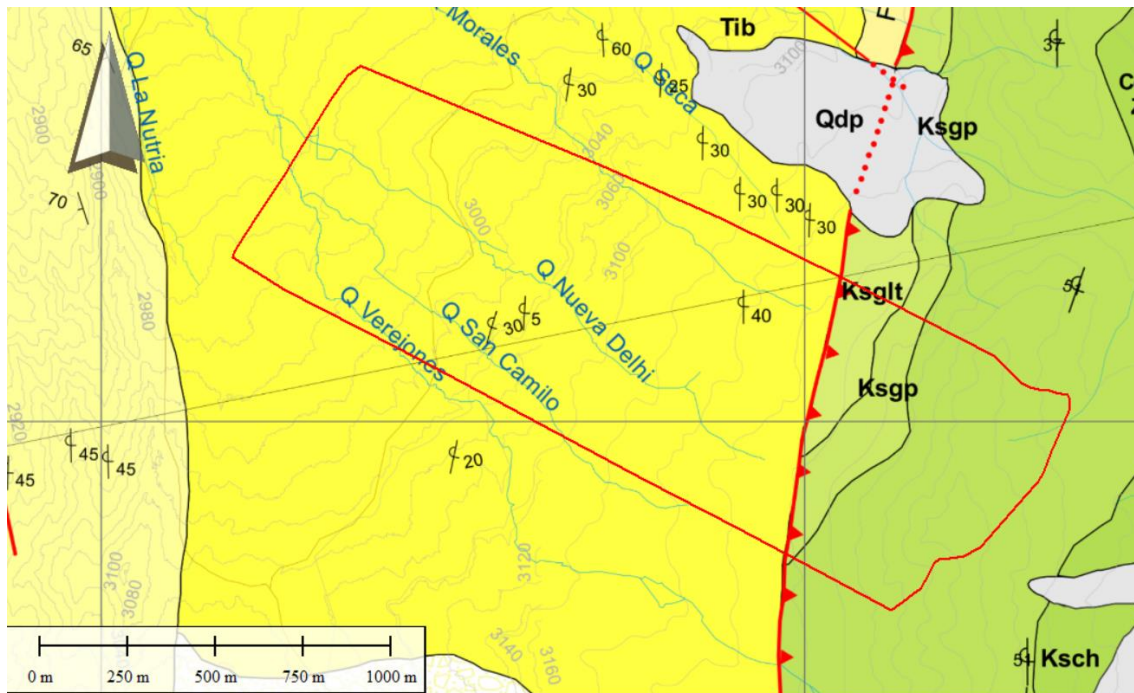


Ilustración 2 Figura extraída del estudio del proyecto: Sistema de modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital (Alcaldía mayor de Bogotá, Secretaria de Ambiente. Año 2012, donde se plasma a nivel regional las unidades geológicas aflorantes y cercanas de la zona.

3.1.2 ESTRUCTURAL

Con base en la **Ilustración 1** e **Ilustración 2**, las principales estructuras observadas en cercanías de la zona de estudio, y que influyen sobre el mismo, son:

Falla de Bogotá.

Está situada en el borde occidental de la Serranía de Bogotá, y tiene una longitud de 107 km, entre el río Gallo en el Páramo de Sumapáz, al sur, y el río Teusaca, al norte. Se encuentra al oriente de la ciudad de Bogotá, y su traza pasa por los barrios: el Paraíso, Siberia central, Bellavista, Bosque Calderón Tejada, Las Acacias, los Cerros, Los Rosales, El Refugio, Toscaza y el Chico.



La Falla de Bogotá, un cabalgamiento con rumbo N10E y buzamiento de 15° a 25° al este, pone en contacto en la mayor parte de su recorrido rocas de la Formación Arenisca de labor con rocas del conjunto superior de la Formación Guaduas.

3.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.-

Para la identificación y clasificación morfológica se tomó y modificó de la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1: 100.000, Servicio Geológico Colombiano, SGC (SGC, 2012).

El análisis de los diferentes rasgos geomorfológicos permite plasmar una idea de las expresiones del relieve y la dinámica superficial en función de aspectos como: morfogénesis, morfometría, morfodinámica, entre otros.

De acuerdo con la metodología propuesta por Carvajal y Otros, (SGC , 2004), y adaptado por Carvajal (SGC, 2012), las categorías definidas en los estudios de geomorfología de escala mayor a menor son: geoestructura, provincia, región, unidad, subunidad y componente (**Ilustración 3**).

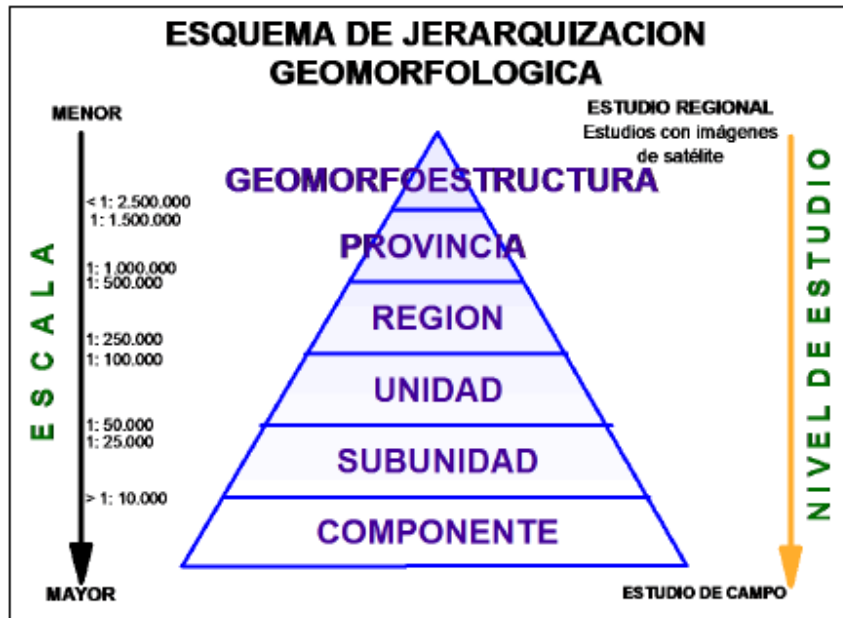


Ilustración 3 Esquema de jerarquización geomorfológica
Fuente: Carvajal, 2012

Las morfoestructuras corresponden a regiones areales de gran tamaño o amplios espacios continentales o intracontinentales, caracterizados por estructuras geológicas y topográficas regionales.

La categoría de provincia geomorfológica se otorga a conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macrorelieve y una génesis geológica similar.

Las unidades geomorfológicas son definidas por una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por ambiente geomorfológico: estructural, denudacional, fluvial o antrópico

El siguiente nivel de clasificación corresponde a las subunidades, la cuales están definidas fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismo.



Con base en los objetivos del presente estudio se define como unidad cartográfica el Componente Geomorfológico (Geoforma). Esta subdivisión representa el máximo nivel de detalle en la jerarquización y determina los rasgos de relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle, escarpes estructurales, perfiles de suelos característicos o remanentes, entre otros) definidos en áreas puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica. Igualmente puede estar definida por microrelieves asociados con una característica litológica.

La zona e estudio se localiza hacia el suroriente de la ciudad de Bogotá, en un terreno con paisaje de montaña donde afloran depósitos arcillosos que le dan una morfología suave, alomada. Parte del terreno se encuentra en laderas dedicadas al pastoreo y pequeñas actividades agrícolas; otra parte ya con construcciones de viviendas y/o obras civiles.

Está atravesada por los cauces de las quebradas: Nueva Delhi, San Camilo y Verejones.

Con base en el plano geológico del estudio de Zonificación de Riesgo por inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa fe de Bogotá de la localidad de Rafael Uribe (UPES – FOPAE. Año 1.997), se observa que en la zona de estudio no se reportan procesos que indique inestabilidad del terreno, y/o actividad extractiva de materiales, actual o en el pasado.

Con base en la **Ilustración 4**, se observa los procesos que se tiene registro en antecedentes históricos con base en el “Estudio de zonificación de Riego por Inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santafé de Bogotá (UPES – FOPAE. 1997).

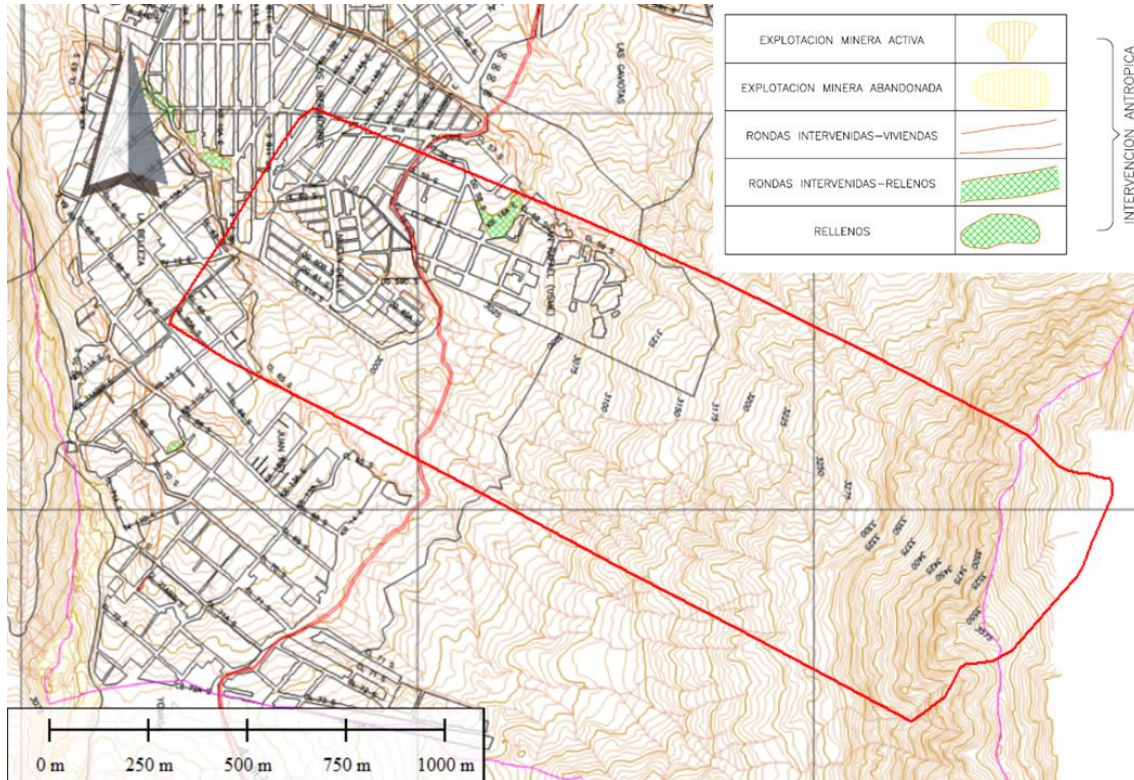


Ilustración 4 Figura extraída del plano de inventario de procesos de la Localidad de Rafael Uribe, del estudio de Zonificación de Riesgo por inestabilidad del terreno para Diferentes Localidades de Santa fe de Bogotá. UPES – FOPAE, 1.997. La zona de estudio se enmarca en polígono rojo.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL.-

Los códigos de las unidades en el presente estudio, han sido modificados de acuerdo con las normas del Código Estratigráfico Internacional y con la nomenclatura estratigráfica empleada por el Servicio Geológico Colombiano, SGC, antiguo INGEOMINAS (Hernández, 2001, Hernández et al., 2002, Rodríguez y Londoño, 2002, Arias y Morales, 2002).

Los colores empleados para las diferentes unidades geológicas en el Plano de Geología Local, se utilizaron con base el informe de Estándares Cartográficos de Mapas Geológicos (SGC. 2012).



3.3.1 ESTRATIGRAFÍA

Con base en las observaciones de campo, la descripción de los núcleos de perforación de catorce (14) sondeos mecánicos que alcanzaron hasta los 19 metros de profundidad (S04), se describen las siguientes unidades de depósito y roca, aflorantes en la zona de estudio. Su extensión se observa en el Plano de Geología Local.

Formación Arenisca Dura, K2d.

Según la literatura, la parte inferior corresponde a areniscas de grano fino, arcillosa, grisáceas a blancas. Ocurren en bancos gruesos separados por capas finas de arcillolitas blancas. Las areniscas son compactas. En la parte intermedia consta de una intercalación de estratos de espesor aproximadamente igual entre areniscas, lodolitas, y arcillolitas. En la parte superior las areniscas son arcillosas, con estratificación gruesa, y compactación variable.

Esta roca aflora en la parte alta de la zona de estudio; no se alcanzó a llegar hasta la misma.

Formación Bogotá, roca meteorizada, E2b-rm.

Corresponde a la intercalación de capas gruesas de arcillolitas grises varicoloreadas, con capas de areniscas. Esta roca se reportó en los sondeos: S01, S02, S03, S04, S05, S08, S09, S10, S11 y S14, por medio de perforación mecánica, y se encuentran cubiertas discordante e indiferentemente por: suelos residuales, depósitos coluviales, y material desplazado reciente. En la zona de estudio se observa un pequeño afloramiento de esta roca (**Ilustración 5**).

Pruebas con el penetrómetro de bolsillo dan valores $>4,5$ Kg/cm² en las arcillolitas.



Ilustración 5 Se observa ventana en arcillolitas de la Formación Bogotá en sector de obra.

Rellenos antrópicos, Q2ra.

Corresponde a sectores donde se ha emplazado grandes volúmenes de rellenos varios, compuestos por material de descapote, plásticos, escombros de construcción, en matriz limo – arcillosa. Se localizan al costado suroccidental de la zona de estudio, con espesores hasta decimetricos (**Ilustración 6**).



Ilustración 6 Relleno antrópico confinado con muro en concreto, parte oriental de la Urbanización Santa Teresita.

Depósitos de actividad antrópica, Q2daa.

Correlaciona con los rellenos antrópicos, emplazados para nivelar el terreno para la construcción de unidades de vivienda y de vías.

Hace referencia a los materiales seleccionados, emplazados y compactados, para nivelar el terreno hacia la construcción de obras civiles como viviendas y parques. Generalmente presentan una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas, y en ocasiones materia orgánica, embebidas en esta.

Depósitos antrópicos compactados, Q2dac.

Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolló la construcción de obras civiles como vías (trv 15 este y vía que conduce a la parte alta) de la zona de estudio y zonas aledañas. Este tipo de depósitos presentan espesores variables entre 0.50 y 2 m, siendo mayores, posiblemente en los sectores de rellenos en sectores deprimidos. Su composición, está conformada

generalmente por mezclas proporcionadas de materiales granulares y cohesivos, compactados. Presentan una matriz de textura arcillo limosa a limo arenosa.

Depósito coluvial, Q2dc.

Se agrupan bajo esta definición los materiales traslocados de media ladera relacionados con procesos de inestabilidad, y estabilizados. En ellos predominan los fragmentos de tamaños variados, hasta decimétricos. Son depósitos matriz – soportados (coluviones), permeables. Su matriz de textura areno - limosa variable a areno - arcillosa, de espesores variables, y de compactación entre floja y medianamente densa (**Ilustración 7**).



Ilustración 7 Depósito coluvial aflorante en corte antrópico dentro de la zona de estudio.

Depósito aluvial, Q2da.

Corresponde a la intercalación e interdigitación de lentes de: arenas, limos, arcillas, gravas, inconsolidados, asociados a la dinámica de las quebradas: Nueva Delhi, San Camilo y Verejones, que atraviesan de oriente a occidente la zona de estudio.



Material desplazado reciente de flujos, Q2mdf.

Corresponde al material que se ha movilizado recientemente, producto de un movimiento en masa tipo flujo de tierras, que sucede dentro de la zona de estudio y que es antiguo (existe evidencia de árboles de eucaliptos muy viejos que presentan deformación en su tronco). El material desplazado corresponde a una serie de limos arcillosos, que localmente varían a limos arenosos, inconsolidados, de consistencia muy blanda, muy saturados a saturados. Su espesor no pudo ser medido en campo, pero se estima que en la parte baja puede involucrar unos 5 metros de espesor (se observa una deformación del muro construido en la parte oriental y alta de la urbanización Santa Clara, que presenta cierta deformación asociada a este movimiento).

Material desplazado reciente de reptación, Q2mdr.

Corresponde al material que se ha movilizado recientemente, producto de un movimiento en masa tipo reptación y que sucede dentro de la zona de estudio. El material desplazado (con velocidades muy bajas), corresponde a suelos de textura limo – arcillosa, que varía a arcillo – limosa, y localmente limo – arenosa, inconsolidados, de consistencia entre muy blanda y blanda, con sumatoria de las dos últimas secciones de SPT entre 4 y 13 golpes, con presencia alta de humedad. Este material es reportado en las perforaciones S04, S07, S08, S09, S12, S13 y S14, con espesores entre 1 m (S14) y 14 metros (S13).

3.3.2 ESTRUCTURAL

En el sector donde afloran rocas de la Formación Bogotá meteorizadas, fue posible realizar una medición de azimut de buzamiento / buzamiento (estratificación), valore que es consignados en la **Tabla 2** y se observan en el Plano de Geología Local.

Es importante recalcar que en la parte alta de la zona de estudio transcurre la traza de la Falla de Bogotá, falla de cabalgamiento con vergencia al occidente y que

pone en contacto rocas de la Formación Dura (K2d) con roca de la Formación Bogotá (E2b).

Tabla 2 Mediciones de estratificación y familias de diaclasas en el terreno

Estación	Coordenadas			Estratificación
	E	N	Altura	E
Sc13	99247	92148	3084	90/30

3.4 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Entre los aspectos importantes de utilidad de la temática de geomorfología aplicada en la identificación de amenazas naturales, se tiene la caracterización de las formas de los terrenos por su génesis y parámetros morfogénicos, entre los cuales se consideran por su importancia ingenieril, la forma, longitud y la inclinación de la pendiente de dichos terrenos

Inclinación de la ladera

Parámetro fundamental en los análisis de estabilidad de los terrenos, corresponde al ángulo de inclinación que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal imaginario. Los índices de inclinación de la pendiente de las laderas se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3 Clasificación de las pendientes.

Parámetro	Unidad cartográfica de parámetro	Inclinación (grados)
Inclinación de las laderas	Plana a suavemente inclinada	0 – 5
	Inclinada	5 – 10
	Muy Inclinada	10 – 15
	Abrupta	15 – 20
	Muy Abrupta	20 – 30
	Escarpada	30 – 45
	Muy escarpada	> 45

Fuente: Carvajal, 2012

Forma de ladera

Se puede categorizar en términos o clases. Esta expresión de la pendiente refleja la homogeneidad en la resistencia de los materiales, y la presencia o control de estructuras geológicas (**Tabla 4**).

Tabla 4 Formas de la ladera

Clase	Características del material	Fenómenos de remoción en masa asociados
Recta	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente.	Movimiento Traslacional.
Cóncava	Material blando y disposición estructural no diferenciado.	Deslizamiento Rotacional.
Convexa	Materiales blandos y disposición estructural casi horizontal.	Predomina Meteorización y Erosión. Pequeños Deslizamientos Rotacionales.
Irregular O escalonada	Materiales con resistencia variada. Disposición estructural en contra de la pendiente.	Caída de Bloques. Erosión Diferencial.
Compleja	Mezcla de materiales. Disposición estructural no definida.	Deslizamientos Complejos

Fuente: Carvajal, 2012

Longitud de ladera

Posible indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas, y se puede establecer una relación entre la longitud de la ladera y la homogeneidad del material (a mayor longitud mayor homogeneidad). Igualmente la longitud de la ladera puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de procesos morfodinámicos. Las anteriores relaciones no siempre son válidas y se deben analizar en conjunto con otros atributos que califican la ladera. La **Tabla 5** muestra la categorización de las longitudes de ladera según Van Zuidam (1986).

Tabla 5 Índices de Longitud de la ladera

Longitud (metros)	Descripción
< 50m	Muy corta.
50 – 250 m	Corta.
250 – 500 m	Moderadamente larga.
500 – 1000 m	Larga.
1000 – 2500 m	Muy larga.
> 2500 m	Extremadamente larga.

Fuente: Carvajal, 2012



Morfogénesis

Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma del paisaje. El origen del paisaje depende de procesos endógenéticos y la modificación de los agentes exógenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.

La nomenclatura y colores, de las unidades geomorfológicas locales, se realizó y modificó con base en la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 (SGC. 2012).

En la zona de estudio confluyen ambientes morfogenéticos de tipo: antropogénico, denudacional, mixto Denudacional – agradacional, fluvial y estructural, donde se describen las siguientes unidades geomorfológicas, cuya extensión se observa en el Plano de Geomorfología Local y sus principales características en la superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.

Esta unidad sucede en pendiente estructural de rocas de la Formación Arenisca Dura, y se localiza en la parte más oriental de la zona de estudio.

3.4.1 UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO ANTROPOGÉNICO

Terraceo en rellenos antrópicos, Atra.

Planos hechos artificialmente con material de relleno, dispuestos en volúmenes verticales muy considerables. Corresponden a materiales de descapote como lo son: gravas y bloques de areniscas, arcillas, y arenas, mezclados con materiales de construcción (**Ilustración 8**).

Debido a sus características, se considera que esta unidad es susceptible al desarrollo de focos de erosión, que podrían contribuir a la generación de movimientos en masa localizados.



Ilustración 8 Se observa disposición de rellenos varios hacia el costado sur de la urbanización Santa Teresita.

Planos y campos de llenos antrópicos, Ar.

Corresponde a los sectores donde se ha adecuado el terreno para la construcción de diferentes tipos de unidades de viviendas de diferentes niveles, vías y adenes de la zona de estudio. Planos artificiales con material de relleno para para mejorar los materiales de soporte de estructuras (terraplenes, y rellenos de mejoramientos de base para edificaciones). Técnicamente son gravas, bloques y arena bien a moderadamente compactados.

Puede ser susceptible a presentar hundimientos por estudios de suelos deficientes, en zonas de ladera con deficientes sistemas constructivos y/o procesos de inestabilidad actuantes.

Superficie de explanación, Asp.

Correlaciona con los sectores, donde se ha adecuado el terreno para la construcción de obras civiles como vías, andenes y otros constituidos con rellenos antrópicos técnicos (trazado de la transversal 15 este y vía que conduce a la parte alta). Corresponde a planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados, con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno, y/o rellenos para conformar el terreno (**Ilustración 9**).

Al encontrarse parte de esta unidad, sin cubrimiento alguno, y sin la adecuación de obras de canalización o de construcción de aguas de escorrentía apropiadas, es susceptible a desarrollar focos de erosión laminar y en surcos.



Ilustración 9 Vía existente conocida como el “Camino Ancestral Puente de Piedra”, el cual conduce a la parte alta de la ladera. Se observa desarrollo de focos de erosión laminar y en surcos.



3.4.2 UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO DENUDACIONAL

Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión, Dco.

Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo arcillosa.

Corresponde a una unidad en paisaje de piedemonte, forma de terreno de ladera, con inclinaciones variables hasta abruptas (hasta de 20°), y que cubre un gran porcentaje de la zona de estudio.

Esta unidad en condiciones altas de humedad, y cambios en el uso del suelo como cortes en la misma, es susceptible a la generación de movimientos en masa.

En parte de esta unidad, inmediatamente al oriente de la urbanización Santa Teresita, se observan que fueron realizados cortes para trazados de vías en tiempos pasados, cuyo fin se desconoce, posiblemente para urbanizar el sector (**Ilustración 10**).



Ilustración 10 Se observa corte de trazado de vía en ladera en depósito coluvial.

Ladera ondulada, Dlo.

Superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Esta unidad es característica en la zona de estudio y corresponde al sector donde afloran rocas de la Formación Bogotá.

Esta unidad por cambios en el uso del suelo, cortes en la misma y retiro de la capa vegetal protectora, es susceptible a la generación de focos de erosión.

3.4.3 UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO MIXTO DENUDACIONAL - AGRADACIONAL

Ladera con movimiento en masa tipo flujo, MDAlmmf.

Esta unidad hace referencia a la geoforma originadas por movimientos en masa tipo flujo. Presenta un paisaje de piedemonte, forma de terreno de ladera e

inclinaciones variables entre inclinadas hasta muy abruptas en los bordes de la misma. Afecta depósitos coluviales y suelos residuales de la Formación Bogotá.

Esta unidad presenta un tipo de relieve de vallecito, ya que la misma se ha encausado por una esorrentía local.

Ladera con movimiento en masa tipo reptación, MDAlmmr.

Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos superficiales tipo reptación y se puede presentar en pendientes de inclinadas a muy inclinadas (desde 5° hasta 15°). Corresponde a movimientos superficiales, que presentan una deformación dúctil, sin existir plano de falla. Se presentan en áreas extensas de terreno, y las geoformas que se observan, por lo general presentan rasgos de desplazamiento menores, como terracillas y lobulaciones (Ilustración 11); debido principalmente a que el material que las conforma se comporta de manera dúctil (suelos residuales o rellenos).

Esta unidad presenta localmente sectores anegados, situación que contribuye al proceso de inestabilidad (**Ilustración 12**).



Ilustración 11 Se observa pequeña loma afectada en sus bordes por movimiento en masa tipo reptación.



Ilustración 12 Sector en la parte media de la zona de estudio, donde se encuentra una zona anegada. La vegetación presente indica saturación del terreno en gran parte del año.

3.4.4 UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO FLUVIAL

Planicie aluvial confinada, Fpac.

Franja de terreno de morfología plana, muy angosta eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otras geoformas de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo.

Hace referencia a las planicies aluviales asociadas a las quebradas: Nueva Delhi, Verejones y San Camilo, que discurren en la zona de estudio en sentido aproximado oriente – occidente. La quebrada San Camilo es la que presenta el más bajo nivel de agua.

Estas unidades son susceptibles a incrementar el nivel de su tabla de agua en temporada de lluvias.

3.4.5 UNIDADES DE AMBIENTE MORFOGENÉTICO ESTRUCTURAL



Escarpe de línea de falla, Sife.

Plano vertical a subvertical corto a muy corto, cóncavo a convexo de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada.

Presenta un paisaje de montaña, un tipo de relieve de escarpe, y laderas con inclinaciones hasta muy escarpadas (mayores de 45°), y sucede en contrapendiente estructural. Esta unidad está asociada al escarpe en rocas de la Formación Dura, escarpe cuya génesis está relacionada al cabalgamiento de la Falla de Bogotá.

Esta unidad presente en la parte alta de la ladera es susceptible a procesos de caídas de roca.

Ladera estructural, Sle.

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.

Esta unidad sucede en pendiente estructural de rocas de la Formación Arenisca Dura, y se localiza en la parte más oriental de la zona de estudio.

3.4.6 MORFODINÁMICA – INVENTARIO DE PROCESOS

La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades de terreno (SGC, 2012).



Los procesos morfodinámicos agrupan todos los productos activos e inactivos que modifican e influyen en las geoformas existentes. Estos procesos pueden ser erosivos (denudativos) o constructivos (agradacionales) y la interacción de ellos o entre ellos modifica el relieve.

Procesos denudativos:

- Procesos erosivos.
- Procesos de movimientos en masa.
- Degradación antrópica.

Es de recordar que los procesos erosivos, si no son mitigados a tiempo, pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. La probabilidad de ocurrencia de estos eventos, constituyen amenazas que al materializarse pueden generar riesgo para la infraestructura y/o poblaciones (SGC, 2014).

A partir del análisis de sensores remotos y las observaciones en campo, se identificaron zonas con evidencia de procesos morfodinámicos. A continuación, se describen los principales tipos de procesos erosivos y de movimientos en masa, observados en la zona de estudio y zonas aledañas.

Procesos de erosión

En la región estudiada se presentan dos tipos de erosión, una que es producto de la acción natural combinada de diferentes agentes atmosféricos y geológicos sobre el paisaje, que provoca el desgaste natural de la superficie del suelo, la modelación del relieve, la meteorización de las rocas y la formación de suelos; y la erosión provocada por la intervención antrópica sobre la naturaleza, por medio de la tala de bosques, las quemadas, la construcción de vías de comunicación y la utilización de sistemas de explotación agropecuarios inadecuados entre otros, que ha



resultado en la ruptura del equilibrio entre el suelo, la vegetación, el agua y el viento (Bahamón y Gaitán, 1981).

Procesos de erosión tipo: laminar, en surcos y cárcavas

El proceso tipo erosión laminar, se da en zonas donde se presenta alta precipitación y por lo general altas pendientes, poca cobertura vegetal, alta erodabilidad, es decir, el sustrato está compuesto por rocas o depósitos recientes deleznable o muy fracturados, lo que permite el fácil arrastre de las partículas de suelo por el agua; estas aguas no tienen un canal de drenaje definido.

El agua lluvia, durante los fuertes aguaceros, ataca el suelo en su parte superficial, donde sus partículas son desprendidas por el impacto de las gotas y al saturarse el suelo, son arrastradas por el agua en forma homogénea durante la fase de escurrimiento como un flujo delgado y relativamente uniforme (Van Zuidam et al., 1985).

Algunos autores se refieren a este tipo de erosión como “erosión hídrica pluvial” y “escurrimiento superficial difuso”, haciendo la separación entre el momento en que las partículas de suelo son dispuestas para el transporte como un flujo laminar y el movimiento mismo de las partículas.

La costumbre que tienen muchos agricultores de efectuar quemas y cultivos limpios, conjuntamente con las prácticas de desyerbe con azadón favorecen este tipo de erosión (Bahamon y Gaitán, 1981).

Los procesos de erosión tipo surcos y cárcavas, es un tipo de erosión concentrada. Este tipo de erosión se presenta cuando el agua de esorrentía se concentra donde antes existía una zona con procesos de erosión laminar, formando pequeños canales, que se denominan surcos, de poca profundidad y donde se produce arrastre de partículas de suelo, que pueden ser observadas dentro de los canales cuando éstos están secos. Cuando se da una mayor concentración del flujo de



escorrentía, las irregularidades del terreno propician la unión de varios surcos, hasta convertirse en canales mucho más largos, amplios y profundos, conocidos con el nombre de cárcavas.

La formación de surcos y cárcavas se presenta generalmente en suelos poco permeables, en los que la escorrentía excede ampliamente a la infiltración durante las lluvias, y depende también de la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el régimen de lluvias.

Estos procesos dentro de la zona de estudio se presentan donde el material aflorante ha quedado expuesto por retiro de la capa vegetal protectora como se observa en algunos cortes realizados dentro de la zona de estudio, haciendo altamente susceptible el terreno a esta clase de proceso.

Movimientos en masa

Este término se utiliza de manera general para designar una variedad de procesos mediante los cuales masas de suelo y/o roca son movidas, como una sola unidad o en pocas unidades discretas, por acción de la fuerza de gravedad, en forma rápida o lenta, de un lugar a otro.

Los principales factores que contribuyen al desencadenamiento de remociones en masa son el relieve, la geología, condiciones meteorológicas, e, indudablemente, la acción antrópica. Por lo general el detonante es el agua lluvia.

El relieve influye en la medida en que las rocas y suelos poseen propiedades mecánicas que determinan la altura y pendiente máxima a la que el material es estable, por debajo de las cuales no se presentan remociones en masa.

La geología, incluyendo no sólo el tipo de litología, sino también la presencia de estructuras tales como fallas, la actividad sísmica y la actividad volcánica, puede condicionar o no la ocurrencia de remociones en masa.



Las condiciones meteorológicas pueden favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar grandes cantidades de agua lluvia, la cual, además de aumentar la presión de poros, fisuras en el suelo y el peso del mismo, favorece la acción de procesos erosivos al formar corrientes superficiales.

Cuando la actividad humana se realiza sin ninguna planificación, especialmente en obras viales, explotación de minas, desarrollos urbanísticos, rellenos mal efectuados, cortes en el perfil natural de las laderas, deforestación y prácticas agrícolas inadecuadas entre otros, promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son vulnerables a esta clase de fenómenos.

Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

Este proceso se presenta en la parte alta de la ladera, en la unidad de escarpe que sucede en contrapendiente estructural en rocas de la Formación arenisca Dura, cerca de la traza de la Falla de Bogotá.

Reptación



La reptación se refiere a movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla, pero si existe una deformación de la superficie. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (GEMMA, 2007).

Dentro de este movimiento se incluyen la geliflujión, reservado para ambientes periglaciales y la soliflujión que contribuye a la formación de delgadas capas de suelo Coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo (GEMMA, 2007).

La reptación de suelos y la soliflujión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente.

Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos. Por lo general están estrechamente relacionados con procesos de variación de humedad en el suelo, ya que el agua favorece este fenómeno actuando como una especie de lubricante en las zonas de cambio de material, además de contribuir a un aumento en el peso que debe soportar el perfil del suelo.

Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones del terreno, pequeños escarpes y/o inclinaciones de los árboles los cuales ayudan a inferir la dirección del movimiento. Suelen ser signo de una futura inestabilidad generalizada.

Un factor que contribuye a este tipo de movimiento es la expansión y contracción alternantes del material superficial, causadas por la humectación y sequedad



posterior en la zona, debido a la gran cantidad de material fino que posee la matriz en esta zona.

Este tipo de procesos suceden indiferentemente dentro y en los alrededores de la zona de estudio sobre suelos residuales de origen ígneo y volcanosedimentario, de textura arcillosa.

Dentro de la zona de estudio, se identifican 3 zonas con esta clase de movimiento (ver Plano de Geomorfología local). Con base en los inclinómetros instalados, se observa un proceso con velocidades muy lentas. En el inclinómetro instalado en la perforación S13 (inclinómetro 3), reporta tasa de deformaciones de 8mm en 8 meses y profundidades de hasta 14 metros. El inclinómetro de la perforación S08 (inclinómetro 4), reporta tasa de deformaciones de 12 mm en 8 meses hasta una profundidad de 8 metros. El inclinómetro instalado en la perforación S01 (inclinómetro 5) reporta tasas de deformación de 5 mm en 8 meses, hasta una profundidad de 11 metros (Ver numeral 4.5).

Flujos

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978)

Según Hungr et al (2001), los flujos se clasifican de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, humedad, velocidad, confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico, útiles para el estudio de amenazas.

Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que existe un potencial destructivo, característico de cada tipo. Por ejemplo, es importante establecer la



diferencia entre flujo de detritos y avalancha de detritos. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) la amenaza se deberá concentrar en una trayectoria preestablecida o canal y en el área de depositación o abanico; áreas potencialmente afectadas. En cambio, una avalancha de detritos puede desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente. Por supuesto las avalanchas de detritos con frecuencia encuentran un canal preexistente y se convierten en flujo de detritos.

Otra distinción importante de uso práctico para el estudio de amenazas es aquella entre flujos de detritos y crecidas de detritos (inundaciones o avenidas de detritos). Las crecidas (debris flood) presentan un potencial destructivo relativamente bajo con respecto a los flujos de detritos (debris flow) (Hungry, 2005) (Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina. (Oldrich Hungry, 2007).

Hacia la parte alta, al oriente y fuera de la zona de estudio del emplazamiento del futuro trazado de la tubería, se observa un proceso de remoción en masa, con estado activo, distribución de la actividad avanzado, estilo complejo, y de edad mayor a 30 años por el diámetro de eucaliptos presentes. Corresponde a un proceso complejo, donde se observan procesos de reptación y de flujo de tierras, árboles longevos de eucaliptos, “torcidos” (**Ilustración 14**), además de montículos en el suelo, incluyendo numerosos escarpes, con alturas desde los 0.2 metros hasta de 0.7 metros. El flujo se ha “canalizado” en una geoforma de escorrentía con dirección al occidente, que confluye en un sector del costado oriental de la urbanización Santa Teresa (**Ilustración 13**). La velocidad de estos procesos es muy baja.

Este proceso es contribuido por la pendiente topográfica presente que es cercana a los 30°, el cambio en el uso del suelo, donde observamos potreros, sectores que se dedicaron a la agricultura, además, de varias “callejuelas” de trazado de antiguas vías en dirección aproximada norte – sur, el material aflorante que



corresponde a suelos residuales, la presencia de manaderos de agua, no perennes, el corte de la urbanización Santa Teresita, y detonado por aguas de escorrentía.

El material aflorante corresponde a depósitos de media ladera (depósitos coluviales y/o depósitos fluvioglaciales), con matriz muy meteorizada y/o como suelos residuales, con espesores variables, alcanzando según lo observado en campo, al metro de espesor. Se observa en el sector, bloques erráticos de hasta 1 metro de diámetro, pero predominan los bloques de 0,3 metros.

Le infrayace suelos residuales y roca meteorizada de la Formación Bogotá, compuesta por material principalmente de textura lodosa.

En límites con la urbanización Santa Teresita, donde actualmente se construyen numerosas torres de apartamentos, de 6 pisos cada una, se ha emplazado la construcción de un muro en concreto en dirección aproximada nororiente – suroccidente, que disminuye la vulnerabilidad de la urbanización, ya que disminuye la velocidad del movimiento, el cual progresa hacia el occidente, zona donde se localiza la urbanización.

En el costado sur – oriental de la urbanización en construcción, se presentó, según testimonio de residentes de obra, un deslizamiento compuesto que combinó flujo de tierras con un deslizamiento traslacional. Este proceso al día de hoy es mitigado con procesos de terraceo y empradización.



Ilustración 13 Observaciones en el terreno. La línea punteada del costado izquierdo, de manera aproximada indica la localización de la tubería a implantar (Fuente Google Earth).



Ilustración 14 Árbol torcido dentro de la zona de estudio.

En la zona de estudio no se observan vestigios actuales o pasados, de que se esté, o se hubiese, realizado procesos de extracción de materiales, salvo los materiales extraído en cortes para construcción de vías y/o unidades de vivienda.

3.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL.-

Con base en las fotografías aéreas relacionadas en la siguiente tabla, se realiza un multitemporal de este proceso.

Tabla 6 Relación de fotografías e imágenes empleadas en este capítulo

FECHA:	VUELO:	FOTOS:	ESCALA:	SOBRE:	ORIGEN
1952	C-619	29 A 31	1/18000	20013	IGAC / IGL / EyR
1968	C-1220	156-157	1/07800	23690	IGAC / EyR
1972	C-1402				IGAC / IGL
1984	C-2128	151-152	1/18300	32138	IGAC / EyR
1984	C-2161				IGAC / IGL
1992	R-1138	173-174	1/13700	8596	IGAC / IGL
1998	SAV-415	150-151	1/20100	8790	IGAC / EyR
2004	C-2717	45-46	1/21390	39301A	IGAC / IGL

Año 1952

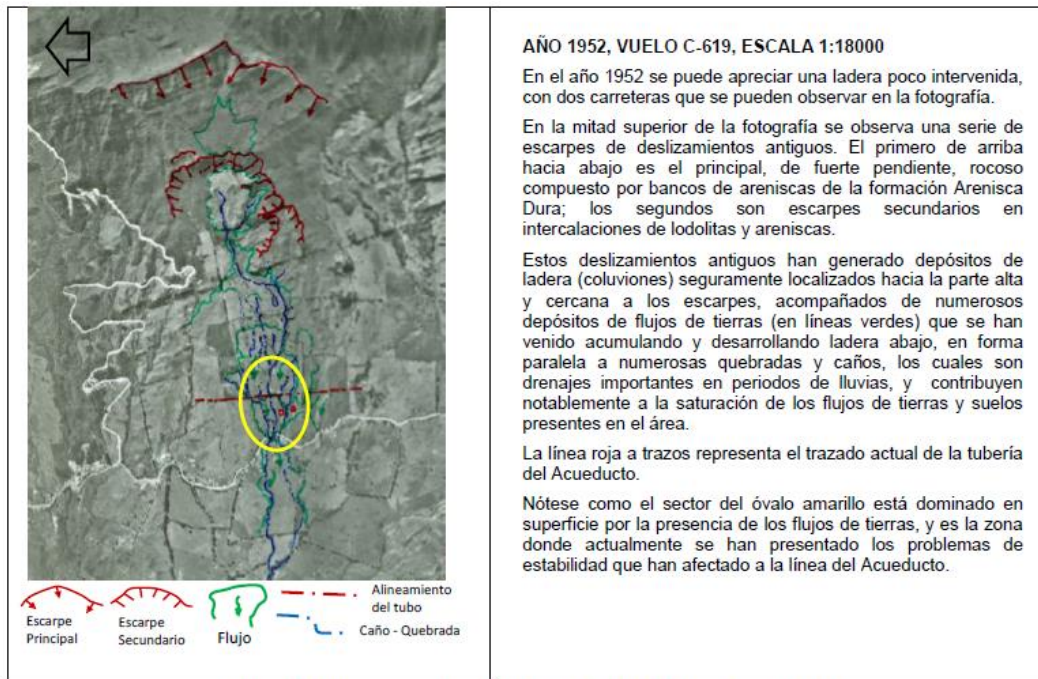


Figura 5 Fotointerpretación año 1952. Vuelo IGAC C-619. Fuente Ingeniería y Geotecnia Ltda, IGL. 2017.

Año 1968

Para este año, en el ovalo amarillo se observa un terreno con un grado de disección medio, pero no profundos, donde se observan procesos de reptación sobre el terreno.

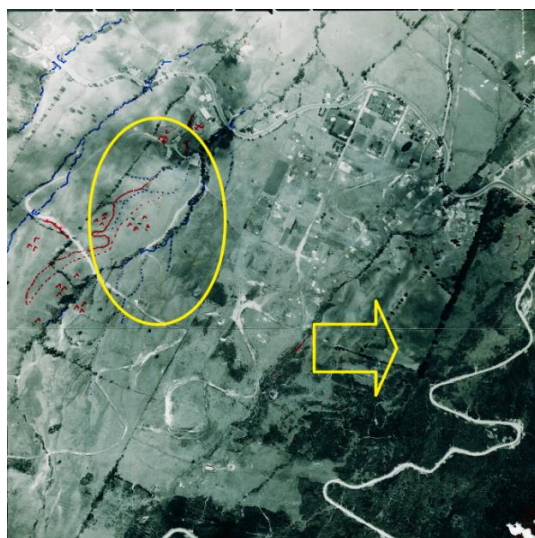


Figura 6 Fotointerpretación año 1968. Vuelo IGAC C-1220. Fuente EyR 2018.

Año 1972

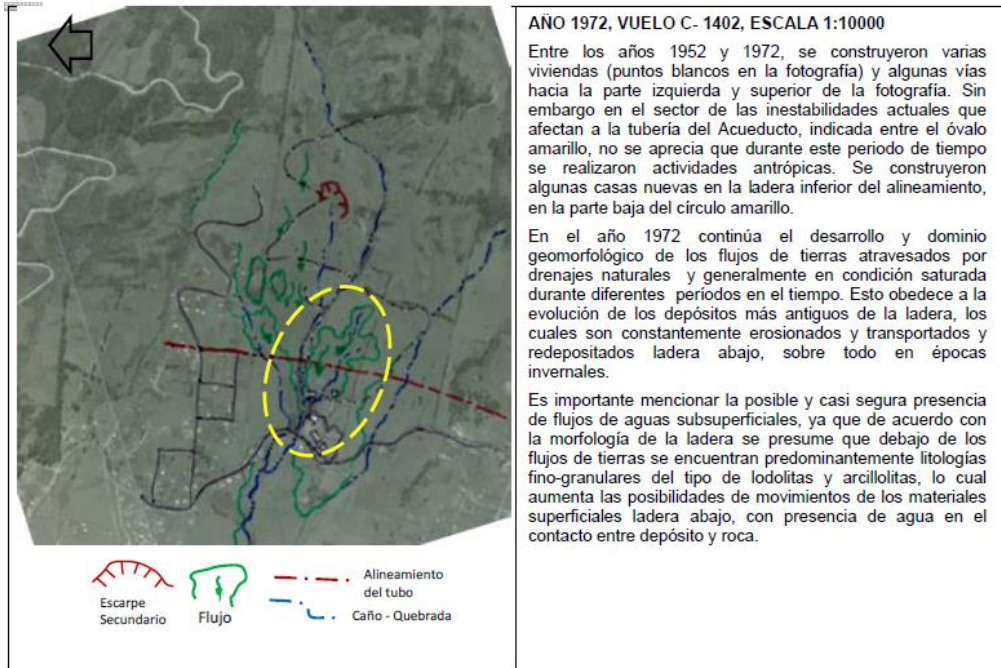


Figura 7 Fotointerpretación año 1972. Vuelo IGAC C-1402. Fuente IGL. 2017.

Año 1984

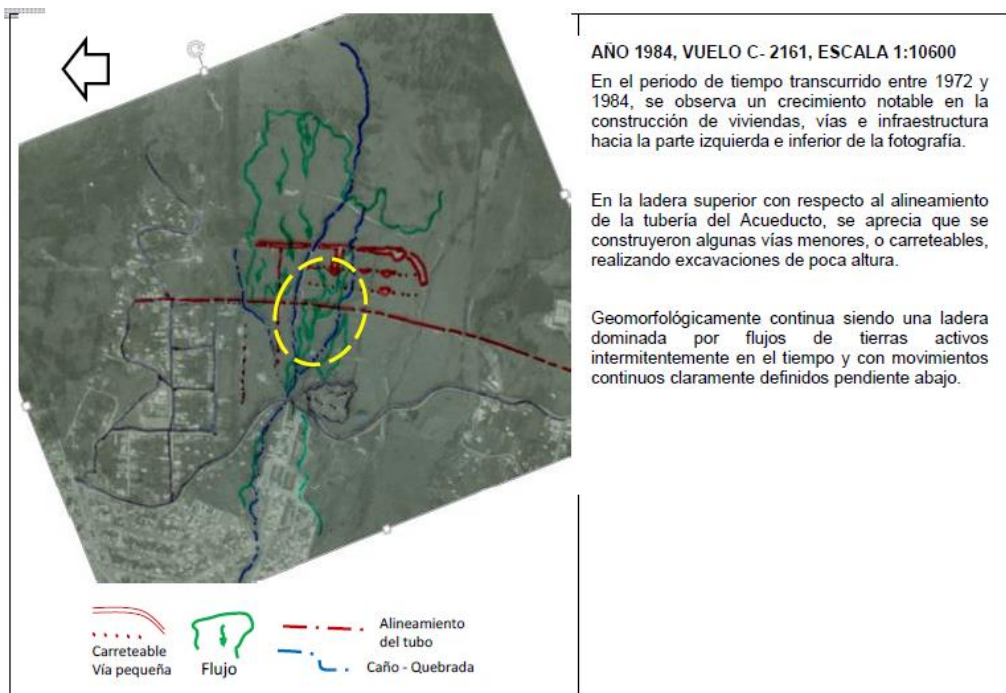


Figura 8 Fotointerpretación año 1984. Vuelo IGAC C-2161. Fuente IGL. 2017.

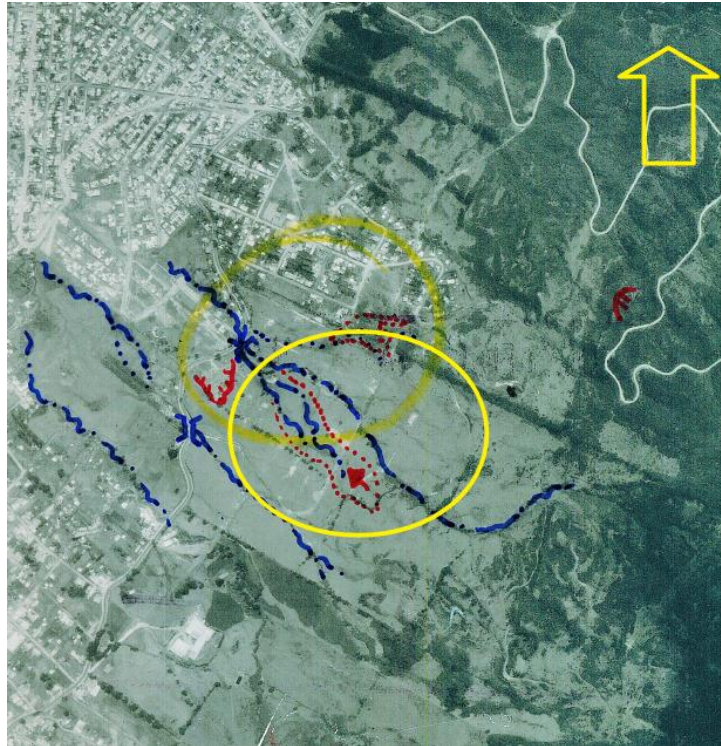


Figura 9 Fotointerpretación año 1984. Vuelo IGAC C-2128. Fuente EyR.

Año 1992

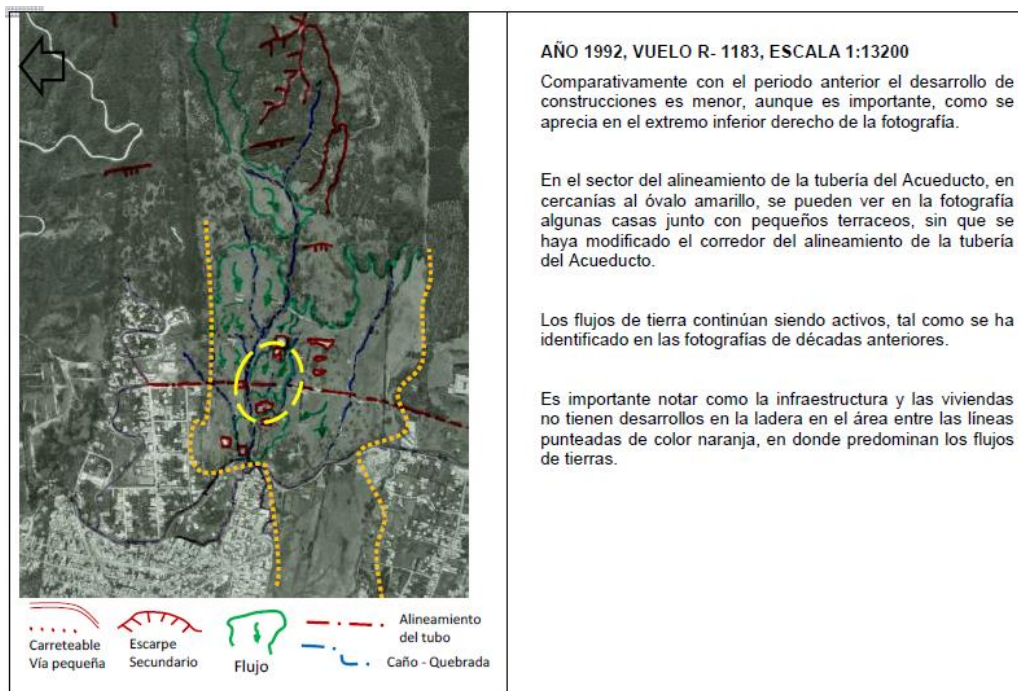


Figura 10 Fotointerpretación año 1992. Vuelo IGAC R-1183. Fuente IGL. 2017.

Año 1998



Figura 11 Fotointerpretación año 1998. Vuelo IGAC SAV-415. Fuente EyR. 2018

Año 2004

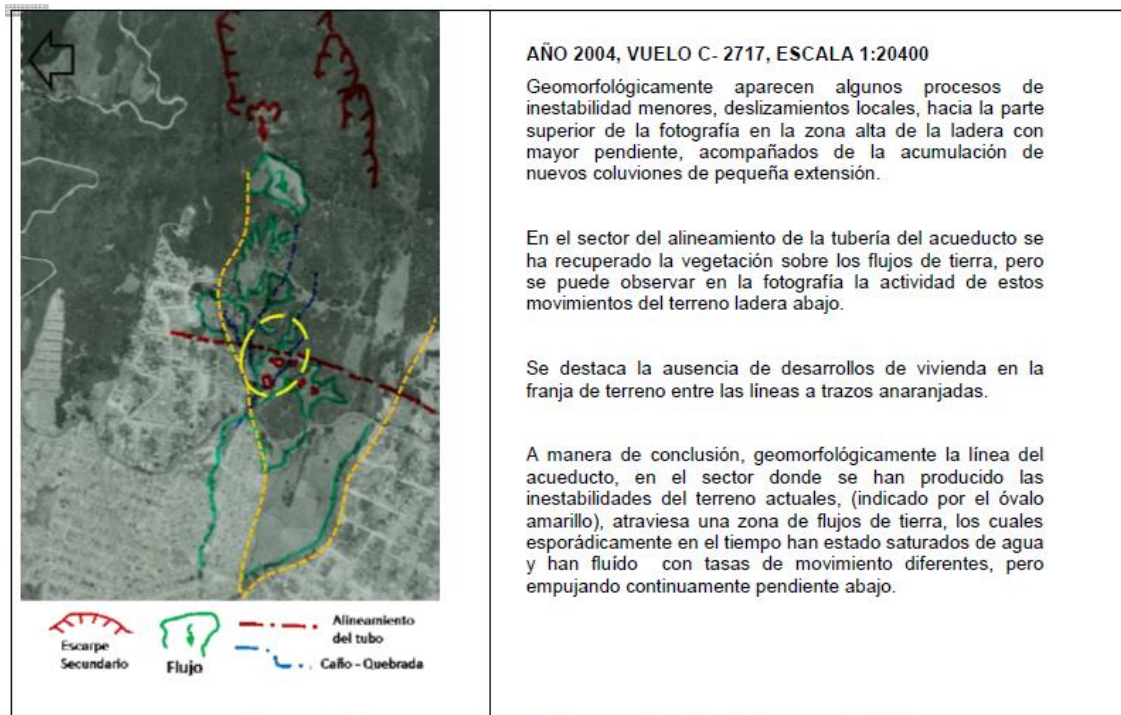


Figura 12 Fotointerpretación año 2004. Vuelo IGAC C-2717. Fuente IGL. 2017

Año 2016



Figura 13 imagen Google Earth. Se indica la posición del proceso. Año 2016

3.5.1 RESUMEN MULTITEMPORAL AÑO 1952 – 2004.

Con base en los 64 años analizados, se observa que sobre la ladera oriental de la zona de estudio, existe un proceso tipo complejo, antiguo, con velocidad baja, donde se combina procesos de reptación y flujos de tierras. Evidencias de este proceso en campo, eucaliptos longevos, torcidos, escarpes de diferentes alturas, montículos en el terreno.

Este proceso sucede sobre una geofoma donde predominan los suelos residuales de textura lodosa.

El proceso sucede en terreno que estuvo cubierto en pastos para el periodo evaluado, posiblemente ganadería y/o agricultura. Luego en los años 80's se realizaron conformaciones para vías, posiblemente para implantar viviendas, pero no sucedió.



Hoy día, al costado occidental del proceso se observa la construcción de un conjunto de unidades habitacionales. La vulnerabilidad de este conjunto habitacional, ha sido disminuida con la implantación de un muro en concreto hacia el costado oriental de la construcción.

4.0 INVESTIGACIÓN SUBSOLAR.-

Como parte del presente estudio, se realizaron 20 trincheras y 14 sondeos con profundidades variables entre 15.0 y 19.0 m, perforados con un equipo de rotopercusión. A lo largo de los sondeos se realizaron ensayos para cuantificar la resistencia de los materiales, la densidad de los mantos granulares y la consistencia de los suelos cohesivos, como el ensayo de penetración estándar y la toma de lecturas con penetrómetro de bolsillo. Se recuperaron muestras alteradas e inalteradas representativas, con las cuales se realizaron ensayos de clasificación y resistencia para caracterizar los materiales identificados.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO.-

Según la información geológica levantada en campo, la zona del proyecto se identifican algunos depósitos antrópicos y principalmente de depósitos coluviales y aluviales de espesor variable que suprayacen a arcillolitas de la formación Bogotá.

A continuación, se describe la estratigrafía promedio detectada a partir de los niveles actuales del terreno y los sondeos efectuados:

- | | |
|----------------------|---|
| a) 0.0 – 0.50/1.10 m | Depósito antrópico compuesto por escombros y limo arcilloso café de consistencia dura. El N del ensayo de penetración estándar arrojó |
|----------------------|---|



SC-1230-1
SC-CER457592



principalmente rechazo y algunos valores entre 10 y 17 golpes/pie. Este material es característico de las zonas que han sido intervenidas para la construcción de edificaciones y vías, sólo se detectó en el sondeo 4 y en algunos sondeos realizados para el estudio geotécnico de la red de acueducto y alcantarillado del proyecto (S5, S7 y S9).

a) 0.50/1.10 - 10.00 m

Depósito coluvio-aluvial conformado por Intercalaciones de limos y arcillas de consistencia muy blanda a firme, de color habano y/o café claro con presencia de gravas, trazas y lentes de arena. La resistencia al corte medida con penetrómetro manual arrojó valores entre 0.25 y 0.50 kg/cm². El N del ensayo de penetración estándar arrojó principalmente rechazo y algunos valores entre 4 y 15 golpes/pie.

b) 0.50/1.10 – 5.00/16.00 m

Depósito coluvio-aluvial conformado por fragmentos y gravas de arenisca y/o arcillolita embebidos en una matriz arcillo arenosa. El N del ensayo de penetración estándar arrojó principalmente rechazo y algunos valores entre 4 y 15 golpes/pie. Debido a la rigidez de los materiales que conforman el depósito fue necesario avanzar por rotación.

- c) 5.00/16.00 – 19.00 m Arcillolita arenosa de color rojizo. El N del ensayo de penetración estándar arrojó principalmente rechazo, por lo que fue necesario avanzar por rotación. La resistencia a la compresión simple sobre núcleos de roca arrojó valores entre 0.35 y 11.0 MPa.

4.2 NIVEL DE AGUAS.-

En los sondeos realizados se detectó agua libre entre 0.5 m y 9.0 m de profundidad. Es importante resaltar que en la zona del proceso potencialmente inestable se detectan zonas muy húmedas y otras secas, dada la presencia de dos escorrentías que discurren por la ladera.

Como parte del plan de investigación del subsuelo, se instalaron 7 piezómetros de Casagrande (ver **Ilustración 15**), los cuales han sido monitoreados durante el periodo comprendido entre Octubre de 2018 y Junio de 2019. Las lecturas de los instrumentos se resumen en la tabla **Tabla 7** e **Ilustración 16**.

Tabla 7 Variación del nivel piezométrico.

Nivel Piezométrico (m)						
FECHA	S7 Pz 1 (14.48m)	s12 Pz 2 (16.19m)	S11 Pz 3 (14.9m)	S5 Pz 4 (14.5m)	S1 Pz 5 (7.0m)	S10 Pz 6 (15.48m)
13-oct	-6.74	-9.02	-4.52	-1.34	-0.43	-1.66
20-oct	-6.86	-9.06	-4.48	-1.40	-0.42	-1.64
27-oct	-6.94	-9.14	-4.49	-1.81	-0.43	-1.64
14-nov	-6.92	-9.53	-4.65	-2.36	-0.42	-1.66
4-dic	-6.76	-9.64	-4.64	-2.38	-0.52	-1.72
15-may	-7.21	-10.11	-4.92			-1.98
5-jun	-7.25	-10.13	-4.91			-2.02
15-jun	-7.04	-10.09	-4.42			-1.88
19-jun	-6.90	-10.12	-4.21			-1.74
Variación (cm)	-15.8	-110.6	30.4	-104.6	-9.0	-8.0
Acumulado (cm)	-15.8	-110.6	30.4	-104.6	-9.0	-8.0

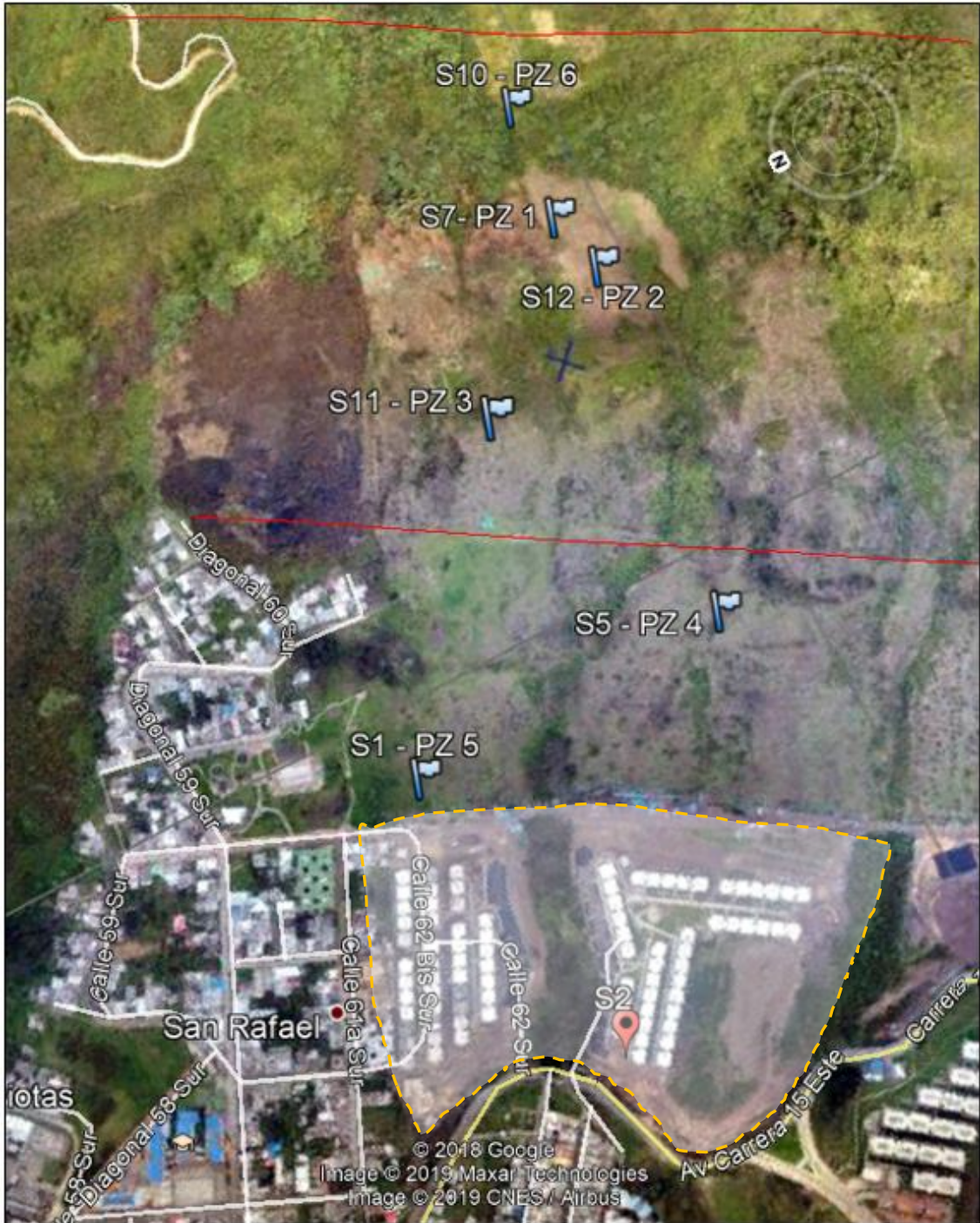


Ilustración 15 Localización de los piezómetros instalados.

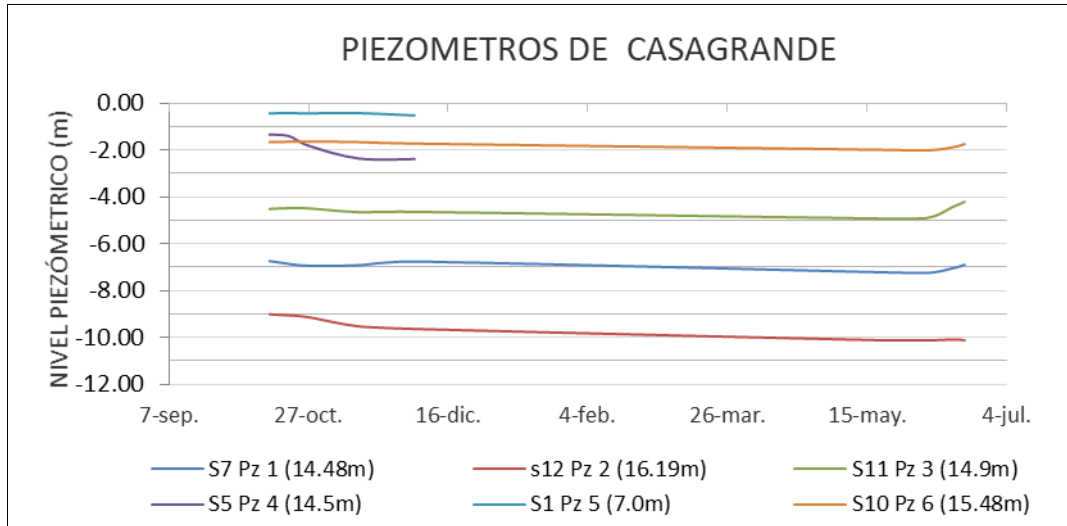


Ilustración 16 Variación del nivel piezométrico.

Es importante mencionar que el piezómetro instalado en el sondeo 2 fue destruido involuntariamente en uno de los procesos de movimientos de tierras del proyecto urbanístico. Por su parte los piezómetros 4 y 5, instalados fuera del perímetro del proyecto urbanístico, en la parte media y alta de la ladera, también se vieron afectados por personas desconocidas y por tanto, solo pudieron ser monitoreados hasta el mes de diciembre de 2018.

De acuerdo con los registros de los piezómetros 4 y 5, localizados en la parte baja de la ladera, en la zona más próxima a las torres de la urbanización Santa Teresita el nivel piezométrico se localiza entre 0.5 y 2.5 m de profundidad. En la parte media de la ladera el nivel piezométrico se detectó entre 5.0 y 10.0 m de profundidad (Piezómetros 1, 2 y 3). Por su parte el piezómetro 6 fue instalado en una zona donde los materiales presentes en superficie exhibían gran humedad; de acuerdo con las lecturas de este instrumento el nivel de la lámina de agua se detectó a 2.0 m de profundidad.

No se descarta la posibilidad de que se presenten variaciones en los niveles detectados en épocas de lluvia.

4.3 ENSAYOS DE CAMPO.-

A continuación se presentan las gráficas de variación en función de la profundidad, correspondientes a los ensayos in-situ de penetración y resistencia al corte realizados.

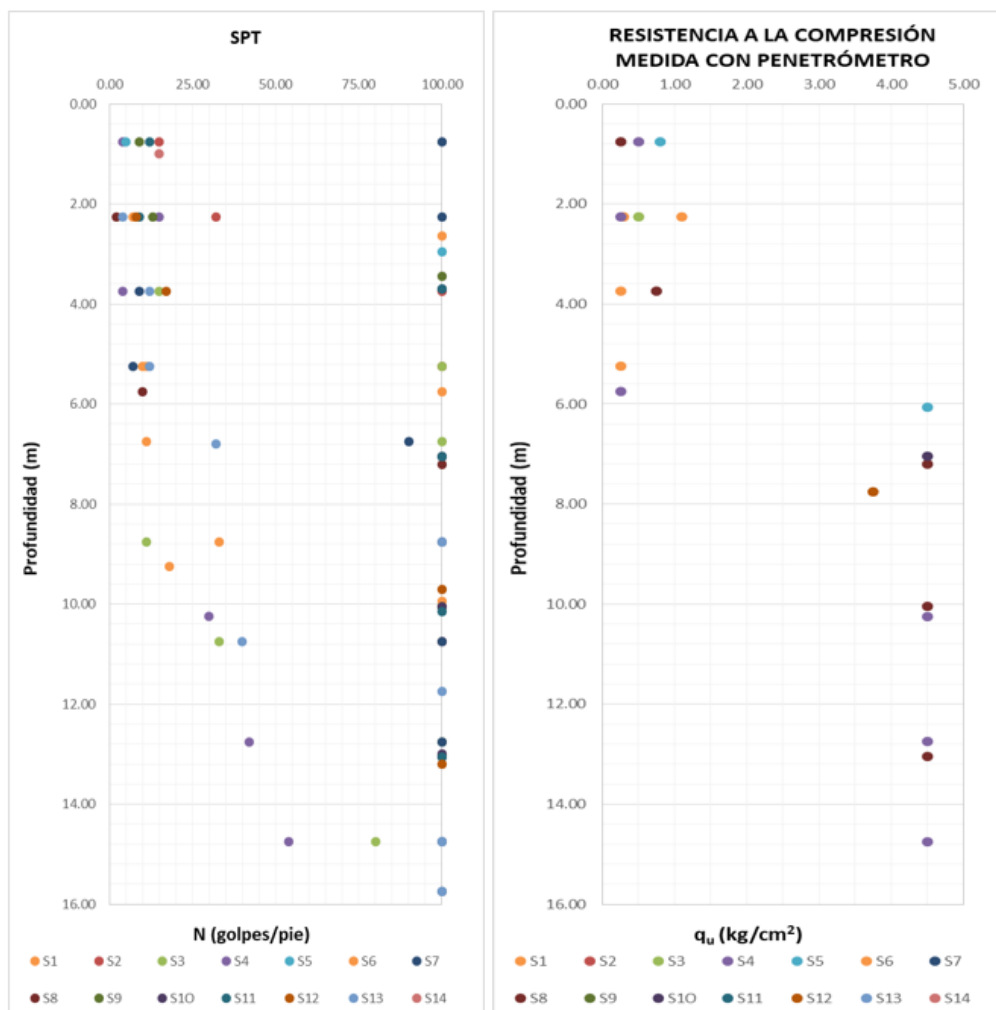


Ilustración 17 Variación en profundidad de la resistencia de los materiales detectados.

NOTA: Los valores de 100 golpes/pie corresponden a rechazo



4.4 ENSAYOS DE LABORATORIO.-

Con el objetivo de caracterizar adecuadamente los materiales que conforman el subsuelo de la zona de estudio, se realizaron ensayos de caracterización a las muestras representativas recuperadas. Entre los tipos de ensayos realizados se encuentran los siguientes:

- Límites de Atterberg
- Humedad natural
- Peso unitario
- Análisis granulométrico.
- Corte Directo
- Compresión inconfiada
- Contenido de materia orgánica.

A continuación se presentan los resultados de la caracterización realizada a los estratos de materiales descritos en el numeral **4.1**.

a) 0.50/1.10 – 0.50/10.00 m: Depósito coluvio-aluvial conformado por intercalaciones de limos y arcillas de consistencia muy blanda a firme, de color habano y/o café claro con presencia de gravas y trazas y lentes de arena.

PROPIEDAD	SIMB	UNIDAD	MAX	PROM	MIN
Humedad natural	ω	%	1.9	1.8	1.5
Límite líquido	LL	%	114.7	51.9	23.2
Límite plástico	LP	%	64.3	28.7	16.7
Índice de plasticidad	IP	%	50.4	23.2	6.6
Peso unitario	γ	kN/m ³	1.9	1.8	1.5
% Gravas		%	40.70	33.00	25.30
% Arenas		%	31.60	30.30	29.00
% Limos y arcillas		%	45.80	36.70	27.70
Cohesión no drenada	c_u	kN/m ²	1	0.7	0.3



Cohesión	C'	kN/m^2	6.1
Ángulo de fricción	ϕ'	$^\circ$	22

b) 0.50/10.00 – 5.00/16.00 m: Depósito coluvio-aluvial conformado por fragmentos y gravas de arenisca y/o arcillolita embebidos en una matriz arcillo arenosa.

PROPIEDAD	SIMB	UNIDAD	MAX	PROM	MIN
Humedad natural	ω	%	51.8	20.2	1.6
Límite líquido	LL	%	51.4	30.3	20.1
Límite plástico	LP	%	24.0	18.4	13.6
Índice de plasticidad	IP	%	27.9	11.9	4.8
Peso unitario	γ	kN/m^3	2.5	2	1.6
% Gravas		%	72.8	56.9	48.2
% Arenas		%	48.2	28	0.1
% Limos y arcillas		%	72.8	36.8	6.7
Cont. Materia Orgánica		%	6.2	4.6	2.9
Cohesión no drenada	C_u	kN/m^2	1	0.8	0.7

Cohesión	C'	kN/m^2	4.6
Ángulo de fricción	ϕ'	$^\circ$	23

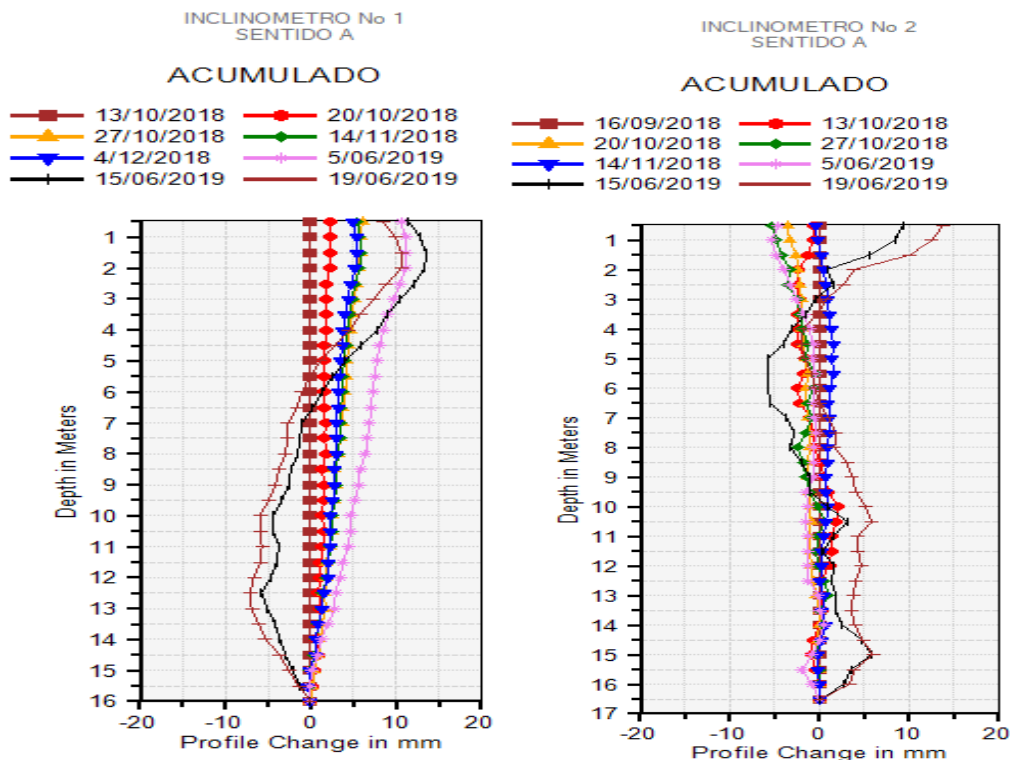
c) 5.00/16.00 – 19.00 m: Arcillolita arenosa de color rojizo.

PROPIEDAD	SIMB	UNIDAD	MAX	PROM	MIN
Peso unitario	γ	kN/m^3	2.5	2.3	2
Resistencia a la compresión uniaxial	q_u	MPa	11.24	2.77	0.25

4.5 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.-

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados (numeral 2.0) y con el objetivo de analizar el comportamiento atípico observado, se instalaron en la zona 7 piezómetros de Casagrande y 7 inclinómetros (ver **Figura 14**), para cuantificar la magnitud de los desplazamientos y monitorear el comportamiento de la tabla de agua en la zona de estudio.

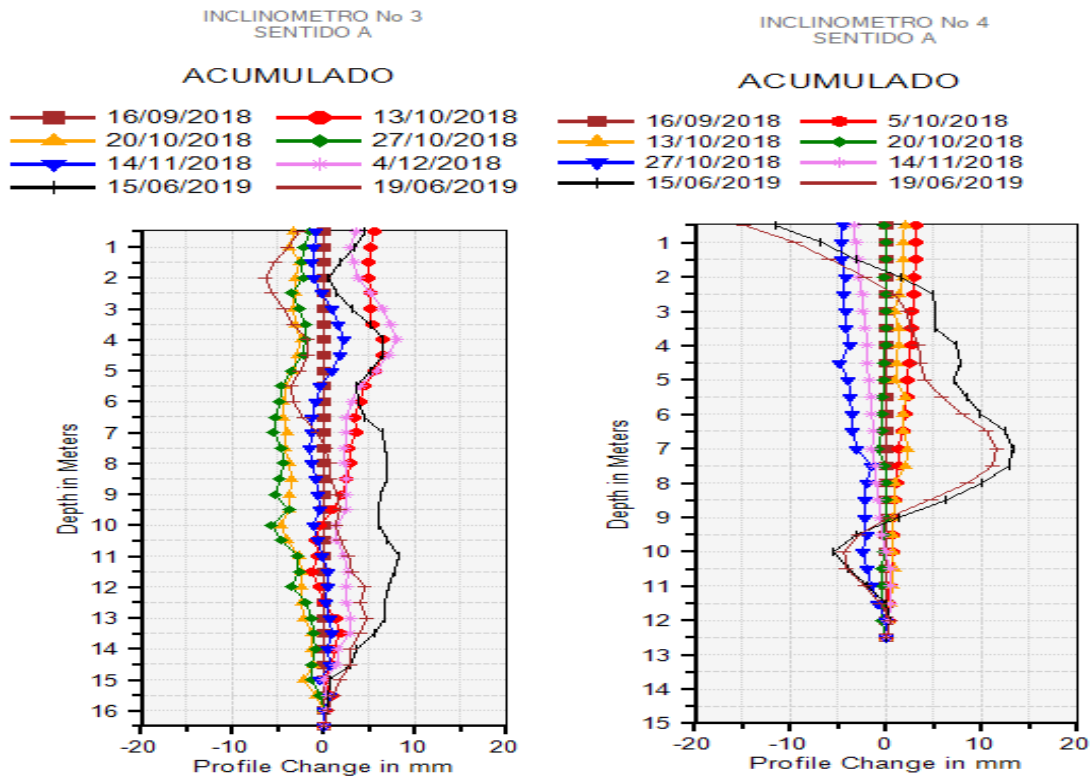
Los registros de los piezómetros instalados se presentan en el numeral 4.2 (NIVEL DE AGUAS) y los registros de los inclinómetros se presentan a continuación:



El inclinómetro 1 se instaló en una vía de acceso al barrio ARBOLEDA SANTA TERESITA, presente al costado norte del área de estudio. Este instrumento refleja una deformación de aproximadamente 10.0 mm en 8 meses, en la superficie del terreno, hacia la parte baja de la ladera. Sin embargo, en la última visita realizada al sitio por el especialista en geotecnia de esta consultoría, se identificó que la boca de la tubería pudo haber sido desplazada por el tráfico de un vehículo pesado, que participa en las labores de retiro y control de retamo espinoso, que se realizan en la parte media y alta de la ladera.

El inclinómetro 2 localizado en la parte media de la ladera, presenta deformaciones menores a 5.0 mm, en la superficie, en un periodo de tiempo de

8 meses, lo cual se considera un nivel de deformación despreciable que ratifica la estabilidad del sector.



El inclinómetro 3 localizado en la parte media de la ladera, presenta deformaciones menores a 8.0 mm, de 0.0 a 14.0 m de profundidad, en un periodo de tiempo de 8 meses, lo cual se considera una tasa de deformación lenta que puede relacionarse con un proceso de reptación.

El inclinómetro 4 localizado en la parte alta de la ladera, presenta deformaciones de hasta 12.0 mm entre 0.0 y 8.0 metros de profundidad, en un periodo de tiempo de 8 meses, lo cual se considera una tasa de deformación lenta que puede relacionarse con un proceso de reptación.

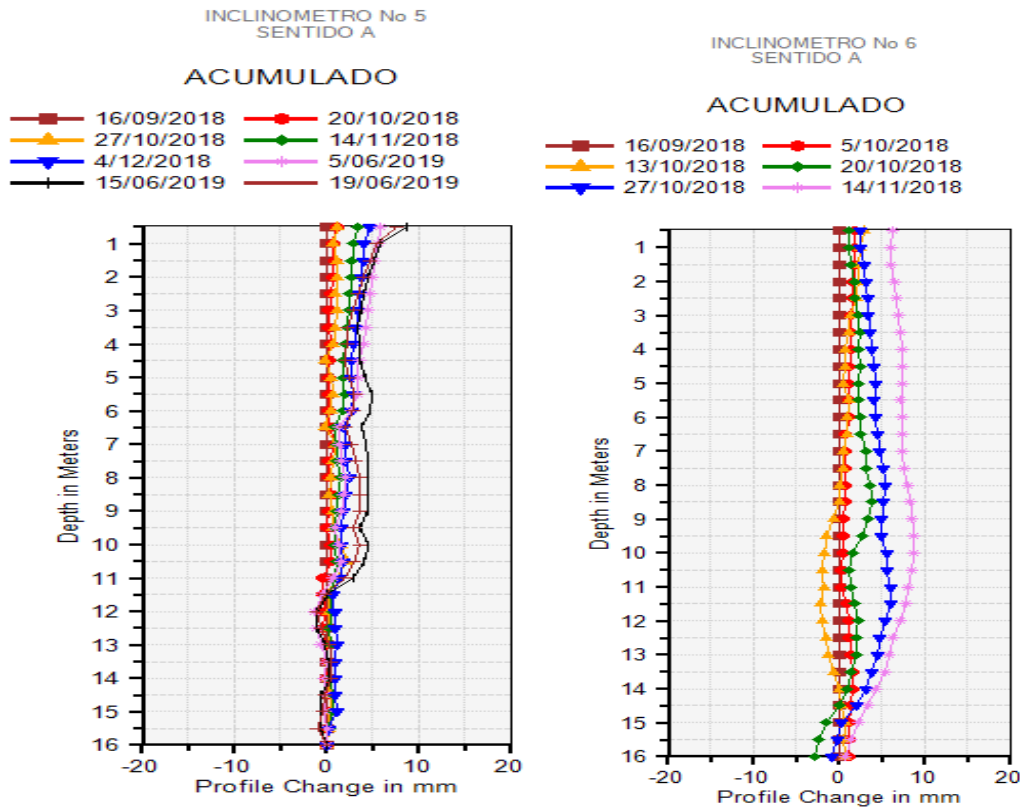


SC-1230-1
SC-CER457592



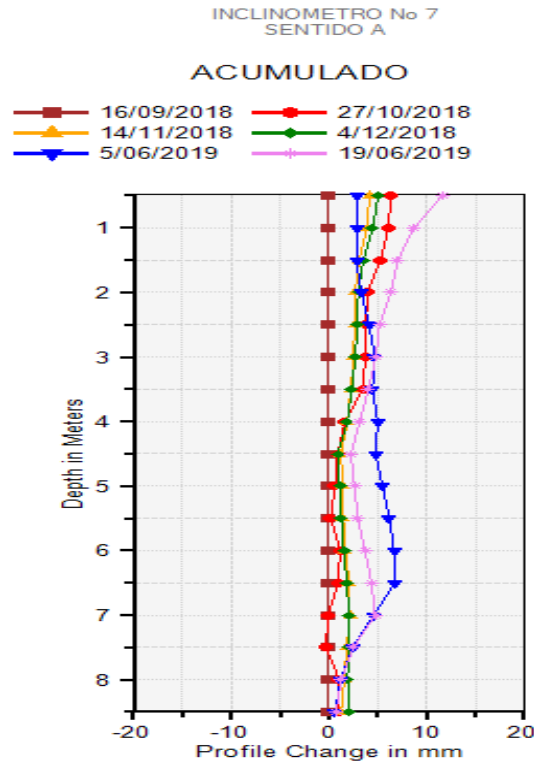
DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS



El inclinómetro 5 localizado en la parte alta de la ladera, presenta deformaciones de hasta 5.0 mm entre 0.0 y 11.0 metros de profundidad, en un periodo de tiempo de 8 meses, lo cual se considera una tasa de deformación lenta que puede relacionarse con un proceso de reptación.

Por su parte el inclinómetro 6 localizado contiguo a la torre 23, presenta deformaciones de hasta 8.0 mm entre 0.0 y 14.0 metros de profundidad, en un periodo de tiempo de 8 meses, lo cual se considera una tasa de deformación muy lenta. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en esta zona se presentó el tráfico continuo de maquinaria que realizó el movimiento de tierras para la construcción del salón comunal del proyecto ARBOLEDA SANTA TERESITA, por lo cual no se descarta que los registros puedan presentar un cierto grado de error, asociado a la afectación del punto donde se localiza la tubería.



El inclinómetro 7 localizado en la parte baja de la ladera, en el costado oriental de la carrera 15 Bis Este, muestra deformaciones del orden de 7.0 mm hacia la parte baja de la ladera, a 6.5 m de profundidad, en un periodo de tiempo de 8 meses, lo cual se considera un nivel de deformación despreciable que ratifica la estabilidad del sector. La instalación de este instrumento se realizó de tal forma que permitiera el registro de lecturas hasta una profundidad de 16.0 m, sin embargo, la tubería fue obstruida a una profundidad de 8.50 m por personas desconocidas que habitan el sector. Debido a esta situación es posible que las lecturas registradas por este instrumento presenten algún error. Por otra parte las edificaciones y vías cercanas no presentan evidencia alguna de afectación arquitectónica u estructural, que pueda asociarse a deformaciones del suelo de fundación.



SC-1230-1
SC-CER457592



Teniendo en cuenta la información registrada entre los meses de Septiembre de 2018 y Junio de 2019, se concluye que algunos sectores de la ladera presentan evidencias de un proceso de inestabilidad con una tasa de deformación muy lenta, característica de los procesos de reptación. De acuerdo con los registros, la masa de suelo que se desplaza puede tener un espesor de hasta 14.0 m.



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

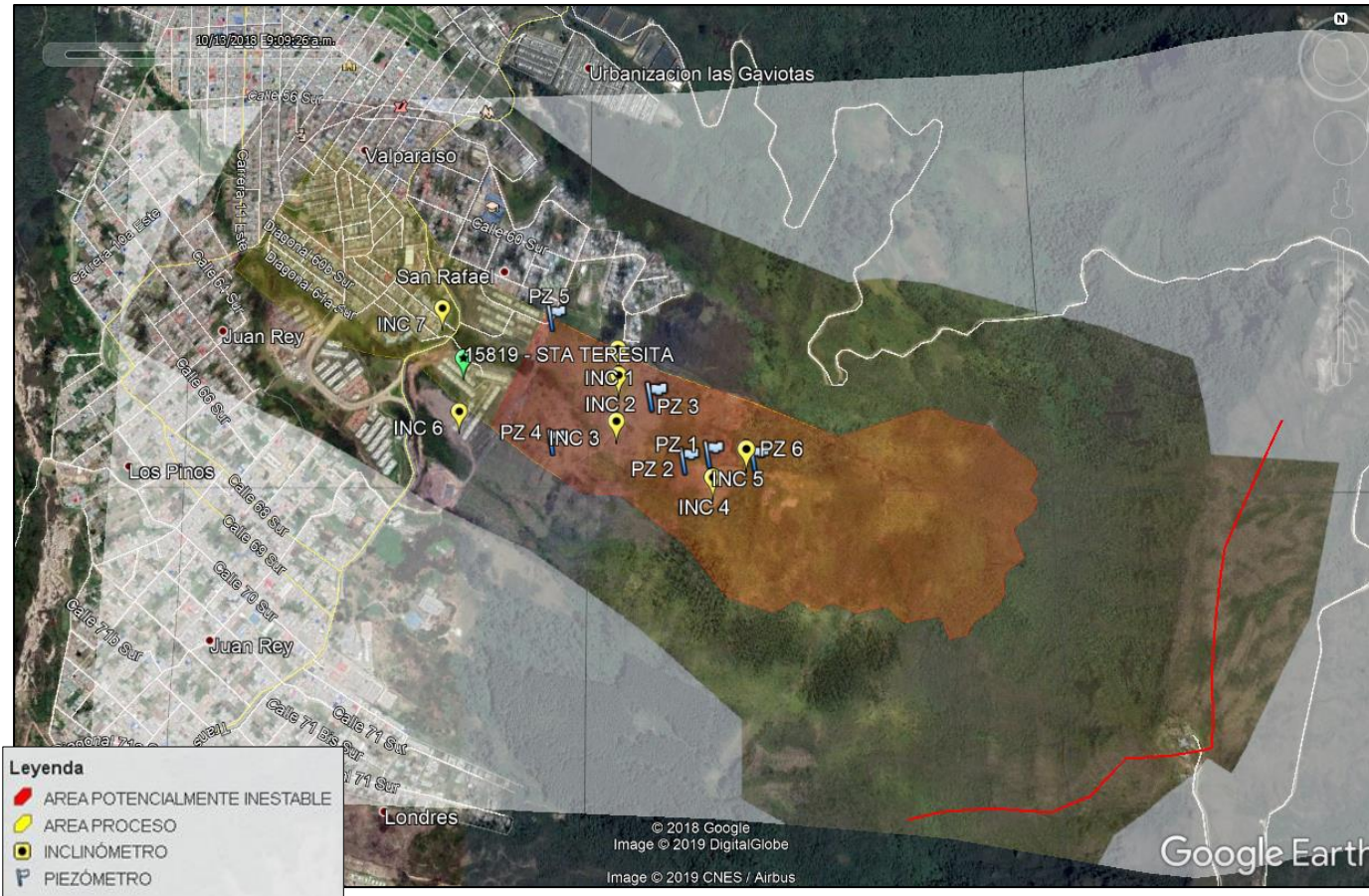


Figura 14 Localización de los piezómetros e inclinómetros instalados en la zona de estudio Google Earth.



5.0 ANÁLISIS DETALLADO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN.-

Con base en la información recopilada del análisis de antecedentes, de la campaña de investigación del subsuelo y en las visitas realizadas al sitio de estudio por los especialistas en geología y geotecnia de esta consultoría, a continuación se presenta el análisis estabilidad y estabilización de la zona de estudio.

5.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO.-

Para efectos del desarrollo de los análisis y diseños geotécnicos se aplican metodologías elásticas clásicas, modelos clásicos de la ingeniería geotécnica recomendados en la literatura especializada, los cuales han sido ampliamente utilizados por esta consultoría a lo largo de su ejercicio profesional. Así mismo se implementará el software Slide de la casa Rocscience.

- **SLIDE:** Permite aplicar las formulaciones de diversos investigadores, para el análisis de estabilidad de taludes por medio del método de análisis de equilibrio límite.

Todos los análisis se realizan sobre la base de un modelo analítico simplificado construido a partir de toda la información geológica y geotécnica del área de estudio. Dicho modelo recibe el nombre de Modelo Geológico Geotécnico.

Una vez definido el modelo Geológico Geotécnico se realizan los análisis de estabilidad para los siguientes escenarios:

- I. **Escenario actual (Sin obras de mitigación):** Corresponde a las características que presenta la zona de estudio actualmente. Se incluyen las cargas correspondientes a la infraestructura presente.



II. **Escenario Futuro (Con obras de mitigación):** Corresponde a las características que presentará la zona de estudio, incluyendo el total de las obras y medidas propuestas para su estabilización.

Para cada escenario se analiza la condición normal, en la cual los factores detonantes de procesos de inestabilidad presentan condiciones normales (nivel piezométrico normal, no se consideran cargas de sismo) y la condición extrema en la cual los factores detonantes de procesos de inestabilidad presentan condiciones extremas (nivel piezométrico extremo y se consideran cargas de sismo).

En cuanto a la selección del factor de seguridad que se empleará como criterio de aceptación para el análisis de la estabilidad global de la ladera, se aplican los criterios sugeridos por el ingeniero Derek H Cornforth¹, los cuales consideran variables como el tamaño del proceso de inestabilidad, su velocidad, las características del plan de investigación geotécnica empleado (volumen y calidad de información), las consecuencias potenciales de un posible proceso de falla y la experiencia del geotecnista encargado del análisis y diseño (ver **Tabla 8**)

Tabla 8 Criterios considerados para la selección del factor de seguridad – Análisis de estabilidad global de la ladera.

VARIABLE	FACTOR DE SEGURIDAD			
	ALTO	MEDIO	BAJO	SELECCIONADO
	1.50	1.33	1.15	
Velocidad del proceso	Muy rápido	Moderado	Muy lento	1.15
Nivel de estudio empleado	Mínimo	Normal	Sofisticado	1.15
Tamaño del proceso de inestabilidad	Pequeño	Medio	Grande	1.15
Consecuencias potenciales de la posible inestabilidad	Muy importantes	Considerables	Insignificantes	1.50
Experiencia del consultor geotecnista	Limitada	Experimentado	Muy experimentado	1.15
Factor de Seguridad sugerido			=	1.22

¹ Tablas 10.1 y 13.1. del texto titulado Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils de Derek H. Cornforth.



Teniendo en cuenta el análisis de las variables consideradas para la selección del factor de seguridad, se ha seleccionado un factor de seguridad mayor o igual a 1.25 para el análisis global de la estabilidad de la ladera bajo condiciones normales de agua y sismo. Para los análisis de estabilidad en condición extrema se ha seleccionado un factor de seguridad mayor o igual a 1.10.

5.2 FORMULACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO.-

Como se mencionó anteriormente el Modelo geológico – Geotécnico es un modelo analítico simplificado construido a partir de toda la información geológica y geotécnica del área de estudio, con el objeto de definir las recomendaciones óptimas desde el punto de vista técnico y económico. Para esto se tienen en cuenta aspectos como las características de los materiales presentes en el sitio de análisis, la morfometría de la zona de estudio, los principales factores contribuyentes y detonantes de procesos de inestabilidad y las cargas existentes y previstas.

Con base en la información geológica y geomorfológica se plantean las secciones de análisis, en las cuales podrán correlacionarse y/o unificarse unidades geológicas a partir de criterios geotécnicos, claramente definidos.

El presente análisis se enfoca en la posible afectación de las edificaciones que hacen parte de la Urbanización Santa Teresita y en el diseño de las obras que puedan ser necesarias para mitigar sus efectos.

CARGAS

- Edificaciones: 10 kN/m² por nivel construido
- Vías: 15 kN/m²
- Sismo: 0.16 g asumiendo el 80% del valor de A0 para la zona geotécnica Piedemonte C.



SC-1230-1
SC-CER457592



De acuerdo con el plano de microzonificación sísmica, la zona de estudio se localiza en zona de transición entre las zonas Depósito de Ladera y Cerros. Sin embargo, es importante anotar que a la luz del Decreto 523 de Diciembre de 2010 en caso de identificar espesores de suelo superiores a 12.0 m, se debe clasificar como zona de Piedemonte más cercano, que para el presente caso corresponde a **Piedemonte C.** (entendiendo el estrato rocoso como un material con velocidad de propagación de corte $VS \geq 760$ m/s)

NIVELES DE AGUA

- Se considera la presencia del nivel Piezométrico de acuerdo con los datos registrados en los piezómetros instalados, es decir variable entre 0.5 m y 9.0 m de profundidad, dependiendo la zona de la ladera.

SECCIONES DE ANÁLISIS

De acuerdo con la valoración realizada por los especialistas de esta consultoría, se han seleccionado 3 secciones de análisis para realizar los análisis de estabilidad, las cuales se ilustran en las **Figura 16, Figura 17y Figura 18.**

Estas secciones han sido trazadas considerando cubrir toda el área de estudio, la morfometría del terreno y el levantamiento de información geológica y geotécnica.

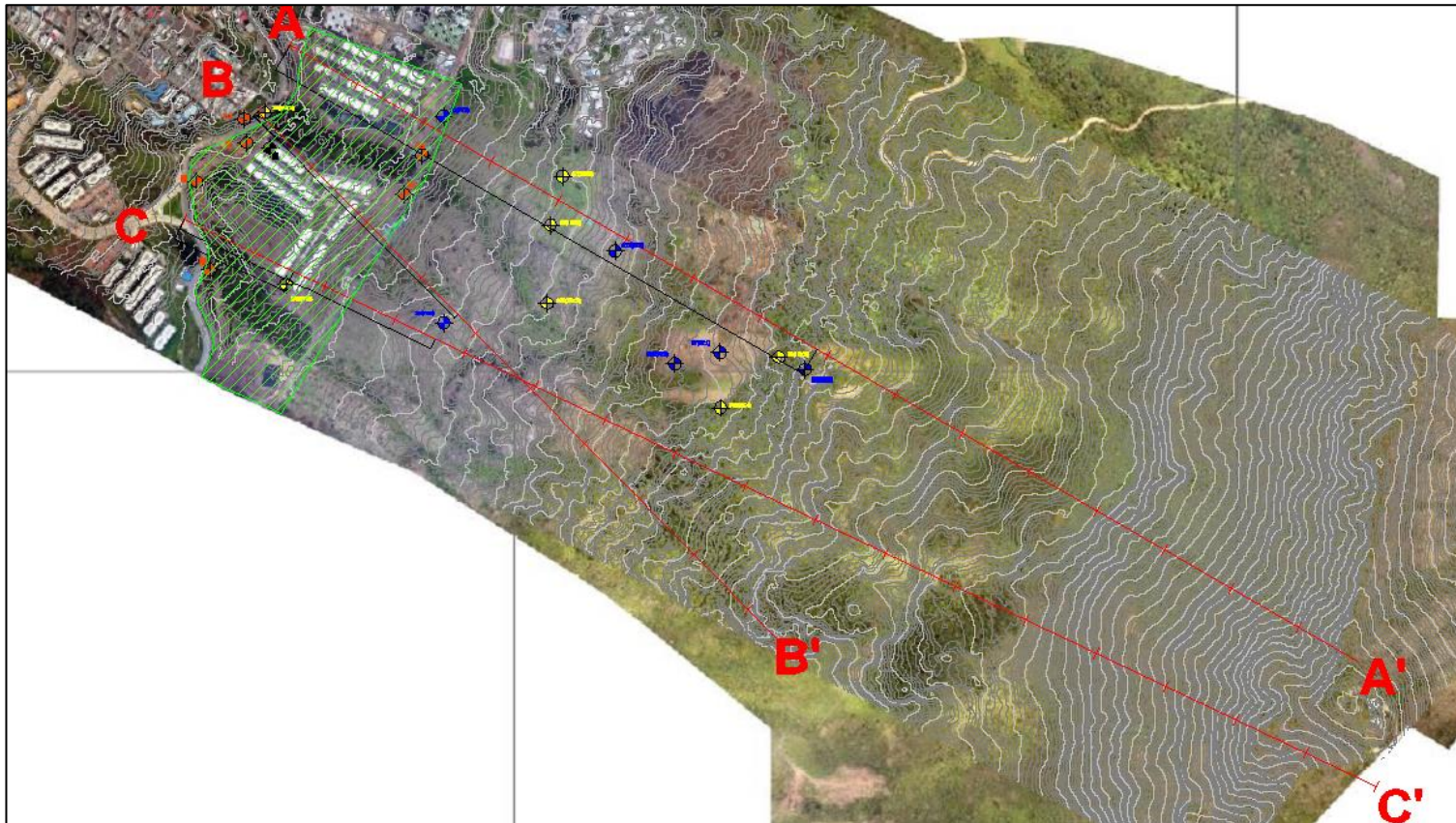


Figura 15 Localización de las secciones de análisis.

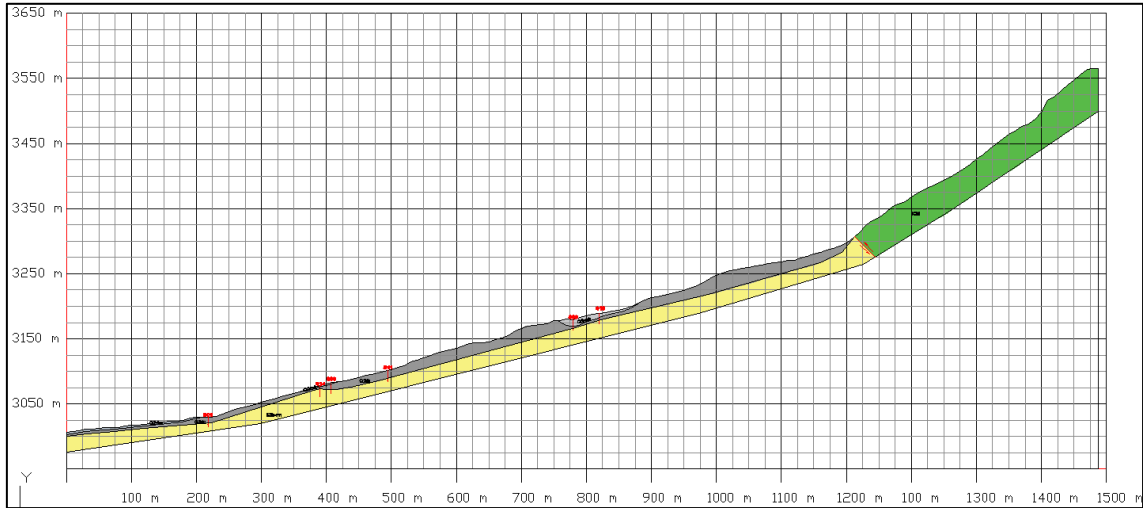


Figura 16 Sección A-A'- Cubre el costado norte del área de estudio.

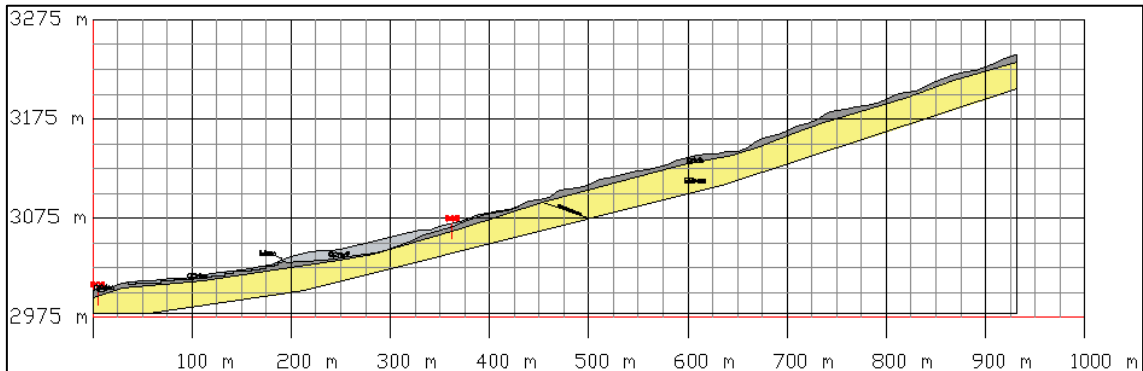


Figura 17 Sección B-B'- Cubre la zona afectada por el flujo de tierras que afecta a la urbanización.

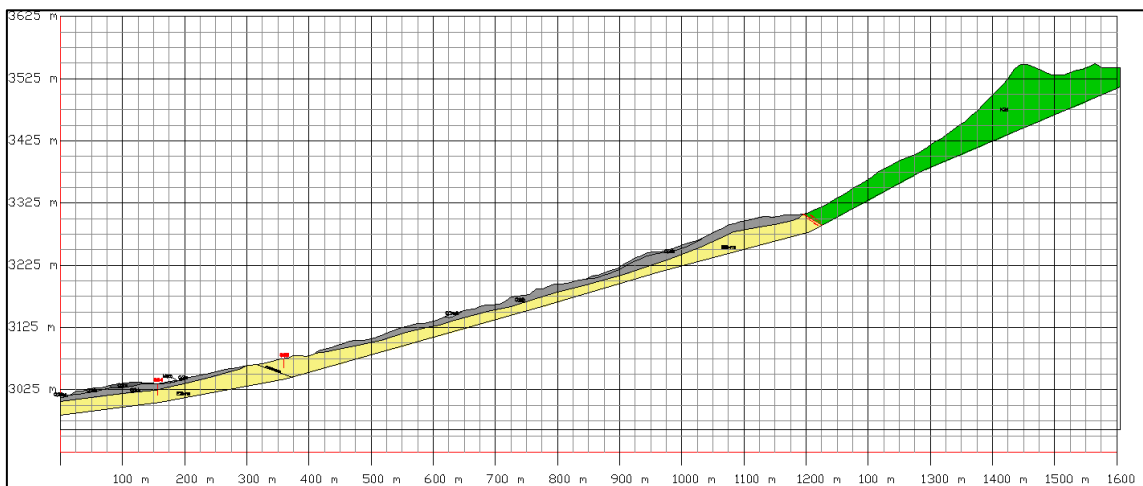


Figura 18 Sección C-C' - Cubre el costado sur del área de estudio.



5.2.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO.-

Con el objetivo de caracterizar los materiales que conforman el modelo geológico – geotécnico de análisis, se han ejecutado ensayos de campo y laboratorio como compresiones axiales, ensayos de corte directo y SPT (Ensayo de Penetración Estándar), que permiten cuantificar la resistencia de los materiales y suministran información suficiente para determinar los parámetros de resistencia de los estratos detectados. La información recopilada se suma al criterio del geólogo y el ingeniero geotecnista con el fin de caracterizar las unidades de roca y suelo detectadas durante las labores de exploración geotécnica.

A continuación se presenta las metodologías consideradas para la de estimación de los parámetros de resistencia:

UNIDADES DE SUELO

- **Ensayo de corte Directo**

El ensayo de corte directo permite determinar de manera directa la envolvente de falla de una muestra analizada en laboratorio y a partir de dicha envolvente estimar los parámetros de resistencia Φ y C' , de los materiales ensayados.

- **Correlación SPT**

Para las correlaciones con el ensayo de penetración estándar se utilizó la metodología propuesta por el Ingeniero Álvaro González², A continuación se enuncian los pasos realizados para obtener los parámetros de resistencia de los materiales:

- I. El primer paso consiste en encontrar el N_{70} o número de golpes por pie corregido a una energía del 70% teniendo en cuenta el control ejercido

² González, A. (1999). **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT.** X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. SCI – SCG. Santafé de Bogotá D.C.

durante el proceso de exploración y considerando que para una energía de 45% la corrección por el número de golpes es demasiado conservadora. A continuación indica el proceso:

$$N_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

En donde:

N_i: Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía

C_N: Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático, σ'_v . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff-Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Sedd-Isdriss, Schmertmann y González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2. Estos valores posteriormente se promediaron

1. Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al toma muestras.
2. Factor de corrección por longitud del varillaje
3. Factor de corrección por presencia de revestimiento, debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.
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

II. Una vez obtenido N_{70} se calcula el valor del ángulo de fricción interna (ϕ) por la correlación de Kishida:

$$\phi = \sqrt{20 \times N_{70}} + 15$$



- III. Siguiendo el criterio de falla de Mohr – Coulomb, se procede a calcular el valor correspondiente al esfuerzo cortante con una cohesión de cero (suponiendo que el ϕ hallado anteriormente es el ángulo de fricción total).
- IV. Se realiza una gráfica esfuerzo normal efectivo Vs esfuerzo cortante obteniendo de la correlación lineal los valores de c' y ϕ' .

Teniendo el total de los resultados (puntos de corte a diferentes esfuerzos normales) se puede determinar la envolvente de falla, obteniéndose así el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva del material.

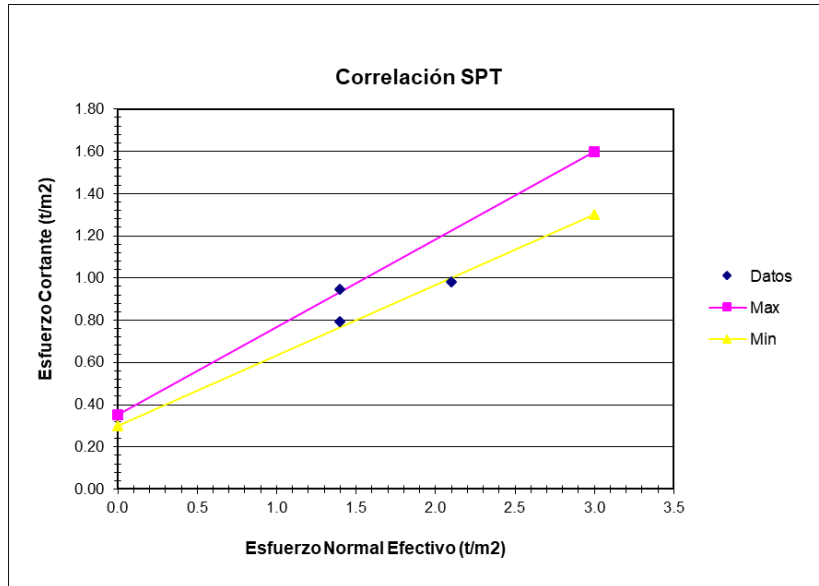
UNIDADES DE ROCA

Para caracterizar las unidades de roca se usará el software de análisis Roclab 1.0 de la casa Rocscience, con el cual se puede graficar la envolvente no lineal de falla del material rocoso, según el criterio de Hoek & Brown. Para esto es necesario realizar ensayos de resistencia a la compresión axial sobre testigos de material rocoso y asociar a cada unidad un índice de calidad geológico (GSI) en función de su grado de meteorización y fracturamiento.

ASIGNACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Depósitos antrópicos

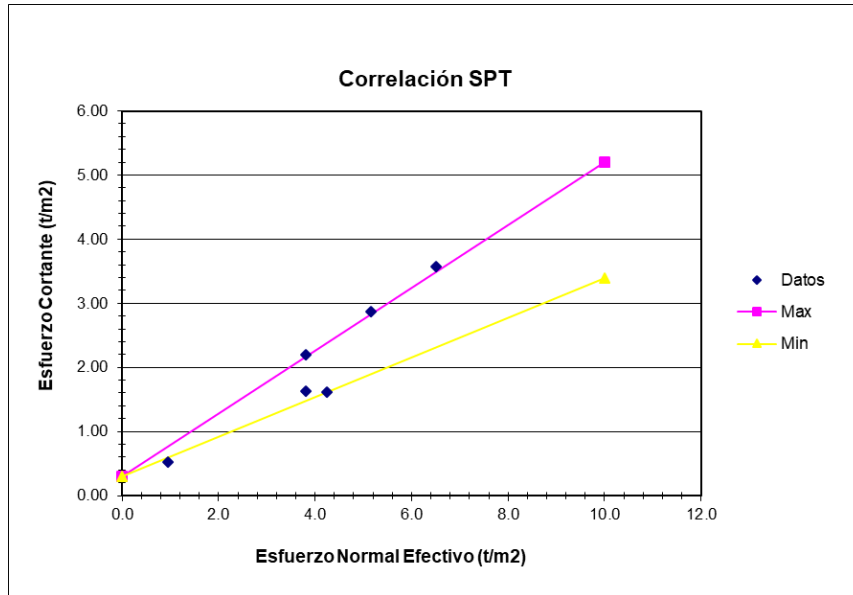
Para la caracterización de este material se utilizó el resultado de los ensayos SPT realizados en campo en los sondeos S5, S7 y S9 del estudio geotécnico para el diseño de redes de acueducto y alcantarillado del proyecto. A continuación se presenta la gráfica obtenida de dicha correlación:



	C' (ton/m²)	φ
Máximo	0.35	22.6
Promedio	0.33	20.5
Mínimo	0.30	18.4
Desv. Est	0.03	2.09

Depósito de material potencialmente inestable

Para la caracterización de este material se utilizó el resultado de los ensayos SPT realizados en campo en los sondeos S8, S9 y S13. A continuación se presenta la gráfica obtenida de dicha correlación:



	C' (ton/m ²)	φ
Máximo	0.30	26.1
Promedio	0.30	21.7
Mínimo	0.30	17.2
Desv. Est	0.00	4.44

Depósito hidrogravitacional (Coluvio – aluvial)

Para la caracterización de este material se realizaron ensayos de corte directo sobre muestras inalteradas de la matriz del depósito.

Tabla 9 Resultados del ensayo de corte directo realizado a la muestra 4 del sondeo 4.

Cohesión	C'	kN/m ²	6.1
Ángulo de fricción	φ'	°	22

Tabla 10 Resultados del ensayo de corte directo realizado a la muestra 5 del sondeo 12.

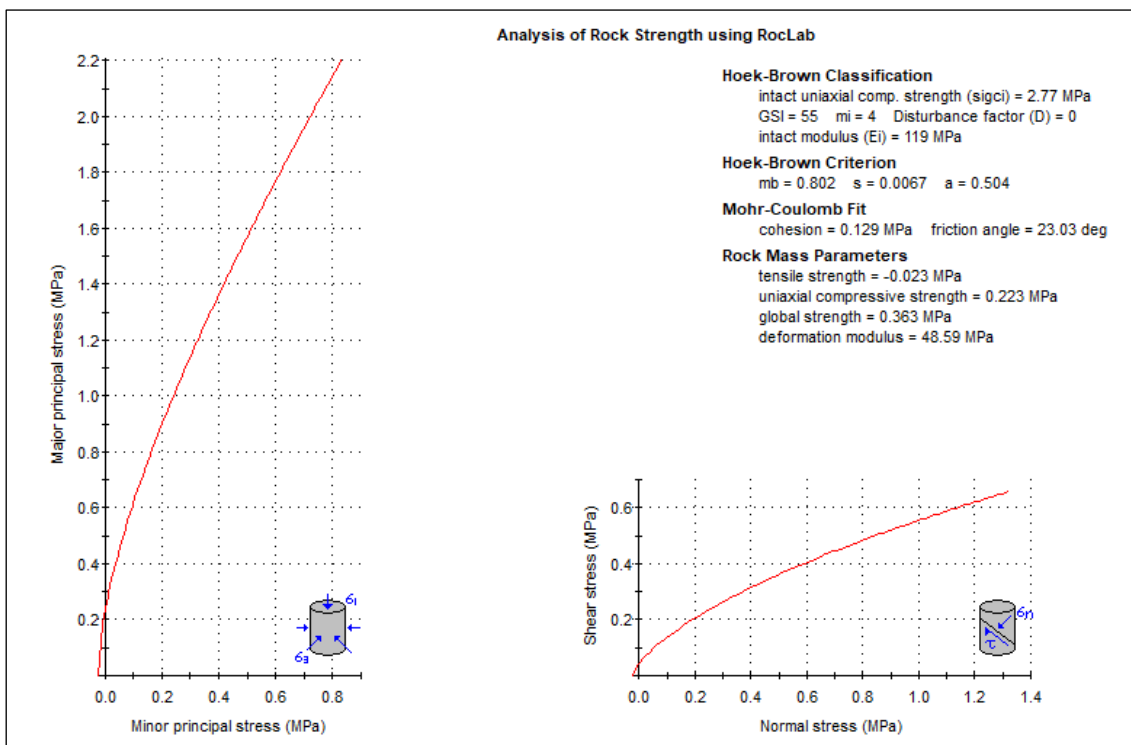
Cohesión	C'	kN/m ²	4.6
Ángulo de fricción	φ'	°	23

Arcillolita arenosa de la Formación Bogotá

Se realizaron ensayos de compresión simple sobre núcleos de roca de la Formación Bogotá para evaluar la resistencia del material rocoso. La resistencia a la compresión promedio de las muestras S2-M6, S2-M9, S5-M8, S5-M10, S8-M10, S9-M19, S10-M7, S14-M7 y S14-M10 fue de 2.77 MPa.

Para considerar el grado de alteración del material rocoso de la “Formación Bogotá” se asignó un rango de 50 a 60 al índice GSI, valor correspondiente a un macizo con 4 o más familias de discontinuidades, con superficies parcialmente alteradas, de acuerdo con la información de la campaña de investigación del subsuelo.

Tabla 11 Parámetros de resistencia de la arcillolita de la Formación Bogotá.



Con base en el procesamiento y análisis de la información previamente mencionada, a continuación se asignan los parámetros geotécnicos usados en los análisis de estabilidad:

Tabla 12 Parámetros de resistencia del modelo geológico - geotécnico de análisis.

UNIDADES LITOLÓGICAS	UNIDAD GEOTÉCNICA	γ kN/m ³	ϕ' °	C' kN/m ²
Q2ra, Q2daa, Q2dac	Depósitos antrópicos	<u>16.0</u>	20.0	3.25
Q2mdf, Q2mdr	Depósito de material potencialmente inestable compuesto principalmente por intercalaciones de limos y arcillas con un alto contenido volumétrico de agua.	<u>17.0</u>	21.0	3.00
Q2dc, Q2da	Depósito hidrogravitacional conformado por fragmentos y gravas de arenisca y/o arcillolita embebidos en una matriz arcillo arenosa	19.0	23.0	6.00
E2brm	Arcillolita arenosa de la Formación Bogotá de color rojizo bastante fracturada y meteorizada	23.0	23.0	129.00
K2d	Areniscas competente de la Formación Arenisca Dura	<u>23.0</u>	<u>40.0</u>	<u>500.00</u>
-----	Concreto reforzado	<u>24.0</u>	<u>0.0</u>	<u>760.00</u>

Parámetros asignados de acuerdo con la experiencia de esta consultoría



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

5.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – ESCENARIO ACTUAL.-

SECCIÓN A-A´ - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN NORMAL

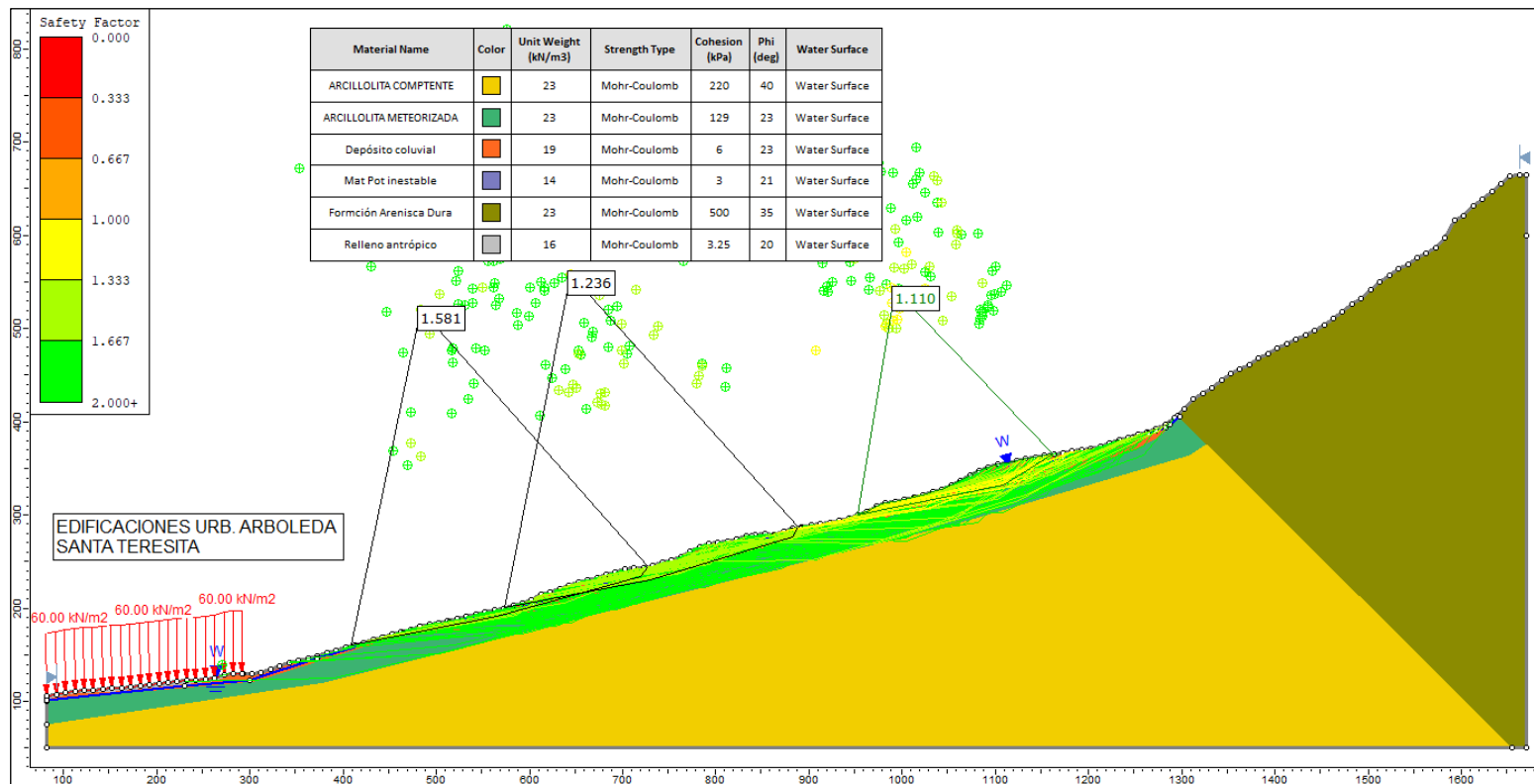


Ilustración 18 Sección A-A´ - Escenario actual, condición normal. $F.S_{MIN} = 1.58$



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

SECCIÓN A-A' - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN EXTREMA

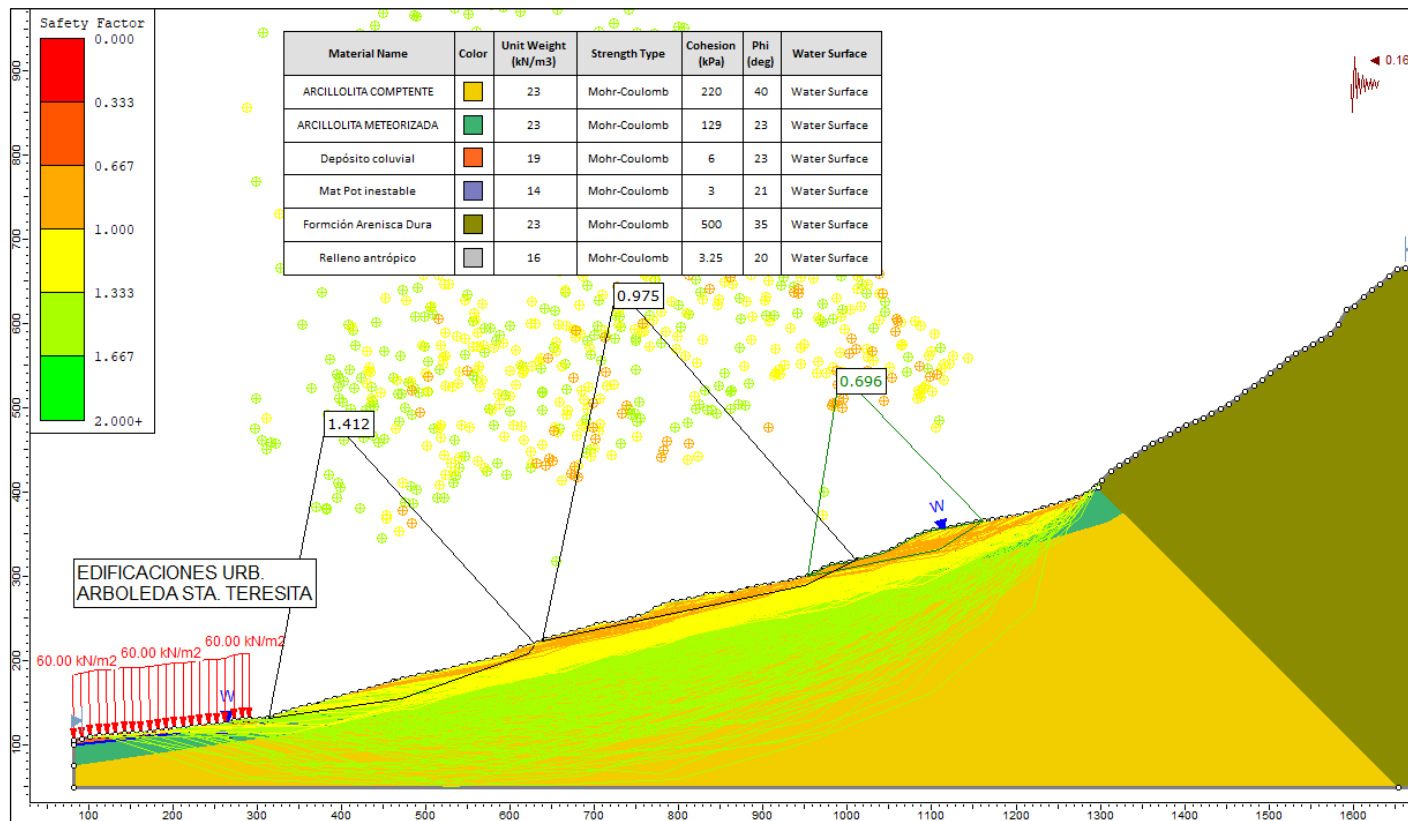


Ilustración 19 Sección A-A' - Escenario actual, condición extrema. F.S_{MIN} = 1.41



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

SECCIÓN B-B´ - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN NORMAL

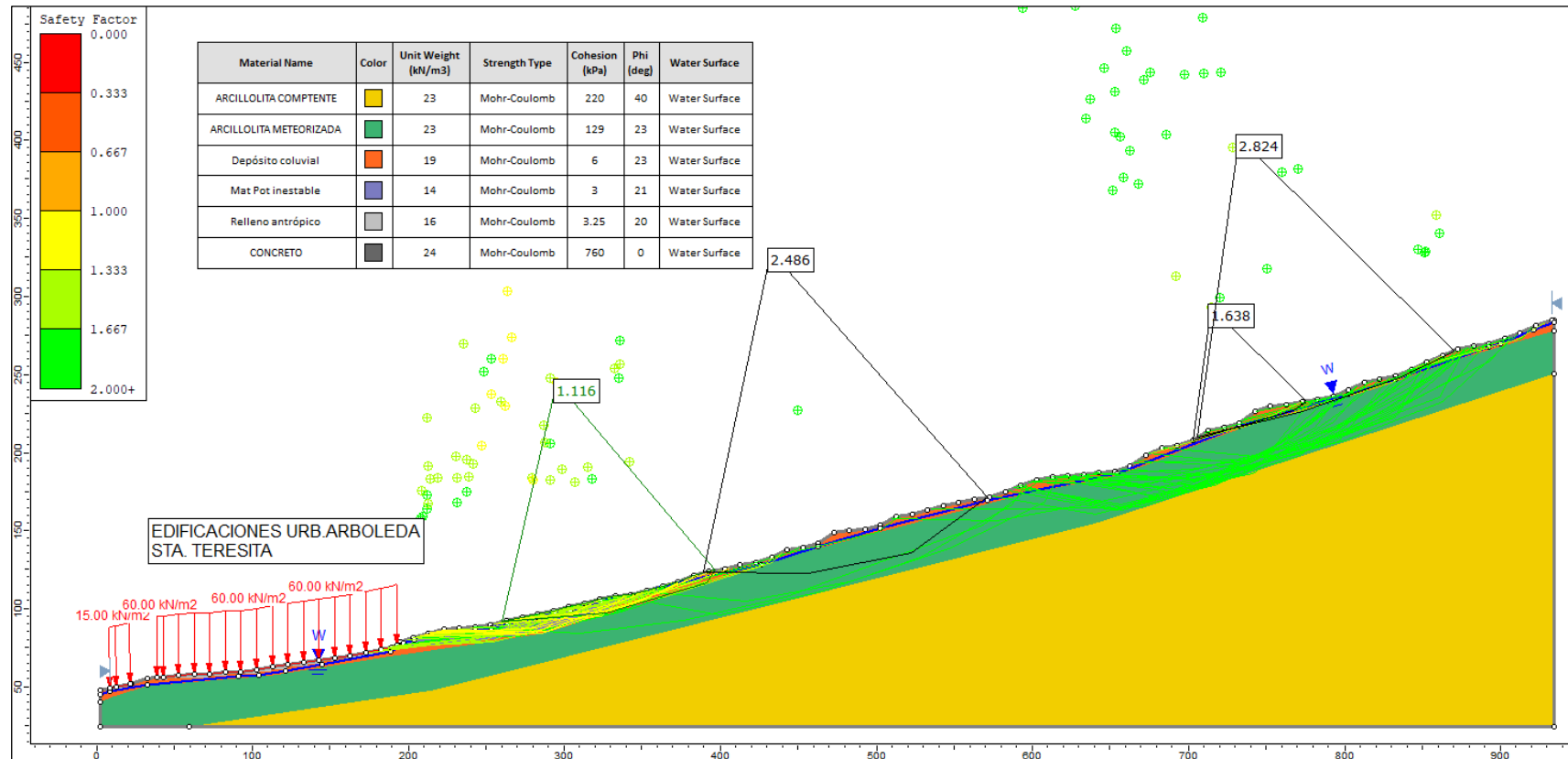


Ilustración 20 Sección B-B´ - Escenario actual, condición normal. $F.S_{MIN} = 1.11$



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

SECCIÓN B-B' - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN EXTREMA

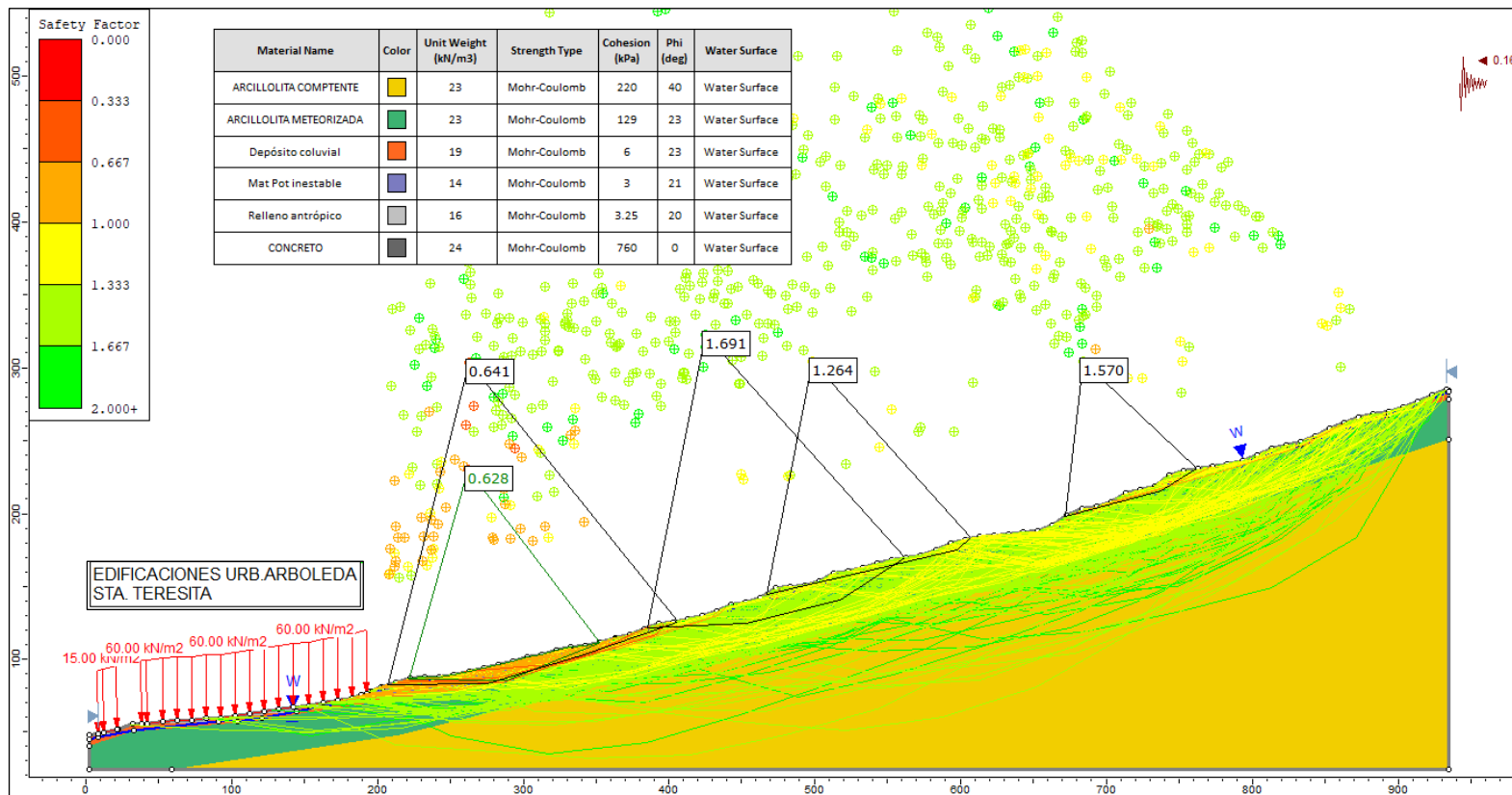


Ilustración 21 Sección B-B' - Escenario actual, condición extrema. F.S_{MIN} = 0.62



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

SECCIÓN C-C' - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN NORMAL

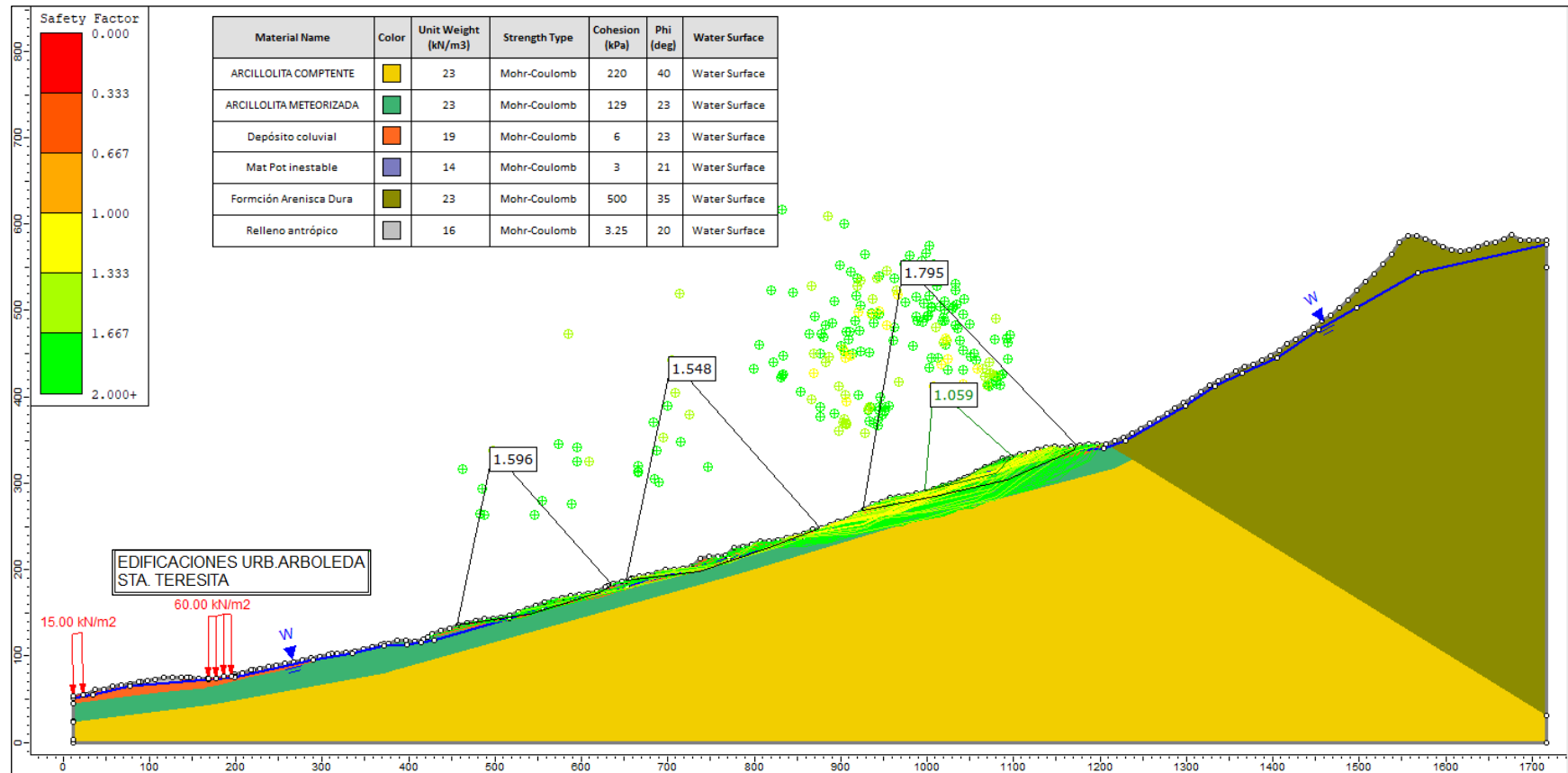


Ilustración 22 Sección C-C' - Escenario actual, condición normal. F.S.MIN = 1.59



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

SECCIÓN C-C' - ESCENARIO ACTUAL, CONDICIÓN EXTREMA

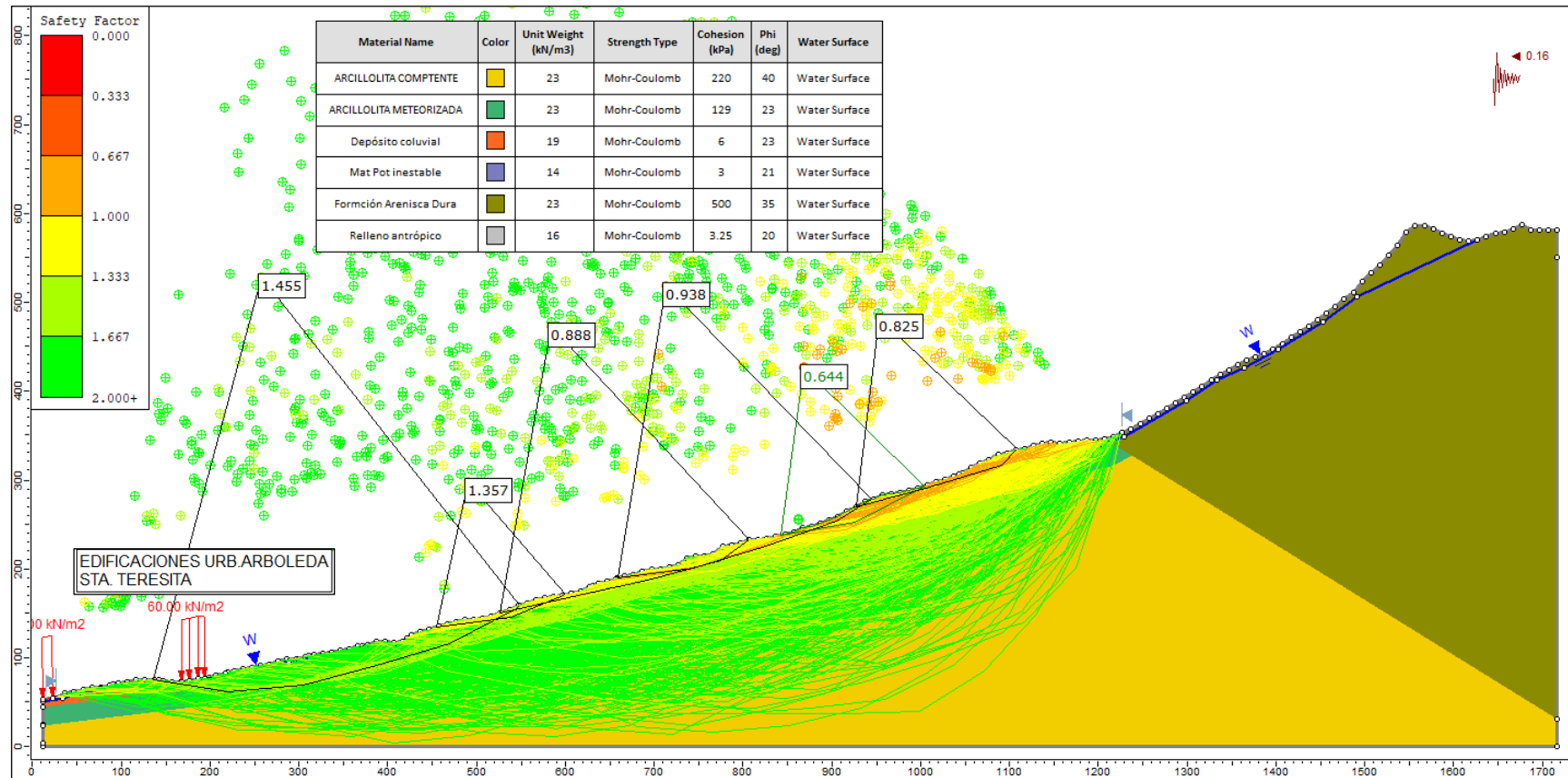


Ilustración 23 Sección C-C' - Escenario actual, condición extrema. F.S_{MIN} = 1.45

Los resultados de los análisis de estabilidad realizados se resumen a continuación:

Tabla 13 Resumen de los resultados de los análisis de estabilidad

SECCIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO	CONDICIÓN NORMAL		CONDICIÓN EXTREMA	
	ESTIMADO	REQUERIDO	ESTIMADO	REQUERIDO
A-A'	1.58	1.25	1.41	1.10
B-B'	1.11	1.25	0.62	1.10
C-C'	1.59	1.25	1.45	1.10

De acuerdo con los resultados que se presenta en las **ilustraciones 6 a 11** y en la **Tabla 13**, los sectores cubiertos por las secciones A-A' y C-C' se consideran estables a corto y largo plazo, por lo cual en dichas zonas no se prevé ningún tipo de afectación sobre las estructuras de la edificación Arboleda Santa Teresita, relacionado con la estabilidad global de la ladera.

Por su parte, los resultados de los análisis de la sección B-B', la cual cubre la zona donde se identificó la presencia de un proceso de inestabilidad de tipo "flujo", presentan factores de seguridad que no se consideran satisfactorios para garantizar la estabilidad a corto y largo plazo de dicho sector. Por lo tanto es necesario plantear obras de remediación para el tratamiento de dicho sector.

6.0 PLAN DE MEDIDAS DE REMEDIACIÓN.-

Con el objetivo de tratar la zona potencialmente inestable donde se identificó la presencia del flujo de tierras, se plantea el abatimiento de la lámina de agua, para reducir la saturación de la masa de suelo y aumentar la resistencia de los materiales comprometidos. Para esto se propone la construcción de trincheras o zanjas profundas que conforman un sistema de drenaje en espina de pescado y la construcción de una llave de cortante y contrapeso para aumentar la resistencia al corte en el pie del proceso.



6.1 DREN EN ESPINA DE PESCADO CONFORMADO CON TRINCHERAS DRENANTES.-

Se propone la conformación de un sistema de drenaje profundo en espina de pescado con el objetivo de captar los flujos superficiales y subsuperficiales y abatir el nivel piezométrico.

En la línea de mayor pendiente donde actualmente se concentran los flujos de agua se conformara un dren central, que además de abatir el nivel de agua y conducir el caudal de los drenes laterales, aportará a la resistencia al corte de la masa potencialmente inestable actuando como contrafuerte.

- Para la construcción de la zanja se deberá implementar un entibado mixto (secciones metálicas y en madera).
- Cada zanja se rellenará con material granular seleccionado, el cual se encontrará encapsulado por un geotextil de separación.
- El geotextil de separación deberá ser no-tejido tipo PAVCO NO 1600 o similar, para facilitar el flujo de agua, pero sin permitir la colmatación del sistema.
- En la base de cada zanja o trinchera se instalará una tubería de PVC de 12” perforada o ranurada, para captar y conducir los flujos de agua hasta el punto de descarga.
- El fondo de cada zanja deberá contar con un leve pendiente (mayor o igual al 2%) que facilite el flujo del agua en la dirección del punto de descarga.
- Se recomienda que se consulte al diseñador hidraulico del proyecto sobre la necesidad de construir un pozo de inspección y/o una trampa de sedimentos o un desarenador previo al punto de descarga del sistema de drenaje.

En la **Figura 19** se presenta la sección típica de las zanjas que conforman el sistema de drenaje en espina de pescado y en la **Figura 21** su localización en planta (Ver planos de obras).

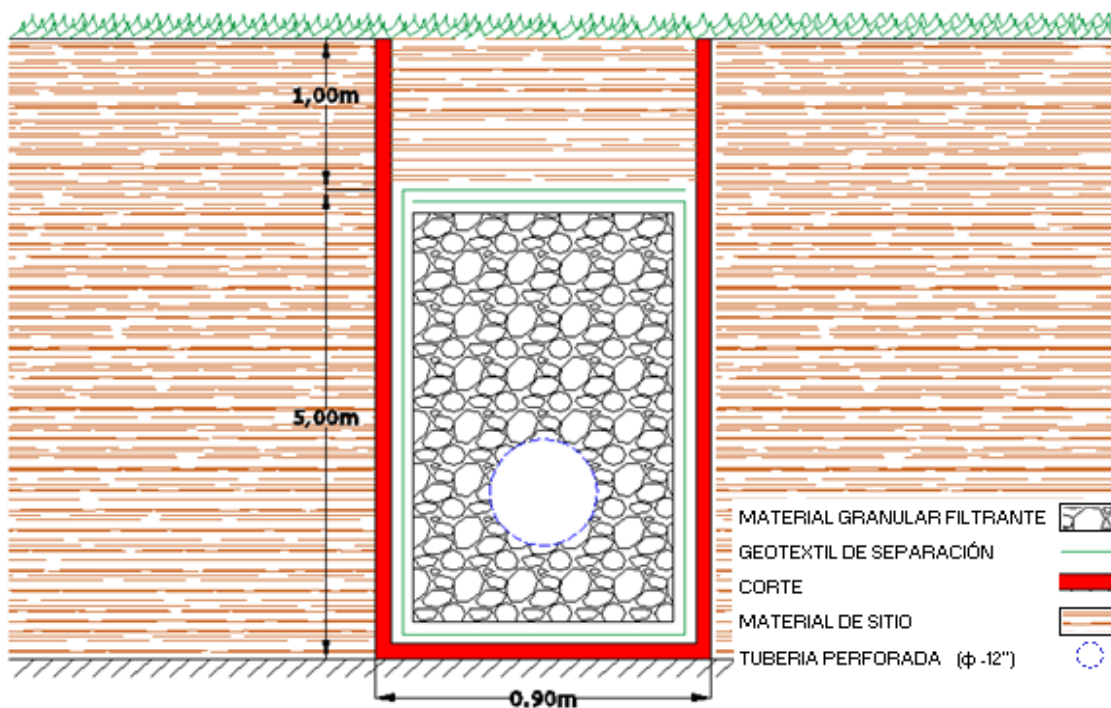


Figura 19 Sección típica de las zanjas o trincheras drenantes.

6.2 LLAVE DE CORTANTE Y CONTRAPESO.-

Se propone la construcción de una zanja rellena con enrocado (llave de cortante), apoyada por debajo de la masa potencialmente inestable, la cual atravesará todo el ancho de la zona afectada, aumentando la resistencia al corte en la base del proceso de inestabilidad. El material resultante del proceso de corte, podrá ser usado para la construcción de un sobrepeso ubicado sobre la llave de cortante, el cual contribuye al aumento de los esfuerzos efectivos y por tanto al aumento de la resistencia de la llave de cortante.

- El material con el que se rellene la zanja será enrocado anguloso ($\Phi \geq 40^\circ$) de roca dura o de alta resistencia, compuesto por fragmentos angulosos con un diámetro máximo nominal de 35 cms libre de arcillas y material orgánico y con desgastes de la máquina de los ángulos no superior al 40% a 500 revoluciones. Este material se encapsulará con un geotextil de separación no tejido 4000.
- El geotextil de separación deberá ser no-tejido, para facilitar el flujo de agua, pero sin permitir la colmatación del sistema.
- En la base de la zanja se instalará una tubería perforada de 12" la cual irá conectara al sistema de drenaje en espina de pescado.
- El fondo de cada zanja deberá contar con un leve pendientado (mayor o igual al 2%) que facilite el flujo del agua en la dirección del punto de descarga.

En la **Figura 20** se presenta la sección típica de la llave de cortante y en la **Figura 21** su localización en planta (Ver planos de obras).

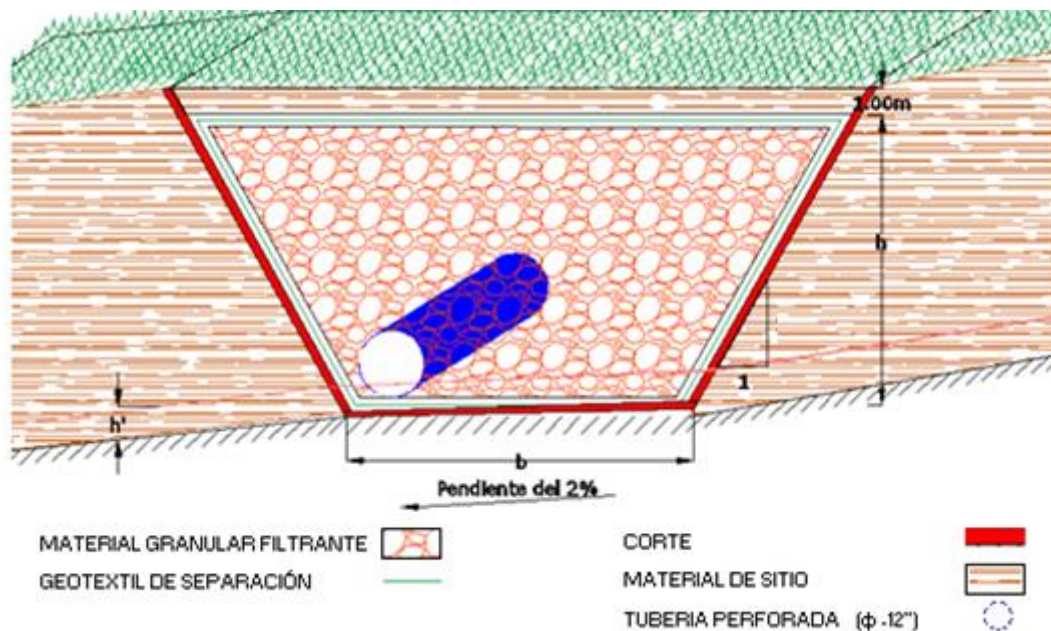


Figura 20 Sección típica de la llave de cortante.

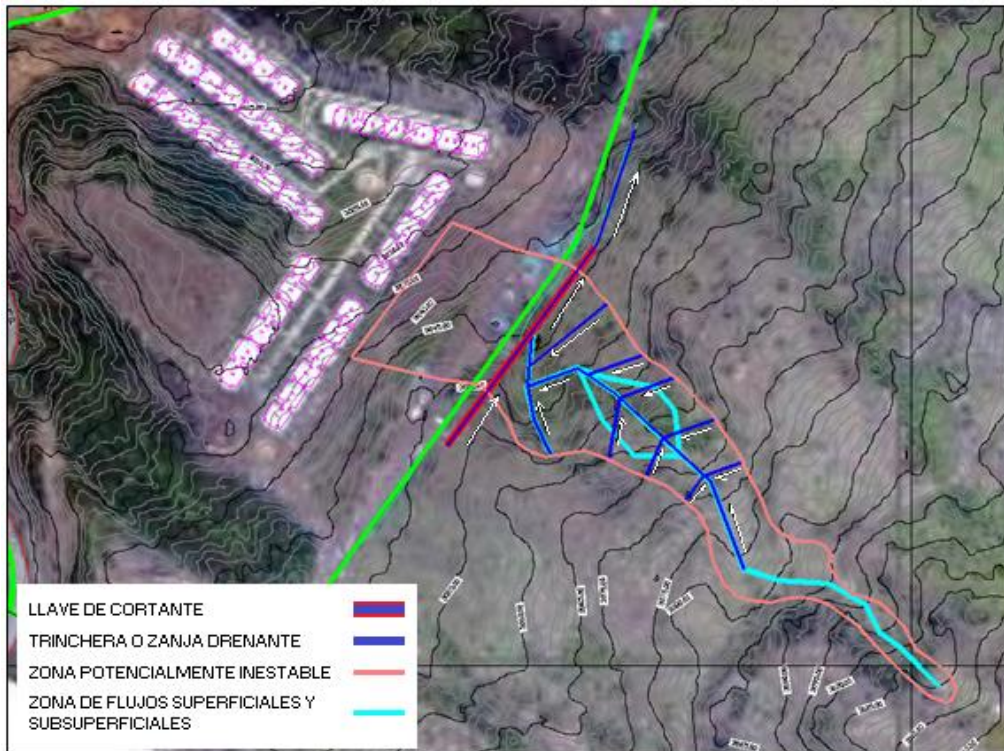


Figura 21 Localización de obras en planta.

6.3 REVEGETALIZACION DE TODA LA ZONA AFECTADA.-

Como complemento a las obras ya descritas se debe buscar revegetar la zona con especies que favorezcan el drenaje del terreno a través de altos consumos de agua. Por tal razón se propone sembrar especies tipo urapán, eucaliptus y acacias en especial estas últimas que presentan un crecimiento muy rápido. Dichos elementos se dispondrán a no menos de 6 m de distancia del alineamiento de los drenes para evitar que sus raíces afecten su integridad en una cuadrícula de 3.0 m de lado.

A continuación se presentan los resultados de los análisis de estabilidad incluyendo el efecto de las obras de remediación propuestas.



SC-1230-1
SC-CER457592



DESDE
1994

INGENIERIA DE SUELOS

7.0 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – ESCENARIO CON MEDIDAS DE REMEDIACIÓN.-

SECCIÓN B-B´ - ESCENARIO CON OBRAS DE REMEDIACIÓN, CONDICIÓN NORMAL

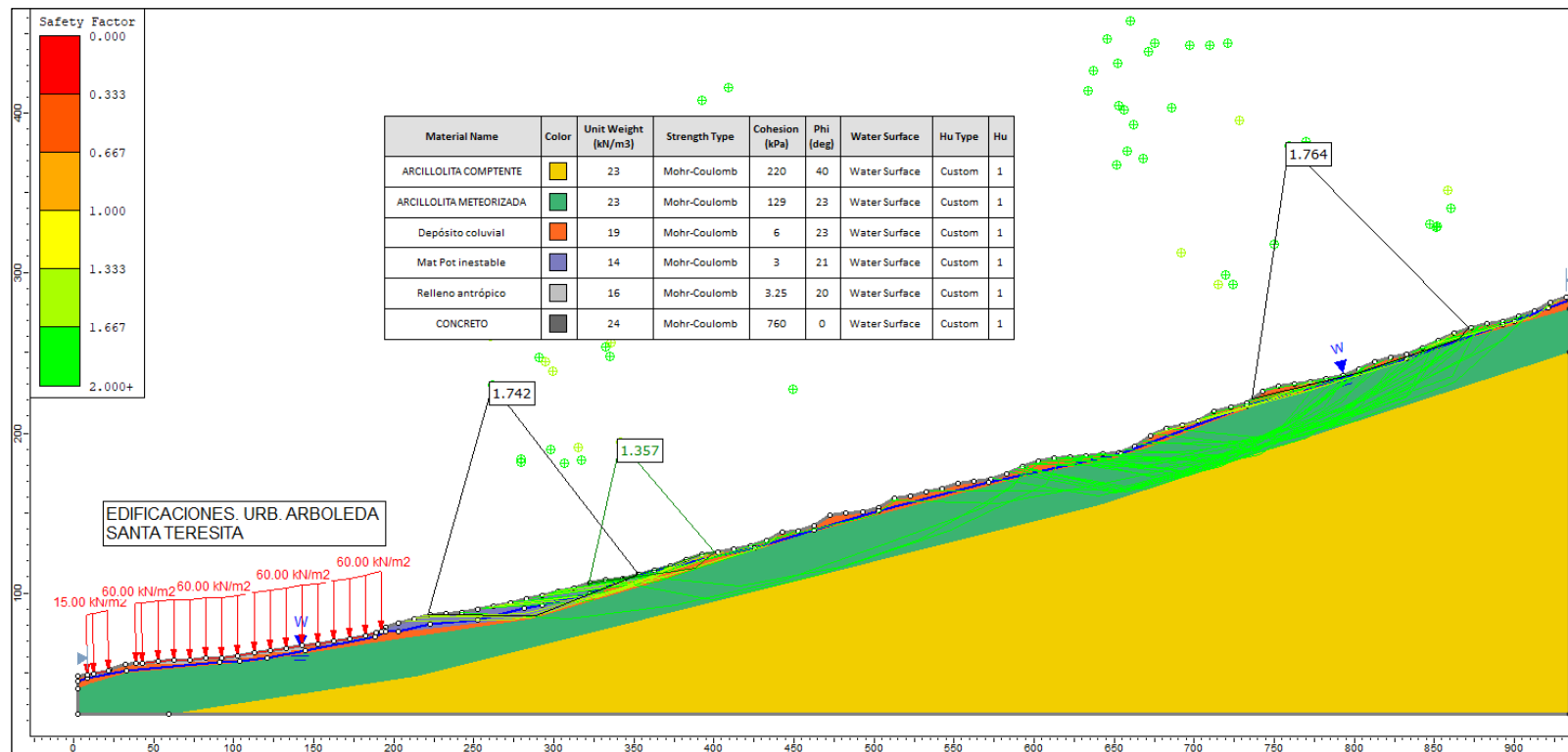


Ilustración 24 Sección B-B´ - Escenario actual, condición normal. F.S_{MIN} = 1.74

SECCIÓN B-B' - ESCENARIO CON OBRAS DE REMEDIACIÓN, CONDICIÓN EXTREMA

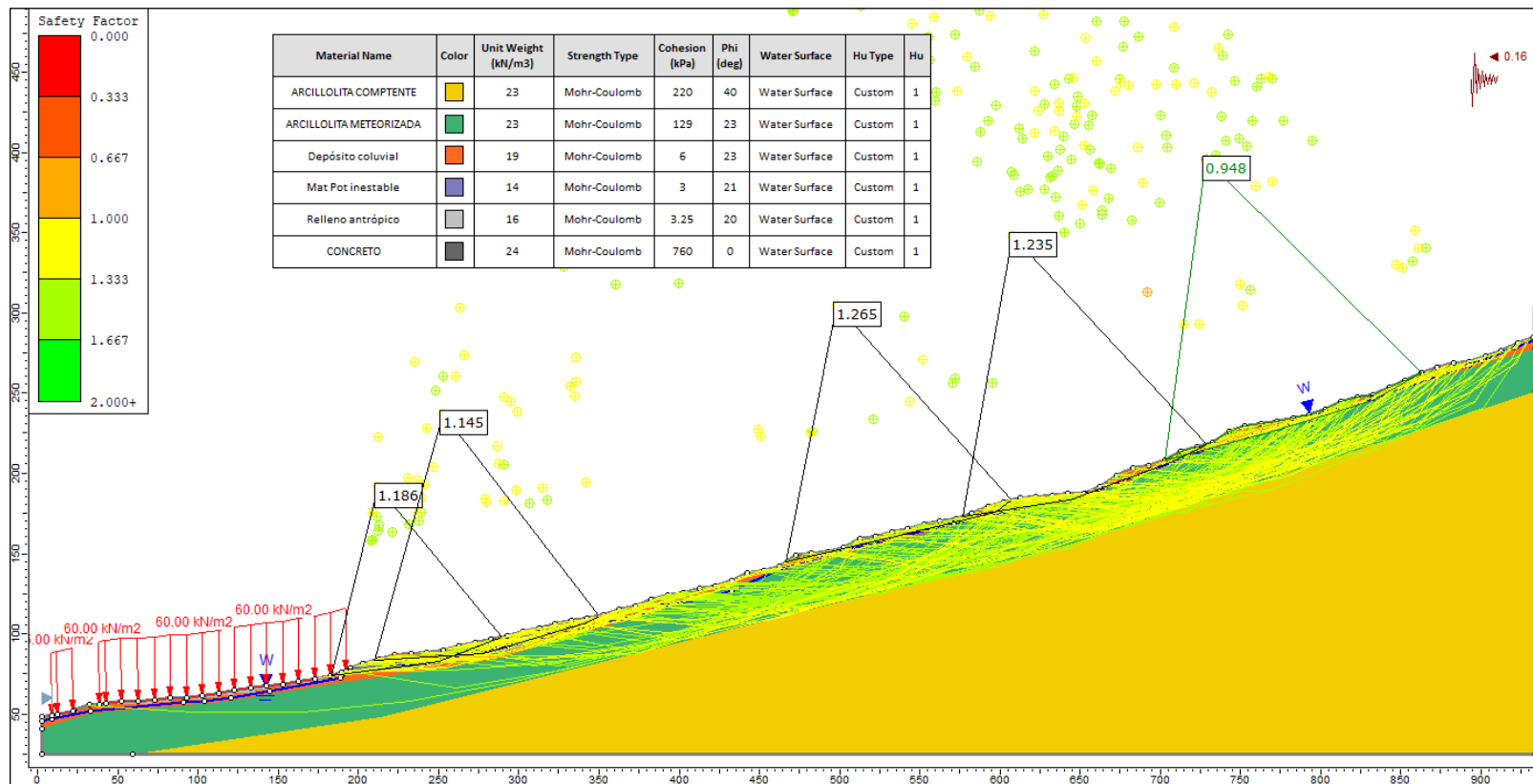


Ilustración 25 Sección B-B' - Escenario actual, condición extrema. F.S_{MIN} = 1.18

Los resultados de los análisis de estabilidad realizados, para el escenario con obras de remediación se resumen a continuación:

Tabla 14 Resumen de los resultados de los análisis de estabilidad- Escenario con obras de remediación.

SECCIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO	CONDICIÓN NORMAL		CONDICIÓN EXTREMA	
	ESTIMADO	REQUERIDO	ESTIMADO	REQUERIDO
B-B'	1.74	1.25	1.18	1.10

De acuerdo con los resultados que se presenta en las **ilustraciones 12 y 13** y en la **Tabla 14**, las medidas de remediación propuestas se consideran adecuadas para garantizar la estabilidad a corto y largo plazo de la zona de la urbanización Arboleda Santa Teresita afectada por el flujo de tierras.

8.0 RECOMENDACIONES PARA EL PROCESO CONSTRUCTIVO.-

Es necesario que le proceso constructivo inicie con la construcción de la lave de cortante y el descole del sistema de drenaje. Es importante tener en cuenta que el inicio de estas obras deberá realizarse en verano, de tal forma que la estabilidad de las excavaciones requeridas no se vea afectada por posibles lluvias.

A continuación se incluyen las recomendaciones para la construcción de las medidas de remediación propuestas.

8.1 DRENAJE Y MANEJO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA.-

Teniendo en cuenta que las trincheras se construirán hasta una profundidad de 6.0 m y previendo flujos de agua superficiales, toda vez que en las perforaciones se detectó un nivel freático variable a partir de 0.50 m de profundidad, se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:



SC-1230-1
SC-CER457592



- Se proyectarán cañuelas temporales para la conducción y evacuación de aguas superficiales, fuera de la zona de trabajo, hasta la finalización del proceso constructivo de las zanjas.
- En caso de detectarse presencia de agua en la excavación, se dispondrán de suficientes bombas en buen estado, para bajar los niveles freáticos hasta 200 mm por debajo del fondo de la zanja o como mínimo hasta el fondo de ésta.

8.2 RECOMENDACIONES PARA CORTES.-

La excavación se hará por tramos hasta de 6.0 metros de longitud instalando el entibado correspondiente. Se podrá modificar en obra dicha longitud teniendo en cuenta las condiciones de estabilidad y el régimen de aguas subsuperficiales en el momento de la ejecución de los trabajos, pero para esto, se deberá informar a esta consultoría con el objetivo de realizar una visita al sitio y emitir las recomendaciones correspondientes.

El entibado podrá retirarse únicamente cuando se haya finalizado la construcción de la trinchera, es decir una vez se tenga completamente instalado el tubo y el material de granular filtrante establecidos en el presente informe.

8.3 SISTEMA DE ENTIBADO.-

Teniendo en cuenta la magnitud de los cortes previstos (hasta 6.0 m), se recomienda implementar entibados mixtos en madera con perfiles metálicos, compuestos por los siguientes elementos:



- Puntales:** Perfiles metálicos de sección y longitud de empotramiento definidos en el diseño. La longitud mínima de empotramiento es $H/3$, donde H – altura de excavación.
- Largueros:** Vigas horizontales de madera de sección mínima de 0.20 x 0.25 m, con longitud máxima de 3.0 m, separadas verticalmente como máximo una distancia de 1.50 m.
- Codales:** Postes metálicos telescópicos de diámetro mínimo 6.35 mm (2 ½ pulgadas) en niveles con separación horizontal máxima de 3.0 m.

La instalación de los tableros de madera deberá ser simultánea al avance de la excavación de tal forma que no se presenten espacios mayores a 1.0 m.

Los detalles para la construcción del sistema de entibado se presentan a continuación:

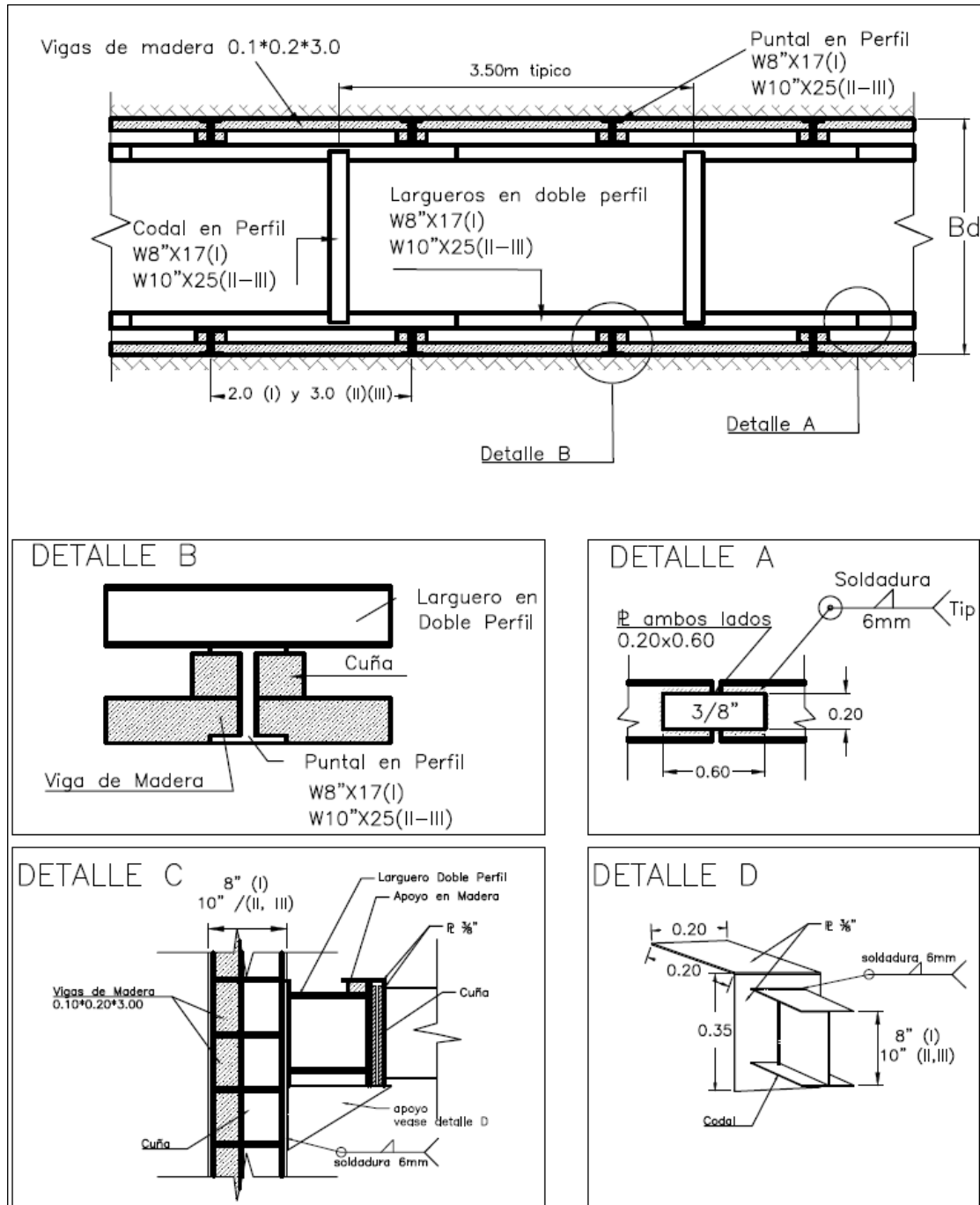


Figura 22 Planta y detalles de entibado Mixto de madera – perfiles metálicos - Modificado de NS-072 de EAAB.

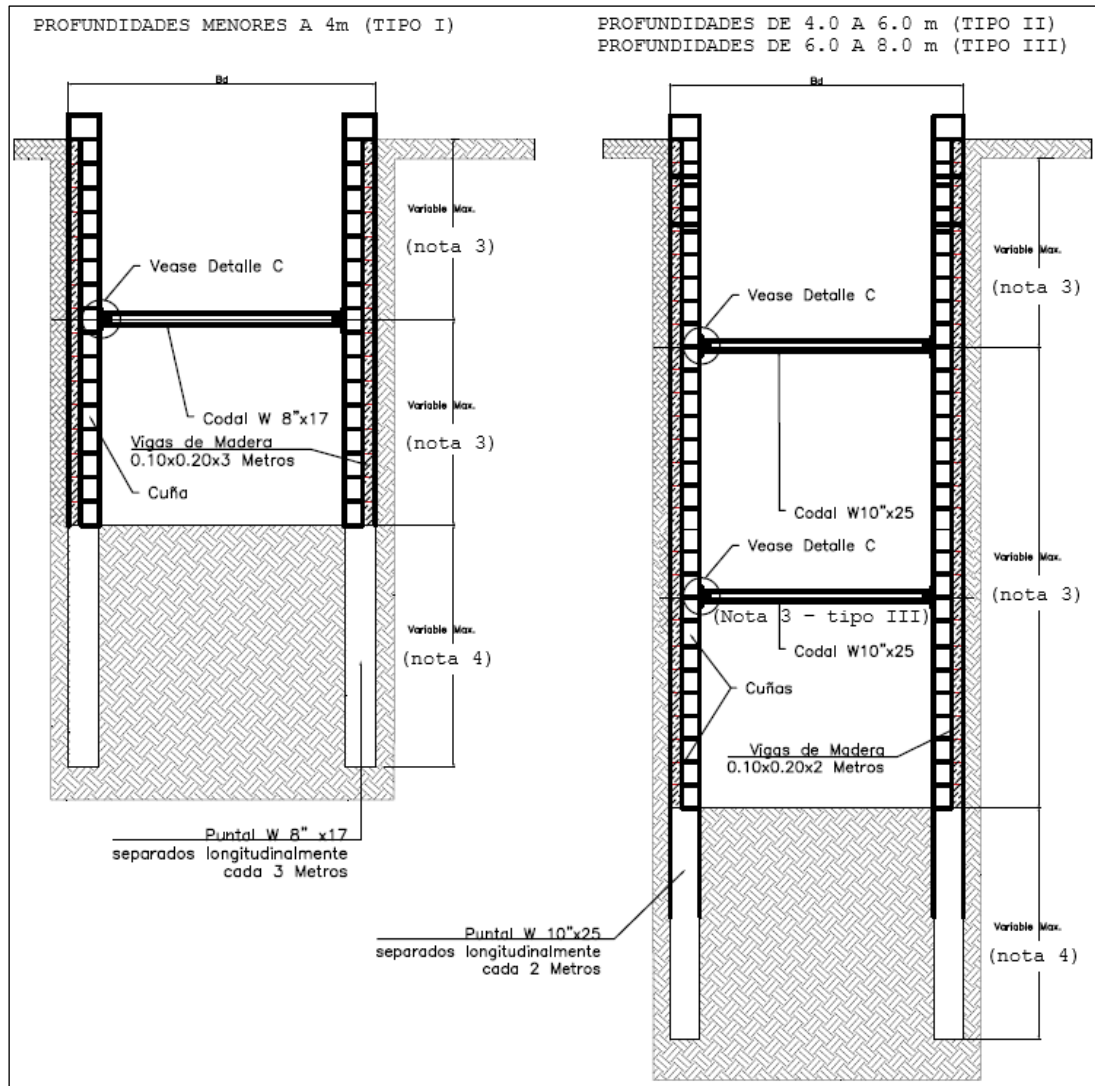


Figura 23 Esquema de entibado Mixto de madera – perfiles metálicos - Modificado de NS-072 de EAAB.

1. El acero deberá cumplir con la norma ASTM – A – 36.
2. Las vigas de madera diagonales se utilizaran en aquellos casos donde se presente pandeo.
3. Para profundidades menores a 4.0 m (I), la distancia entre el borde libre de la zanja y el codal no deberá exceder 1.5m.
Para profundidades de 4.0 a 6.0 m (II), la distancia entre el borde libre de la zanja y el codal no deberá exceder 2.0m.



SC-1230-1
SC-CER457592



Para profundidades de 6.0 a 8.0 m (III), la distancia entre el borde libre de la zanja y el codal no deberá exceder 2.5m. En este caso se recomienda implementar un codal intermedio, localizado a una profundidad de 2/3 de la altura máxima de excavación

4. Para profundidades menores a 4.0 m (I), el puntal debe estar enterrado mínimo 2.0 m en el fondo de la zanja. Para profundidades de 4.0 a 6.0 m (II), el puntal debe estar enterrado mínimo 3.0 m en el fondo de la zanja. Para profundidades de 6.0 a 8.0 m (III), el puntal debe estar enterrado mínimo 3.5 m en el fondo de la zanja.

8.4 CIMENTACIÓN DE LAS TUBERÍAS DE DRENAJE.-

Previo a la instalación de las tuberías de 12” se extenderá una cama de material granular sobre el fondo de la zanja con relleno tipo gravilla, de espesor mínimo de 0.10 m, el cual se deberá extender hasta 0.2 m por encima del cuerpo de la tubería. El resto de la zanja será rellenada con material granular filtrante, hasta 1.0 m por debajo de la superficie del terreno; en este punto el material a emplear será material proveniente de los procesos de excavación.

8.5 MATERIAL DE RELLENO DE ZANJAS.-

Como material de relleno para las zanjas se recomienda el empleo de grava angular uniforme de 1” a 3” de diámetro, con un desgaste máximo del 40% en un ensayo de máquina de los ángeles a 500 revoluciones.

El material con el que se rellene la zanja será enrocado anguloso ($\Phi \geq 40^\circ$) de roca dura o de alta resistencia, compuesto por fragmentos angulosos con un diámetro máximo nominal de 35 cms libre de arcillas y material orgánico y con desgastes de la máquina de los ángeles no superior al 40% a 500 revoluciones. Este material se encapsulará con un geotextil de separación no tejido 4000.



Tabla 15 Gradación recomendada para el material filtrante.

Tamaño	% Pasa (Peso)
8"	100
2"	20 - 50
1/2"	0 - 10
# 200	< 3

Teniendo en cuenta que la permeabilidad del material de relleno, y la funcionalidad de la tubería perforada se encontrará condicionada por el contenido de finos (material que pasa el tamiz #200) presente en el relleno de la zanja, su porcentaje en peso no podrá exceder el 3% en peso o el 5% en volumen.

8.6 GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN.-

El geotextil de separación deberá ser no tejido. Considerando las características del material de relleno y las sollicitaciones a las que será sometido (Elongación, punzonamiento, resistencia al rasgado, resistencia a la estalido y propiedades hidráulicas), se recomienda el uso de GEOTEXTIL PAVCO NO TEJIDO MARV T 4000 o uno de características superiores o equivalentes. El traslape mínimo entre rollos será de 12".

8.7 MONITOREO DURANTE CONSTRUCCIÓN.-

Se recomienda la instalación de puntos de control e inclinómetros, para realizar el monitoreo permanente de la zona de trabajo. Para esto el avance de los procesos de movimientos de tierras deberán ser realizados junto con el acompañamiento de un supervisor geotecnista y una comisión topográfica que realizará el monitoreo permanente de la ladera. Todo esto con el fin de advertir posibles movimientos adicionales del terreno y tomar las medidas necesarias para controlarlos y finalizar la construcción de las obras propuestas.



Luego de finalizadas las obras de remediación, el monitoreo continuará de manera semanal durante los primeros tres meses.

Considerando que los materiales potencialmente inestables tienen una baja permeabilidad, es posible que pasen algunos meses antes de que se logre el abatimiento de la lámina de agua, por lo cual se recomienda que el monitoreo continúe mensualmente, por un periodo no menor a 12 meses

9.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

Se realizó el ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y ESTABILIZACIÓN de la ladera donde actualmente se construye se construye el proyecto LA ARBOLEDA DE SANTA TERESITA, localizado en la Transversal 15 Este No. 61A – 10 Sur, localidad de San Cristóbal, en la ciudad de Bogotá. Este estudio incluyó análisis geológico y geotécnico del sector, así como el análisis y diseño de las obras de remediación requeridas.

Se identificó la presencia de un proceso de inestabilidad de tipo complejo, con características de reptación y flujo de tierras, el cual afecta la parte alta de la urbanización Santa Teresita y generó la falla de un tramo de aproximadamente de 70.0 m, de la línea de acueducto Quindío - Juan Rey de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Con el objetivo de controlar el proceso de inestabilidad y garantizar la estabilidad a corto y largo plazo de la Urbanización Santa Teresita, se plantearon y diseñaron medidas de remediación enfocadas al abatimiento de la lámina de agua y al aumento de la resistencia la corte de la zona donde se localiza el pie del proceso.



Se recomienda que antes de iniciar la construcción de las obras propuestas se notifique a esta consultoría para revisar en sitio la localización de inclinómetros, el proceso constructivo y realizar controles periódicos durante el avance de la obras. Todas las obras propuestas deberán ser ejecutadas siguiendo las recomendaciones incluidas en este documento.

Es estrictamente necesario que el avance de los movimientos de tierras se realice simultáneamente junto con el acompañamiento de un supervisor geotecnista y una comisión topográfica.

Es importante mencionar que considerando la permeabilidad de los materiales presentes en la zona, es posible que pasen algunos meses antes de que se logre el abatimiento de la lámina de agua, por lo cual podrán seguir presentándose deformaciones hasta que esto ocurra.

De acuerdo a lo conversado en las últimas reuniones, el I.D.R.D. proyecta la construcción de un parque en la parte media de la ladera. Para dicho proyecto se sugieren las siguientes recomendaciones basadas en las características del proceso de inestabilidad y los resultados del estudio de estabilidad y estabilización:

- Es completamente necesario que se descarte cualquier posible fuente de infiltración, por lo cual no se recomienda construir ningún tipo de cuerpo de agua dentro de la zona donde se proyecta la construcción del parque.
- Se recomienda evitar la construcción de pavimentos rígidos para los senderos o vías proyectadas, con el fin de evitar su deterioro prematuro debido a posibles deformaciones del terreno. Se sugiere el uso de senderos de piedra (Ver **Figura 24**) que presentan un mejor

comportamiento ante este tipo de procesos.




Figura 24 Fotografías de senderos en piedra - Fuente Google.

Sin otro particular, nos suscribimos de usted.

Atentamente,

E Y R ESPINOSA RESTREPO S.A.



EYR - 15819 ESTABILIDAD

Ing. Carlos Restrepo G.
Matrícula No. 2520222127
AYR/afgc