

CONTENIDO

1	LOCALIZACIÓN	4
2	INTRODUCCIÓN	4
3	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	4
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL	5
3.1.1	MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	5
3.1.2	LITOLOGÍA	6
3.1.3	TECTÓNICA	7
3.2	GEOLOGÍA LOCAL	7
3.2.1	LITOLOGÍA	7
3.2.2	TECTÓNICA LOCAL	10
3.3	MORFODINÁMICA	11
3.3.1	DESGLIZAMIENTO 1 (MARGEN DERECHA QUEBRADA)	11
3.3.2	DESGLIZAMIENTO 2 (EXTREMO OESTE DE LA CALLE 69C SUR)	13
3.3.3	DESPRENDIMIENTOS ASOCIADOS CON CORTES PARA VIVIENDAS	14
3.4	PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON METODOLOGÍA GSI	14
3.4.1	DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO	16
3.4.2	PARÁMETROS DE ENTRADA	16
3.4.3	OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA GSI	17
4	CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y VEGETACIÓN	23
4.1	SUELOS	23
4.2	VEGETACIÓN	25
5	CLIMA	27
5.1	INFORMACIÓN DISPONIBLE	27
5.2	PRECIPITACIÓN MEDIA	27
5.2.1	DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL	28
5.2.2	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL	29
5.3	TEMPERATURA DEL AIRE, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN	29
	HIDROLOGIA E HIDRAULICA	30
6	INVESTIGACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO	33

6.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	33
6.2	ENSAYOS DE LABORATORIO	34
<u>6</u>	<u>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA</u>	<u>45</u>
6.1	PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO	45
6.2	PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES	45
6.2.1	Material 1	45
6.2.2	Material 2	45
6.2.3	Material 3	45
6.2.4	Material 4	46
<u>7</u>	<u>ANÁLISIS GEOTÉCNICOS</u>	<u>47</u>
<u>8</u>	<u>PARÁMETROS SÍSMICOS DE DISEÑO</u>	<u>48</u>
<u>9</u>	<u>MEDIDAS CORRECTIVAS RECOMENDADAS</u>	<u>48</u>
9.1	OBRAS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD	50
9.2	OBRAS PARA CONTROLAR LA CAÍDA DE ROCAS	50
<u>10</u>	<u>LIMITACIONES</u>	<u>51</u>
<u>11</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>51</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Geología regional tomada de Upes-Ingeocim, 1999. En el recuadro, la zona de estudio, con la falla determinada en campo en este estudio.	5
Figura 3.2. Rangos de redondez y angularidad de granos. El conjunto de arriba es de alta esfericidad y el de abajo de alto alargamiento. Powers, 1935 (en Compton, 1985)	9
Figura 3.3. Rangos típicos de GSI para areniscas (Tomado de Marinós & Hoek, 2000). El círculo verde muestra la estimación para areniscas poco fracturadas y el amarillo para las zonas de brecha tectónica en areniscas.	18
Figura 3.4. Rangos típicos de GSI para limolitas, arcillolitas y lutitas (Tomado de Marinós & Hoek, 2000). El círculo rosado muestra lodolitas poco alteradas y el rojo suelos residuales.	19
Figura 3.5. Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas poco alteradas	20
Figura 3.6. Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas tectonizadas	21
Figura 3.7. Parámetros de resistencia de lodolitas alteradas	22
Figura 3.8. Parámetros de resistencia de suelos residuales arcillosos (Tipo IIA a IC)	22
Figura 5.1 Localización de las Estaciones y Patrón de Distribución de la Precipitación Media (Ingeominas 2002)	28
Figura 6.1 Esquema del material encontrado en la trinchera T-1	37
Figura 6.2 Esquema del material encontrado en las trincheras T-2 y T-4	37
Figura 6.3 Esquema del material encontrado en la trinchera T-3	38
Figura 6.4 Esquema del material encontrado en la trinchera T-5	38
Figura 6.5 Localización de la Exploración del Subsuelo	39
Figura 6.6 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-1	40
Figura 6.7 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-3	41
Figura 6.8 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de T-4	42
Figura 6.9 Registro Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-5	43
Figura 5.1 Carta de Plasticidad	46
Figura 5.2 Perfil geotécnico sección No. 4.	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Estimativos de campo para la resistencia uniaxial compresiva de la roca intacta (σ_{ci}). Adaptada de Marinós & Hoek, 2000.	16
Tabla 3.2. Valores de la constante m_i para roca intacta, por grupos de roca. Adaptada de Marinós & Hoek, 2000	17
Tabla 3.3. Valores de I_s , σ_{ci} , m_i y GSI obtenidos a partir de las tablas de Marinós & Hoek para los tipos de roca presentes en la zona de estudio.	20
Tabla 5.1 Valores medios mensuales multianuales de variables climatológicas	29
Tabla 6.1 Tabla Resumen de Resultados Ensayos de Laboratorio	44
Tabla 7.1 Resultados de los análisis de estabilidad ejecutados para las cuatro secciones	47

Sitio 10 Talud Barrio Lucero Medio

1 LOCALIZACIÓN

Localidad:	Ciudad Bolívar
Barrio:	Lucero Medio
UPZ:	67 Lucero
Dirección	Calle 69C # 18-50 Sur
Tipo de Riesgo:	Caída de rocas y deslizamientos superficiales de rellenos antrópicos y depósitos de ladera.

2 INTRODUCCIÓN

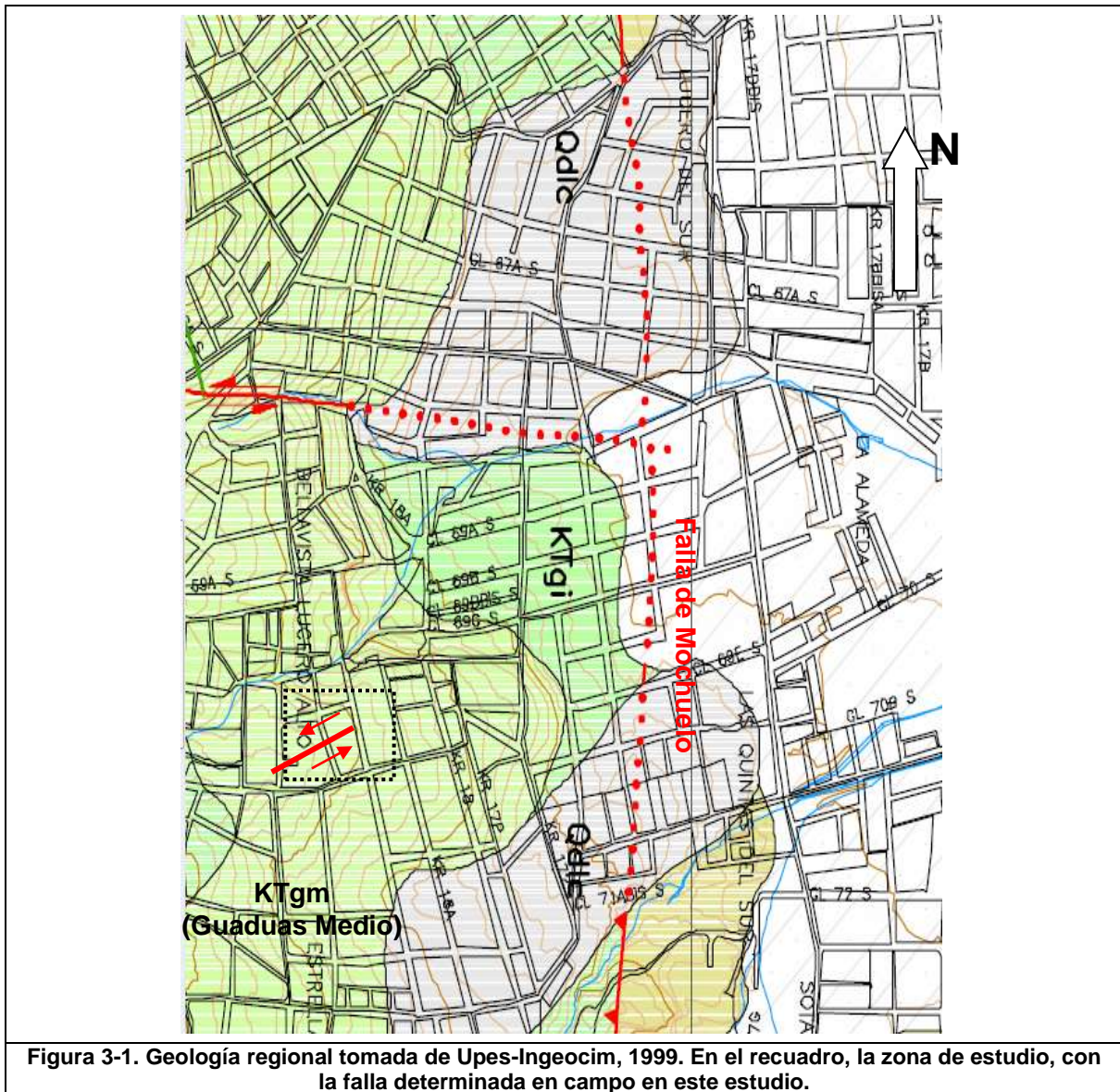
El FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ- FOPAE suscribió con el CONSORCIO IGR el contrato de consultoría CONS 453 de 2004 para la “Elaboración de Diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en sitios afectados por emergencias debido a la reciente temporada de lluvias, con prioridad en la Localidades de Ciudad Bolívar, Usme y Rafael Uribe Uribe de Bogotá D.C.”.

El propósito de este informe es dar las recomendaciones necesarias para controlar el movimiento de remoción en masa que afecta actualmente al barrio Lucero Medio a la altura de la calle 69C con carrera 18 Sur.

Este documento contiene la descripción de las actividades realizadas en el curso de este estudio, así como los análisis que se llevaron a cabo y las conclusiones obtenidas.

3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El sector visitado presenta inestabilidad activa sobre coluviones antiguos y rocas sedimentarias que incluyen areniscas y arcillolitas de la parte media de la Formación Guaduas, afectadas por una falla geológica, al parecer satélite de la Falla de Mochuelo (Figura 3-1). La disposición estructural de las rocas es favorable a la estabilidad, aunque en ciertas porciones menores de los deslizamientos existentes se generan planos de despegue a lo largo de diaclasas y planos con estrías de fricción. En el presente informe de visita de campo se pretende, a partir del conocimiento general de litología y tectónica, aportar en el análisis de estabilidad local y regional de las laderas y los taludes.



3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona trabajada hace parte de la zona del Piedemonte sur de Bogotá, flanco oeste del Sinclinal de Usme. Presenta una morfología de ladera estructural-denudacional con pendientes que varían entre 15 y 30° en las zonas que no han sido intervenidas en el pasado por extracción de materiales, aunque presentan cortes para viviendas que han quitado el soporte basal natural constituido por un coluvión antiguo con leve cementación con óxidos de hierro y probablemente cenizas volcánicas.

3.1.2 LITOLOGÍA

En este numeral se tiene como referencia información del Léxico Estratigráfico Internacional (Da Porta, 1974).

Formación Guaduas (TKgm)

Nombre: Propuesto por Hettner (1892) y redefinido por Hubach (1957). El nombre de esta unidad procede de la población de Guaduas (Cundinamarca).

Edad: Finales del Cretácico (Maastrichtiano Superior) a inicios del Terciario (Paleoceno Inferior).

Área tipo y límites: En el sentido de Hubach (1957) la Formación Guaduas queda comprendida entre la Arenisca Tierna del Guadalupe superior, en la base, y la Arenisca del Cacho en la parte superior. Van der Hammen (1957) da como localidad típica para la Formación Guaduas la sucesión que se encuentra entre el Boquerón de Lenguazaque y el Boquerón de Guachetá en el Departamento de Cundinamarca.

Características físicas de la roca en el área tipo:

- Conjunto Inferior. – Consta esencialmente de arcillas gris oscuras con algunos fósiles en la base.
- Conjunto Medio. – Está determinado por dos niveles de areniscas. En la base la Arenisca Guía y en la parte superior la Arenisca Lajosa. Entre ambas areniscas se encuentra una masa de arcillas gris-oscuras, compactas, a veces carbonáceas y que contienen mantos de carbón explotables. Constituye en general la parte productiva de la Formación Guaduas.
- Conjunto Superior. – Consta de "gredas rojizas, azulosas, verdosas y moradas entre las que localmente hay mantos inexplotables de carbón y bancos de areniscas no estables de grano más o menos grueso".

Características físicas de la roca en el área de estudio:

- Conjunto medio: Intercalación de areniscas cuarzosas de grano medio a muy grueso, de color amarillento a gris, ligeramente friables, con fracturamiento entre moderado e intenso, dispuestas en capas con espesores entre 2 y 4 metros. Presentan intercalaciones de arcillolitas y lodolitas grises laminadas, de baja fisibilidad cuyos espesores varían entre 1 y 2 metros. Hacia la parte superior afloran arcillolitas lodosas rosadas intercaladas con areniscas de grano fino dispuestas en capas muy delgadas (menos de 2 cm)

Características geotécnicas y procesos morfodinámicos:

Los macizos rocosos correspondientes a la Formación Guaduas se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso donde predominen areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. En la zona del trazo de falla, en la parte media del deslizamiento ubicado en la margen derecha de la quebrada se observa un fracturamiento intenso, con tres sistemas de discontinuidades y discontinuidades dispersas (número de Cecil de 7), así como estrías de fricción, zona con brechamiento y harina de falla (el espesor de esta zona es de aproximadamente 10 m y direcciona la quebrada)

Las arcillolitas lodosas presentan comportamiento de roca blanda o suelo residual arcilloso tipo IIA (Deere & Patton) en las zonas donde afloran, aunque llegan a comportarse como suelo residual tipo IC en las zonas afectadas por el fallamiento y por la presencia de aguas (probablemente residuales). Dichos suelos residuales son de alta plasticidad.

3.1.3 TECTÓNICA

La zona de estudio se ubica en el flanco occidental del Sinclinal de Usme, pero dicho flanco presenta replegamientos menores y fuerte afectación tectónica. En el Mapa Geológico de Ingeocim-DPAE (1999) se observa que la Falla del Mochuelo se ubica aproximadamente 400 metros al occidente de la zona de estudio y que una falla menor con componente de rumbo tipo sinistral y dirección Este – Oeste se ubica aproximadamente 200 metros al sur. Es posible que la falla que se describe en la tectónica local sea una falla satélite de esta última.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1 LITOLOGÍA

- Parte media del Grupo Guaduas (TKgm)

Capas gruesas de arenisca cuarzosa, bien cementada, de grano medio a grueso, con forma de granos subangulares a subredondeados, bien seleccionados (pobrementemente gradados) con cementación moderada a buena. La arenisca se dispone en capas de 2 a 3 m (**Fotografía 3-1**). Los macizos rocosos en esta unidad se encuentran intensamente diaclasados, con abundantes fallas, evidenciadas por estrías de fricción; el hecho de tener un fracturamiento intenso aumenta la permeabilidad, razón por la cual no se espera que las presiones de poros puedan causar inestabilidad



Fotografía 3-1. Areniscas bien cementadas, dispuestas en capas gruesas.

Intercaladas con las areniscas, se encuentran capas más delgadas (50 cm a 2 m) de lodolitas grises y rosadas que alteran a suelos residuales amarillentos, de alta plasticidad con pequeños fragmentos angulares de areniscas embebidos. Las lodolitas grises (Fotografía 3-2) son laminadas, poco fisibles, intercaladas con areniscas lodosas en capas muy delgadas (menos de 2 cm). Las lodolitas rosadas son algo silíceas, con laminación interna no fisible, plano-paralela, en láminas de 1 a 2 cm de espesor (Fotografía 3-3).



Fotografía 3-2. Lodolitas grises, afectadas por tectonismo.



Fotografía 3-3. Lodolitas rosadas, intercaladas con delgadas capas de areniscas lodosas.

- Depósitos Cuaternarios

Coluvión antiguo (Qc)

El coluvión oscuro es clasto-soportado, con cantos de areniscas de grano fino grueso. El tamaño de los cantos varía entre 3 y 30 cm, con formas angulares a sub-angulares (Figura 3-2 y Fotografía 3-4). Este depósito tiene una cementación incipiente, lo que lo convierte en un material con resistencia ante los esfuerzos cortantes.

La matriz es areno-limosa, con abundantes contactos grano-grano, aunque los granos son predominantemente sub-redondeados (granos de cuarzo provenientes de areniscas de grano medio a grueso) La matriz de este depósito es permeable y porosa.

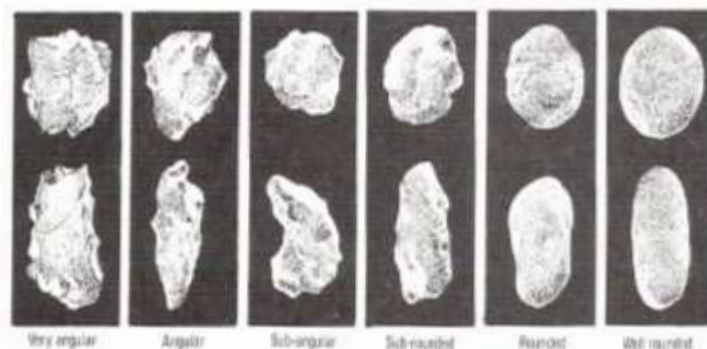


Figura 3-2. Rangos de redondez y angularidad de granos. El conjunto de arriba es de alta esfericidad y el de abajo de alto alargamiento. Powers, 1935 (en Compton, 1985)



Fotografía 3-4. Deposito coluvial antiguo, clasto soportado, con fragmentos angulares a subangulares.

Depósito fluviotorrencial

Aluvión torrencial (coluvión?) con estratificación burda y envejecimiento (que suministra una leve cementación). Compuesto por cantos de areniscas angulares en matriz areno-limosa. Se observan fragmentos menores de 20 cm y tamaño promedio entre 2 y 5 cm. El depósito es matriz-soportado. Se ubica en la zona adyacente al curso de agua que limita la zona hacia el occidente.



Fotografía 3-5. Depósito fluvio torrencial. Nótase su estratificación burda y el menor tamaño de los clastos, en comparación con el depósito coluvial.

Rellenos antrópicos de ladera

Botaderos de basura y escombros con predominio de suelos oscuros de tipo orgánico-mineral. Su espesor es menor de 30 cm.

3.2.2 TECTÓNICA LOCAL

Se observó y midió una sistemática de fallamiento con componente principal de rumbo tipo sinistral y orientación aproximada de N70E a N80E e inclinación del plano cercano a la vertical (Ver plano 1 geológico). Las falla se evidencian en estrías de fricción y en el intenso fracturamiento de las areniscas, tanto las que se observan in situ en el escarpe destapado por actividades extractivas al oeste de la zona de estudio, así como en los afloramientos ubicados en la quebrada, los cuales tienen gran abundancia de estrías de fricción.

Se observó que el fracturamiento intenso de las areniscas favorece el deslizamiento ubicado en la margen derecha de la quebrada, donde la resistencia por fricción de las paredes estriadas es muy baja.

3.3 MORFODINÁMICA

De acuerdo con los reconocimientos, visitas y exploraciones de campo realizados por el personal técnico de Ingeniería y Georriesgos se describen a continuación los fenómenos de remoción en masa que actualmente afectan la zona de estudio en el sector Lucero Medio, Localidad de Ciudad Bolívar.

Es importante anotar que, en general, la ladera que constituye la zona de estudio presenta evidencias de inestabilidad en la cara que da hacia la quebrada, marcada por las formas rugosas (Fotografía 3-6). Sin embargo, es importante anotar que en donde la ladera conserva su cubrimiento con el coluvión antiguo, no se observaron rasgos que marcaran inestabilidad. Ésta ocurre en las zonas donde el coluvión fue cortado y se permitió el afloramiento de arcillolitas alteradas a suelos residuales arcillosos de alta plasticidad o areniscas brechadas por acción tectónica (muy susceptibles a la erosión).



Fotografía 3-6. Panorámica de la zona de estudio. Nótese las formas que evidencian inestabilidad en la ladera adyacente a los deslizamientos 1 y 2 (area achurada) los colores más claros (menor humedad) y la ausencia de formas rugosas en el área ladera arriba de los desprendimientos menores.

3.3.1 DESLIZAMIENTO 1 (MARGEN DERECHA QUEBRADA)

Descripción general:

El deslizamiento es somero (Fotografía 3-7) e involucra areniscas, lodolitas, coluvión antiguo y delgados rellenos antrópicos (en los que predomina basura). El proceso en la parte baja fue facilitado por la existencia de planos de discontinuidades con estrías de fricción dentro de la arenisca que fueron humedecidos por la disposición inadecuada de aguas servidas de las viviendas ubicadas en la parte alta. No obstante lo anterior, es posible que en algunos puntos de la pata de este deslizamiento ocurra socavación lateral con bajas tasas de avance. El material deslizado se encuentra moderadamente húmedo.

Material involucrado:

En la parte alta: Botaderos antrópicos de ladera, coluvión antiguo y suelos residuales arcillosos; en la parte media y baja, areniscas cuarzosas de grano medio, subangulares a redondeados, bien seleccionados y con cementación moderada a buena. Los macizos rocosos en esta unidad se encuentran intensamente diaclasados, con abundantes fallas, evidenciadas por estrías de fricción.

Dimensiones aproximadas:

- Altura: 8 metros
- Ancho: 8 a 10 metros
- Espesor: 1 m aprox.



Fotografía 3-7. Panorámica del Deslizamiento 1. Nótese la alta humedad, el fracturamiento de las rocas involucradas y la presencia de viviendas en la parte alta.

3.3.2 DESLIZAMIENTO 2 (EXTREMO OESTE DE LA CALLE 69C SUR)

Descripción general:

Deslizamiento traslacional retrogresivo somero (Fotografía 3-8). Es probable que los materiales involucrados hayan sido reblandecidos por aguas servidas y detonado el proceso por las lluvias. Según testimonios, en la parte más oeste se han generado pequeños flujos de lodos en periodos de lluvias (reactivaciones puntuales)

Al parecer se despató el talud quitando el coluvión antiguo hasta hacer aflorar la roca arcillosa (alterada a suelos residuales de alta plasticidad) que subyace el coluvión en la parte baja del talud (Fotografía 3-9). Lo anterior, unido con el reblandecimiento de los materiales en la parte superior por vertimiento no controlado de aguas servidas (también alimentando el material arenoso por debajo del coluvión antiguo) hicieron posible el deslizamiento.

Materiales involucrados:

Involucró suelos residuales arcillosos de alta plasticidad y un coluvión arenoso amarillo (es posible que sea una brecha tectónica, dado que muchos de sus fragmentos son estriados) Estos materiales están cubiertos por el coluvión antiguo que tiene espesores entre 40 y 70 cm.

Dimensiones:

- Altura: 8 metros
- Ancho: 8 metros
- Espesor: 2 m aprox.



Fotografía 3-8. Panorámica del Deslizamiento 2. La casa en la parte superior vertía aguas incontroladamente que alimentaron materiales susceptibles (a la erosión las arenas de la parte alta y al flujo los residuales arcillosos de la parte baja) que fueron destapados en los cortes

realizados por las viviendas de la parte alta y de la parte baja.



Fotografía 3-9. Despate del talud, quitando el coluvión antiguo que es el material de mejores condiciones de resistencia. Parte baja del Deslizamiento 2.

3.3.3 DESPRENDIMIENTOS ASOCIADOS CON CORTES PARA VIVIENDAS

Existen pequeños desprendimientos en la parte oriental del área de estudio (Fotografía 3-6, Fotografía 3-10 y Fotografía 3-11). En estos, los cortes para adecuar los lotes para la construcción de viviendas han quitado la capa coluvial resistente y se han producido pequeños procesos de remoción en masa, concentrados en la zona de contacto entre el coluvión y los materiales subyacentes. Dada la alta permeabilidad del coluvión es de esperarse que las líneas de flujo se concentren en el contacto, donde saturan materiales arcillosos de alta plasticidad que pueden llegar al flujo en estas condiciones. Estos desprendimientos se hayan relativamente alejados de las viviendas situadas ladera arriba y además, éstas se hayan conectadas al sistema de alcantarillado, razón por la cual no existen flujos incontrolados, sino saturación asociada con lluvias.

3.4 PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON METODOLOGÍA GSI

El índice de resistencia geológica (Geological Strength Index, GSI) es una herramienta útil en la estimación de la resistencia de macizos rocosos. Este procedimiento de determinación de la resistencia sirve como marco general y fue ajustado con la realización de ensayos de laboratorio con muestras de las rocas recuperadas de la zona de estudio. La clasificación GSI respeta en gran medida las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y se reflejan en la información geológica. El método se basa en la estimación o la medición en laboratorio de la resistencia compresiva uniaxial (σ_{ci}) y la constante del material (m_i), las cuales están relacionadas con las propiedades friccionales de la roca. Idealmente, estas propiedades básicas deben ser obtenidas en laboratorio,

pero es posible llevar a cabo estimativos a través de tablas desarrolladas por Marinós & Hoek (2000).



Fotografía 3-10. Pequeño deslizamiento ubicado en la interfase coluvión - arenisca brechada – arcillolita.



Fotografía 3-11. Desprendimientos de coluvión y flujos menores, asociados con despate de talud y saturación de materiales en las épocas de lluvias.

3.4.1 DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Laderas compuestas por areniscas cuarzosas con fracturamiento variable entre intenso y muy intenso (números de Cecil entre 7 y 8, es decir desde tras familias de discontinuidades y discontinuidades dispersas hasta brechas y harina de falla) y por rocas finogranulares que incluyen lodolitas poco fisibles y lodolitas intercaladas con areniscas en capas muy delgadas (1 – 2 cm), en general alteradas por meteorización y por la influencia una falla cercana identificada en este estudio y con comportamiento de suelo residual arcilloso en las partes cercanas a la superficie.

3.4.2 PARÁMETROS DE ENTRADA

En las tablas se indica con color rojizo la calificación de las rocas finogranulares (lodolitas) y en color amarillento la calificación para las capas gruesas de arenisca fracturada. Lo anterior con el fin de obtener una caracterización geomecánica de los horizontes involucrados en el modelo geotécnico.

**Tabla 3.1. Estimativos de campo para la resistencia uniaxial compresiva de la roca intacta (σ_{ci}).
Adaptada de Marinos & Hoek, 2000.**

Grado*	Término	Resistencia compresiva uniaxial (σ_{ci}) (Mpa)	Índice de carga puntual (m_i) (Mpa)	Diagnóstico de campo para resistencia	Ejemplo	Caso de estudio
R6	Extremadamente fuerte	> 250	> 10	Solamente pueden ser obtenidas esquirlas con un martillo de geólogo	Basalto fresco, chert, diabasa, granito, neis, cuarcita	
R5	Muy fuerte	100 - 250	4 - 10	La muestra requiere muchos golpes de martillo de geólogo para fracturarla	Anfibolita, cuarzoarenita, basalto, gabro, neis, granodiorita	
R4	Fuerte	50 - 100	2 - 4	La muestra requiere mas de un golpe de martillo de geólogo para fracturarla	Arenisca cuarzosa, caliza, mármol	Areniscas Guaduas Medio
R3	Medianamente fuerte	25 - 50	1 - 2	No puede ser incidida o pelada con navaja. Puede ser fracturada con un solo golpe de martillo de geólogo	Arenisca lodosa, concreto, filita, esquisto, limolita	Areniscas Guaduas Medio afectadas por tectonismo
R2	Débil	5 - 25	**	Puede ser pelada con navaja con dificultad, puede hacerse incisión con un golpe fuerte del pico del martillo de geólogo	Lutitas, lodolitas, arcillolitas.	Lodolitas alteradas
R1	Muy débil	1 - 5	**	Se disgrega si se golpea de manera firme con el pico del martillo de geólogo, puede ser pelada con navaja	Suelos residuales, shales	Lodolitas alteradas a Suelos residuales arcillosos
R0	Extremadamente débil	0,25 - 1	**	Puede ser incidida con la uña	Harina de falla, milonita, cataclasita	

* Grado de acuerdo a Brown (1981)

** Los ensayos de carga puntual en roca con una resistencia a la compresión uniaxial menor de 25 mPa probablemente produzcan resultados muy ambiguos.

Tabla 3.2. Valores de la constante m_i para roca intacta, por grupos de roca. Adaptada de Marinós & Hoek, 2000

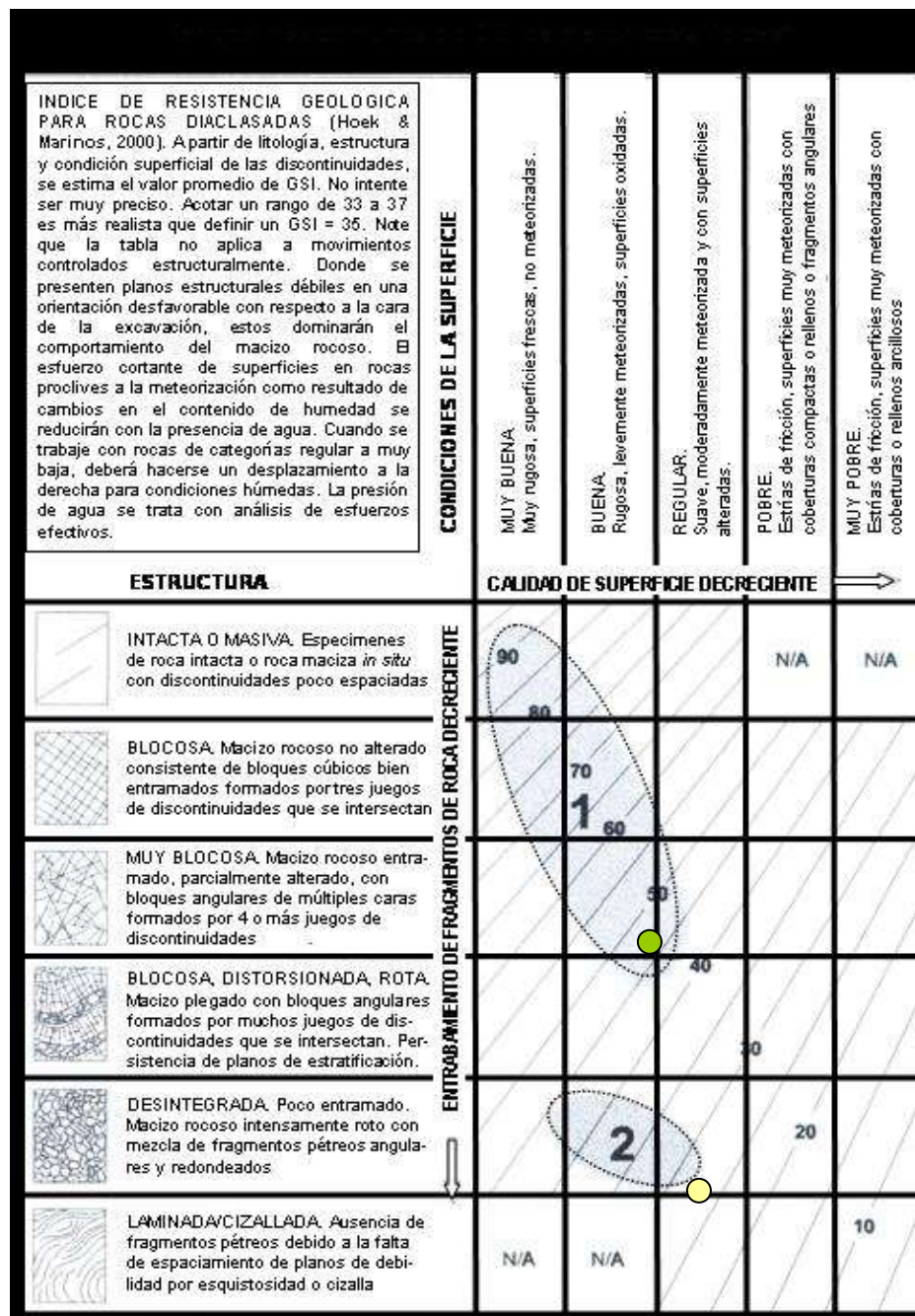
Tipo de roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
Sedimentaria	Clástica		Conglomerados o brechas = *	Areniscas = 17 ± 4	Limolitas = 7 ± 2	Arcillolitas= 17 ± 4
					Grauvacas = 18 ± 3	Shales = 6 ± 2
						Margas = 17 ± 4
	No clástica	Calcáreas	Caliza cristalina = 12 ± 3	Caliza esparítica = 10 ± 2	Caliza micrítica = 9 ± 2	Dolomitas = 9 ± 3
		Evaporitas		Yeso = 8 ± 2	Anhidrita = 12 ± 2	
		Organicas				Creta = 7 ± 2
Metamorfica	No foliadas		Marmoles = 9 ± 3	Hornfelsa = 19 ± 4	Cuarcitas = 20 ± 3	
				Metarenisca = 19 ± 3		
	Foliadas levemente		Migmatita = 29 ± 3	Anfibolitas = 26 ± 6	Neises = 28 ± 5	
	Foliadas			Esquisto = 12 ± 3	Filita = 7 ± 3	Pizarra = 7 ± 4

* Valor dado de acuerdo con criterio del geólogo, pues las rocas brechoides o conglomeráticas tienen una gran dispersión en sus valores de resistencia, dependiente de la textura de la matriz y de si el armazón es matriz o clasto soportado.

** Los resultados de carga puntual por debajo de 25 MPa son muy ambiguos

3.4.3 OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA GSI

El siguiente paso es estimar las propiedades mecánicas del macizo rocoso de acuerdo con los procedimientos descritos por Hoek & Brown (1997, en Marinós & Hoek, 2000) tal como se muestra en la Tabla 3.3. Los valores de σ_n se evalúan para cada tipología de material, asumiendo una altura de talud de 10 metros y que el talud es homogéneo (es decir, constituido por una única litología) Los valores de resistencia en superficie se asumen con esfuerzos normales cercanos a cero (0,1 MPa)



• **PRECAUCION**

Las áreas sombreadas son indicativas y pueden no ser apropiadas para propósitos de diseño específico. Los valores medios no se sugieren para caracterización indicativa, se recomienda el uso de rangos.

1. Maciza o estratificada (sin cemento arcilloso)

2. Brechada (sin cemento arcilloso)

Figura 3-3. Rangos típicos de GSI para areniscas (Tomado de Marinos & Hoek, 2000). El círculo verde muestra la estimación para areniscas poco fracturadas y el amarillo para las zonas de brecha tectónica en areniscas.

<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA PARA ROCAS DIACLASADAS (Hoek & Marinos, 2000). Apartir de litología, estructura y condición superficial de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Acotar un rango de 33 a 37 es más realista que definir un GSI = 35. Note que la tabla no aplica a movimientos controlados estructuralmente. Donde se presenten planos estructurales débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominarán el comportamiento del macizo rocoso. El esfuerzo cortante de superficies en rocas proclives a la meteorización como resultado de cambios en el contenido de humedad se reducirán con la presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categorías regular a muy baja, deberá hacerse un desplazamiento a la derecha para condiciones húmedas. La presión de agua se trata con análisis de esfuerzos efectivos.</p>		<p>CONDICIONES DE LA SUPERFICIE</p> <p>MUY BUENA Muy rugosa, superficies frescas, no meteorizadas.</p> <p>BUENA Rugosa, levemente meteorizadas, superficies oxidadas.</p> <p>REGULAR. Suave, moderadamente meteorizada y con superficies alteradas.</p> <p>POBRE. Estrías de fricción, superficies muy meteorizadas con coberturas compactas o rellenos o fragmentos angulares</p> <p>MUY POBRE. Estrías de fricción, superficies muy meteorizadas con coberturas o rellenos arcillosos</p>				
<p>ESTRUCTURA</p>		<p>CALIDAD DE SUPERFICIE DECRECIENTE →</p>				
<p>ENTRAMAMIENTO DE FRAGMENTOS DE ROCA DECRECIENTE</p>	<p>INTACTA O MASIVA. Especímenes de roca intacta o roca maciza <i>in situ</i> con discontinuidades poco espaciadas</p>	90			N/A	N/A
	<p>BLOCOSA. Macizo rocoso no alterado consistente de bloques cúbicos bien entramados formados por tres juegos de discontinuidades que se intersectan</p>	80	70			
	<p>MUY BLOCOSA. Macizo rocoso entramado, parcialmente alterado, con bloques angulares de múltiples caras formados por 4 o más juegos de discontinuidades</p>		60			
	<p>BLOCOSA, DISTORSIONADA, ROTA. Macizo plegado con bloques angulares formados por muchos juegos de discontinuidades que se intersectan. Persistencia de planos de estratificación.</p>		50	40	1	
	<p>DESINTEGRADA. Poco entramado. Macizo rocoso intensamente roto con mezcla de fragmentos pétreos angulares y redondeados</p>			30	20	
	<p>LAMINADA/CIZALLADA. Ausencia de fragmentos pétreos debido a la falta de espaciado de planos de debilidad por esquistosidad o cizalla</p>				10	2
		<p>←</p>				

*** PRECAUCION**

Las áreas sombreadas son indicativas y pueden no ser apropiadas para propósitos de diseño específico. Los valores medios no se sugieren para caracterización indicativa, se recomienda el uso de rangos.

1. Estratificadas, foliadas, fracturadas
2. Cizalladas, brechadas

Estas rocas blandas son clasificadas en GSI como asociadas con procesos tectónicos. Por demás no recomendadas. Lo mismo es cierto para mármoles típicos.

Figura 3-4. Rangos típicos de GSI para limolitas, arcillolitas y lutitas (Tomado de Marinos & Hoek, 2000). El círculo rosado muestra lodolitas poco alteradas y el rojo suelos residuales.

Tabla 3.3. Valores de I_s , σ_{ci} , m_i y GSI obtenidos a partir de las tablas de Marinos & Hoek para los tipos de roca presentes en la zona de estudio

Tipo de roca	σ_{ci} (MPa)	I_s (MPa)	m_i	GSI
Areniscas cuarzosas en capas gruesas	50 - 100	2 - 4	17 ± 4	45 - 50
Areniscas cuarzosa tectonizada	25 - 50	1 - 2	17 ± 4	25 - 30
Lodolitas grises y rosadas	5 - 25	**	6 ± 2	30 - 35
Suelos residuales	1 - 5	**	6 ± 2	20 - 25

- Los resultados de carga puntual por debajo de 25 MPa son muy ambiguos

5.1.1.1 Talud de 10 metros de altura en areniscas cuarzosas en capas gruesas

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material

$H = 10 \text{ m}$

Peso unitario areniscas (asumido)

$\gamma_{tss} = 2,1 \text{ ton/m}^3$

$\sigma_n = (H * \gamma_{tss}) = (10 \text{ m} * 2,1 \text{ ton/m}^3)$

$\sigma_n = 21,0 \text{ ton/m}^2 = 2,1 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_n = 0,21 \text{ MPa}$

Los valores correspondientes (Figura 3.5) son:

$\phi = 64,1^\circ$

$c = 0,09 \text{ MPa}$

DATOS:

GSI = 45

σ_{ci} (MPa) = 50

$m_i = 13$

Material: Areniscas cuarzosas

RESULTADOS:

$m_b/m_i = 0,14$

$m_b = 1,823$

$s = 0,00222$

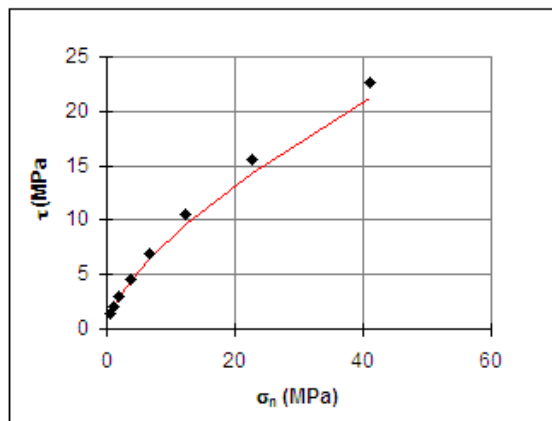
$a = 0,50$

$\sigma_t = -0,061$

$A = 1,8$

$B = 0,66$

$E = 5303$



Ángulo de fricción y cohesión para diferentes esfuerzos normales :

$\sigma_n = 0,1 \text{ MPa}$

$\tau = 0,22 \text{ MPa}$

$\phi = 69,4 \text{ Grados}$

$c = -0,05 \text{ MPa}$

$\sigma_n = 0,21 \text{ MPa}$

$\tau = 0,53 \text{ MPa}$

$\phi = 64,1 \text{ Grados}$

$c = 0,09 \text{ MPa}$

Figura 3-5. Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas poco alteradas

5.1.1.2 Talud de 10 metros de altura en areniscas cuarzosas tectonizadas

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material $H = 10 \text{ m}$
 Peso unitario areniscas (asumido) $\gamma_{\text{tss}} = 2,1 \text{ ton/m}^3$
 $\sigma_n = (H * \gamma_{\text{tss}}) = (10 \text{ m} * 2,1 \text{ ton/m}^3)$
 $\sigma_n = 21,0 \text{ ton/m}^2 = 2,1 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_n = 0,21 \text{ MPa}$

Los valores correspondientes (Figura 3.6) son:

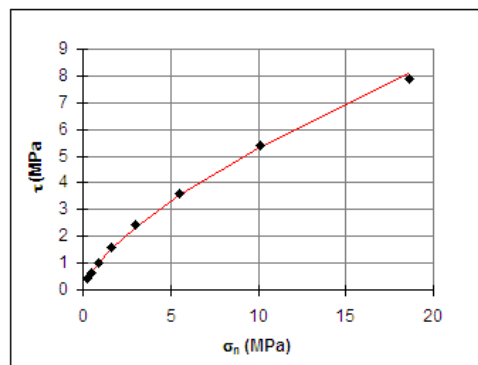
$\phi = 50,8^\circ$
 $c = 0,12 \text{ MPa}$

DATOS:

GSI = 25 $\sigma_{ci} \text{ (MPa)} = 25$ $m_i = 13$ Material: Areniscas cuarzosas tectonizadas

RESULTADOS:

$m_b/m_i = 0,07$
 $m_b = 0,893$
 $s = 0,00000$
 $a = 0,53$
 $\sigma_i = 0,000$
 $A = 1,1$
 $B = 0,69$
 $E = 1186$



Ángulo de fricción y
cohesión para diferentes
esfuerzos normales :

$\sigma_n = 0,1 \text{ MPa}$
 $\tau = 0,23 \text{ MPa}$
 $\phi = 57,2 \text{ Grados}$
 $c = 0,07 \text{ MPa}$

 $\sigma_n = 0,21 \text{ MPa}$
 $\tau = 0,38 \text{ MPa}$
 $\phi = 50,8 \text{ Grados}$
 $c = 0,12 \text{ MPa}$

Figura 3-6. Parámetros de resistencia de areniscas cuarzosas tectonizadas

5.1.1.3 Talud de 10 metros de altura en lodolitas alteradas

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material $H = 10 \text{ m}$
 Peso unitario lodolitas (asumido) $\gamma_{\text{tss}} = 2,0 \text{ ton/m}^3$
 $\sigma_n = (H * \gamma_{\text{tss}}) = (10 \text{ m} * 2,0 \text{ ton/m}^3)$
 $\sigma_n = 20,0 \text{ ton/m}^2 = 2,0 \text{ kg/cm}^2$
 $\sigma_n = 0,20 \text{ MPa}$

Los valores correspondientes (Figura 3.7) son:

$\phi = 31,1^\circ$

$c = 0,2 \text{ MPa}$

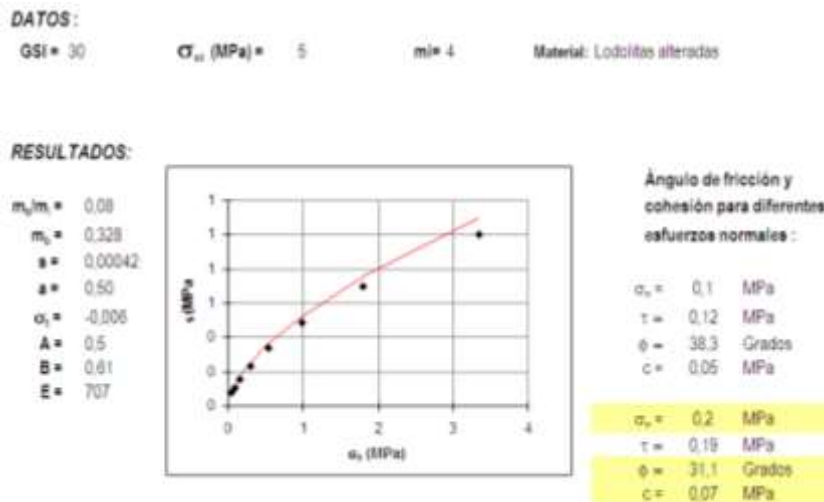


Figura 3-7. Parámetros de resistencia de lodolitas alteradas

5.1.1.4 Talud de 10 metros de altura en lodolitas alteradas

El esfuerzo normal máximo para el cálculo de parámetros de resistencia se muestra a continuación:

Espesor total material

$H = 10 \text{ m}$

Peso unitario lodolitas (asumido)

$\gamma_{tss} = 2,0 \text{ ton/m}^3$

$\sigma_n = (H * \gamma_{tss}) = (10 \text{ m} * 2,0 \text{ ton/m}^3)$

$\sigma_n = 20,0 \text{ ton/m}^2 = 2,0 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_n = 0,20 \text{ MPa}$

Los valores correspondientes (Figura 8) son:

$\phi = 16,0^\circ$

$c = 0,03 \text{ MPa}$

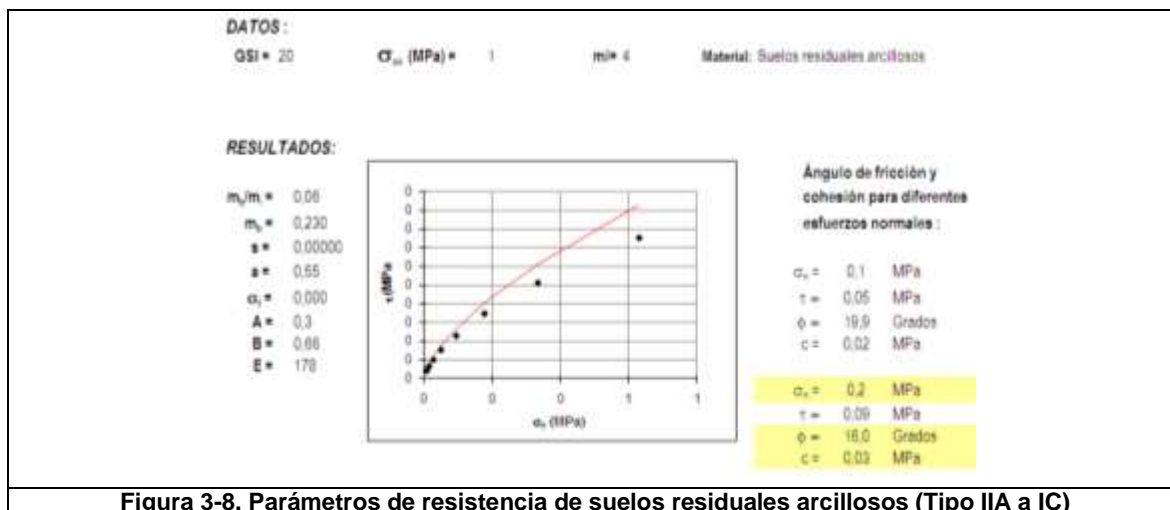


Figura 3-8. Parámetros de resistencia de suelos residuales arcillosos (Tipo IIA a IC)

4 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS Y VEGETACIÓN

4.1 SUELOS

A continuación se hace una descripción física de los suelos del área de estudio con información obtenida en la visita técnica, ya que por limitaciones de tiempo no se realizaron análisis químicos.

Los suelos son, generalmente, de poca profundidad, siendo el espesor del horizonte superficial (epipedón) variable entre 0.3 y 0.5 m, de color gris, con una capa orgánica de 0.1 m, de color pardo oscuro, con abundantes raicillas de tamaño mediano y fino, estructura variable entre grumosa gruesa y blocosa subangular media, de grado débil, con escasos poros finos y medios y grietas cortas y angostas. Presentan textura al tacto limo arcillosa, con presencia de grava, guijarros y algunos bloques; escasa presencia de artrópodos y humedad natural media a baja, dependiendo de su ubicación en la ladera. Los suelos de la ladera son bien a excesivamente drenados, mientras que los ubicados en los bordes de la cañada tienen mal drenaje. (Foto 4-1 y Foto 4-2)

Son suelos jóvenes, ácidos, afectados por erosión superficial, con baja fertilidad potencial; presentan un epipedón ócrico sobre coluvión, suelo residual o materiales de relleno y se pueden clasificar como Entisoles, según el sistema USDA de clasificación de suelos.



Foto 4-1 Típico suelo joven, con el horizonte superficial suprayaciendo el material parental, perfil tipo A-C, sin horizontes de cambio.



Foto 4-2 Suelo Entisol, con un epipedón delgado, frecuente grava y guijarros, escasa capa orgánica y baja fertilidad natural.

En los escarpes de los cortes para las casas y en los flujos de detritos se ha perdido la capa orgánica y el horizonte superficial, quedando expuesto el material subsuperficial al proceso de erosión. (Foto 4-3).



Foto 4-3 Material parental expuesto a procesos erosivos.

4.2 VEGETACIÓN

El reconocimiento de la flora se hizo mediante observación directa y obtención de registro fotográfico.

Por las condiciones de pluviosidad y el nivel altitudinal, la zona de estudio se puede clasificar como Bosque seco Montano, Bs-M, según Holdridge, lo cual indica que el agua es el principal limitante para el desarrollo vegetal. Es frecuente encontrar plantas xerofíticas, adaptadas a sequías prolongadas y alta exposición solar, como es el caso de los Fiques (*Agave sp.*) y Tunas (*Opuntia sp.*). (Foto 4-4)



Foto 4-4 Ejemplares de plantas xerofíticas, propias de zonas con escasa pluviosidad. En ésta figura destaca el Fique (*Agave sp.*), como prototipo de este tipo de plantas

No obstante, la especie mas abundante es el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que cubre la mayor área de la ladera, con porcentaje de cobertura variable entre el 40 y el 90%, determinado por la resistencia de la planta a la quema de basuras y al aporte de nuevos materiales como escombros. (Foto 4-5)

En las hondonadas y cerca al cauce de la cañada, áreas mas húmedas, se observa el crecimiento de Chilcos (*Baccharis microphylla*), Higuierilla (*Ricinus comunis*) y algunos arbustos como el lulo de monte (*Solanum sp.*) y malvas. (Foto 4-6)

En los patios y zonas aledañas a las casas se encontraron ejemplares de Sauco (*Sambucus peruviana*), Cerezo (*Prunus serotina*), Eucalipto (*Eucaliptus spp*) y Durazno (*Prunus sp*).



Foto 4-5 Cobertura superficial de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y algunos ejemplares de lulo de monte (*Solanum sp*).



Foto 4-6 Ejemplares de Chilco (*Baccharis microphylla*) creciendo en hondonadas, favorecidos por la acumulación de humedad

5 CLIMA

La caracterización del clima del área se llevó a cabo con base en la información de los elementos constitutivos del mismo, sobre los cuales se dispone de información.

5.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

De acuerdo con las investigaciones adelantadas tanto en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la CAR y en el IDEAM, aunque existen varias estaciones de medición, en no todas ellas se miden los elementos del clima necesarios para los objetivos propuestos. De las estaciones analizadas se seleccionó la de Doña Juana, cuya información corresponde con el mayor número de elementos y adicionalmente, es la más cercana al área de interés.

La caracterización de la precipitación media se adelantó con la información correspondiente a la estación Casa Blanca, la cual posee una serie que data de 1976, representativa para los análisis realizados y por otra parte, dada su cercanía con el área de interés, parece ser la que mejor refleja el régimen de precipitación desde el punto de vista de su distribución espacial y en el tiempo

La precipitación máxima se determinó a partir de las curvas IDF obtenidas por la EAAB para el sector de Santa Lucía. Esta selección se llevó a cabo teniendo en cuenta los objetivos perseguidos con su determinación.

En la Figura No 1 se presenta la localización de las estaciones y el patrón de distribución territorial de la precipitación media mensual en la Sabana de Bogotá, obtenido por INGEOMINAS en el marco del estudio de deslizamientos en el área cercana a la que es objeto del presente estudio.

Dentro de este orden de ideas se seleccionó para efecto de análisis la información sobre temperatura media del aire, Humedad Relativa media mensual y Brillo solar de la estación Doña Juana y los valores totales mensuales de precipitación correspondientes a la estación Casa Blanca en el tanque de la EAAB Sierra Morena.

De los análisis realizados con anterioridad para estudios similares de áreas cercanas se puede concluir que el clima del área es, con muy pocas diferencias, similar al de la Sabana de Bogotá, tal como se puede apreciar en los párrafos siguientes:

5.2 PRECIPITACIÓN MEDIA

De acuerdo con el patrón de distribución territorial, los valores medios anuales multianuales de precipitación son menores que en el resto de la Sabana, El valor total anual medio multianual, de acuerdo con la información de la estación Casablanca es de 616 mm, valor que coincide con lo observado en el patrón de isoyetas de la Figura 5-1

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

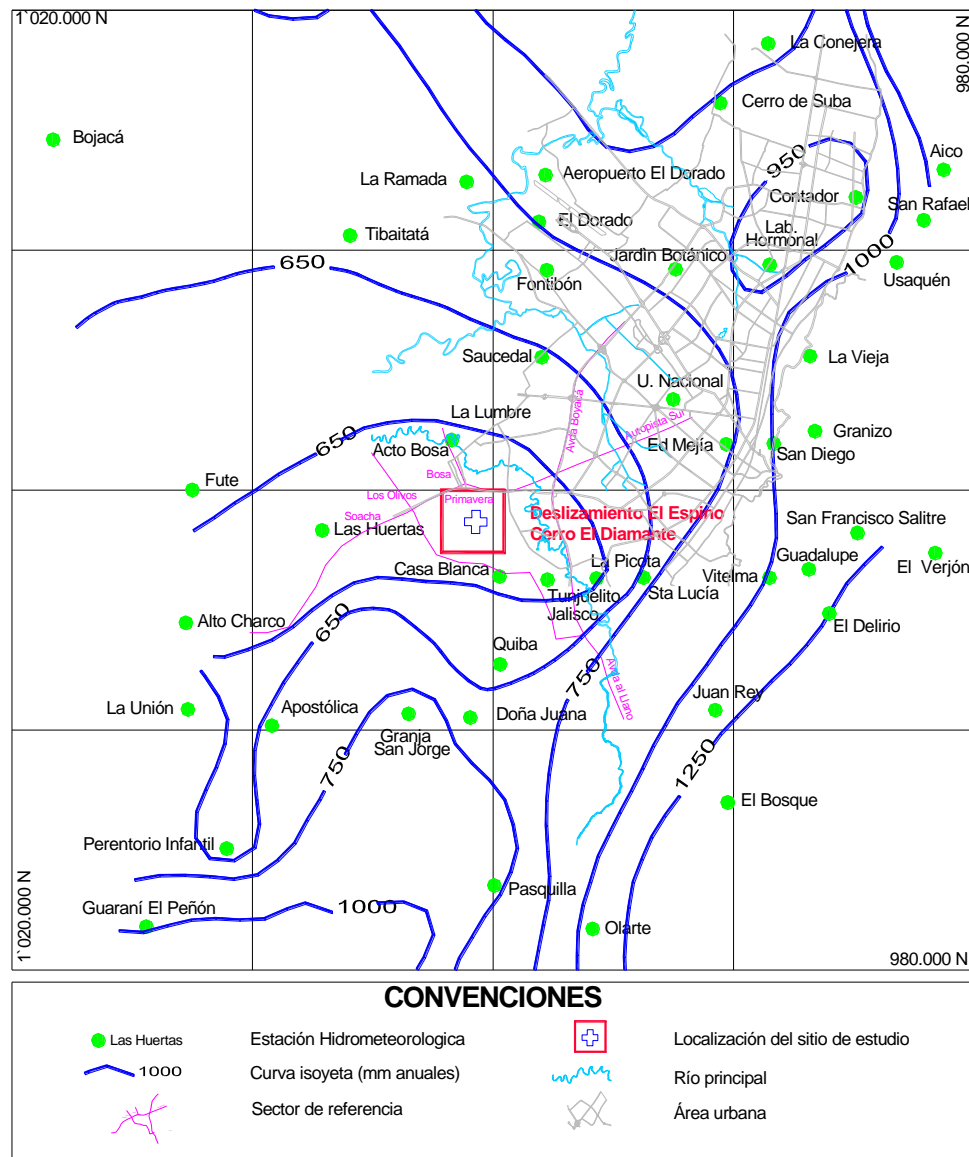


Figura 5-1 Localización de las Estaciones y Patrón de Distribución de la Precipitación Media (Ingeominas 2002)

5.2.1 DISTRIBUCIÓN TERRITORIAL

La definición de la distribución territorial en la Sabana de Bogotá la realizó INGEOMINAS en el marco de los estudios de deslizamientos en El Espino, área localizada en el sur oriente de la Sabana. Como se puede apreciar en la Figura No 1, Los mayores valores de precipitación media anual multianual se presentan en el nororiente de la ciudad y decrecen hacia el sur y sur oeste de la Sabana, En el

área de interés se observan valores medios anuales del orden de 650 mm, que coinciden con lo obtenido de la información de Casablanca, como se dijo antes.

5.2.2 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

La distribución intra anual de la precipitación obedece a un modelo bimodal, en el que se evidencian dos períodos lluviosos intercalados con períodos secos. El primer período lluvioso o húmedo corresponde a los meses de marzo a mayo, en el que tiene ocurrencia el 36,7 % de la precipitación anual. El segundo se localiza entre los meses de octubre y noviembre, en el que ocurre el 22,1 % del total anual. El primer período seco corresponde a los meses de enero y febrero, y a Julio a agosto el segundo. La variación intra anual de la precipitación en el área se aprecia en la Figura No 4.2

Los meses más secos, en promedio multianual son enero, con 20,6 mm; febrero donde se presentan 28,7 mm y diciembre, mes en el que ocurren 30,5 mm. Por otra parte, los más húmedos o de mayor precipitación son los meses de marzo, abril, mayo y octubre, con valores superiores a 70 mm.

5.3 TEMPERATURA DEL AIRE, HUMEDAD RELATIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

La temperatura media del aire muestra pocas variaciones dentro del año; su valor medio es de 12,5° C .Los mese más cálidos son octubre, noviembre, marzo, abril y mayo donde se alcanzan valores de 13° C. El más frío es el de julio, con 11 ° C.

La Humedad Relativa es casi constante. Muestra una variación máxima del 10 % dentro del año. Los meses más secos son enero y febrero con valores de 69 y 70 %, respectivamente. El más húmedo es julio, donde el valor medio multianual de la humedad relativa alcanza el 78 %.

La evapotranspiración se calculó utilizando la metodología propuesta por Hargreaves, en la cual se tienen en cuenta la temperatura media del aire, la humedad relativa y la relación entre el número de horas de luz en el día y el número potencial de éstas para cada mes.

En el Tabla 5.1 se aprecian los valores totales mensuales de precipitación obtenidos en la estación Casablanca, las variables del clima y los datos de evapotranspiración potencial obtenidos tal como se indicó antes

Tabla 5.1 Valores medios mensuales multianuales de variables climatologicas

	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
T ° c	12	12	13	13	13	12	11	12	12	13	13	12
.H.R. %	69	70	73	73	77	75	78	75	71	71	73	72
B.SOLAR	194	149	148	131	128	144	129	157	156	148	134	183
d	.98	.91	1.02	1.00	1.04	1.01	1.04	1.04	.99	1.01	.95	.98
EVAP POT	63	57	62	61	54	53	44	54	60	66	58	57

HIDROLOGIA E HIDRAULICA

Los análisis hidrológicos se encaminaron a determinar los valores de escurrimiento para períodos de recurrencia de 10, 25 y 50 años, en el área bajo estudio. y a la definición de caudales de esta misma recurrencia para cada uno de los canales de drenaje adyacentes a la parte superior de los taludes que presentan problemas de erosión, con los cuales se pretende interceptar la escurrimiento generada en las áreas adyacentes a ellos así como los caudales de aguas negras o servidas que vierten los conglomerados humanos que se asientan en estas áreas y evitar o detener de esta manera los procesos erosivos que se presentan en la actualidad.

Para efectos de la determinación de la escurrimiento generada en cada una de las áreas aferentes a los canales se emplearon las curvas de Intensidad Duración Frecuencia desarrolladas por la EAAB para la zona

Esta selección se llevó a cabo teniendo en cuenta para efectos de determinación de los valores de escurrimiento, que dada la magnitud de la cuenca y del área adyacente al talud afectado por la erosión, los tiempos de concentración correspondientes son de tan sólo unos pocos minutos, como se aprecia en las memorias de cálculo.

El tiempo de concentración T_c de la cuenca aferente a cada canal se determinó mediante la fórmula desarrollada por el US Corps of Engineers:

$$T_c = 0.3 (L / S^{.25})^{0.76}$$

Donde T_c es el tiempo de concentración
L la longitud de la corriente en Km
S la pendiente de la corriente

El tiempo de concentración calculado para las áreas aferentes varía entre 2,0 y 3,0 minutos. Para los canales C 1 y C 3, más corto y más largo, respectivamente. Se decidió adoptar un tiempo único de dos (2) minutos para los cálculos de caudal.

La ecuación de las curvas IDF utilizadas es de la forma

$$I = C_1 (Duración + X_0)^{c2}$$

De la aplicación de esta fórmula se obtuvieron los siguientes valores de intensidad en mm/hr.

Dado que no fue posible determinar la distribución temporal de los aguaceros ante la carencia de pluviogramas, se optó por obtener los caudales de los canales mediante el empleo de la fórmula Racional

Del empleo del método se obtuvieron los siguientes valores tomando como coeficiente de escorrentía 70.0%, para el canal C2

RECURRENCIA (Años)	C₁	X_o	C₂	I_{max} (mm / Hr)	Q_{max} (l / s)
10	3358.0	20.7	- 1.05	127	4.4
25	4036.4	19.5	- 1.06	156	5.4
50	4388.7	18,5	- 1.05	184	6.4

Puesto que en la actualidad varias de las casas de habitación que se localizan en la parte superior de los taludes vierten sus aguas servidas a éste, sin ningún control, como alternativa de solución para lograr la estabilización de los mismos, más que como solución a los problemas de alcantarillado del área, cuyo alcance está fuera de los del presente estudio, se pretende captar esta agua y conducirlas mediante sistemas de canales a las redes de alcantarillado existentes en áreas vecinas.

Dentro de este orden de ideas, se determinaron los caudales de aguas negras a partir de supuestos que esperamos no estén alejados de lo que realmente sucede. Se tomó como base de cálculo un consumo de agua potable de 200 litros por habitante y por día. Se tomaron para cada una de las tres viviendas problema un total de diez moradores y se adoptó un retorno del 90 %.

Para la determinación de los caudales originados en el proceso de escorrentía y de vertimientos de aguas servidas en el canal C1, se empleó la misma metodología.

El canal C1 drena la parte oriental del talud y por razones topográficas se estimó conveniente acoplarlo al canal C2, con lo cual, el caudal total de diseño resultante es de 30 l / s.

Con el canal C3 se pretende captar la parte de la escorrentía del área localizada al norte del canal C1 y evitar que ésta alcance el talud deteriorado localizado al norte de éste último.

La estimación del caudal de diseño de este canal se realizó mediante el empleo de la fórmula racional. El valor obtenido fue de 21,2 l / s.

Los análisis hidráulicos se encaminaron a la definición de la mejor localización de los canales, en concordancia con sus objetivos y al cálculo hidráulico de los mismos y de sus estructuras de caída. Adicionalmente, se realizó la inspección de las redes de alcantarillado y drenaje superficial del área, con el fin de seleccionar los sitios de entrega de los canales propuestos a la red existente.

De la inspección realizada a los pozos de inspección de la red de alcantarillado existente se puede deducir, en términos generales, el buen funcionamiento de la red, aunque debería, en nuestro concepto, mejorarse y modernizarse la parte antigua, localizada aguas arriba de la estructura con la que se inicia la canalización de la quebrada, y que discurre por la margen derecha de ésta.

La localización de los canales se presenta en el Plano No.2

El sistema de drenaje propuesto está conformado por tres (3) canales, dos de ellos con una o más estructuras de caída que permiten la conducción de las aguas y la disipación de la energía a medida que se desciende por los taludes. Adicionalmente, se incluyen las estructuras de captación y conducción de las aguas servidas desde las viviendas hacia el canal C 1.

El canal C 2, de sección rectangular en toda su longitud de 28,0 m, incluye en su parte final un sumidero a partir del cual se conducen las aguas hasta el último pozo de inspección que se localiza sobre la margen derecha de la quebrada. A este canal se conectan las tuberías que conducen las aguas servidas de las viviendas. En su parte final, en la cota 2766,25 m.s.n.m. recibe el caudal del canal C 1

En la parte oriental del área se ubica parte del canal C 1, de 71,60 m de longitud, de sección rectangular.

Al norte del canal C1 se localiza el C3, con longitud de 43,10 m el cual consta, además de 14 estructuras de caída de altura variable entre 0,50 y 0,80 m, en las cuales se disipa la energía del flujo, hasta entregar a un sumidero, en la cota 54,10 m.s.n.m, desde el cual se conducen las aguas hasta un pozo de inspección de la red de alcantarillado, mediante tubería de PVC de ocho (8) pulgadas de diámetro.. Tanto el canal como las caídas son de sección rectangular en toda su longitud.

El cálculo de las estructuras de caída se presenta en las memorias de cálculo anexas. En todas ellas se verificó que la longitud de salto y la longitud total de las mismas tuvieran desarrollo adecuado en los espacios que prodiga la topografía. Así mismo, se determinaron los valores de altura secuente de los resaltos en función de los caudales, de la altura de caída y de la geometría del canal de aproximación, con el fin de definir la altura total de sus muros laterales.

En los planos anexos se presentan las plantas y perfiles de los canales y las características de sus secciones transversales, como de las estructuras de caída de cada uno de ellos.

6 INVESTIGACIONES DE CAMPO Y LABORATORIO

En este capítulo se describen las actividades desarrolladas tanto en el sitio del proyecto como en el laboratorio, tendientes a establecer las condiciones geotécnicas de la zona de estudio. Los trabajos de campo incluyen el levantamiento topográfico, el reconocimiento geotécnico del área y la realización de cinco trincheras en la cara del talud inestable.

6.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Los trabajos de campo consistieron en algunas visitas a la zona del estudio en las que se reconoció de manera preliminar el alcance del estudio y se establecieron las características de la exploración del subsuelo necesaria. Como se mencionó anteriormente, dicha exploración consistió en trincheras en la cara del talud. La localización de la exploración dentro de la zona se muestra en la Figura 6-5.

La trinchera T-1 se ubica en la parte media de la ladera, desde la parte posterior del predio ubicado en la calle 69C sur carrera 18B-40, con una longitud aproximada de 11m, el perfil esta conformado por la capa vegetal, luego continua limo gris oscuro de humedad baja a media, con presencia de raíces y basura (bolsas plásticas, envases, etc.), continua un estrato de coluvión con espesor promedio de 30cm, compuesto por cantos de arenisca en matriz limosa, el estrato subyacente al coluvión corresponde al suelo residual compuesto por arcilla con algo de arena fina, de color amarillo, humedad media y consistencia firme.

Las trincheras T-2 y T-4 se realizaron en la parte alta de la ladera aproximadamente 20 metros al Este de la trinchera T-1, el perfil del subsuelo lo conforma la capa vegetal, continuando coluvión clastosoportado caracterizado por bloques de arenisca cuyo tamaño en promedio es de 30cm y bajo los cuales se encuentran bloques del mismo material con tamaño mayor a 1.0 m.

La trinchera T-4 se realizó hacia la parte alta de la ladera, justo detrás de la casa de número 18-13 (ver Figura 6-5), la exploración se ubicó en la corona de un deslizamiento permitiendo observar el material in situ y excavando la parte superior de la masa deslizada.

La trinchera T-5 se realizó en la parte alta de la ladera, aproximadamente a 30 metros al oeste de la trinchera T-1 y sobre un talud vertical de escasa altura, el perfil de suelo lo compone una capa vegetal, bajo la cual se encuentra arcilla con algo de arena fina, de color amarillo, humedad media, plasticidad alta y consistencia firme.

En las Fotografía 6-1 a Fotografía 6-5 se muestra la localización de las trincheras y en la Figura 6-1 a Figura 6-4 se ilustra en un perfil el material encontrado en cada una de las trincheras.

6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras obtenidas en la ejecución de las trincheras se realizaron ensayos de clasificación y resistencia al corte. A continuación se discrimina el número de ensayos ejecutados:

• Contenido de humedad natural	:	6
• Granulometría	:	1
• Límites de consistencia	:	6
• Peso Unitario	:	3
• Materia Orgánica	:	1
• Lavado sobre Tamiz 200	:	5
• Ensayo de compresión inconfiada	:	3
• Corte Directo en condición saturada	:	3

Los resultados de los ensayos de laboratorio se resumen de manera gráfica de la Figura 6-6 a la Figura 6-9. En la Tabla 6.1 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio y en el Anexo A se adjuntan las memorias de cálculo de dichos ensayos.



Fotografía 6-1 Ubicación de la trinchera T-1



Fotografía 6-2 Ubicación de la trinchera T-2.



Fotografía 6-3 Ubicación de la trinchera T-3



Fotografía 6-4 Ubicación de la trinchera T-4



Fotografía 6-5 Ubicación de la trinchera T-5

A continuación se presentan de manera esquemática tanto la forma como las dimensiones de las trincheras adelantadas dentro de la exploración, aclarando que las propiedades y espesores de los materiales encontrados se muestran en los resúmenes gráficos, Figura 6-6 a Figura 6-9.

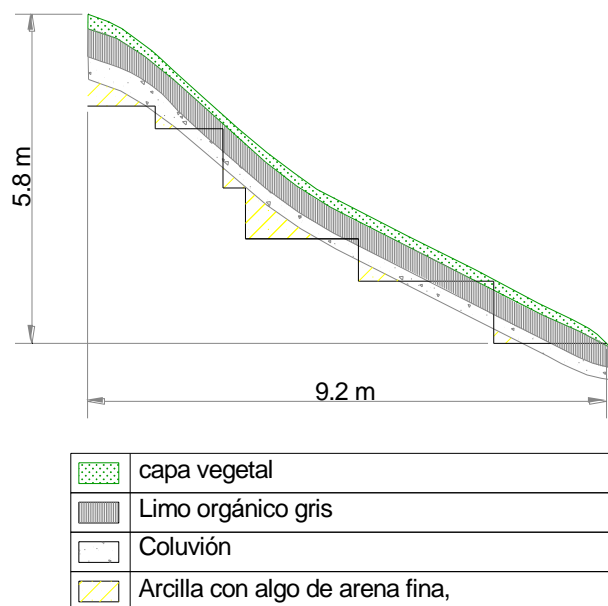


Figura 6-1 Esquema del material encontrado en la trinchera T-1



Figura 6-2 Esquema del material encontrado en las trincheras T-2 y T-4

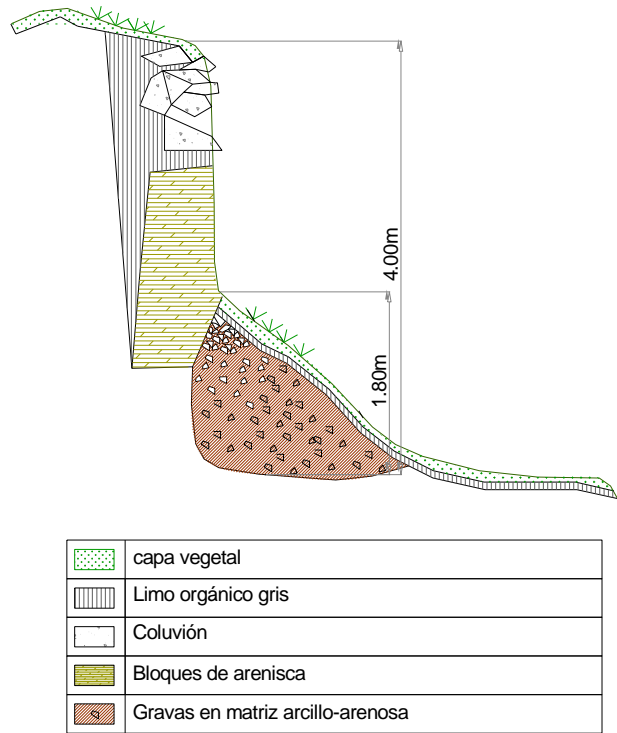


Figura 6-3 Esquema del material encontrado en la trinchera T-3

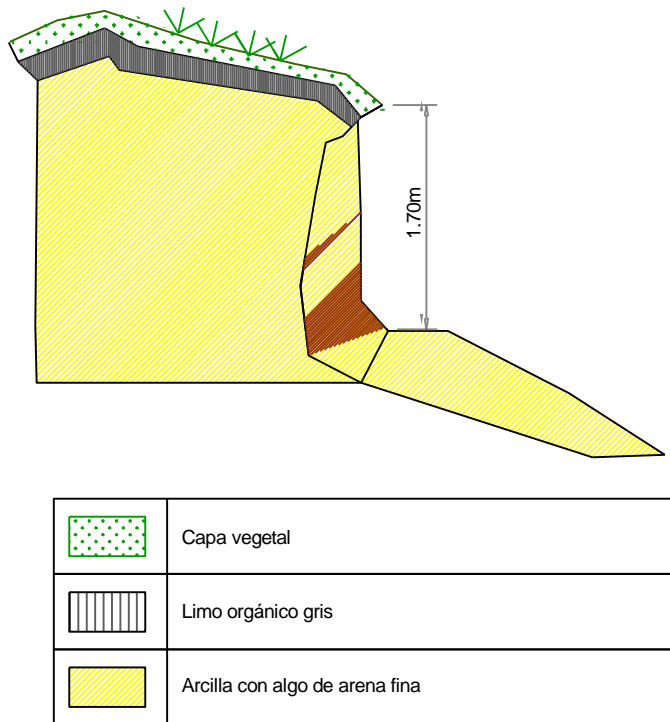


Figura 6-4 Esquema del material encontrado en la trinchera T-5

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

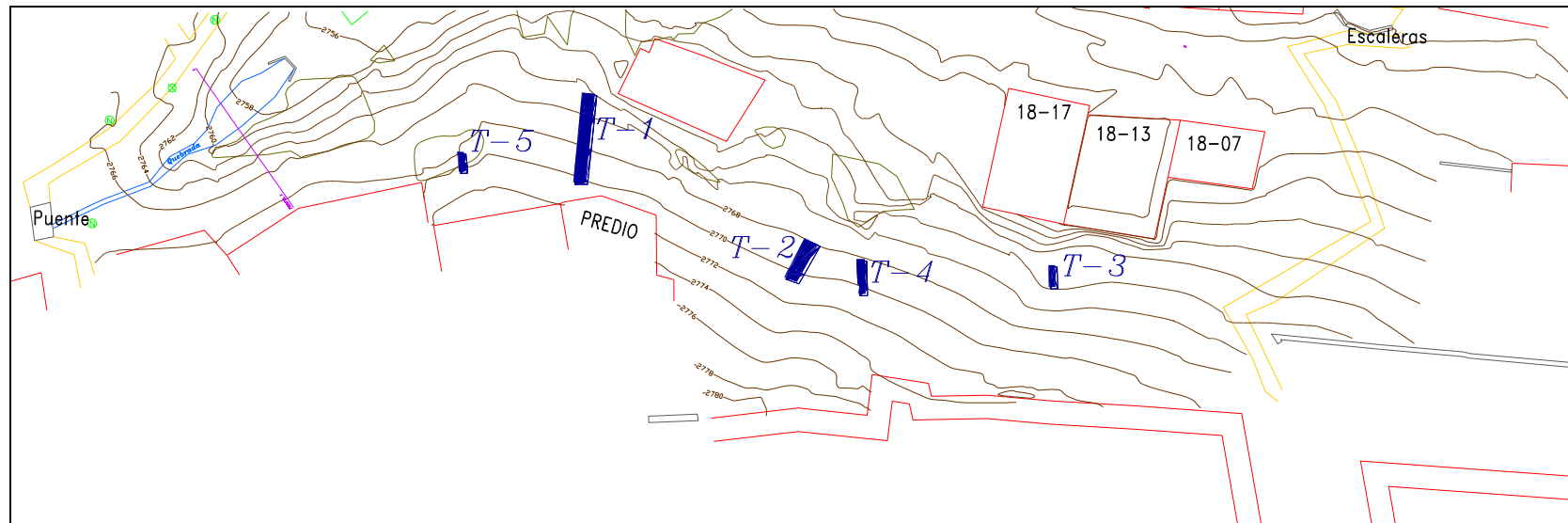


Figura 6-5 Localización de la Exploración del Subsuelo

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-1

PROYECTO: EMERGENCIAS DPAE

SONDEO No: T-1

LOCALIZACIÓN: BARRIO LUCERO MEDIO

FECHA: JUNIO DE 2005

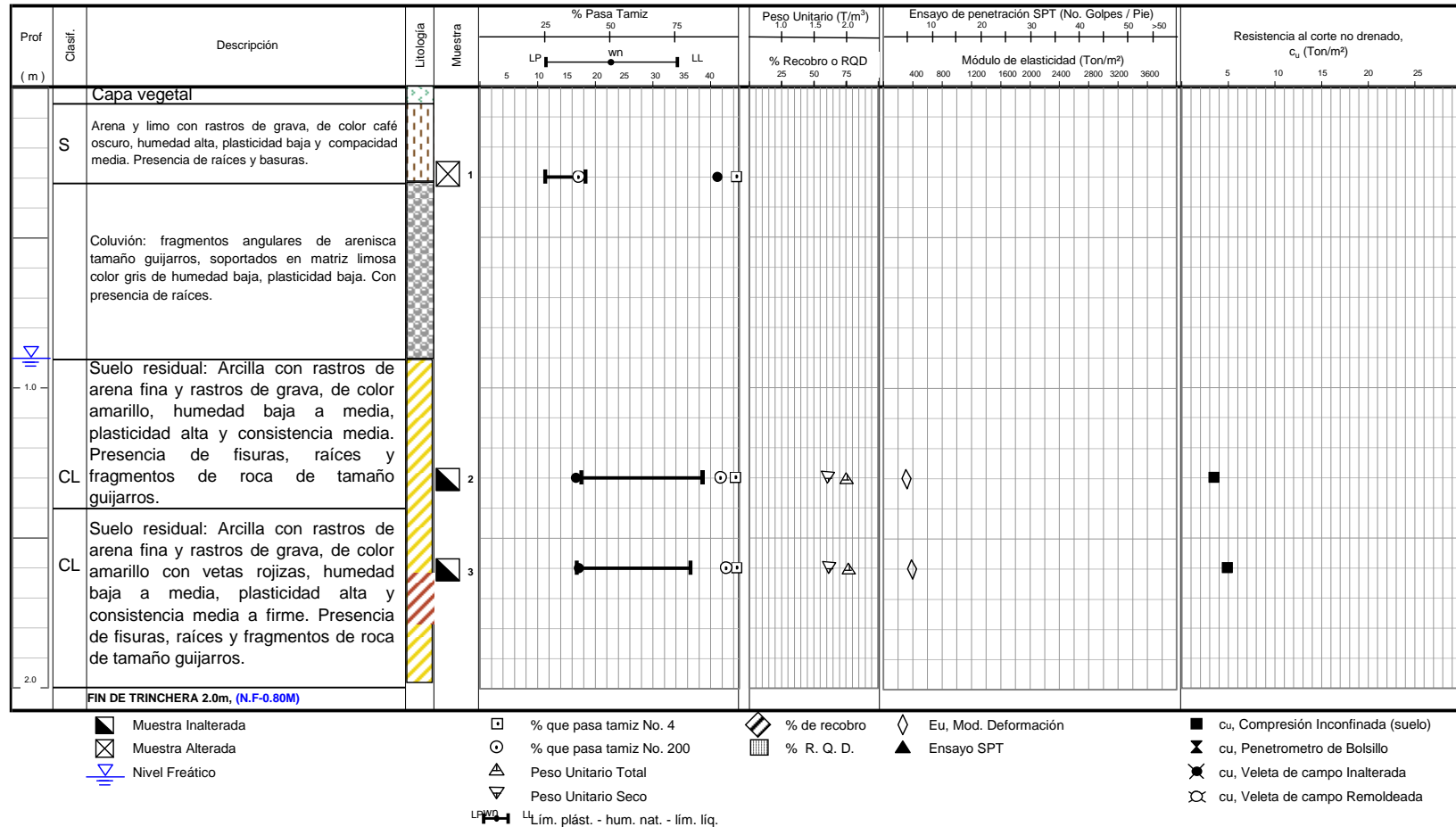


Figura 6-6 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-1

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-3

PROYECTO: EMERGENCIAS DPAE

SONDEO No: T-3

LOCALIZACIÓN: BARRIO LUCERO MEDIO

FECHA: JUNIO DE 2005

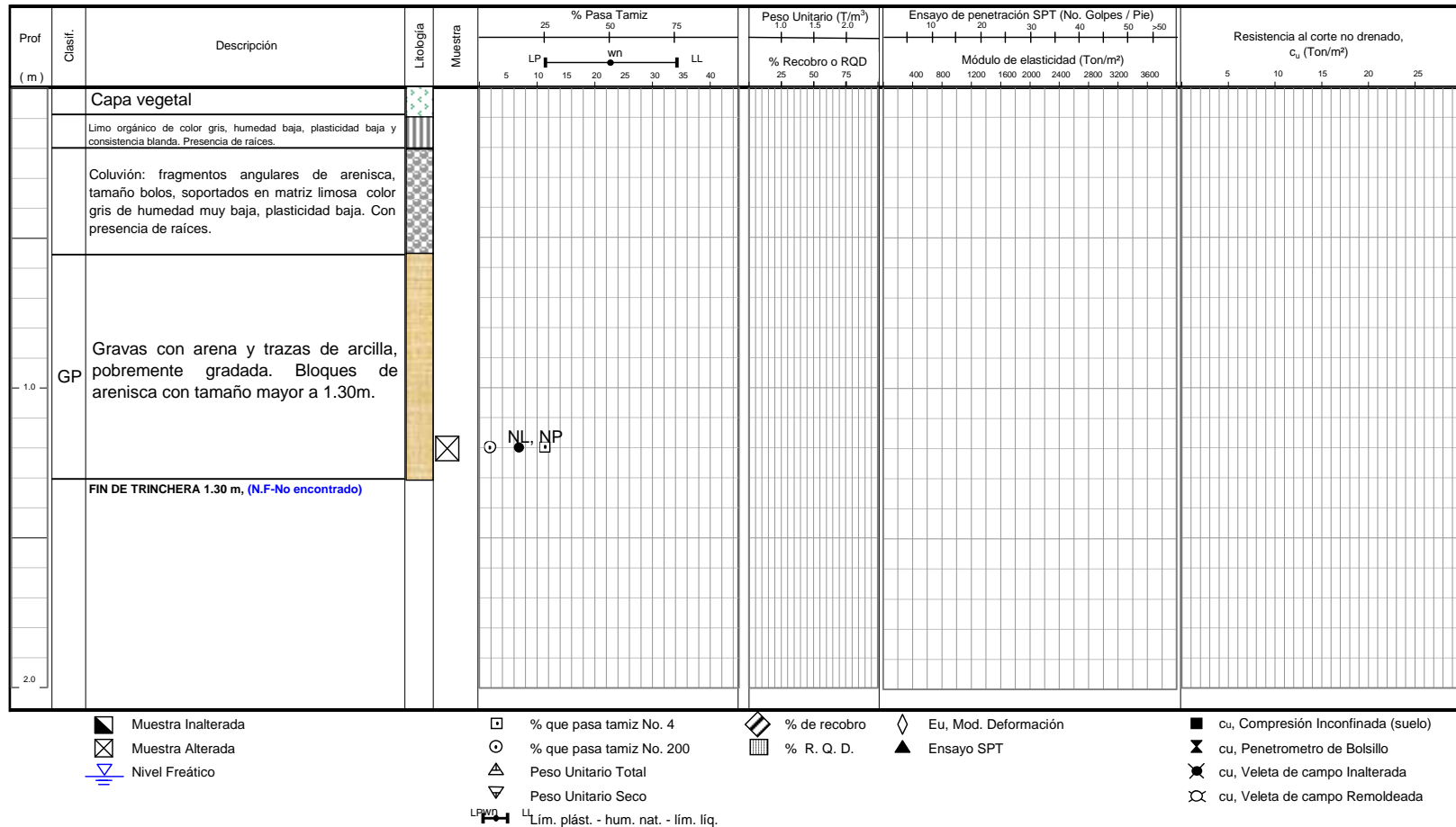


Figura 6-7 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-3

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-4

PROYECTO: EMERGENCIAS DPAE

SONDEO No: T-4

LOCALIZACIÓN: BARRIO LUCERO MEDIO

FECHA: JUNIO DE 2005

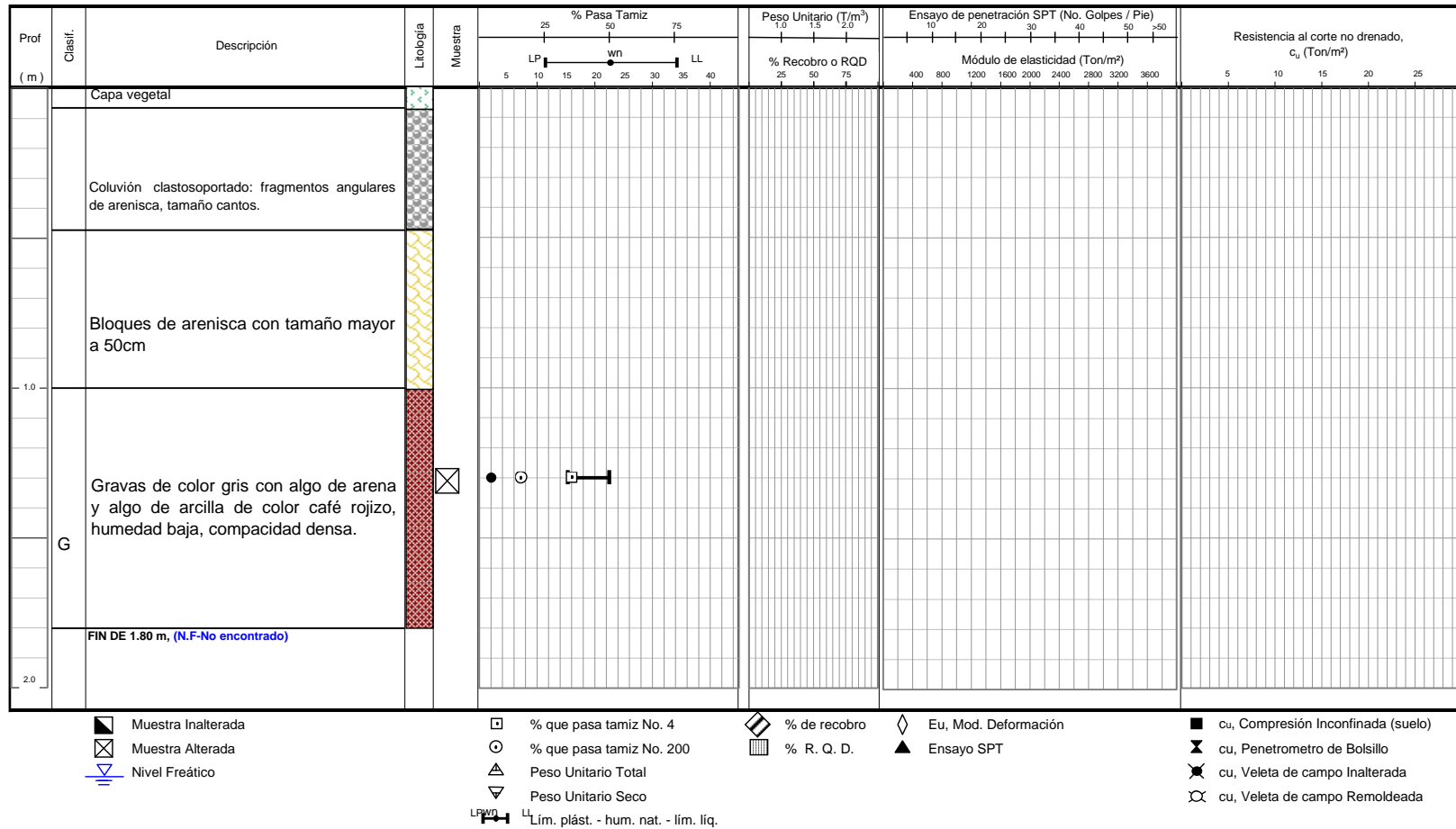


Figura 6-8 Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de T-4

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

Resumen Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-5

PROYECTO: EMERGENCIAS DPAE

SONDEO No: T-5

LOCALIZACIÓN: BARRIO LUCERO MEDIO

FECHA: JUNIO DE 2005

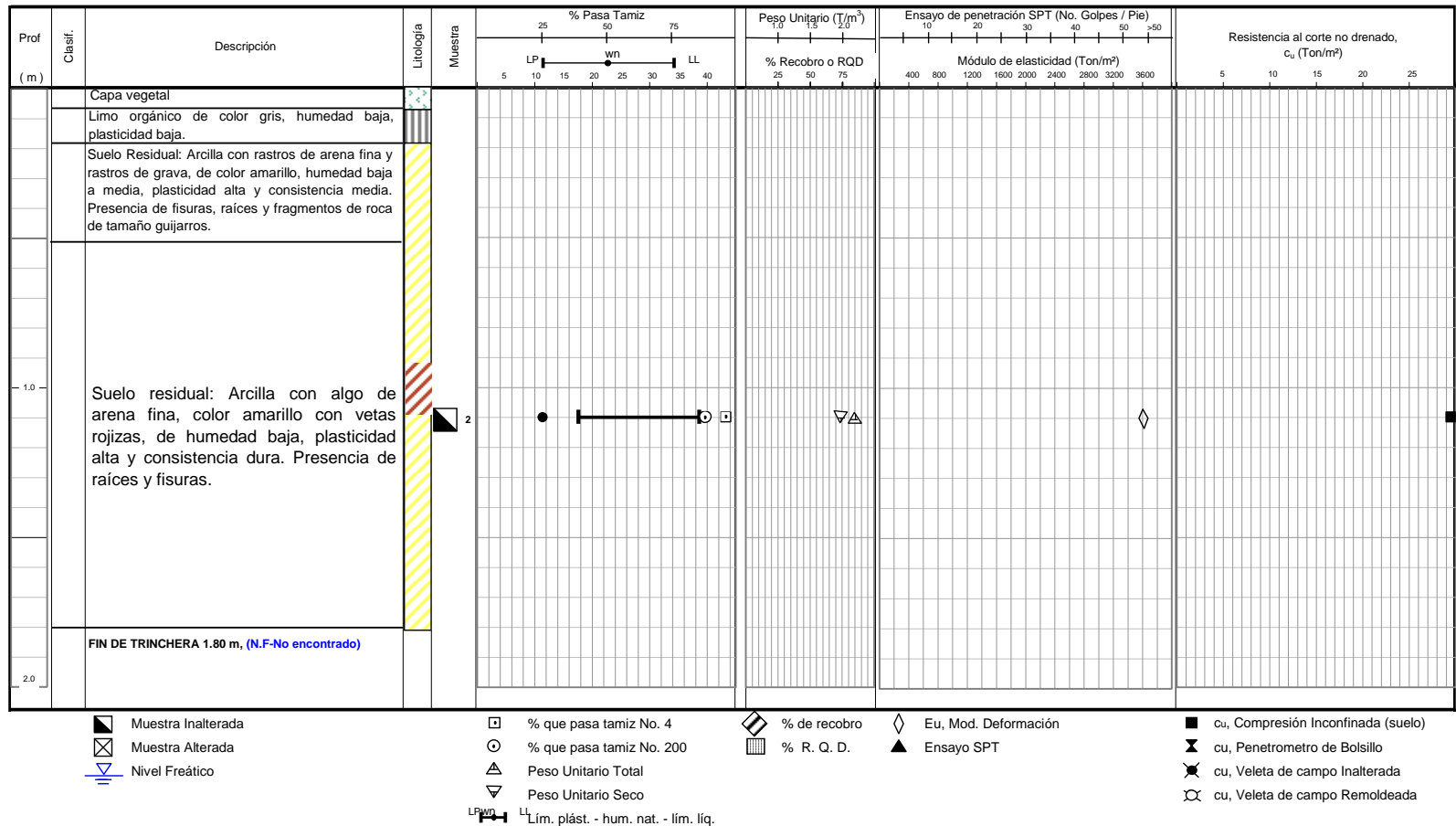


Figura 6-9 Registro Gráfico de Propiedades Índice y Mecánicas de Trinchera T-5

Elaboración de Diseños de Obras en Sitios Afectados por Emergencia debido a la Temporada de Lluvias
Sitio 10 Barrio Lucero Medio

TABLA RESUMEN LUCERO MEDIO

Nomenclatura	Tipo de exploración	Muestra					USCS	Gs	M. Orgánica	wn (%)	G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
		No.	Tipo	de	a	Prof. Media										
T-1	TRINCHERA	1	BP	0.20	0.4	0.30	SM		2.9	41.2	0.9	60.9	38.2	18.3	11.3	7
T-1	TRINCHERA	2	BL	1.20	1.40	1.30	CL	2.595	5.0	16.7	1.4	5.7	93.0	38.6	17.6	21
T-1	TRINCHERA	3	BL	1.50	1.70	1.60	CL			17.6	0.8	4.1	95.1	36.5	16.8	19.7
T-3	TRINCHERA	2	BP	1.20	1.20	1.20	GP	2.563		6.9	74.5	21.1	4.3	NL	NP	
T-4	TRINCHERA	1	BP	1.00	1.60	1.30	GC		4.1	2.1	64.3	19.5	16.3	22.5	15.3	7.2
T-5	TRINCHERA	6	BL	1.10	1.10	1.10	CL			11.4	3.7	7.9	88.4	38.6	17.6	21

Nomenclatura	Tipo de exploración	Muestra					γ_t (Ton/m ³)	γ_d (Ton/m ³)	Compresión		N golpes/pie	Corte Directo	
		No.	Tipo	de	a	Prof. Media			qu (Ton/m ²)	E50 (Ton/m ²)		c'p (Ton/m ²)	ϕ' p (\equiv)
T-1	TRINCHERA	1	BP	0.20	0.4	0.30							
T-1	TRINCHERA	2	BL	1.20	1.40	1.30	2.009	1.721	7			2.9	21
T-1	TRINCHERA	3	BL	1.50	1.70	1.60	2.046	1.74	9.9			3.5	19.6
T-3	TRINCHERA	2	BP	1.20	1.20	1.20							
T-4	TRINCHERA	1	BP	1.00	1.60	1.30							
T-5	TRINCHERA	1	BL	1.10	1.10	1.10	2.2	1.975	59.1			6.7	39

- **USCS:** Clasificación del material, según el Sistema de clasificación unificado
- **W_n:** Contenido de humedad.
- **G:** Porcentaje de grava
- **A:** Porcentaje de arena
- **F:** Porcentaje de finos
- **LL:** Límite líquido
- **LP:** Límite plástico
- **IP:** Índice de plasticidad
- γ_t : Peso unitario total.
- γ_d : Peso unitario seco.
- **c'p:** Intercepto de cohesión (pico)
- **ϕ' p:** Ángulo de fricción interna (pico)

Tabla 6.1 Tabla Resumen de Resultados Ensayos de Laboratorio

6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En el presente capítulo se enuncian las principales propiedades geomecánicas de los suelos que se encuentran en el sitio del proyecto, y que fueron detectadas durante la exploración. Los parámetros para la caracterización de los materiales fueron derivados de los resultados obtenidos durante la etapa de exploración y de laboratorio los cuales se presentan en la Figura 6-6 a la Figura 6-9.

6.1 PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO

A continuación se relacionarán las principales propiedades geomecánicas de los materiales se encuentran en el subsuelo de acuerdo con lo mostrado en el perfil geotécnico típico de la Figura 6-2. En resumen se tienen los siguientes tipos de suelos:

- **Material 1:** Limo orgánico de color gris, humedad baja plasticidad baja y consistencia blanda. Presencia de raíces.
- **Material 2:** Coluvión clastosoportado. Fragmentos angulares de arenisca y cantos rodados.
- **Material 3:** Arcilla con rastros de arena fina color amarillo con vetas rojizas, de humedad baja, plasticidad alta y consistencia dura. Presencia de raíces y fisuras.
- **Material 4:** Bloques de arenisca de tamaños mayores a 1.5 m.

6.2 PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES

A continuación se presentan las propiedades geotécnicas de los diferentes materiales encontrados hasta la profundidad de exploración.

6.2.1 Material 1

Este material es un limo orgánico de color gris con presencia de raíces y fisuras de humedad y plasticidad bajas y consistencia blanda.

6.2.2 Material 2

Cluvión clastosoportado con fragmentos de arenisca angulares embebidos en una matriz limosa de color gris que presenta humedad y plasticidad bajas.

6.2.3 Material 3

Arcilla con rastros de arena fina y rastros de grava, de color amarillo con vetas rojizas, humedad baja a media (17%), plasticidad alta (19.7, ver carta de plasticidad) y consistencia media a firme ($q_u = 9.9$ (ton/m²)). Presencia de fisuras, raíces y fragmentos de roca de tamaño guijarros.

6.2.4 Material 4

Bloques de arenisca con tamaño mayor a 1.30m

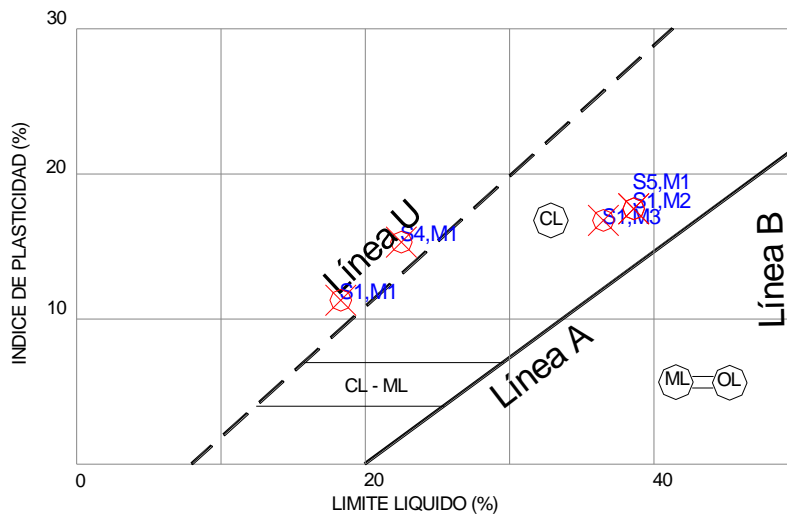
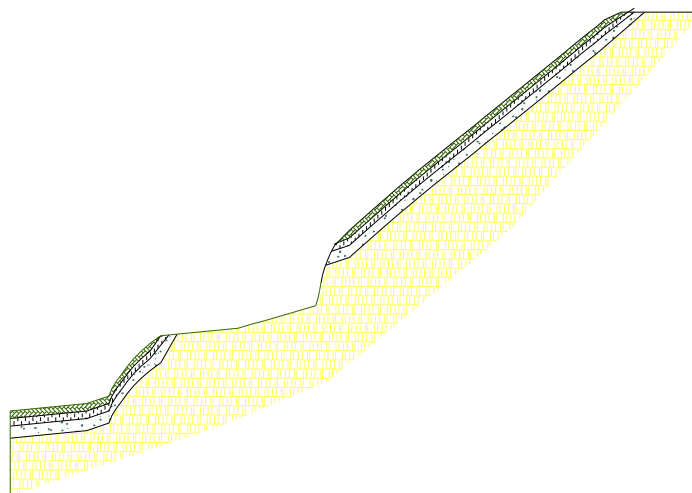


Figura 6-1 Carta de Plasticidad



CONV.	DESCRIPCIÓN
	Cobertura Vegetal
	Limo orgánico color gris de humedad baja, plasticidad baja y presencia de raíces.
	Coluvión. Fragmentos angulares de arenisca calstosoportados con matriz limosa color gris de humedad baja y plasticidad baja.
	Suelo residual de arcillolita
	Bloques de arenisca de tamaños mayores a 1.3m

Figura 6-2 Perfil geotécnico sección No. 4.

7 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

Para cada una de las 4 las secciones de análisis y con base en la información topográfica, geológica, de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, se realizó la evaluación mediante equilibrio límite la estabilidad del talud con la geometría que presenta actualmente la zona, para condiciones de análisis estáticas secas, estáticas saturadas, dinámicas secas y dinámicas saturadas.

Los parámetros geomecánicos de intercepto de cohesión y de ángulo de fricción característicos los diferentes estratos de materiales observados en el perfil geotécnico típico de la zona y empleados en los análisis de estabilidad desarrollados con el método de Bishop Modificado y por medio del programa SLIDE, fueron obtenidos como se mencionó anteriormente con base en los ensayos de laboratorio para el caso de los materiales más superficiales y de la caracterización geoestructural del macizo rocoso realizada en el capítulo 3 de Geología y Geomorfología.

A continuación en la Tabla 7.1 se presentan los resultados obtenidos de los análisis elaborados.

Tabla 7.1 Resultados de los análisis de estabilidad ejecutados para las cuatro secciones

SECCION No.	CASO	VALOR DE FS
1	Estático Seco	10.976
	Estático saturado	8.640
	Dinámico Seco	8.596
	Dinámico Saturado	7.436
2 Superior	Estático Seco	10.079
	Estático saturado	7.109
	Dinámico Seco	6.617
	Dinámico Saturado	6.617
2 Inferior	Estático Seco	7.299
	Estático saturado	5.499
	Dinámico Seco	4.940
	Dinámico Saturado	3.661
3	Estático Seco	4.832
	Estático saturado	3.500
	Dinámico Seco	3.235
	Dinámico Saturado	2.562
4	Estático Seco	1.203
	Estático saturado	0.672
	Dinámico Seco	1.135
	Dinámico Saturado	0.621

Es importante resaltar que las superficies de falla cuyos factores de seguridad se muestran en la Tabla 7.1 resultan relativamente profundas, como se puede observar en el ANEXO B. Los factores de seguridad para superficies de falla más superficiales, es decir los que involucran la movilización de las materiales resultado de la descomposición de la roca y depósitos de ladera desarrolladas para casos predeterminados muestran órdenes de magnitud muy altos. Con base en lo anterior, las medidas recomendadas fueron

orientadas hacia el incremento de los parámetros geomecánicos y evitar la saturación total de los estratos superficiales.

El caso particular de los análisis elaborados para la sección 4 y presentados en el Anexo B, muestran la hipótesis de la posible degradación de los materiales rocosos mas superficiales localizados en la zona en la que actualmente se ubican las viviendas de la parte media de la ladera, y la posibilidad de deslizamiento y retrogresión de la movilización de dichos materiales afectando las viviendas de la parte superior. Los análisis citados muestran como para condiciones secas estáticas y secas dinámicas el talud presenta un factor de seguridad aceptable, sin embargo para el caso en que se presenten condiciones extremas de saturación y combinación de saturación y sismo, el FS se reduce a valores de entre 0.62 y 0.67, lo que confirma la necesidad de controlar la infiltración de aguas en la zona.

8 PARÁMETROS SÍSMICOS DE DISEÑO

De acuerdo con la “Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá”, el área de estudio se localiza en la Zona 1 que corresponden a la Zona de Cerros. Para efectos de evaluar estabilidad de los taludes se recomienda emplear una aceleración horizontal máxima de **$A_{Hmax} = 0.24g$** .

9 AFECTACIÓN PREDIAL

La ejecución de las obras recomendadas implica la afectación de algunos predios, dichas obras corresponden a la construcción del canal 3 y la cobertura vegetal de la zona, las cuales se deberán acometer en la fase II del proyecto luego de la adquisición de los predios correspondientes, en la figura Figura 9-1 se ilustra la ubicación de los predios involucrados en la ejecución de las obras de la fase II de acuerdo con la información suministrada por el Departamento Administrativo de Catastro Distrital.

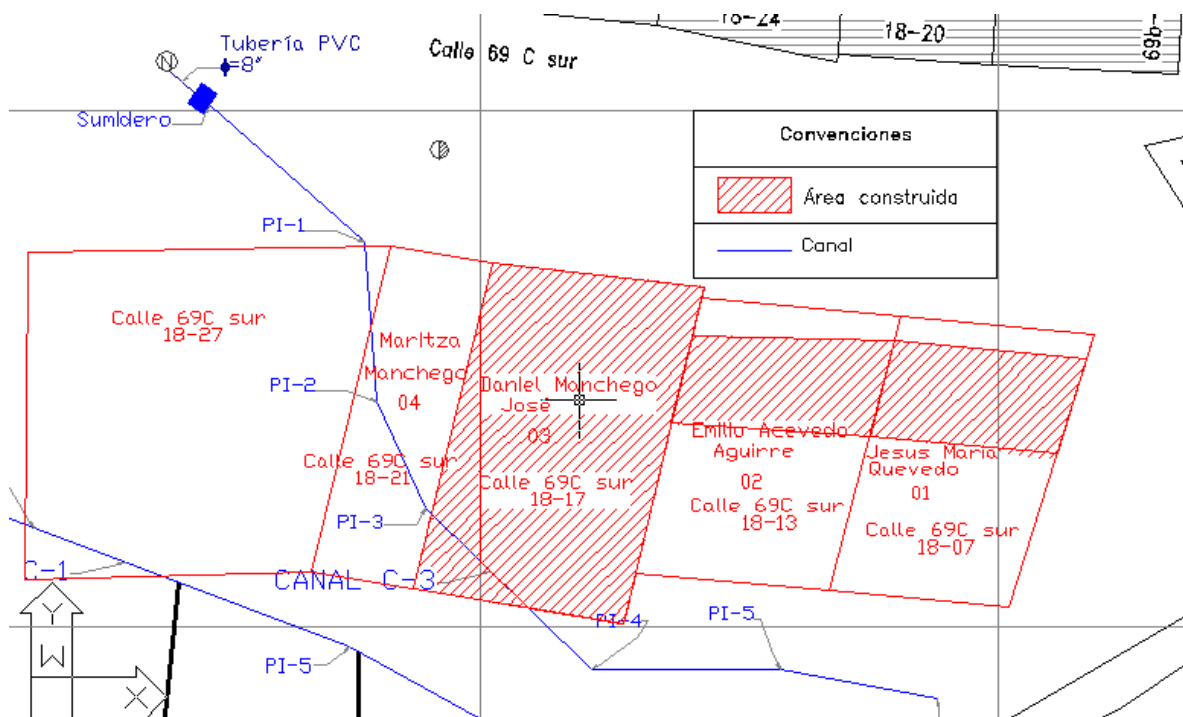


Figura 9-1 Situación predial de la zona a intervenir

10 MEDIDAS CORRECTIVAS RECOMENDADAS

De acuerdo con las observaciones de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio se evaluó en primera instancia la estabilidad general de la zona considerando las condiciones geométricas, las características mecánicas de los materiales y las sobrecargas producidas por las construcciones aledañas, encontrándose como resultado de dichos análisis que los taludes presentan factores de seguridad adecuados, sin embargo, se observó también que si las propiedades mecánicas del material que se encuentra en superficie son disminuidas por efecto del incremento de humedad, originado en la infiltración del agua lluvia y las aguas residuales que se disponen incontroladamente en el terreno, dichos factores de seguridad son reducidos al punto de presentar factores de seguridad inferiores a la unidad para condiciones extremas de saturación y sismo en el caso de las secciones de análisis 3 y 4.

De acuerdo con lo anterior se procedió a evaluar las alternativas de mitigación y control orientadas básicamente al mejoramiento de la estabilidad y al control de la posible caída de rocas, organizadas en dos etapas según la instancia y prioridad en el control de los problemas detectados en la zona.

A continuación se describen cada uno de estos tipos de obra, así como su discriminación de acuerdo con la prioridad en su elaboración:

10.1 OBRAS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD

Las obras propuestas para el mejoramiento de la estabilidad de la zona incluyen:

- Construcción de los canales denominados C1 y C2 y las domiciliarias D1 a D5, los cuales recogen las aguas de escorrentía superficial que actualmente se observan en la zona. Este canal serán en concreto y conducen las aguas hasta el actual sistema de alcantarillado. Cabe indicar que estas obras no reemplazan los sistemas formales de alcantarillado que deben ser alentados por parte de la EAAB.
- Fomento de la cobertura vegetal en toda la zona desforestada mediante biomantos con el fin de evitar la infiltración de la escorrentía y aumentar la cohesión en los estratos superiores que presentan mayores posibilidades de falla.
- Arborización de la actual zona verde mediante árboles y arbusto al tres bolillo.
- Barrera viva en la margen derecha de la antigua quebrada, la cual actualmente se encuentra canalizada.
- Generación de cobertura vegetal en la vivienda actualmente en proceso de reubicación por su proximidad a la actual zona de deslizamiento superficial.

Es importante resaltar que dentro de la evaluación de alternativas para el desarrollo de este tipo de obras se tuvo en cuenta la posible construcción de muros de contención. El análisis de esta solución indica que aunque la alternativa resulta técnicamente viable, las complicaciones durante la implantación de las obras generadas por la necesidad de excavaciones moderadamente significativas en materiales con bloques de roca para la instalación de gaviones bajo la parte inferior de la capa de coluvión, incrementarían el costo y demorarían la ejecución de las obras. Adicionalmente, con esta alternativa se debían considerar sistemas complementarios para la captación de aguas residuales, lo que aumentaría aún más el costo de las obras necesarias en comparación con la solución propuesta.

10.2 OBRAS COMPLEMENTARIAS PARA EL CONTROL DE LA CAIDA DE ROCAS

Si luego de ejecutadas las obras antes propuestas se observa algún tipo de alteración de los materiales del depósito coluvial que amenacen con la caída de bloques se considera conveniente la ejecución de las siguientes actividades:

- Construcción del canal C3
- Reubicación de las viviendas del costado oriental y generación de cobertura vegetal.

En el ANEXO E y ANEXO D se presentan los planos de las obras recomendadas y las especificaciones técnicas de construcción, respectivamente

En el ANEXO C se presenta las cantidades de obra y presupuesto de las medidas recomendadas.

11 LIMITACIONES

Los resultados, conclusiones y recomendaciones fueron obtenidos a partir de la información recopilada y de los resultados de los sondeos manuales, trincheras y ensayos de laboratorio ejecutados en febrero de 2005.

Debido al carácter puntual de la exploración, y a la variabilidad del subsuelo, en caso de encontrarse condiciones del subsuelo diferentes a las descritas en este informe durante el proceso de construcción de las obras, se deberá avisar al ingeniero geotecnista para realizar las modificaciones que sean necesarias.

12 BIBLIOGRAFÍA

- AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1998), “Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente”.
- INGEOMINAS. “Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá” (1997)
- BOWLES, J.E., (1997), “Foundation analysis and design”. Mc Graw Hill International Editions, fifth edition. Singapore.
- DAS B., (2001), “Principios de ingeniería de cimentaciones”. International Thomson Editores, cuarta edición. Mexico, 2001.
- HUNT. R. (1986) “Geotechnical Engineering Techniques and Practices” Mac Graw Hill, Primera edición, USA 1986.

ANEXO A
RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO B
MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO C
CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

ANEXO D
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

ANEXO E
PLANOS