

E
266-2



*Alcaldía Mayor
de Santa Fe de Bogotá, D.C.*

UPES

Unidad de Prevención y Atención de Emergencias

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA,
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS
DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL
ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA,
LOCALIDAD DE USAQUEN**

INFORME FINAL
(Original)

Santafé de Bogotá, D.C., Abril de 1999

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio y diseños fueron elaborados por un grupo interdisciplinario de trabajo conformado por Ingenieros Civiles, Geólogos, Geotecnistas, Arquitecta, especialistas en SIG, auxiliares y digitadores, quienes trabajaron incansablemente o han colaborado durante el desarrollo del presente estudio. Ellos fueron:

NOMBRE		TRABAJO EJECUTADO
INGENIEROS	TOMAS SHUK	Dirección
	JORGE PUERTO	Exploración Geotécnica, Cálculo de Estabilidad, Evaluación medidas de protección, Diseño.
	HEYDER CARLOSAMA	Especificaciones Técnicas.
	TATIANA REVIKINA	Cantidades de Obra y Presupuesto
	FERNANDO SUAREZ	Diseño
ARQUITECTA	TERESITA MEDINA	Vulnerabilidad y diseño paisajístico
INGENIEROS GEOLOGOS	VALENTINA TCHEMODANOVA	Exploración Geológica y geotécnica, análisis de susceptibilidad, evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
	IVAN PATIÑO	Exploración Geológica
INGENIERA AGRÓLOGA	NATALIA RICO	SIG
INGENIERO CATASTRAL	LUIS A. BALLESTEROS	
AUXILIAR DE INGENIERÍA	ELDIBRANDO PATIÑO	Geología, Geotecnia, Hidráulica, Diseño, Edición final.
DIGITADORES	LUIS MIGUEL CACERES	Planos
	ELVIRA BUENO	Texto
	AMANDA MEJIA	
ENSAYOS GEOELÉCTRICOS		IRME, UPTC de Sogamoso

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Unidad para Prevención y Atención de Emergencias del Distrito Capital (UPES) y en particular al Ingeniero Danilo Ruiz por su valiosa colaboración en todos los aspectos técnicos correlacionados con los estudios, sugerencias, aclaraciones, consecución de la información secundaria.

Igualmente, se agradece al Ingeniero Edgar Eduardo Rodríguez, Subdirector del Area de Ingeniería Geoambiental de INGEOMINAS por suministrar copias de los informes y fotografías, correspondientes a los anteriores estudios anteriores realizados en la zona, que permitió describir y comprender mejor las causas de los procesos actuales.

Se hace un especial agradecimiento al personal de la INTERVENTORIA por parte de AGC Ltda, dirigida por el Ingeniero Alvaro González, que con su critica constructiva han hecho un valioso aporte en desarrollos metodológicos, la aclaración de criterios y conceptos, lo mismo que en el perfeccionamiento del estudio para favorecer el nivel de la precisión del mismo.

INFORME FINAL

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	xv
INTRODUCCIÓN	xvii
1. GENERALIDADES	1
1.1 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	11
2. TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS	14
2.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	14
2.2 EXPLORACIÓN GEOLÓGICA	14
2.2.1. Toma de datos estructurales	15
2.2.2. Levantamiento de columnas estratigráficas	15
2.2.3. Ejecución de apiques	16
2.3. EXPLORACIÓN GEOELECTRICA	17
2.4. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	19
2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO	21
3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA GENERAL	24
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METODOLOGÍA	24
3.2 CARACTERIZACIÓN DE ROCAS Y DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS	25
3.2.1. Geología, Geomorfología y Geotecnia Regional	25
3.2.1.1. Litología regional	25
3.2.1.2. Geología estructural regional	29
3.2.1.3. Geomorfología regional	30
3.2.1.4. Zonificación regional de riesgos	31
3.2.1.5. Zonificación sísmica regional	32
3.2.2. Unidades Litológicas del Área de Estudio	32
3.2.2.1. Formación Arenisca Tierna (Ksgt)	32

3.2.2.2.	Suelos Negros (Qsn)	33
3.2.2.3.	Escombros de Excavación (Qe)	34
3.2.2.4.	Depósito de Pendiente	34
3.2.2.5.	Relleno Antrópico (Qra)	34
3.2.2.6.	Flujo de Lodo (Qfl)	35
3.2.3.	Fracturamiento y su Relación con la Inestabilidad	37
3.2.4.	Condiciones Hidrogeológicas	42
3.2.5.	Zonificación Geomecánica	43
3.3	ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE ÁREAS HOMOGÉNEAS	46
3.3.1.	Criterios y Metodología Aplicada	46
3.3.2.	Identificación de los Procesos	47
3.3.2.1.	Sector I-D-2	47
3.3.2.2.	Sector I-A-5 ₁	51
3.3.2.3.	Sector I-A-3	55
3.3.3.	Análisis de Susceptibilidad a los Procesos	58
3.3.3.1.	Sismicidad	60
3.3.3.2.	Fracturamiento (grado de desintegración)	60
3.3.3.3.	Propiedades físico - mecánicas de los materiales	61
3.3.3.4.	Condiciones hidrogeológicas	64
3.3.3.5.	Relieve (condiciones geomorfológicas)	65
3.3.3.6.	Vegetación	67
3.3.4.	Caracterización de las áreas homogéneas por su susceptibilidad a los procesos desestabilizantes	68
3.3.5.	Análisis de Factores Detonantes	70
3.3.5.1.	Actividad antrópica	70
3.3.5.2.	Pluviosidad	72
3.3.5.3.	Sismicidad	73
4.	EVALUACION DE AMENAZA	75
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	75
4.2	CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	75
4.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (amenaza)	78
4.3.1.	Caídas de bloques	78
4.3.2.	Deslizamientos	80
4.3.2.1.	Modelos de falla y parámetros de cálculo	80
4.3.2.2.	Consideraciones sísmicas	86
4.3.2.3.	Cálculo del factor de seguridad y distancia de desplazamiento	86
4.4	CLASIFICACIÓN DE AMENAZAS	87
4.5.	CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS POR AMENAZA	88
4.5.1.	Definición de Areas Bajo Amenaza Específica	88

4.5.2.	Valoración de Amenaza	89
5.	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD	91
5.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	91
5.2.	CRITERIOS Y METODOLOGÍA APLICADA	91
5.3.	IDENTIFICACION DE ELEMENTOS	92
5.4.	DEFINICIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD	94
5.5.	VALORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD	100
6.	EVALUACION DE RIESGO	102
6.1.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	102
6.2.	CRITERIOS Y METODOLOGIA APLICADA	102
6.3.	ANÁLISIS DE CONDICIONES DE RIESGO POR FENÓMENOS EN REMOCIÓN EN MASA	102
6.4.	EVALUACION DE COSTOS GENERADOS	103
7.	EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN	107
7.1.	COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	107
7.2.	DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN	114
7.2.1.	Manejo de Aguas Superficiales	114
7.2.2.	Manejo de Aguas Subterráneas	114
7.2.3.	Excavaciones	115
7.2.4.	Rellenos	116
7.2.5.	Gaviones	116
7.2.6.	Empradización	117
7.2.7.	Arborización	117
7.2.8.	Pernos	117
7.2.9.	Malla Eslabonada	118
7.2.10.	Enredaderas	118
7.3.	DISEÑO PAISAJISTICO	118
7.3.1	Objetivos	119
7.3.2	Selección de Especies	120
7.3.3	Elementos de Diseño	122
7.3.3.1	Físicos	122
7.3.3.2.	Bióticos	123
7.3.3.3	Descripción	123
7.4.	CANTIDADES DE OBRA	124
7.5.	PRESUPUESTO	125
7.6	PROCESO CONSTRUCTIVO	126
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
	BIBLIOGRAFIA	129

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1** INFORMACION SECUNDARIA
- ANEXO 2** ANÁLISIS CINEMÁTICO
- ANEXO 3** CARTERAS DE TOPOGRAFÍA
- ANEXO 4** REGISTRO DE APIQUES
- ANEXO 5** ENSAYOS DE LABORATORIO
- ANEXO 6** PERFILES ELÉCTRICOS
- ANEXO 7** MEMORIAS DE CÁLCULO HIDROLÓGICO
- ANEXO 8** CÁLCULO DE ESTABILIDAD
- ANEXO 9** CENSO DE LAS VIVIENDAS
- ANEXO 10** PLANOS

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	Topográfica del área
PLANO 2	Mapa Geológico local
PLANO 3	Mapa de zonificación GEOMECANICA - AREAS HOMOGENEAS
PLANO 4	Mapa de susceptibilidad de áreas al desarrollo de procesos
PLANO 5	Mapa de Amenaza por Deslizamientos, Derrumbes y Flujos de lodo.
PLANO 6	Mapa de Amenaza por Caída de Bloques
PLANO 7	Mapa de Amenaza por erosión
PLANO 8	Mapa de Vulnerabilidad y Amenaza total
PLANO 9	Mapa de Riesgo
PLANO 10	Manejo Paisajístico
PLANO 11	Diseño de Obras
PLANO 12	Detalles

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1. Resultados de ensayos de laboratorio	23
Cuadro 3.1. Propiedades geomecánicas de las areniscas	27
Cuadro 3.2. Características de los sistemas de discontinuidades	38
Cuadro 3.3. Zonificación Geomecánica del Área del Antiguo Escarpe de Explotación en el Barrio Soratama	45
Cuadro 3.4 Determinación de sectores en el área I-D-2	50
Cuadro 3.5 Determinación de sectores en el área I-A-3	55
Cuadro 3.6 Matriz de evaluación de área homogéneas por susceptibilidad a los procesos	59
Cuadro 3.7 Clasificación de los perfiles del suelo (Medvedev, 1965)	61
Cuadro 3.8 Clasificación Geotécnica General de rocas y Depósitos no consolidados	62
Cuadro 3.9 Caracterización de área homogéneas y procesos	69
Cuadro 3.10 Formas de erosión	70
Cuadro 3.11 Eventos sísmicos cuyos registros se utilizan en el presente estudio	74
Cuadro 4.1 Síntesis de métodos de cálculos empleados	77
Cuadro 4.2 Cálculo de distancia horizontal de caída de bloques	79
Cuadro 4.3 Evaluación de amenaza por deslizamientos	85
Cuadro 4.4 Resultados finales de la evaluación de amenazas	90
Cuadro 5.1 Parámetros de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos Vs Factor	96
Cuadro 5.2 Evaluación de Susceptibilidad de Edificaciones por Resistencia	97
Cuadro 5.3 Criterios de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos por Exposición	98
Cuadro 5.4 Matriz de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos por Exposición	99
Cuadro 5.5 Definición de Vulnerabilidad de elementos estructurales	101
Cuadro 6.1 Resultados de evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por sectores	105
Cuadro 6.2 Cuantificación de Riesgo esperado por fenómenos de remoción en masa en el sector I-A-3-a ₁	106
Cuadro 7.1 Descripción de la alternativa 1	108
Cuadro 7.2 Descripción de la alternativa 2	109
Cuadro 7.3 Descripción de la alternativa 3	110

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.4	Descripción de la alternativa 4	111
Cuadro 7.5	Descripción de la alternativa 5	112
Cuadro 7.6	Comparación de Alternativas	113

LISTA DE FOTOS

- Foto 1.1.** (13 de enero 1994) Barrio Soratama, Cra. 7a con calle 166B. Zona inestable en la parte sur del área de estudio. Concepto Técnico N° 25 de UPES: " *Deslizamientos activos y Potenciales en colisiones, rocas, talus, flujos de tierra y reptación de suelos*" Geólogo Alberto Rincón, Ingeniero Civil Agustín Calderón Navarro
- Foto 1.2.** (Febrero 1999) Zona Inestable, ubicada en la parte norte del área de estudio.
- Foto 1.3.** Costado sur del deslizamiento activo; la línea punteada separa el material in-situ (Areniscas friables con delgados intercalones de arcillolita) del material colapsado (depósito coluvial)
- Foto 2.1** Cizalla, descubierta en la trinchera, en el costado Norte de la zona sur.
- Foto 2.2** Montaje para el ensayo de permeabilidad
- Foto 3.1.** Relieve estructural donde se evidencia la caída de rocas al norte del barrio Soratama. La pendiente estructural da lugar a deslizamientos de tipo translacional.
- Foto 3.2.** Con líneas rojas se indican zonas de cizalla en el macizo rocoso. Los puntos negros π indican presencia de agua; con la letra b. se indican bloques de arenisca friable hasta de 3 m de diámetro. La doble flecha indica la dirección del movimiento en la parte central del deslizamiento (activo).
- Foto 3.3.** Panorámica del relleno de escombros en el costado Norte de la zona de estudio. Con la letra C se indican 3 bloques de arenisca producto

de una falla en cuña del macizo rocoso; los planos de discontinuidades son: N85E/65SE y N60W/80NE

- Foto 3.4.** Grieta de tracción en zona de falla (parte superior del talud en roca)
- Foto 3.5.** Relleno en zona de falla en el costado sur de la zona de estudio
- Foto 3.6.** El plano de estratificación marcado en la foto corresponde al punto a. de la panorámica (foto 3.3); su orientación es: N65E/40NW
- Foto 3.7.** Las discontinuidades indicadas en la foto representan una caña típica de macizo rocoso (punto b de la foto 3.3)
- Foto 3.8** Caída de bloques en el costado norte del área Sector I-D-2-C₂ se puede observar también el desarrollo de meteorización y erosión de las rocas
- Foto 3.9** Cárcava en zona limítrofe con la cantera Servitá. Ancho 12m, profundidad 7m (sector I-D-2-C₅)
- Foto. 3.10** Erosión en cárcavas en la parte sur del área. Sector I-D-2-b₂
- Foto 3.11a** Grieta de coronación del posible deslizamiento en la zona norte sector I-A-5-b₁ (vista frontal)
- Foto 3.11b** Grietas de coronación del posible deslizamiento en la zona norte sector I-A-5-b₁ (vista lateral)
- Foto 3.12** Composición del material del flujo sector I-A-5f-b₁
- Foto 3.13** Grieta lateral deslizamiento en el sector I-A-3-b₃. 19-01-99

Foto 3.14 Grieta en la corona del deslizamiento en el sector I-A-3-b₃ 19-01-99

Foto 3.15 Desarrollo del proceso de erosión superficial en el área geomecánica I-A-3

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1. Localización del área de estudio
- Figura 1.2. Fotografía del área.
- Figura 1.3. Localización General del Proyecto
- Figura 2.1. Resultados de Ensayos de permeabilidad
- Figura 3.1. Geológica Regional del área Escala 1:5000
- Figura 3.2. Esquema de mecanismos de falla, deslizamiento antiguo derrumbe
- Figura 4.1. Relación entre la probabilidad de Falla y Factor de Seguridad
- Figura 4.2. Relación entre susceptibilidad y Probabilidad de falla
- Figura 4.3. Geometría del talud para falla plana
- Figura 4.4. Falla planar
- Figura 5.1. Esquema metodológico general

RESUMEN

El objetivo general del estudio consiste en realizar la Zonificación de Amenazas y Riesgos por fenómenos de remoción de masa, evaluar su mitigabilidad y elaborar los Diseños detallados de las Obras referidas a la antigua explotación de arenas, ubicada en el barrio Soratama, calle 166A entre carreras 6 y 8.

Para cumplir con el objetivo propuesto se realizaron los estudios pertinentes, consistentes en consulta de información existente, levantamientos topográficos, exploración geológica y geotécnica, ensayos de laboratorio e in-situ y censos de viviendas amenazadas con el propósito de recolectar datos secundarios y primarios para el análisis del caso.

Los estudios detallados permitieron identificar en el área la presencia de tres (3) procesos principales: deslizamientos, caídas de bloques y erosión, los cuales amenazan (24) predios habitados por cien (100) personas aproximadamente.

En la definición del grado de amenaza y el riesgo para la población e infraestructura, se realizó un análisis que comprende:

- Evaluación de susceptibilidad del área a los procesos de remoción en masa.
- Análisis de factores detonadores y cálculos de estabilidad.
- Zonificación de amenaza por cada uno de los procesos latentes.
- Evaluación de susceptibilidad y vulnerabilidad de elementos amenazados.
- Zonificación por vulnerabilidad.
- Evaluación de riesgo con la respectiva zonificación.
- Cálculo de costo esperado por daños.

En el ámbito mundial no existe una metodología única para las evaluaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. En Colombia el mayor aporte en evaluación de amenazas indiscutiblemente corresponde a INGEOMINAS (Rodríguez E, 1998). Aun considerando el avance alcanzado, metodología de evaluación de amenaza debe ser ajustada de acuerdo a las condiciones encontradas y la escala del trabajo, motivo por el cual fue necesario crear un método específico para el presente estudio.

El método empleado se basa en la definición de la susceptibilidad de los elementos del sistema geotécnico, a partir de la cual se determinan los valores de amenaza y vulnerabilidad, con posterior cuantificación del riesgo. Luego de ello, se realizó la zonificación por Amenaza y Riesgo, calculando el costo esperado por daños a elementos estructurales, sin asignar el precio a vidas humanas. En el

área de riesgo alto pueden haber heridos o perder la vida alrededor de 30 personas en caso de un movimiento en masa.

Se analizaron las diferentes alternativas de mitigación y protección del área y se seleccionó la óptima, para la cual se realizó el diseño detallado. Ante todo en la selección de la alternativa se tuvo en cuenta el concepto ambiental, consistente en integración de estructuras proyectadas al paisaje natural.

El diseño contempla las siguientes medidas:

- Manejo de aguas superficiales y subterráneas.
- Excavaciones, rellenos y gaviones para las áreas afectadas por los deslizamientos.
- Tratamiento de taludes rocosos con pernos y malla eslabonada, cubierta por plantas enredaderas, para evitar derrumbes y caídas de bloques.
- Relleno de cárcavas, empradización y arborización para estabilización de taludes y protección del área contra erosión.

El mejoramiento paisajístico consistió en el proyecto de aprovechamiento y mejoramiento del espacio. Se plantearon zonas verdes, caminos peatonales y un parque infantil.

El análisis del beneficio – costo demostró que es viable la inversión para la construcción de obras de mitigación.

En conclusión, los estudios y análisis han demostrado que es posible prevenir los impactos que pueden generar los fenómenos de remoción de masa detonados por un efecto sísmico, con un conjunto de obras, cuyo costo es similar al esperado por daños estructurales. Es necesario resaltar, que es invaluable el beneficio ambiental y la protección de vidas humanas.

1. GENERALIDADES

1.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DEL ESTUDIO

El área de estudio está localizada en el Barrio Soratama de la localidad de Usaquén, ubicada al nororiente de Santafé de Bogotá D.C. El sitio preciso se delimita al sur por la Cantera Servitá, al oriente por la carrera 6, al norte por la calle 166 y al occidente por la carrera 8 (ver figura 1.1 y plano 1).

Las coordenadas del área son:

Norte	116.115	a	116.227
Este	106.475	a	106.610
Cotas	2.688 m.s.n.m.		
	2.727 m.s.n.m.		

Al sitio se llega a través de una vía pavimentada de lineamiento serpenteado (calle 166), con la pendiente hasta del 20%, la cual se deriva de la calzada oriental de la Avenida 7ª. De la Avenida 7ª al sitio estudiado hay una distancia aproximada de 4 km.

El asentamiento urbano ha sido levantado sobre la terraza de una antigua explotación de materiales para construcción.



ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

UNIDAD DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS POPALES
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

**PROYECTO 1.1.1.1. ZONIFICACION DE
RIESGOS EN AREAS INESTABLES
DEL DISTRITO CAPITAL EN BARRIOS
MARGINALES**

**LOCALIZACION GENERAL
BARRIO SORATAMA
FIG. No. 01**

**INVITACION PUBLICA PARA
CONTRATACION DIRECTA
UPES - FOPAE No. 1111-02-98**

CONVENCIONES

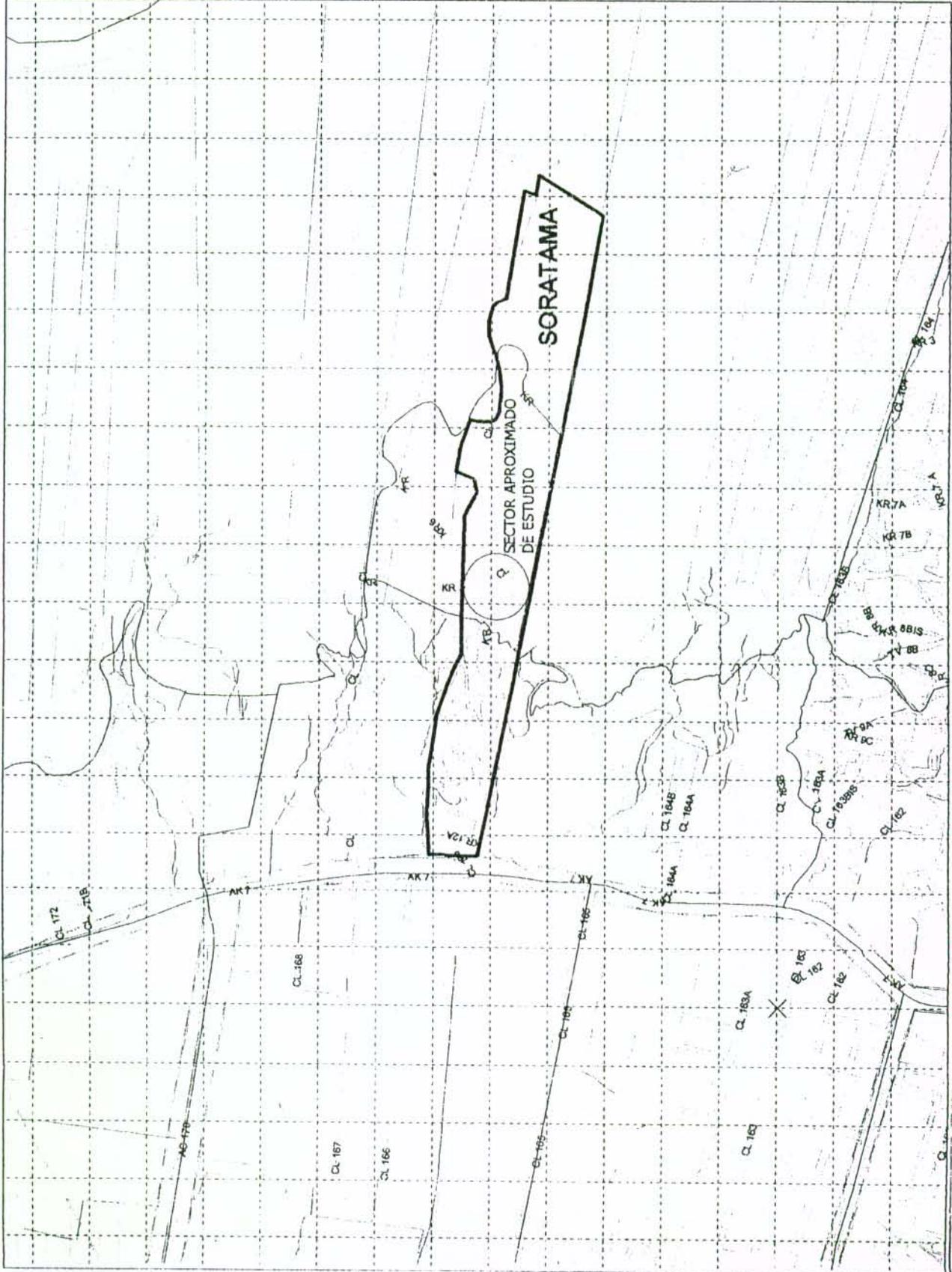
- LIMITE MANZANA
- RED VIAL
- LIMITE BARRIO
- HIDROGRAFIA
- CURVAS DE NIVEL



ESCALA 1:10000

FECHA: NOVIEMBRE 1998

FUENTE: Mapa Digital Departamento
Administrativo de Catastro Distrital. 1991



1.2. ANTECEDENTES

Para conocer los antecedentes de los problemas que aquejan al área de estudio, se acudió a la información existente en los archivos de la UPES e Ingeominas (1995a, 1995b, 1994, 1996, 1998). Igualmente se interrogó a los moradores que residen en el área desde el año 1970 aproximadamente. También se analizó la información cartográfica del IGAC (Plancha F-35 de 1981, elaborada con base en fotografías aéreas del año de 1977) y fotografías aéreas de 1990 (vuelo R1134) en escala 1:5000 (ver Figuras 1.2 y 1.3).

Según el testimonio de los vecinos del área de estudio, antiguamente allí existía una explotación de arenas en dos niveles. El primer nivel corresponde actualmente a la zona ocupada por las viviendas y el segundo aloja los depósitos de derrumbes antiguos y rellenos antrópicos. La diferencia del nivel entre las dos terrazas es de 6 m.

La primera terraza tiene un ancho de 35 a 40 m y antes de urbanizarse estaba abandonada y cubierta por pastos, arbustos y algunos árboles. Esta situación se confirmó con fotografías aéreas del año 1977.

Los vecinos del área también cuentan que la explotación se llevaba a cabo mediante la construcción de socavones (en la parte baja del talud), donde se colocaba el explosivo. Luego, se realizaba la voladura que provocaba el derrumbe de arenisca desintegrada, la cual se acumulaba, tanto en la primera, como en la segunda terraza. La explotación de estas canteras se realizaba con muy poca o ninguna consideración de factores geológicos y ambientales, y con el único afán de obtener la mayor descomposición posible para facilitar la extracción.

Se recurría a voladuras incontroladas, descofinando los macizos muy fracturados y dejando taludes pobremente conformados (1995a) con alturas de 20 m aproximadamente. De esta forma, y después de haber sido suspendida la explotación de canteras por las autoridades distritales, se heredaron las condiciones de inestabilidad creadas por la actividad minera, las cuales, en un corto plazo se reflejaron en los diversos procesos de remoción en masa que actualmente aquejan el área.

Así, en las fotografías aéreas del año 1990 se observan 2 derrumbes. El primero ocurrió en el extremo norte del área de estudio por el desprendimiento o volcamiento de la roca, y afectó la vía de acceso al barrio, la cual fue reubicada. No se tomó ninguna medida para la estabilización de la zona. Según parece, una parte del material desprendido tuvo suficiente espacio para su acomodamiento y no generó riesgo para las viviendas.

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"
CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:

FOTOGRAFIA AEREA

FIGURA:

1.2

FUENTE:

IGAC

PROYECTO:

INGEMETRICA LTDA

INTERVENTORIA

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.C.C. LTDA



FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

Falla Geológica



Area de Estudio

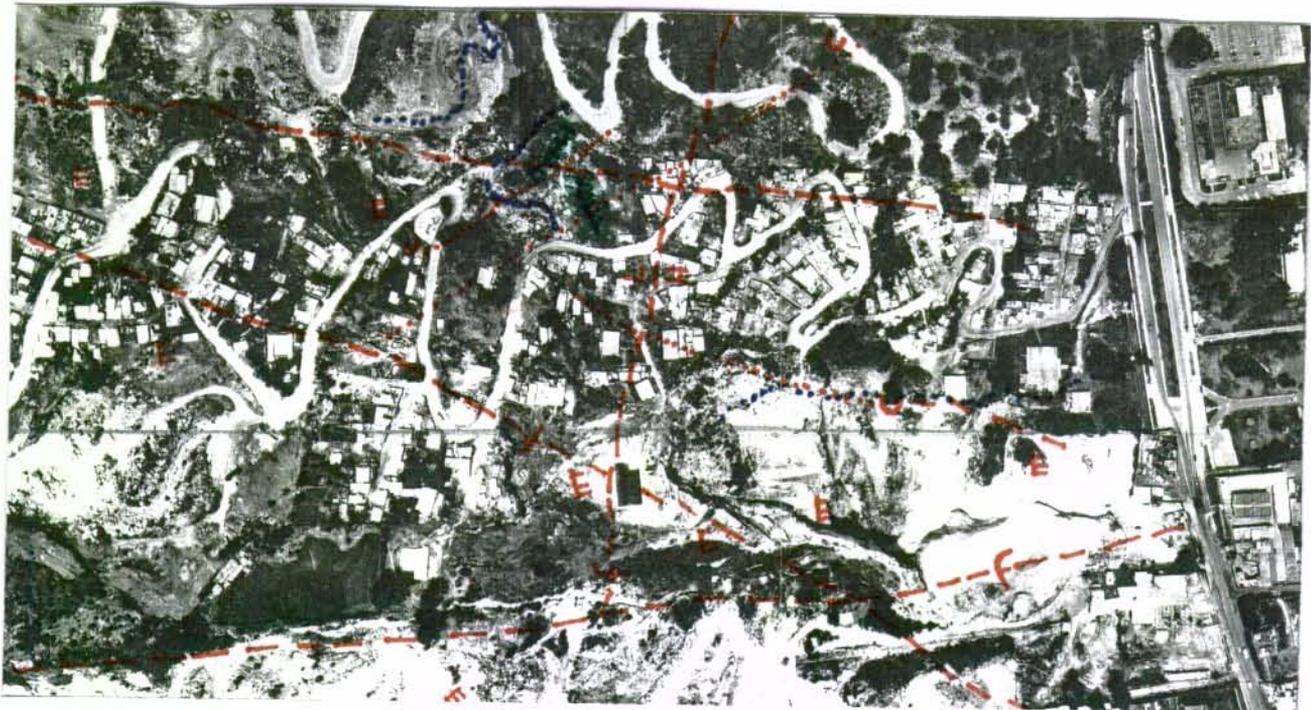


ESCALA

1 : 8000 (aprox.)

FECHA

MARZO DE 1.999



"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"
 CONTRATO No. G-1076-159-98

CONTENIDO:

LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO

FIGURA:

1.3

FUENTE:

- Plancha F.35 (GAC - 1981)

PROYECTO:

INGEMETRICA LTDA

INTERVENTORIA

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
 A.G.C. LTDA



FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C

CONVENCIONES GENERALES

Corriente de agua

Curva de nivel

Area de Estudio

2700

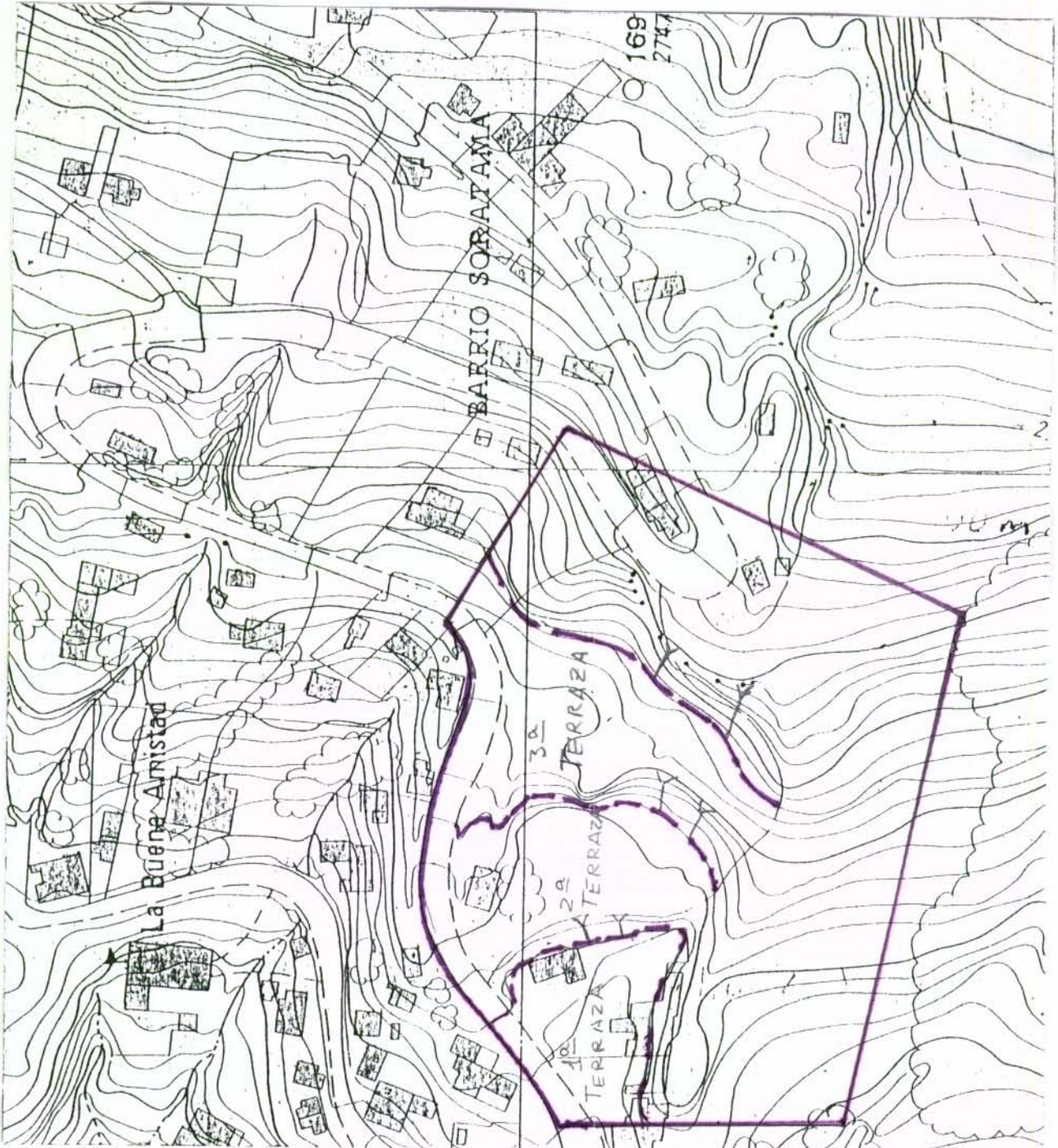
ESCALA



1 : 1500

FECHA

MARZO DE 1.999



El cuerpo del segundo derrumbe se observó en la parte baja de la zona sur del área. Este derrumbe no lo recuerdan los vecinos, pues no causó daños que lamentar.

El mecanismo más probable del movimiento fue el desprendimiento de cuñas de roca, controlada por los planos de estratificación.

Según los moradores, la urbanización del área en riesgo se inició en el año de 1992, cuando el Sr. Carlos Matallana compró el predio y dispuso la preparación del área para el loteo. Con este fin se procedió a efectuar el descapote y el retiro del material derrumbado de la pata del talud, lo que provocó un nuevo desprendimiento de material. Este último se reportó a la UPES, entidad que ordenó su investigación (1994). De acuerdo al concepto No. 25, en el cual se incluye la foto tomada el día 13 de enero de 1994, se evidenció un desprendimiento de roca que provocó el avance del borde del escarpe oriental en unos 10 a 15 m en el sentido horizontal, y que derribó los apoyos de una construcción (tanque de agua), y dejó al descubierto el tubo del alcantarillado (ver foto 1.1).

En el concepto mencionado, la zona se caracterizó como de alto riesgo para la vivienda ubicada en la parte alta del talud, por deslizamientos potenciales y activos en coluvión, flujos de tierra y reptación de suelos.

En el concepto técnico de UPES se recomendó:

- Construir el alcantarillado
- Pavimentar la vía
- Manejar las aguas
- Realizar un control de asentamiento urbano
- Evitar la superpoblación

Ninguna de estas recomendaciones se ha implementado hasta la fecha.

Otro llamado de atención sobre la inestabilidad del área se produjo luego de unos movimientos en masa en áreas vecinas del Barrio Soratama los días 13 y 20 de abril del año de 1995, los cuales ocasionaron la muerte de 5 personas.

En el informe de visita de emergencia (Ingeominas, 1995a) y en la evaluación de los sitios críticos (Ingeominas, 1995b) se mencionaron y se presentaron fotos de dos zonas inestables y de una cárcava profunda en límites del área asignada para el presente estudio. De manera preliminar se estableció que la primera zona,

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN



Foto 1.1. (13 de enero 1994) Barrio Soratama, Cra 7ª con calle 166B. Zona inestable en la parte sur del área del estudio. Concepto Técnico No. 25 De UPES: - Deslizamientos activos y potenciales en coluviones, rocas, talus, flujos de tierra y reptación de suelos - Geologo Alberto Rincón, Ing. Civil Agustín Calderón Navarro.

ubicada al norte, es la más antigua y estable. Esta se encuentra conformada por grandes bloques de arenisca con diámetros mayores a 2 m y una matriz arenosa.

La segunda zona, ubicada al sur, correspondía al movimiento más reciente y de mayor tamaño. Se dice, que éste ocurrió sobre un talud de 20 m de altura y movilizó aproximadamente 120 metros cúbicos de material, con un avance de 50 m.

El factor detonante se atribuyó a las fugas de agua de la alcantarilla ubicada sobre la cresta del talud fallado, también se consideró la posible influencia del agua de infiltración de un desarenador de la cantera Servitá. Según el análisis de estabilidad cinemática realizado por Ingeominas, los tipos de ruptura más probables fueron: *"en cuña formada por los sistemas de diaclasas orientados 25/90 y 20/21 sobre el talud paralelo a la vía; y planar, sobre las diaclasas 25/90, cuando estas pierden confinamiento en la base o parte inferior del talud."*

Los estudios de Ingeominas fueron efectuados al nivel de diagnóstico de sitios críticos, con el fin de recomendar medidas y obras de contingencia para el manejo de dichas zonas a corto plazo. De esta manera, para la zona inestable y la cárcava paralela al escarpe, ubicados al sur del área, se recomendó (ver Anexo: Antecedentes):

- *" Demoler o retirar los grandes bloques movidos*
- *Escalonar el talud con un ángulo menor o igual al que posee actualmente el depósito de ladera (35°), dejando bermas intermedias, si fuese necesario.*
- *Construir en la parte inferior del talud un pequeño muro de gaviones, anclados como mínimo a 1 m bajo el nivel actual del terreno.*
- *A lo largo de la parte alta del talud se debe construir una zanja o cuneta que recoja y conduzca los aguas de escorrentía.*
- *Se debe recuperar la cárcava como un canal de conducción de agua, mediante la colocación de un tubo ($d > 20$ cm) sobre la base en piedra pegada o concreto sobre una lechada de cemento, y la construcción de barreras en piedra.*
- *En caso de la cárcava con un salto profundo, se recomendó construir una estructura disipadora de energía y una barrera en piedra pegada para la retención de sedimentos con un tubo de drenaje ($d > 20$ cm) en la base para el drenaje.*

- *Cerrar el drenaje encausado por el alcantarillado y desviarlo de forma adecuada hacia el drenaje de la cantera Servitá o hacia la cárcava, cuando esté conformado para tal fin.*
- *Sobre el escarpe rocoso eliminar los salientes o bloques colgados, los cuales son potencialmente inestables.*
- *Revegetación de los taludes.*
- *Reubicación de las viviendas adyacentes a los taludes.” (En la fecha de edición de los informes en el área ya existían viviendas, pero no se hizo su descripción).*

Todas estas recomendaciones correspondieron a la zona sur del área. Ninguna de las anteriores medidas fueron implementadas.

El 9 de junio de 1996, la UPES elaboró otro Concepto Técnico (No. 1836) sobre los problemas de los desprendimientos de bloques. En este concepto se recomendó *“Excluir las casas demarcadas de la legalización. Realizar obras de mitigación en sitios afectados por derrumbes. Realizar estudios de suelos.”*

Desde la fecha anterior, y hasta el momento, no se dispone de más información sobre el área de estudio, ni tampoco se han realizado las obras de mitigación. En parte, y tal vez, porque no se han presentado problemas graves.

En agosto de 1998 se terminó la pavimentación de la vía principal de acceso al barrio Soratama con sus respectivas obras de manejo ambiental, que indirectamente favorecieron la estabilidad del área, tal como la construcción de la cuneta para recolección de aguas lluvias en la vía pavimentada que pasa por la parte superior de la zona norte.

Por otro lado, los constructores de la vía utilizaron la zona norte del área (zona del derrumbe) como botadero del material sobrante de la excavación. El método de disposición aplicado fue el denominado “ladera abajo”, mediante el cual se conformó el talud actual. La recuperación del área se hizo mediante la siembra de semillas de pasto y algunos arbustos, los cuales se han conservado parcialmente en la parte periférica del talud. Actualmente, el cuerpo del botadero presenta grietas de tracción en la parte superior, y una corona de deslizamiento con un escarpe de aproximadamente 1m de altura.

Los habitantes del barrio, construido en la terraza baja de la antigua cantera, sostienen que desde que ellos viven allí, solo han sentido molestias por caídas de pequeñas piedras y arrastre de arenas por aguas de escorrentía superficial. En el

caso de sentirse amenazada, la gente rompe y desmenuza los bloques grandes que aparentan ser peligrosos.

Por otro lado, las personas que habitan la parte superior del área de estudio y transitan a diario por los caminos peatonales ubicados en las zonas inestables, tienen la posibilidad de observar el desarrollo de las grietas y cuentan que los movimientos del terreno han sido lentos y que no perciben ningún peligro.

Lo anteriormente expuesto aportó conocimientos para comprender la problemática que aqueja el área de estudio y descubrir las posibles causas de los procesos actuales.

Las conclusiones que generó el estudio de los antecedentes son las siguientes:

1. El área corresponde a antiguos escarpes de explotación de arenas a cielo abierto.
2. Los fenómenos de remoción en masa que se presentan en el área son: deslizamientos, caída de bloques y derrumbes (movimiento gravitacional con desintegración de la masa rocosa por discontinuidades).
3. Las caídas de bloques y derrumbes se relacionan con los escarpes de los macizos rocosos fracturados, dejados por la explotación de canteras.
4. En el área se han presentado 3 derrumbes del material rocoso altamente fracturado, con los siguientes mecanismos probables de falla: por volcamiento, en cuña, planar o por la combinación de los anteriores. En la zona norte hubo un derrumbe y en la zona sur dos, durante el período de tiempo comprendido entre aproximadamente 1990 y 1994.
5. La causa principal de los procesos anteriores fue la actividad antrópica.
6. La urbanización de la cantera abandonada se inició físicamente en el año 1993; y de las dos terrazas existentes, solo se ocupó la primera terraza, debido a que la segunda terraza aloja el material derrumbado y sirve como botadero de escombros.
7. Los materiales del derrumbe de la zona norte están cubiertos por rellenos antrópicos provenientes de la construcción de la vía.
8. Otro fenómeno que aqueja el área es la erosión severa por aguas de lluvias en forma difusa, en surcos y cárcavas por mal manejo de escorrentía superficial.

9. Los movimientos hasta ahora registrados, aparentemente, no tienen relación con fenómenos sísmicos.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Tal como se pudo observar en el capítulo anterior, en el área de estudio hay varios tipos de problemas. El diagnóstico preliminar, realizado con base en el análisis de la información disponible y visitas al terreno, permitió definir los problemas que aquejan el área con el fin de seleccionar los métodos más adecuados para su investigación.

Estos problemas, en orden de su magnitud, son:

- Posibilidad de aceleración del movimiento de una zona inestable en la parte sur del área conformada por una masa de bloques desintegrados de hasta 5 m de diámetro, en una matriz areno - arcillosa - gravosa, producto del antiguo desprendimiento del macizo rocoso (ver foto 1.1). El deslizamiento está activo, y presenta grietas de tracción abiertas de 10 cm a 20 cm en la parte alta e intermedia. Esta zona puede presentar varias superficies de falla que desintegran la masa principal; y amenaza las viviendas ubicadas en la parte baja del talud. El escarpe de la corona de deslizamiento tiene una altura entre 1.8 y 2.1 m. La inclinación de la superficie de falla principal en la parte superior varía de 66° a 55° , disminuyendo en el sentido de la pendiente.
- Posibilidad de aceleración de un deslizamiento en la parte norte del área, conformada por materiales de antiguo derrumbe, y compuesta por bloques de arenisca hasta de 2 m de diámetro en una matriz de arenas y gravas, y recubierta por depósitos antrópicos de composición variable, con un gran contenido de material orgánico (ver foto 1.2).

Actualmente, presenta grietas de tracción abiertas hasta 10 cm de ancho, y con un escarpe de 1 m. La superficie de falla tiene una inclinación de 52° en la parte superior del talud, observándose fácilmente en el apique 1 por el cambio de la coloración de los materiales ubicados por debajo y por encima de la misma. Es un deslizamiento activo, caracterizado por movimiento muy lento; y no amenaza ninguna vivienda, pero puede obstruir la vía principal de acceso al barrio, derribar los postes de luz y, en un caso fortuito, causar la muerte a personas,

especialmente a niños que han utilizado el área plana en la pata del talud como zona de recreación.

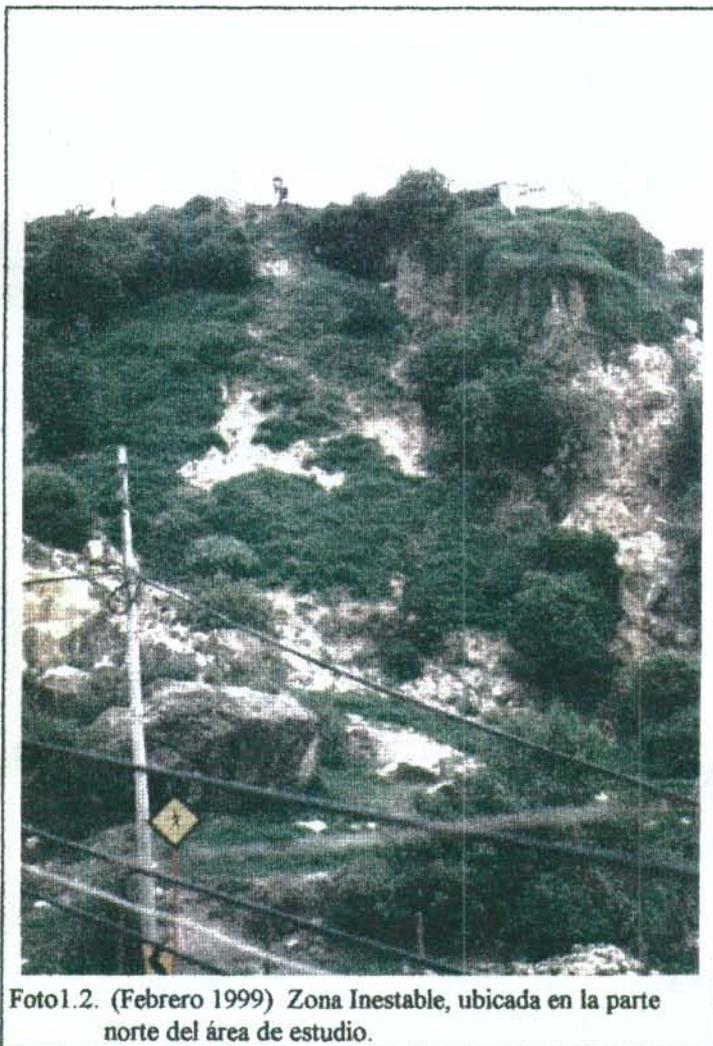


Foto 1.2. (Febrero 1999) Zona Inestable, ubicada en la parte norte del área de estudio.

- Posibilidad de caída o volcamiento de bloques desde el escarpe rocoso fracturado, conformado por arenisca con lentes de arcillolita. La altura del escarpe varía entre 2 y 20 m con inclinación entre 60° y 80° ; representando una amenaza para las viviendas ubicadas al pie del talud. (ver foto 1.3)
- Expansión de la cárcava paralela al talud sur y la generación de inestabilidad en el escarpe vecino a algunas viviendas. También puede generar la afectación de las viviendas empotradas en la roca.

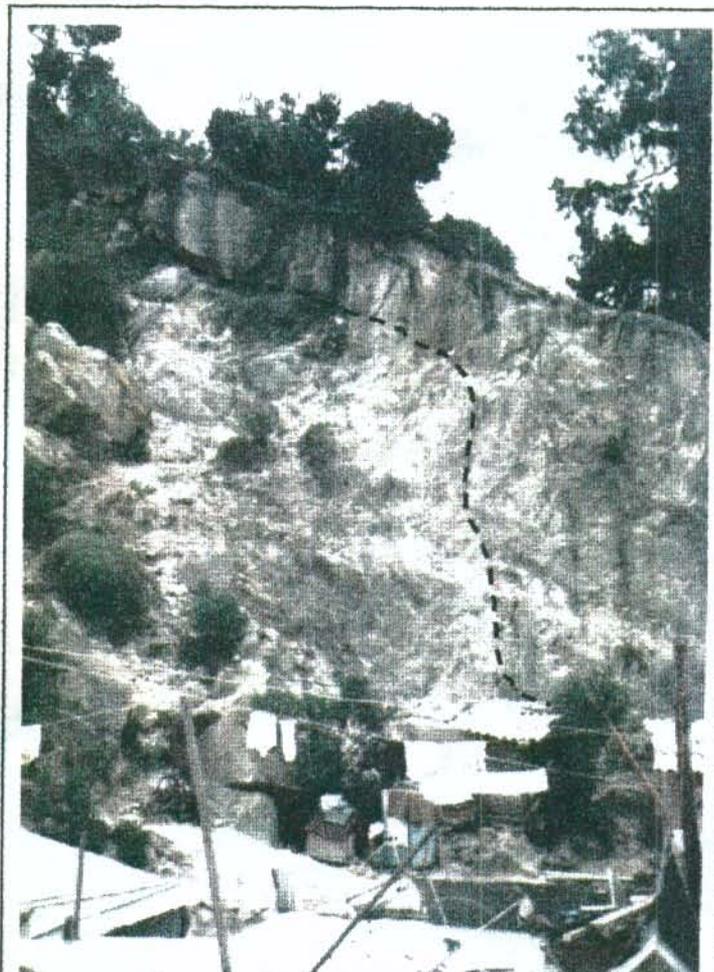


Foto 1.3. Costado sur del deslizamiento activo; la línea punteada separa el material in-situ (Areniscas friables con delgados intercalones de arcillolita) del material colapsado (depósito coluvial)

- Erosión de los taludes desprovistos de vegetación, arrastre de material suelto e inundación con lodo de las calles y viviendas próximas al talud, a una distancia que oscila entre 50 y 80 m hacia abajo.

2. TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS

2.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico se realizó con una estación SOKKIA, la cual posee una precisión de 5 segundos. El amarre a la coordenadas del IGAC se hizo con base en los dos puntos ubicados en el separador de la Avenida 7 con calle 170 (ver anexo 3).

El levantamiento topográfico fue precedido de una visita conjunta al terreno, por parte de especialistas en geología, geotecnia y topografía, donde se definieron los puntos a tomar tales como los accidentes topográficos, coronas de deslizamientos, viviendas, etc.

El procesamiento de la información fue como sigue:

Surface Modeling	VER 12
Precisión Altimetría	1 / 200
Factor de Suavizado	35
Factor Polinomial	10
Grilla Rectangular	3
Precisión de la Poligonal	1 / 20269. ⁹¹
Edición Topográfica Final	AUTOCAD 14
Método de Interpolación	Triangulación trigonométrica con control de lados a los 25 metros

2.2. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

Los siguientes son los trabajos realizados durante la etapa de la exploración geológica:

2.2.1 Toma de datos estructurales

Esta labor de campo consistió en el levantamiento de los rasgos estructurales correspondientes, tales como: planos de estratificación, zonas de cizallamiento, diaclasas maestras o principales, diaclasas no persistentes junto con sus características principales: continuidad, espaciamiento, apertura, relleno y rugosidad (ver anexo 1). Los datos se recolectaron por separado para cada uno de los frentes de los taludes en roca, con el fin de proceder al análisis cinemático preliminar de estabilidad del macizo rocoso de una manera individual para cada talud. En el plano geológico a escala 1:250 del Anexo 10 se indican los planos más relevantes de estratificación y de las discontinuidades, junto con la dirección de los taludes analizados.

En el cuadro 3.2 del numeral 3.2.3 de este volumen se presenta el análisis de los datos estructurales.

2.2.2 Levantamiento de Columnas estratigráficas

Con el propósito de obtener la información que permitiera elaborar los perfiles estratigráficos, identificar zonas de cizallamiento y plantear los posibles mecanismos de falla de los depósitos que conforman las zonas inestables, se realizó el levantamiento detallado de las columnas litológicas de los escarpes rocosos. Esta labor se llevó a cabo en forma simultánea con la toma de los datos estructurales.

La Columna Sur (ver anexo 2) es la que permite un mejor seguimiento de la estratificación, debido a que el macizo en roca fresca permite una mejor identificación de los estratos o niveles de roca. Las rocas de la parte central del área donde se levantó la Columna Central evidencian un grado mayor de meteorización y alteración. Pese a las dificultades para la identificación de los planos de estratificación en el sector norte, se logró el levantamiento total de la sección litológica.

Con base en el análisis de la correlación litoestratigráfica de las tres (3) secciones levantadas: sector norte, sector central y sector sur del área respectivamente, se obtuvieron los siguientes resultados(ver Plano 2 del Anexo 10):

- Existe una buena correlación litológica entre los estratos rocosos que conforman cada una de las columnas. En general, el espesor de los estratos se mantiene de una columna a otra, con algunas excepciones hacia las zonas del cizallamiento, donde se reducen los espesores.
- La posición estratigráfica más elevada de la sección central permite confirmar la existencia de zonas de cizallamiento (fallamiento geológico local) de tipo inverso con desplazamientos relativamente bajos (< 1m).
- Existen varios niveles de arcillolitas de poco espesor (< 0.8m), que son considerados como niveles guía y constituyen posiblemente las superficies potenciales de las fallas de tipo planar, debido a sus características geomecánicas desfavorables en comparación con las de estratos suprayacentes e infrayacentes (areniscas) y el buzamiento de la estratificación en el mismo sentido de la pendiente del terreno.

2.2.3 Ejecución de Apiques

Como una primera fase de la exploración del subsuelo en las zonas consideradas como inestables (zona norte y zona sur), se hicieron dos apiques en cada una (ver ubicación en el plano y los perfiles geológicos a escala 1:250).

El apique 1 se efectuó en la corona y superficie de falla del deslizamiento que involucra materiales antrópicos; con profundidad de exploración de 3.5 m. El apique 4 se hizo en la misma masa, y también se exploró hasta una profundidad de 3.5 m (ver fotos y registro de apiques en el anexo 3). Se aclara que en el apique 1 se encontró roca (arenisca) a los 3 m de profundidad, en su costado Este. Esta arenisca hace parte del eskarpe rocoso que conformaba el talud antes de que se depositaran los materiales que actualmente se consideran como potencialmente inestables.

El apique 2 se realizó en la corona y la superficie de falla del deslizamiento que involucra materiales de tipo coluvial, con profundidad total de 4.8 m. Se encontró

roca en su costado Este. El apique 3 se realizó hacia la parte baja de la zona sur y se exploró hasta una profundidad de 4.2 m.

Así como se puede apreciar en los registros de los apiques, su excavación se realizó manualmente (con barra de acero y pala) hasta una profundidad media de 3 m; y de esta profundidad hacia abajo se avanzó mediante barreno manual, aprovechando la naturaleza blanda de los materiales que conforman los depósitos. Por medio de los apiques 3 y 4 se pretendía explorar hasta la superficie de falla, lo cual no se logró, debido a que se localizaron sobre espesores relativamente grandes de los depósitos.

En cada uno de los apiques se tomaron muestras "inalteradas" de bloque y de tubo Shelby y muestras alteradas (en bolsas), con el fin de caracterizar la matriz de los depósitos y realizar ensayos de laboratorio para determinar las propiedades geomecánicas de materiales en los depósitos y en la superficie de falla, que sí se encontró en los apiques 1 y 2.

2.3 Exploración Geoeléctrica

Se realizaron líneas geoeléctricas con el fin de determinar el espesor de los materiales y la profundidad hasta la interfase depósito - roca (ver Anexo 4).

Con base en los resultados de los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados sobre cada una de las zonas de interés, se estableció que la roca in-situ está localizada a poca profundidad (< 2m) en los bordes de los taludes preexistentes. Estos resultados generaron ciertas dudas y fue necesario llevar a cabo un control de campo, con el fin de corroborar el espesor de los depósitos sobre los puntos en los cuales se realizaron los SEV 2 y 3 y que corresponden a las zonas Sur y Norte respectivamente.

En consecuencia, el 13 de Marzo se realizó una trinchera en el costado Norte de la zona Sur, donde se localizó la línea geoeléctrica correspondiente al SEV 2. En esta excavación se encontró un nivel de arenisca a 0.8 m de profundidad, el cual fue seguido por una distancia aproximada de 4m paralela a la cara del talud. También se identificó la zona de cizallamiento que pone en contacto el estrato de arenisca con un nivel de arcillolita que aflora en la parte superior del talud rocoso inmediatamente al Norte de la zona Sur (ver foto 2.1)



Foto 2.1 Zona de cizallamiento, descubierta en la trinchera, en el costado Norte de la zona Sur

De igual manera, en la zona Norte se realizó un sondeo mecánico con barreno manual hasta 2.8 m de profundidad, sobre la línea geoelectrica del SEV 3, y se encontró un nivel arenoso que corresponde al material de depósito de ladera que yace concordantemente sobre el macizo rocoso. A su vez el nivel arenoso constituye la superficie potencial de falla por donde se podrían deslizar los materiales que conforman el relleno antrópico.

Se debe anotar, que el contacto Relleno Antrópico - Material Arenoso puede ser determinado mediante la interpretación de la exploración geoelectrica, pero que es difícil de establecer el contacto del material arenoso (depósito de pendiente) con la roca in-situ, debido a que las resistividades de los materiales son muy similares.

En conclusión, mediante la realización de la trinchera (zona Sur) y el sondeo mecánico (zona Norte) se logró ajustar la interfase Depósito - Roca (ver perfiles geológicos en anexo 10)

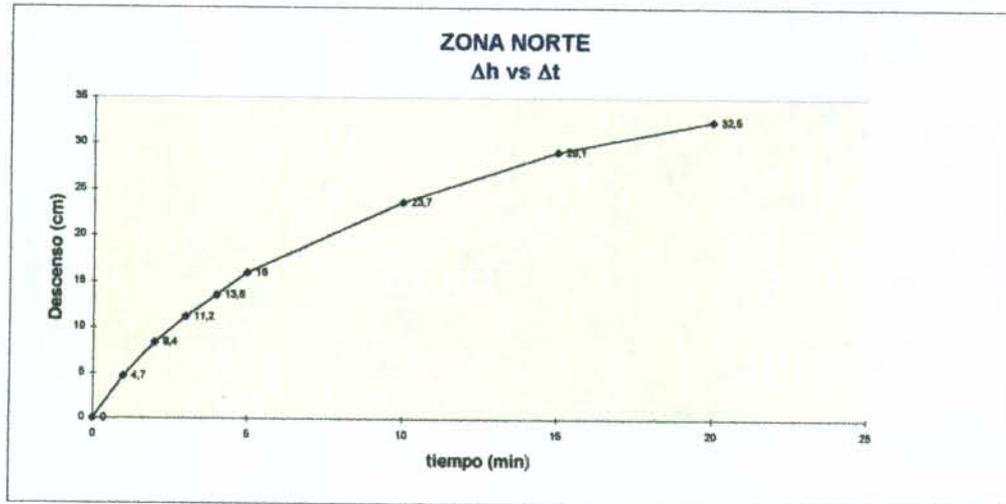
2.4. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Se realizaron ensayos de permeabilidad en la zonas Norte sobre los depósitos antrópicos y Sur sobre los depósitos de la pendiente, la cara de los taludes inestables, para conocer la cantidad de agua que estos materiales pueden dejar fluir en un tiempo dado. Se utilizó el exprés - método, consistente en observación sobre el descenso del nivel de agua dentro de un tubo empotrado en el material filtrante (ver foto 2.2).

Los valores registrados se presentan en la figura 2.1, con base en los cuales se realizó el cálculo de permeabilidad, obteniéndose los valores de permeabilidad de 22 m/día y 32 m/día para los rellenos y depósitos de pendiente, respectivamente, clasificados como muy permeables.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Altura (cm)	Tiempo (min)
0	0
1	4,7
2	8,4
3	11,2
4	13,6
5	16
10	23,7
15	29,1
20	32,5



Altura (cm)	Tiempo (min)
0	0
0,5	5,6
1	9
2	12,5
3	15,3
4	17,8
5	19,7
6	22,1
7	23,6
8	25
9	26,3
10	27,4
11	28,8
12	30,2

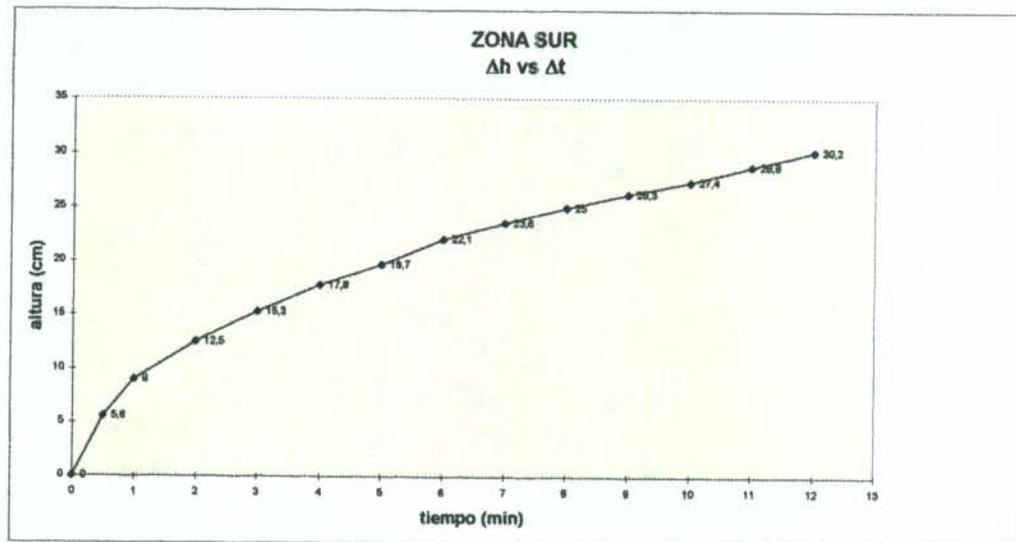
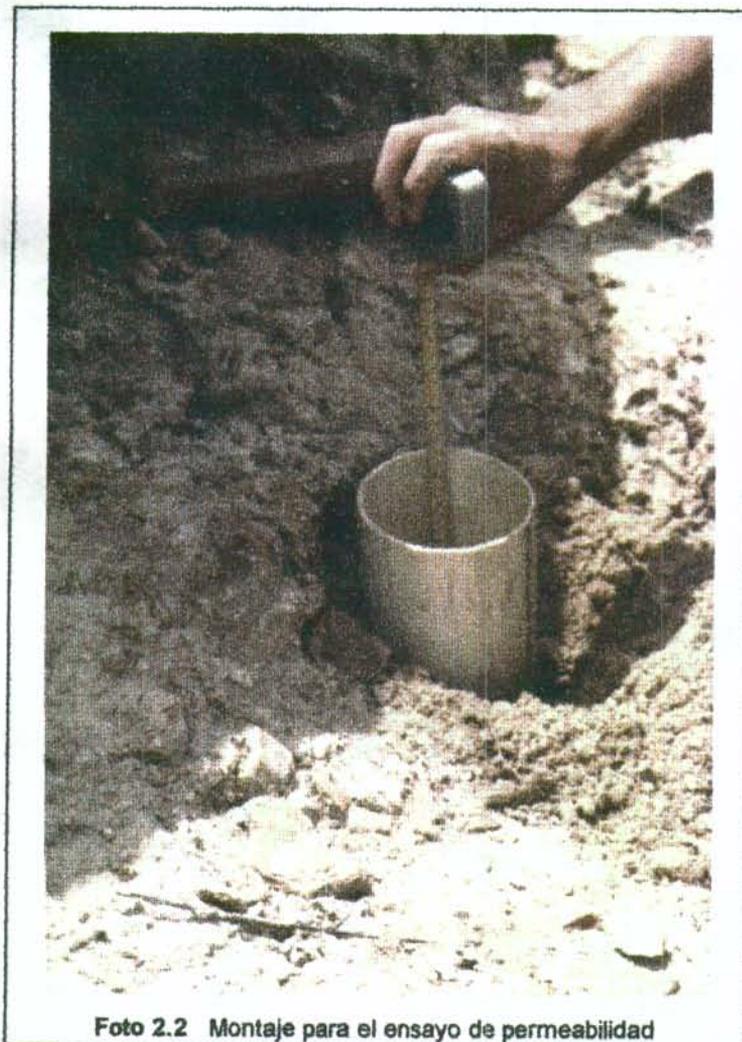


Figura 2.1. Resultados de ensayos de permeabilidad



2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO

Sobre las muestras extraídas de los apiques y sondeos manuales se realizaron los siguientes tipos de ensayos de laboratorio:

- Límites de consistencia
- Granulometría

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

- Humedad natural
- Peso unitario
- Parámetros de resistencia al corte:
c y ϕ

Los resultados de los ensayos se pueden ver en el anexo 5 y en el Cuadro 2.1, donde se presenta su resumen.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 2.1. Resultados de ensayos de laboratorio

Aplique N°	Muestra	Profundidad, m	Descripción Visual	Clasificación	Humedad, %	Peso Unitario T/m ³	Angulo de Fricción, grad.	Cohesión kg/cm ²	Observaciones
1	1	1.4 - 1.8	Relleno antrópico, Contacto fallado entre limo orgánico negro y limo arenoso carmelito con fragmentos de materiales de tamaño de grava	U.S.C.S. CL, Arcilla limosa con arena fina y gravas, color carmelito claro con vetas negras.	10.7 LL = 19.8 LP = 12.8 IP = 7.0	1.75	34	0.05	Superficie de falla (TSH)
1	2	1.8 - 2.20	Relleno antrópico Limo orgánico negro, mezclado con la capa vegetal	Arena multigranular (G20, M30, F10) con gravas (20%) y limo orgánico (20%)	8.4				Por debajo de la superficie de la falla (bolsa)
1	3	3.0 - 3.4	Relleno antrópico. Limo orgánico negro, contaminado con materiales de construcción		9.0	1.846			Por debajo de la superficie de la falla (TSH)
2	3	2.8 - 3.2	Arena, arcilla, gravas, material orgánico	Limo arcilloso con arena y grava, de color amarillo claro y tonos blancos	21.7	2.045	37	0.15	Plano de falla, (TSH)
3	2	1.6 - 1.9	Arcillita gris clara con tonos rojizos		21.2	1.974	18	0.12	Muestra inalterada, en bloque, por debajo del plano de falla
3	3	3.6 - 4.0	Arena gruesa amarilla con gravas	Arena multigranular (G25, M30, F20) con gravas (5%) y limo orgánico (20%)	9.2				Muestra por recuperación con barrenado manual (en bolsa)
3	4	4.0 - 4.2	Arena gruesa amarilla con gravas	Arena fina a media, arcillosa (F35, M30, G20, CL15)	9.6				Muestra por recuperación con barrenado manual (en bolsa)
4	2	2.2 - 2.6	Relleno antrópico. Limo orgánico negro, con arena fina y material de construcción		21.6	1.807			Muestra recuperada con (TSH), por encima de la superficie de la falla
4	3	3.0 - 3.30	Limo arenoso con gravas, carmelito oscuro de compactación media a alta	GC, Grava en matriz areno - arcillosa	8.8 LL = 25.9 LP = 14.6 IP = 11.3				Muestra en bloque por debajo de la superficie de falla

LL: Límite Líquido
LP: Límite Plástico
IP: Índice Plasticidad

3. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA GENERAL

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METODOLOGÍA

Los objetivos de la caracterización geológica y geotécnica del área de estudio son los siguientes:

- a) Elaborar un mapa geoestructural regional y uno local en escalas 1:5000 y 1:250 respectivamente.
- b) Clasificar las unidades litológicas por fracturamiento, condiciones hidrogeológicas, y propiedades físico - mecánicas.
- c) Efectuar una zonificación de áreas homogéneas por características geomécanicas.
- d) Elaborar un modelo geotécnico.
- e) Identificar y predecir los procesos geodinámicos.
- f) Definir las susceptibilidades de las áreas homogéneas a los procesos de remoción en masa.

La caracterización geológica y geotécnica del área de estudio se hizo a partir de información secundaria, fotointerpretación y la exploración geológica, geoeléctrica y geotécnica directa.

La zonificación de áreas homogéneas se efectuó con base en el mapa geológico, utilizando la metodología desarrollada por Tchomodanova V. (1998), la cual partiendo de la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG, 1976) emplea un sistema matricial de evaluación de la susceptibilidad.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS Y LOS DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

3.2.1. Geología, Geomorfología y Geotecnia Regional

La descripción regional corresponde al cuadrángulo delimitado por las coordenadas: N116.000 - N117.000 y E106.000 - E107.000 (ver figura 3.1). Como base se tomó el plano elaborado por INGEOCIM Ltda. (1998), el cual se modificó con base en la interpretación de las fotografías aéreas (vuelo R1131, fotos No. 620 a 622, de 1990). Esta modificación se presenta más adelante (3.2.1.2).

3.2.1.1. Litología Regional

El barrio Soratama de la Localidad de Usaquén, está ubicado geológicamente en el flanco occidental del Anticlinal fallado de Bogotá, el cual está constituido por rocas del Grupo Guadalupe de edad Cretácea.

Las rocas del Grupo Guadalupe que afloran en el sector de Soratama corresponden a las formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna. Su descripción es como sigue:

Formación Arenisca Labor. Ksgl - Areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, y en la parte inferior son de grano fino, arcillosas, grisáceas a blancas, en bancos gruesos separados por capas finas de arcillolitas blancas. La parte intermedia de la formación consiste en la intercalación de estratos de igual espesor entre areniscas, lodolitas y arcillolitas. Las areniscas son arcillosas de grano fino a medio, y de color blanco y pardo amarillento. En la parte superior, las areniscas son arcillosas con estratificación gruesa y compactación variable, de color blanco a pardo amarillento, y de grano medio a grueso.

La Formación Arenisca Labor termina en un horizonte de espesor variable (20 - 40 m) con una interestratificación muy fina entre areniscas, lodolitas y arcillolitas con colores grises, gris violáceo a amarillento. En total, la formación presenta un espesor aproximado de 180 m y sus areniscas son utilizadas para enchapes de edificios y otros propósitos constructivos.

Formación Arenisca Tierna (Ksgt) - Areniscas de grano grueso a conglomerático, con intercalaciones delgadas de lodolita, limolita y arcillolitas.

El 90% de estas areniscas son de grano grueso a muy grueso y aún conglomerático, que se presenta en bancos potentes separados por estratos delgados de lodolitas, limolitas y arcillolitas (10%).

Las características predominantes de estas areniscas son:

- Su estratificación es cruzada.
- Son arcillosas.
- Su grado de compactación es variable.
- Su color es pardo amarillento a blanco, y a veces rojizo por los óxidos de hierro, y son moteadas.
- Son ortocuarcíticas con matriz caolinítica lo cual las hace friables.
- Son estructuras sedimentarias.
- Su espesor varía de 50 a 90 m.
- Son utilizadas como material de construcción y en la industria del vidrio.

Las dos formaciones (Labor y Tierna) se pueden diferenciar claramente en las fotografías aéreas, debido a que presentan propiedades geomecánicas diferentes, entre otras: la mayor resistencia a la compresión de la Arenisca de Labor; el tamaño de grano más grueso de la Arenisca Tierna; la menor susceptibilidad a la erosión de la Arenisca de Labor; la cual es menos friable que la Arenisca Tierna y contiene menos niveles de arcillolitas en sus interbancos.

Algunas de las propiedades geomecánicas de las areniscas que conforman estas dos formaciones (Labor y Tierna) se presentan en el cuadro 3.1.

En el área de estudio estas dos areniscas se evidencian a través de un contacto fallado y alineado en dirección NE aguas abajo de la zona inestable de Soratama (ver plano geológico a escala 1:5000 de la figura 3.1).

Los suelos residuales de 0.3 a 1.5 m de espesor se originan a partir de las formaciones rocosas ya mencionadas, y son el producto de su meteorización física. En las partes con una menor pendiente se conservan los depósitos de pendiente: coluviones (Qdlc) y talus (Qdlt). Los coluviones corresponden a los depósitos

transportados (deslizamientos, derrumbes) y matriz - soportados. Los talus se forman como producto de la acumulación de fragmentos grandes de roca con matriz escasa, en la pata de los taludes escarpados. Hacia la Avenida 7 y entre las calles 165 y 170, existe un depósito de bloques y cantos rodados de roca, embebidos en una matriz arenolimososa, el cual se ha denominado como Terraza Alta de la Formación Sabana.

Cuadro 3.1. Propiedades geomecánicas de las areniscas (INGEOCIM LTDA, 1998).

ARENISCA	R_c	R_t	E_e	γ	Gs	Ab	ID
Labor (Ksgl)	510	60	1.538×10^5	2.18	2.54	7.17	96.65
Tierna (Ksgl)	273	31.3	1×10^5	2.05	2.43	8	90.17

Donde :

- R_c = Resistencia a la compresión simple. (Kg/cm^2)
- R_t = Resistencia a la tracción (Kg/cm^2)
- E_e = Módulo de Elasticidad (Kg/cm^2)
- γ = Peso unitario (gr/cm^3)
- Gs = Peso específico de sólidos
- Ab = % Absorción
- ID = Índice de durabilidad

3.2.1.2. Geología Estructural Regional

Las geoestructuras adyacentes al área de estudio hacen parte del flanco occidental del Anticlinal Fallado de Bogotá y presentan una dirección preferencial N-S. En general, este anticlinal está afectado por fallas longitudinales y transversales, las cuales provocan frecuentes inversiones y, además está acompañada por fallas paralelas a su alineamiento.

El Anticlinal de Bogotá en la Localidad de Usaquén presenta una bóveda completa con cresta plana y está conformado exclusivamente por las areniscas de Labor y Tierna del Grupo Guadalupe. La falla Mirador (dirección NE-SW) atraviesa el eje de este anticlinal en la parte occidental del barrio Soratama.

De otra parte, y tal como se observa en las fotografías aéreas interpretadas especialmente para el presente proyecto (ver figura 1.2), se evidencian lineamientos de fallas geológicas con dirección NW-SE, los cuales son paralelos a los rumbos de la familia de fallas La Cuchilla, Usaquén y El Chicó. Estas fallas son las responsables de los desplazamientos de los cerros que tienen lugar en esa zona y de algunas estructuras geológicas con dirección N-S y NE-SW.

La Falla de Soratama corresponde a una de las estructuras con dirección NW-SE, la cual se observa como un lineamiento en la fotografía aérea. Se aclara que esta falla transcurre justamente por el costado sur del área problema objeto del presente estudio.

"La deformación NW-SE sólo se expresa como flexiones de pliegues, fallas y principalmente por discontinuidades en la topografía. Ellos son sensiblemente paralelos, su dirección fluctúa entre N 45° - 55° W y pueden alcanzar los 1.200 kilómetros de longitud como en el caso del Lineamiento Bogotá". (Ujueta 1991)

También son frecuentes las estructuras menores de dirección NE-SW en zonas de tensión. Entre estas se encuentra el lineamiento de falla que separa las formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna en el sector de Soratama. Paralelamente a este lineamiento existen zonas perturbadas en los macizos rocosos a las cuales se les ha denominado como zonas de cizallamiento, las cuales pueden estar controladas por planos de diaclasamiento de las masas rocosas.

Las estructuras geológicas mencionadas anteriormente son un reflejo de la tectónica presente en la Localidad de Usaquén, donde se localiza el barrio Soratama objeto del presente estudio. El diaclasamiento de los macizos rocosos, la meteorización de los mismos y, en parte, la existencia de aguas subterráneas, pueden ser el resultado de los esfuerzos actuantes en el sector.

La modificación al plano de INGEOCIM (1998) anunciada en el primer párrafo del numeral 3.2.1., se concretó en dos aspectos geoestructurales:

- La falla geológica con dirección NE-SW que pone en contacto a las formaciones Arenisca Tierna (Ksgt) al techo y Arenisca Labor (Ksgl) en la base, se reubicó aproximadamente 75 m al occidente de su localización en el plano de INGEOCIM. En las fotografías aéreas (amarradas topográficamente), interpretadas en el presente estudio es claro el lineamiento de falla.
- Con base en el trabajo de fotointerpretación a escala 1:5.000 se identificaron varias fallas con dirección NW-SE, a una de las cuales se le dió el nombre de falla de Soratama, debido a su trazo recto y continuo que pasa por la zona de estudio. Se aclara que el lineamiento de esta falla surge de la interpretación fotogeológica.

3.2.1.3. Geomorfología Regional

El área de estudio se enmarca geomorfológicamente en un terreno de relieve montañoso con control estructural, que muestra geoformas de tipo escarpado y recio, siguiendo claramente las direcciones de las estructuras geológicas de plegamiento, fallamiento y diaclasamiento. Las geoformas principales de este tipo de relieve son los escarpes, los frentes estructurales y las pendientes estructurales. Los escarpes están asociados a los taludes de las vertientes de quebradas que surcan el área en dirección Este - Oeste.

Estos escarpes presentan pendientes transversales altas entre 25° y 70° y laderas irregulares o rectas, dependiendo del desarrollo erosivo y de otros procesos morfodinámicos actuantes tales como la caída de bloques por el desconfinamiento de los macizos rocosos.

Las pendientes estructurales constituyen la geoforma principal en el sector de Soratama. En general, la pendiente del terreno sigue los planos de estratificación en forma recta y algunas veces irregulares, dependiendo de la disposición estructural de las rocas y de las excavaciones realizadas para la extracción de arenas (foto 3.1).

Los procesos geodinámicos característicos de la zona son las caídas de roca latentes y activos, deslizamientos traslacionales, derrumbes, erosión hídrica laminar y concentrada en surcos y cárcavas.



Foto. 3.1 Relieve estructural donde se evidencia la caída de rocas al norte del barrio Soratama. La pendiente estructural da lugar a deslizamientos de tipo traslacional.

3.2.1.4. Zonificación Regional de Riesgos

De acuerdo con la zonificación geotécnica de INGEOMINAS (1988), realizada a escala 1:25000, el área de estudio corresponde a la zona (V AM) de muy alto riesgo, "... con una mayor cantidad de deslizamientos los cuales han sido

acelerados por las deficiencias en el sistema de alcantarillado existente o por su carencia; las calles destapadas y las pendientes fuertes; la construcción sobre rellenos; y por sectores de chircales ... ", lo cual es válido actualmente solo hasta un cierto grado de detalle, predeterminado por la escala de trabajo.

3.2.1.5. Zonificación Sísmica Regional

Teniendo en cuenta la microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá (UNIANDES - INGEOMINAS, 1997), el área de estudio pertenece a la Zona I (CERROS), que se caracteriza por la presencia de formaciones rocosas, con una aceleración pico efectiva de 0.20 g. Puede presentar amplificaciones locales de aceleración por efectos topográficos, lo cual debe evaluarse en cada caso específico. Requiere estudios especiales de amplificación y estabilidad para la construcción de obras, los cuales se realizaron para el caso que nos ocupa.

3.2.2. UNIDADES LITOLÓGICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las unidades litológicas existentes en el área de estudio se presentan en el plano en escala 1:250 del Anexo de planos y se describen a continuación, desde las más antiguas hasta las más recientes:

3.2.2.1. Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

En el área del estudio la Formación Arenisca Tierna, conforma todos los afloramientos rocosos y subyace los depósitos no consolidados. Sus características están acordes con descritas detalladamente en el numeral 3.2.1.1, presentándose las siguientes particularidades:

La presencia de niveles delgados de arcillolitas rojizas y limolitas en el sector de Soratama (ver columnas litológicas a escala 1:100 del Anexo 2) sugiere que el contacto entre las Formaciones Arenisca Tierna y de la subyacente Arenisca de Labor está muy cercano.

Con base en el análisis de las columnas litológicas levantadas en el costado sur, en la parte central y en el costado norte de la zona inestable, se determinó que existen bancos de areniscas de grano fino a conglomerático con espesores mayores de 5 m. Las arcillolitas afloran interestratificadas con areniscas y su espesor no supera los 0.8 m.

Comparando las tres columnas litológicas levantadas en la zona inestable del área de estudio se aprecia una buena correlación entre los estratos que corresponden a las diferentes columnas, lo cual indica que la sección estratigráfica está completa y que solamente aparece desplazada localmente por pequeños cizallamientos. En general, se presentan areniscas en la base, intercalaciones de arcillolitas y limolitas en la parte media, y areniscas hacia el techo de las columnas.

3.2.2.2. Suelos Negros (Qsn)

Los suelos negros corresponden a una unidad de suelos limo-arenosos a limo-arcillosos de color negro, que a veces contienen bloques angulares de arenisca conglomerática. El espesor de esta unidad es de 0.5 m en promedio y, en general, cubre las rocas de la Formación Arenisca Tierna. De acuerdo con el mapa agrológico del área, son suelos de la Asociación Cabrera (Cbe) - Cruz Verde; y son superficiales, con fragmentos de roca en las laderas, y profundos a muy profundos en las partes con menor pendiente, a veces con una banda endurecida de óxido de hierro de 3 cm dentro del horizonte B2 (INGEOMINAS, 1981). Son suelos ácidos, bien drenados, y ricos en materia orgánica, con la presencia de cenizas volcánicas, y con un nivel freático bastante profundo. En estos suelos no se presenta la erosión del terreno debido a su calidad y buena cubierta vegetal. Sin embargo en pendientes mayores del 25% puede observarse una erosión ligera. El pH es de 4.45 a 5.30 en la parte superficial y de 5.0 a 6.20 en la base.

3.2.2.3. Escombros de Excavación (Qe)

Hacen parte de esta unidad bloques de arenisca con tamaños hasta de 20 cm, embebidos en arenas poco compactas, las cuales son producto de antiguas explotaciones. Se localizan en los patios de los antiguos frentes de explotación y sobre ellos se encuentran fundadas algunas de las casas del barrio Soratama. Su espesor varía de 0 a 2 metros. La roca firme aflora en el piso de las construcciones nuevas hacia el costado Noroccidental del área de estudio, en el barrio vecino, y en la vía de acceso.

3.2.2.4. Depósito de Pendiente (Qd)

Corresponde a un conjunto de espesor variable compuesto de bloques de arenisca de diversos tamaños (hasta de 3m), cantos rodados, guijarros y gravas en matriz areno-limosa, el cual es producto de los desprendimientos ocurridos en el frente de las antiguas explotaciones. Este depósito ocupa aproximadamente el 50% del área de estudio y constituye una masa inestable (Foto 3.2).

3.2.2.5. Relleno Antrópico (Qra)

Se trata de un depósito de material mixto, conformado por escombros de mampostería, suelo vegetal, material de corte y basuras, el cual fue conformado de manera poco técnica, con el propósito de llenar un gran socavón en el costado norte y toda la parte superior del área de estudio. Este depósito presenta rasgos de inestabilidad geotécnica evidenciados por unas grietas de tracción en la corona, y una erosión laminar en áreas desprovistos de vegetación (Foto 3.3).

3.2.2.6. Flujo de Lodo (Qfl)

Es un pequeño depósito de material areno-limoso con contenido de agua un relativamente alto que se ubica en el extremo Noroccidental del deslizamiento del área de estudio. La formación de este depósito se originó por el afloramiento de aguas subsuperficiales en la cara del talud. Este depósito, se ha cartografiado por ser punto clave en el análisis de estabilidad.



Foto 3.2. Con líneas rojas se indican las zonas de cizallamiento en el macizo rocoso. Los puntos negros © indican la presencia de agua; con la letra b. se indican bloques de arenisca friable hasta de 3 m de diámetro. La doble flecha indica la dirección del movimiento en la parte central del deslizamiento (activo).

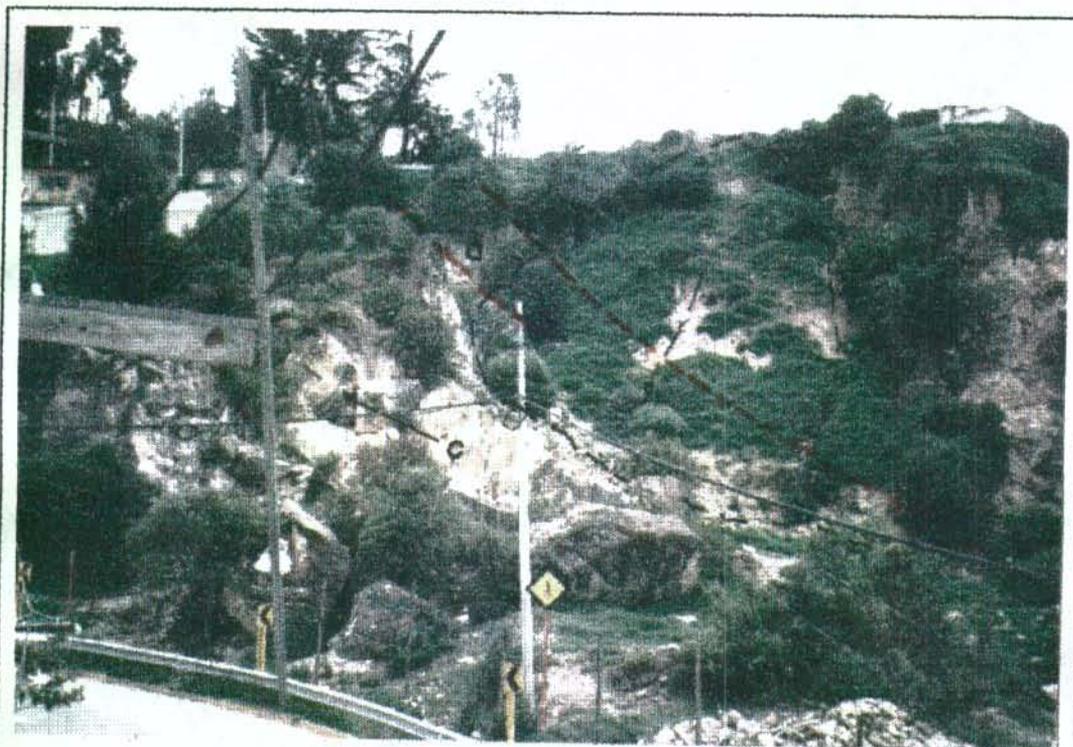


Foto 3.3. Panorámica del relleno de escombros en el costado Norte de la zona de estudio. Con la letra C se indican 3 bloques de arenisca producto de una falla en cuña del macizo rocoso; los planos de discontinuidades son: N85E/84SE y N60W/80NE

3.2.3 Fracturamiento y su Relación con la Inestabilidad

Si bien es cierto que los problemas de estabilidad de Soratama están relacionados con un depósito coluvial y otro antrópico, también existe una cierta probabilidad de falla en el macizo rocoso debido a las discontinuidades o fracturas que presentan los escarpes rocosos del sector, y a buzamiento desfavorable de la estratificación con respecto a la cara de los taludes.

Para conocer las características de fracturamiento del macizo rocoso se efectuó el levantamiento de las discontinuidades en el terreno (198 datos), y tal como se indica en el plano 1:250 del Anexo 1. En el Cuadro 3.2 se indican las características más importantes de los sistemas de discontinuidades. Se debe aclarar que para cada talud se tomaron los datos de las discontinuidades medidas en el mismo talud, debido a que el análisis estadístico del universo de datos del

macizo rocoso no es representativo de cada sector en particular (ver diagramas de polos, frecuencia y planos estructurales en las gráficas del Anexo 1).

Cuadro 3.2. Características de los sistemas de discontinuidades

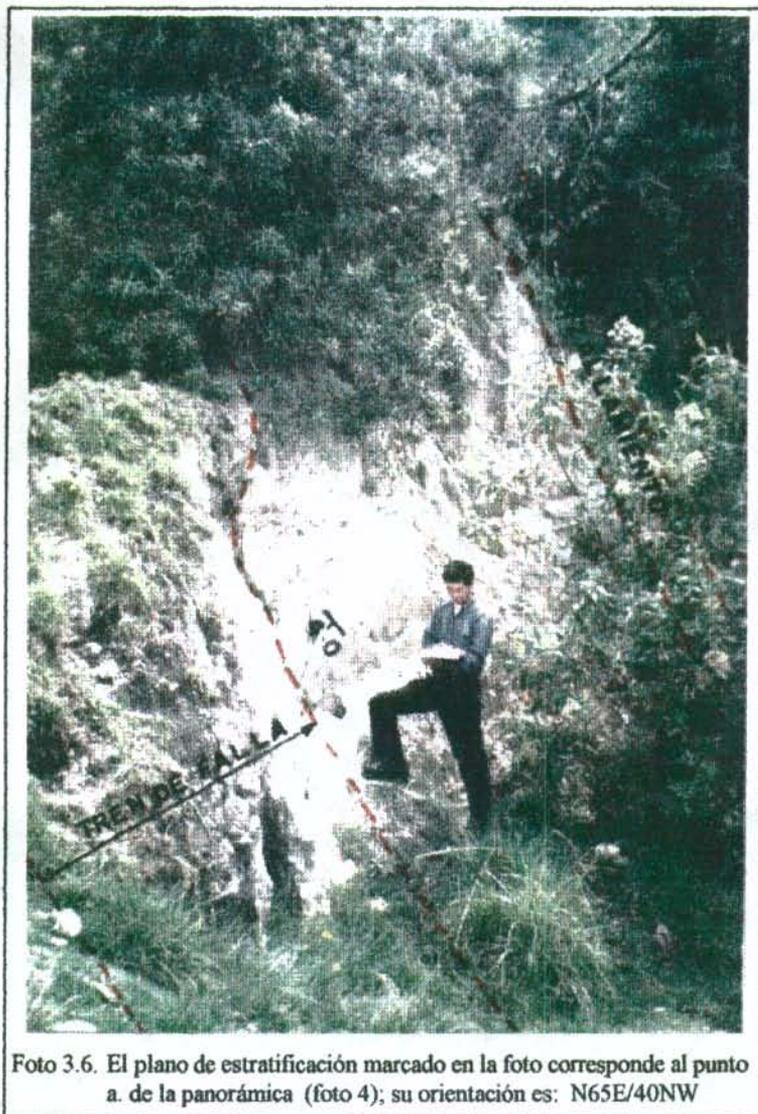
TIPO DE DISCONTINUIDAD	ORIENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ESTRATIFICACIÓN	N25-35W/25-30SW N10-65W/28-34SW N22AE/25NW	Continua, separada, ligeramente abierta, relleno limo-arenoso y superficie rugosa
DIACLASA MAESTRA	N74-82W/82-88SW	Medianamente continua, separada, abierta, relleno limo-arcilloso, superficie rugosa
DIACLASA MAESTRA	N29-36W/30-60SW	Discontinua, separada, ligeramente abierta, relleno limo-arenoso y fragmentos de roca, superficie rugosa
DIACLASA MAESTRA	N30-38W/68-72NE	Discontinua, separada, abierta, relleno con fragmentos de roca, superficie rugosa
DIACLASA POCO PERSISTENTE	N52-64W/60-85NE	Discontinua, espaciados entre 30 cm y 1 m, ligeramente abierta, relleno limo-arcilloso y superficie rugosa

Tal como se anotó anteriormente, la secuencia litológica se ve afectada localmente por zonas de cizallamiento y cada una de estas constituye un plano de discontinuidad en el análisis cinemático de estabilidad. Estas fracturas se ilustran en el plano geológico 1:250, y algunas de ellas se indican en las fotos 3.4 y 3.5.

En el Anexo 2 se presenta el análisis cinemático de estabilidad para cada talud en particular y las características de las discontinuidades.



En los perfiles estratigráficos presentados en el plano geológico a escala 1:250 (Anexo 10), se ve claramente que la estratificación buza en el mismo sentido de la pendiente del terreno, pero con un ángulo menor (Foto 3.6), lo cual da lugar a deslizamientos translacionales de la masa rocosa, siempre y cuando el buzamiento de la superficie deslizante sobrepase el valor del ángulo de fricción del material, que para el presente caso se estimó en 30°.



En general, en todos los taludes existe una probabilidad de falla en cuña (Foto 3.7).

Como conclusión se deduce que el macizo rocoso constituye una masa potencialmente inestable.

Los depósitos de los suelos constituyen un contrapeso que favorece la estabilidad geotécnica de la masa rocosa. Por tal razón, cualquier operación de descargue de los taludes debe ser compensada en el macizo mediante elementos de sostenimiento (pernos, anclajes, etc.).

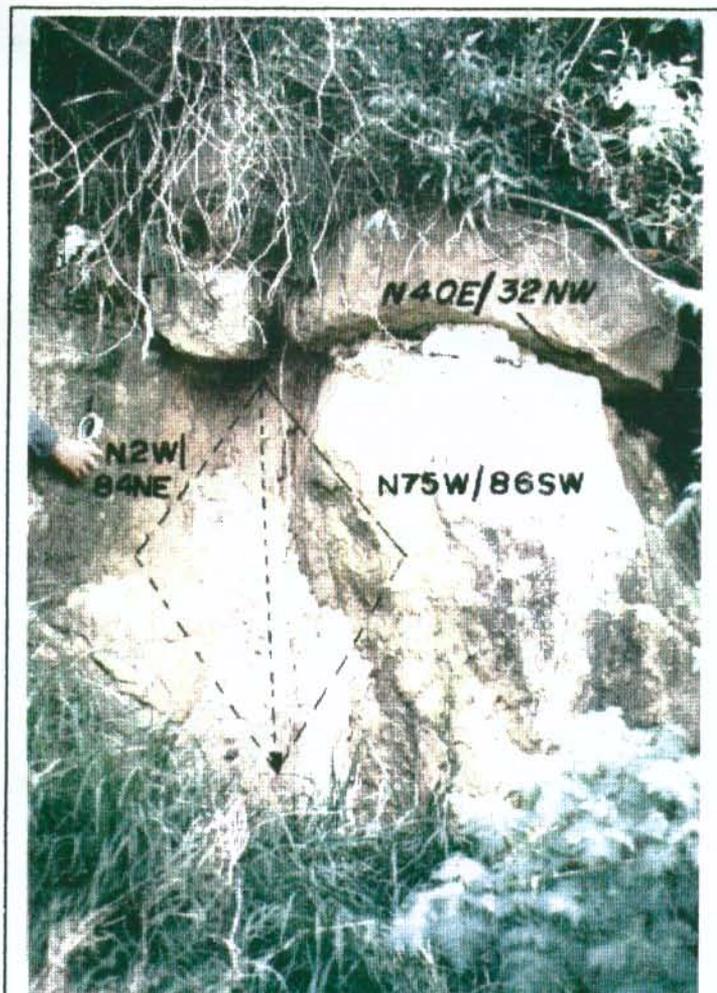


Foto 3.7. Las discontinuidades indicadas en la foto representan una cuña típica de macizo rocoso (punto b de la foto 3.3)

3.2.4 Condiciones Hidrogeológicas

Entre los análisis efectuados para el área de estudio, merecen especial atención los aspectos hidrogeológicos.

Tal como se describe en el capítulo de hidrología, del Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Santafé de Bogotá (1995), el sector de Soratama corresponde a la zona I (Cerros Orientales). Esta zona se caracteriza por presentar las mayores intensidades puntuales relativas a las intensidades promedio en el año. Las precipitaciones máximas se presentan en los meses de Abril, y Octubre a Diciembre, donde se alcanzan intensidades hasta de 200 mm por día.

Se aclara que el área de estudio está localizado topográficamente en la parte alta de una ladera (2720 m.s.n.m), con un área de recarga relativamente pequeña y escasa vegetación, situaciones favorables para originar una mayor escorrentía superficial. Además, en periodos lluviosos se generan flujos importantes de aguas subterráneas debido a las características generales de alta permeabilidad de la masa rocosa y que pueden repercutir desfavorablemente en la estabilidad geotécnica de los taludes.

Los rasgos geológicos que se reflejan en las características hidrogeológicas del terreno en el área de estudio son las siguientes:

- Buzamiento de la estratificación en el mismo sentido de la pendiente del terreno; los planos de estratificación constituyen trayectorias o superficies de flujo del agua subterránea.
- Fracturamiento de los macizos rocosos; las rocas de la formación Arenisca Tierna se encuentran afectadas por fallas geológicas, zonas de cizallamiento, diaclasas persistentes y plegamientos suaves, que generan una permeabilidad "secundaria" que es mayor que la permeabilidad primaria.
- Características litológicas y/o composicionales de los materiales que conforman el terreno en general; la permeabilidad de los materiales que lo conforman es muy variable y es función, entre otras de la textura de los materiales.
- Permeabilidad de los materiales del suelo y subsuelo; sin excepción alguna, todos los materiales presentes en el área son de características permeables; en algunos casos esta permeabilidad puede ser favorable para la estabilidad geotécnica del terreno.

Desde el punto de vista hidrogeológico las rocas de la Formación Arenisca Tierna se clasifican como acuíferos. Debido a su alta permeabilidad; tanto primaria (por diagénesis) como secundaria (por fracturas) se facilita el flujo y el almacenamiento del agua subterránea. En la foto 3.2 se indican los afloramientos de agua subterránea en rocas de la Formación Arenisca Tierna, los cuales son utilizados con fines domésticos por los vecinos del área.

Los depósitos de pendiente, como el ubicado en la zona inestable de la parte Sur del área de estudio, son altamente permeables debido a su composición: cantos rodados y bloques de roca con tamaños inclusive mayores de 3 m de diámetro, que están embebidos en una matriz de arenas y limos. Todas estas características facilitan la salida del agua subterránea. El flujo de lodo indicado en la foto (3.2) es la consecuencia de estas condiciones hidrogeológicas. Por otra parte, el contacto a bloque hace que estos depósitos se comporten como masas muy susceptibles a eventos sísmicos, más aún si se ven afectados por aguas subsuperficiales.

Dependiendo de la pendiente del terreno en la que se encuentran los rellenos antrópicos, estos pueden almacenar volúmenes importantes de agua subsuperficial que se infiltra en los materiales adyacentes, contribuyendo de esta forma a la inestabilidad de los taludes.

En conclusión, la zona sur del área de estudio está constituida por un depósito de pendiente que facilita la salida del agua subterránea, y que evita la generación de presiones internas que causen empujes laterales. No obstante, la incidencia del agua subterránea se ve reflejada en la disminución de la resistencia al corte de los materiales, en especial en los niveles arcillosos que -sin duda alguna- constituyen superficies potenciales de falla.

3.2.5 Zonificación Geomecánica

La zonificación geomecánica corresponde a la zonificación por áreas homogéneas, que se hace con el propósito de la caracterizar espacialmente el terreno de acuerdo con las propiedades de las rocas y depósitos no consolidados que conforman el área de estudio. Una parte de esta tarea, es la compaginación de la información geológica, geomorfológica y geotécnica con las propiedades físico-mecánicas de los materiales que conforman dicha área.

El alcance de la zonificación llega hasta la elaboración de un mapa de áreas geomecánicamente homogéneas con base en sus propiedades físico - mecánicas, y la creación de una base de datos que permitan definir los parámetros para evaluar la estabilidad y amenaza y el diseño de las obras necesarias para reducir el riesgo geotécnico.

La definición y categorización de las áreas homogéneas se realizó mediante el análisis de la información geológica regional y local, y los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio utilizando las bases teóricas y prácticas disponibles en la literatura técnica correspondiente a estos temas.

En primera instancia, se determinó la pertenencia del área de estudio a un gran bloque tectoestructural (Flanco Occidental de la Cordillera Oriental, ver cuadro 3.3), que se caracteriza por la homogeneidad de condiciones neotectónicas (actividad sísmica).

Luego, teniendo en cuenta el criterio morfogenético, que comprende el proceso de formación del relieve actual, el área de estudio se dividió en dos (2) grandes zonas geotécnicas, donde se observa una homogeneidad a nivel general:

- I - D, donde predomina el proceso Denudativo, y conformada por rocas de la Formación Arenisca Tierna (Ksgt)
- I - A, con el predominio del proceso de Acumulación de materiales, provenientes de la zona anterior. Esta zona está conformada por depósitos cuaternarios no consolidados.

Estas dos zonas son muy diferentes entre sí, tanto por las propiedades físico-mecánicas de los materiales que las conforman, como por los procesos geodinámicos que se desarrollan en ellas. Sin embargo, la división de zonas en sectores homogéneos se efectuó solamente a partir de la clasificación geomecánica de las unidades litológicas presentes en cada una de dichas zonas (Tchemodanova, 1998). En esta clasificación se definen las propiedades de las diversas formaciones geológicas por su génesis, edad, litología y grado de alteración y/o consolidación. Las propiedades físicas, hídricas y mecánicas se apoyaron en los resultados de los ensayos de laboratorio y de campo.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 3.3. Zonificación Geomecánica del Área del Antiguo Escarpe de Explotación en el Barrio Soratama

TERRITORIOS GEOTÉCNICOS	ZONAS GEOTÉCNICAS				CLASIFICACION GEOMECANICA	PROPIEDADES FISICO - MECANICAS			CLASIFICACION POR PROPIEDADES SIMICAS	AREAS HOMOGÉNEAS
	Formas morfo-genéticas	Tipos genéticos de rocas	Edad, unidad litrostratigráfica	Características litológicas		Grupo	Físicas	Hídricas		
I BLOQUE ESTRUCTURAL DE LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTA	I - D : DENUDATIVA	Sedimentarias (ROCAS)	Kegt Formación Avenica Tiema	Secuencia de niveles de areniscas de grano grueso a conglomeráticas con cemento arcilloso, calcinético, separados por estratos delgados de lodolitas, limolitas y arcillolitas.	2 Rocas sedimentarias, granulares, alteradas	Peso unitario de arenisca 2.05 t/m ³ , de arcillolita 1,97 t/m ³ . Porosidad: hasta 10-15%	Retención de humedad baja, Kf varía dependiendo del fracturamiento y meteorización entre 0,5 y 30 milés.	Resistencia Baja, Compresión = 273 kg/cm ² , Rtracción = 31,3 kg/cm ² . Deformabilidad baja a prácticamente no deformables, Modulo de deformación = 10000 kg/cm ² . Excavación por voladura y percusión. Angulo de fricción interna de arcillolita = 18 y de arenisca = 38 grados; la cohesión es de 0,12 kg/cm ² para arcillolita y 2,8 kg/m ² para arenisca.	I / 1,0	1-D-2
				Qra Relieves Antrópicos		Depósito de material mazo, conformado por escobras, mampostería, vegetal, material de corte y basuras.	5 Botaderos	Peso unitario 1,65 - 1,81 t/m ³ .		
	I - A : ACUMULATIVA	Sedimentarias (DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS)	Q.e Escobros de excavación	Depósito de bloques de arenisca de diversos tamaños hasta 3 m, cantos, guijos y gravas en matriz areno-arcillosa producto de deslizamientos ocurridos en las taludes. Depósitos de fragmentos meteorizados de arenisca con tamaños hasta de 20 cm en matriz areno-arcillosa, sobranías de antiguas explotaciones.	6 Depósitos especiales	Densidad: 1,40 t/m ³ Porosidad: hasta 45%	Saturados	Suelos susceptibles a licuación	VII / 2,0-2,4	1-A-5f
				3 Granulares no cohesivos	GC: grava en matriz areno arcillosa, Peso unitario 1,96-2,05 t/m ³ .	Humedad natural 9,6% Kf varía entre 16 y 32 milés	Angulo de fricción = 37 grados, cohesión = 0,15 kg/cm ²	III / 1-1,5	1-A-3	

La caracterización geomecánica de las áreas homogéneas obtenida mediante la clasificación geomecánica se puede ver en el Cuadro 3.3. En este cuadro también se presenta la caracterización sísmica de cada uno de los sectores homogéneos incluyendo el coeficiente de aumento local de la intensidad del sismo, teniendo en cuenta las propiedades físico - mecánicas, la posición en el relieve y la profundidad de las aguas subterráneas (Medvedev, 1962; AIS, 1998).

Con base en los anteriores resultados se elaboró el mapa de las áreas geomecánicas homogéneas, que se presenta en el Anexo 10. Los límites de los sectores homogéneos que se indican en este mapa corresponden esencialmente a los contornos de las unidades litológicas que conforman el área de estudio.

Este mapa sirvió de base para el análisis de la susceptibilidad de las áreas homogéneas frente a los procesos naturales que las afectan.

3.3 ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE LAS ÁREAS HOMOGÉNEAS

3.3.1 Criterios y Metodología Aplicada

Se aplicaron los criterios y la metodología propuestos por Martínez y Rodríguez (1998), con los ajustes pertinentes a la escala de trabajo. Se utilizó la combinación de tres (3) métodos para el análisis de susceptibilidad denominados por los autores mencionados como el método implícito, explícito, empírico y analítico.

En las observaciones de campo se identificaron varios fenómenos de remoción en masa: derrumbes, caídas de bloques, deslizamientos y flujo de lodo, agravados por el proceso de erosión por escorrentía superficial. La distribución espacial de dichos fenómenos está estrechamente relacionada con los factores intrínsecos del terreno, tales como la composición de las rocas (clasificación geomecánica); y las condiciones geomorfológicas, tectónicas, hidrogeológicas, climáticas y las características de la cubierta vegetal.

Por consiguiente, el análisis de susceptibilidad de las áreas homogéneas a los procesos (evidentes y ocultos) se efectuó a partir de los factores naturales propios del terreno.

Dentro de las áreas homogéneas se realizó en primera instancia el mapeo de todos los fenómenos y se analizaron los antecedentes históricos (fotografías, informes, conceptos previos, etc.).

Luego se hizo la evaluación del comportamiento del terreno con los análisis y la valoración semicuantitativa de los factores naturales que favorecen o impiden el desarrollo de los procesos, obteniéndose como resultado final el mapa de susceptibilidad de las áreas homogéneas frente a la acción de los procesos de remoción en masa (Anexo 10).

3.3.2 Identificación de los Procesos

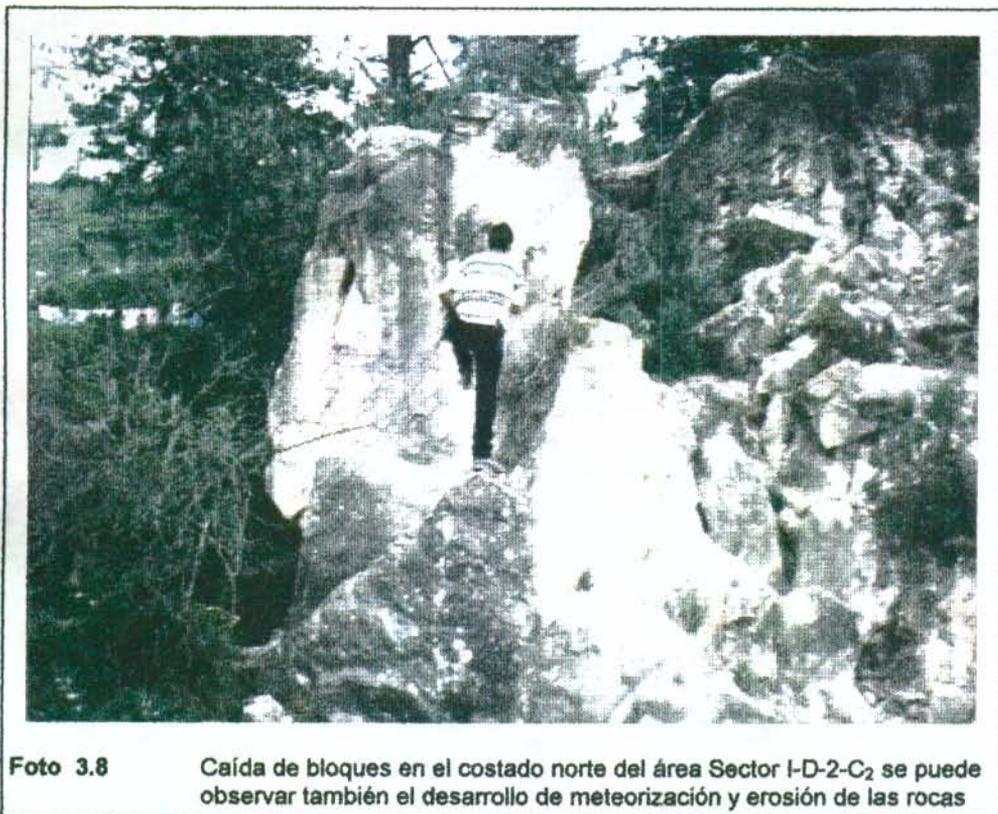
La identificación de los procesos de remoción en masa se hizo directamente sobre el terreno, mediante el reconocimiento geológico y geotécnico visual, y la exploración del subsuelo descritos detalladamente en el capítulo 2 (trabajos realizados), además del análisis de la información sobre los antecedentes.

De esta forma se han detectado en cada uno de los cuatro (4) sectores homogéneos los siguientes procesos:

3.3.2.1. Sector I-D-2:

Este sector se caracteriza por la exposición de rocas de la Formación Arenisca Tierna, que conforma una sola unidad geomecánica (área homogénea). Tal como lo manifiesta Terzaghi y lo comprueban numerosas observaciones, la aparición de los fenómenos de amenaza geotécnica, dependen principalmente de la inclinación de los taludes y las laderas. Consecuentemente, en el sector I-D-2 se observaron las caídas de detritos y bloques de diferente tamaño (de 10 cm a 1 m), solo en aquellos sitios donde la inclinación de los taludes fracturados es superior a 35° (ver foto 3.8)

Las laderas con pendientes superiores a 35° según lo verificado por el análisis de antecedentes, fueron afectadas por derrumbes de material rocoso (ver figura 3.4). En el área de estudio han ocurrido dos fenómenos de este tipo: uno en la zona norte y el otro en la zona sur.



En ambos casos los deslizamientos ocurrieron por los planos de estratificación inclinados desfavorablemente con respecto al corte abierto por la explotación de la cantera. Una grieta de tracción se formó a una distancia de aproximadamente 10 a 15 m del borde del talud antiguo. Se derrumbaron masas de 3650 m^3 y 1016 m^3 en las partes sur y norte respectivamente, las cuales se esparcieron hasta una distancia de 30 m desde la "pata" del talud antiguo.

De acuerdo con los fenómenos observados y con base en las pendientes de los taludes y laderas, el área geomecánica I-D-2 fue dividida en los once (11) sectores de acuerdo con su ubicación dentro del área (Cuadro 3.4).

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:

ESQUEMA DE MECANISMOS DE FALLAS DESLIZAMIENTO ANTIGUO DERRUMBE

FIGURA:

3.2

FUENTE:

- Fotografías aéreas 1.990
- Plancha F.35 (IGAC - 1981)

PROYECTÓ:

INGEMETRICA LTDA

INTERVENTORIA

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA. A.G.C. LTDA



FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA D.C.

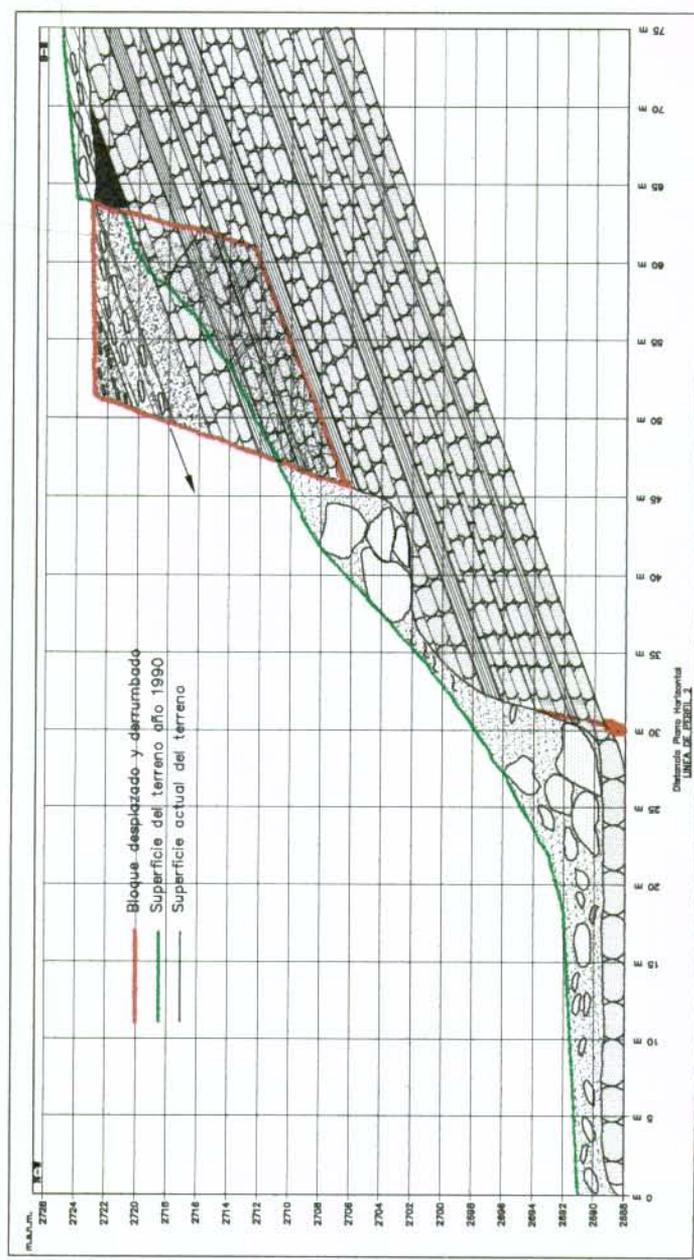
ESCALA



FECHA

MARZO DE 1.999

1:500



Diseñado Por: Horacio
LUNA DE ZOBEL, S

Cuadro 3.4 Determinación de sectores en el área I-D-2

SECTOR	PENDIENTE, grad.	PROCESO	SECTOR	PENDIENTE, grad.	PROCESO
I-D-2-a ₁	<10	Erosión fluvial ¹	I-D-2-c ₁	42	Meteorización, erosión fluvial, desprendimiento
I-D-2-a ₂	<10	Erosión fluvial	I-D-2-c ₂	36	Meteorización, erosión fluvial, deslizamiento, desprendimiento
I-D-2-b ₁	22	Erosión fluvial, deslizamiento, sofusión	I-D-2-c ₃	36	Meteorización, erosión fluvial, desprendimiento
I-D-2-b ₂	23-28	Erosión fluvial, deslizamiento, sofusión	I-D-2-c ₄	50	Meteorización, erosión fluvial, desprendimiento
I-D-2-b ₃	26	Erosión fluvial, deslizamiento	I-D-2-c ₅	90	Meteorización, erosión fluvial, desprendimiento
			I-D-2-c ₆	80-90	Meteorización, erosión fluvial, desprendimiento

Donde:

- I - Bloque Estructural de los Cerros Orientales de Bogotá
- D - Zona de Denudación
- 2 - Rocas alteradas
- a, b, c - Pendiente
- 1,2,3 - Número consecutivo del sector

Esta división se realizó con el propósito de efectuar un análisis de la susceptibilidad a procesos más específicos por factores intrínsecos.

En todos estos sectores se observó también desarrollo de los procesos de meteorización y erosión de la roca, cuya magnitud depende principalmente del grado de su recubrimiento con vegetación. La erosión por aguas de escorrentía superficial ha producido el lavado y ampliación de las fracturas tectónicas (zonas de falla y cizallamiento) llegando a la formación de cárcavas de hasta 12 m de

¹ Bajo el término de erosión fluvial se comprende la erosión por escorrentía superficial, que puede ser: difusa, en surcos o en cárcavas.

3.3.2.2. Sector I-A-5₁

De acuerdo con los procesos que se observaron en el área geomecánica I-A-5₁, compuesta de rellenos antrópicos, y teniendo en cuenta su relación con las pendientes del terreno, se han diferenciado dos sectores (ver mapa SAP, Anexo 10):

- I-A-5_r-a₁ con una pendiente inferior a 10°;
- I-A-5_r-b₁ con pendientes de 10° a 35°

En el sector I-A-5_r-a₁ se observa proceso de erosión solo en los sitios desprovistos de vegetación, y donde recientemente se botaron escombros de excavación, o se retiró la capa vegetal levantando el césped.

El sector I-A-5_r-b₁, corresponde al área de un antiguo derrumbe del escarpe de la excavación en corte, y utilizado desde entonces como botadero de residuos varios (material orgánico, sobrantes de excavaciones, material de demoliciones, etc.).

En la parte alta de este sector, actualmente se visualiza una grieta abierta (ver fotos 3.11a y 3.11b. Esta grieta se observó hasta profundidad de 4 m en las paredes del apique No.1 (Ver Anexo 4), y en el cual se midió una inclinación de 52° de la superficie de falla. No existen manifestaciones de movimientos, ni en la parte media, ni en la "pata" del talud, lo cual indica que el origen de la grieta es reciente y que su movimiento gravitacional muy posiblemente se debe al asentamiento por consolidación del material botado recientemente.

En su mayor parte el sector se encuentra cubierto por un espeso manto de pasto, y en sus partes frontales y bajas se encuentran arbustos sembrados. El gran contenido de materia orgánica en el subsuelo del sector favorece el buen desarrollo de la vegetación. El proceso de erosión laminar se presenta en forma aislada (ver foto 1.2).

En el área geomecánica I-A-5_f se observa un flujo de lodo, compuesto por material areno-arcilloso con gravas y altamente saturado (ver foto 3.12). Es un flujo muy superficial, que no tiene más de 50cm de espesor; y se debe a la salida de aguas subterráneas en el contacto arcillolita - depósito de pendiente.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

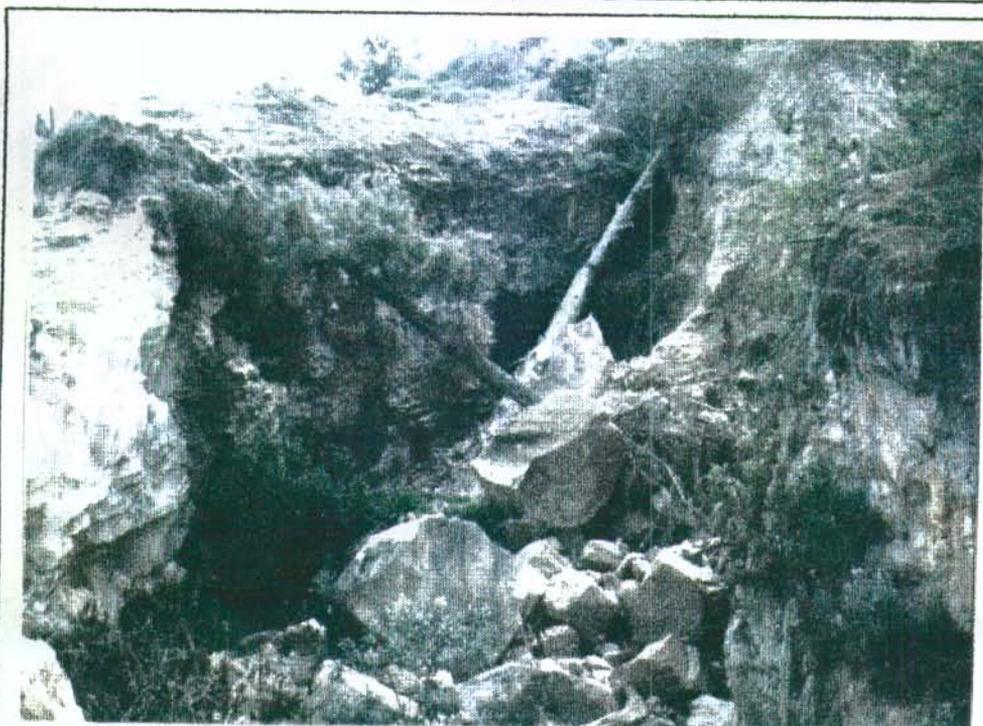


Foto 3.9 Cárcava en la zona limítrofe con la cantera Servitá. Ancho 12m, profundidad 7m (sector I-D-2-C₅)

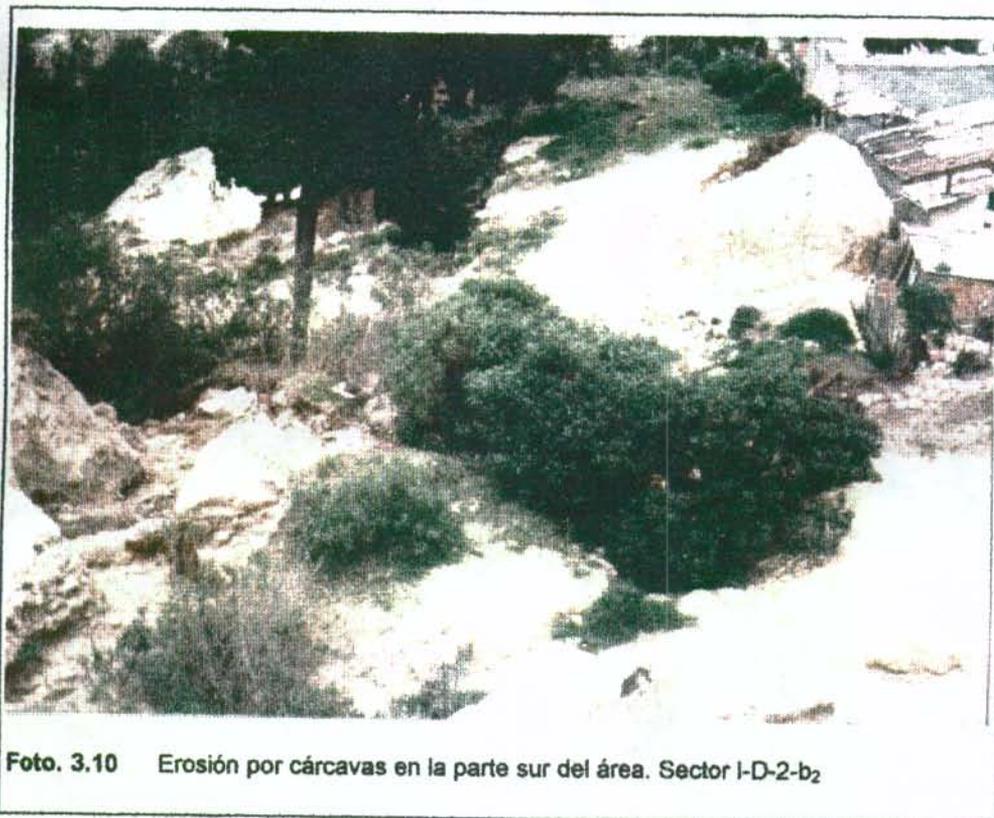


Foto. 3.10 Erosión por cárcavas en la parte sur del área. Sector I-D-2-b₂

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN



Foto 3.11a Grieta de coronación del posible deslizamiento en la zona norte sector I-A-5_r-b₁ (vista frontal)

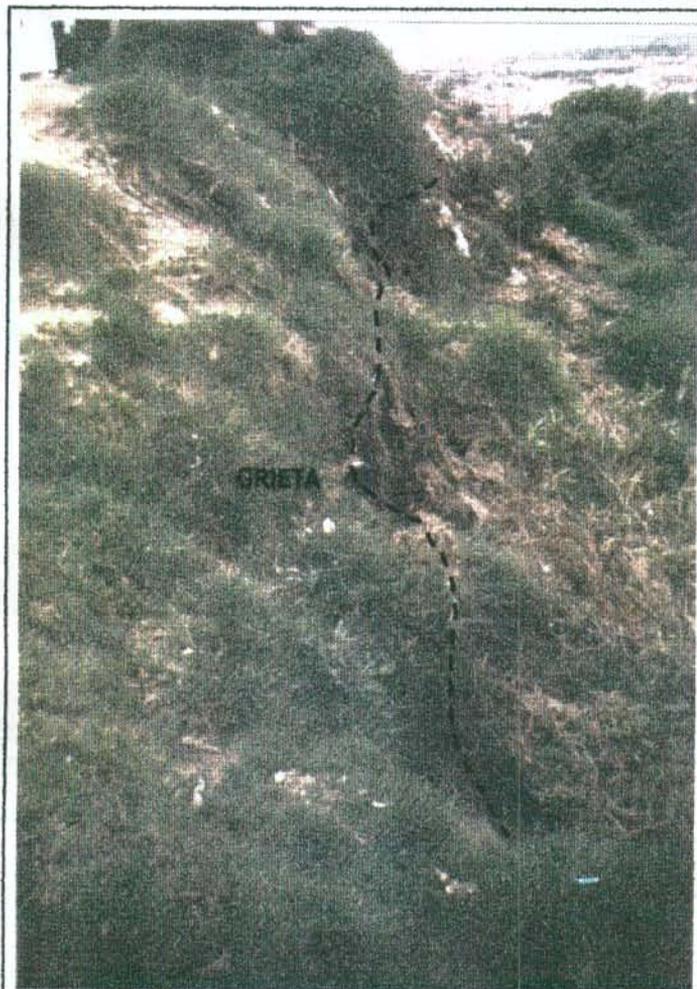


Foto 3.11b Grietas de coronación del posible deslizamiento en la zona norte sector I-A-5_r-b₁ (vista lateral)

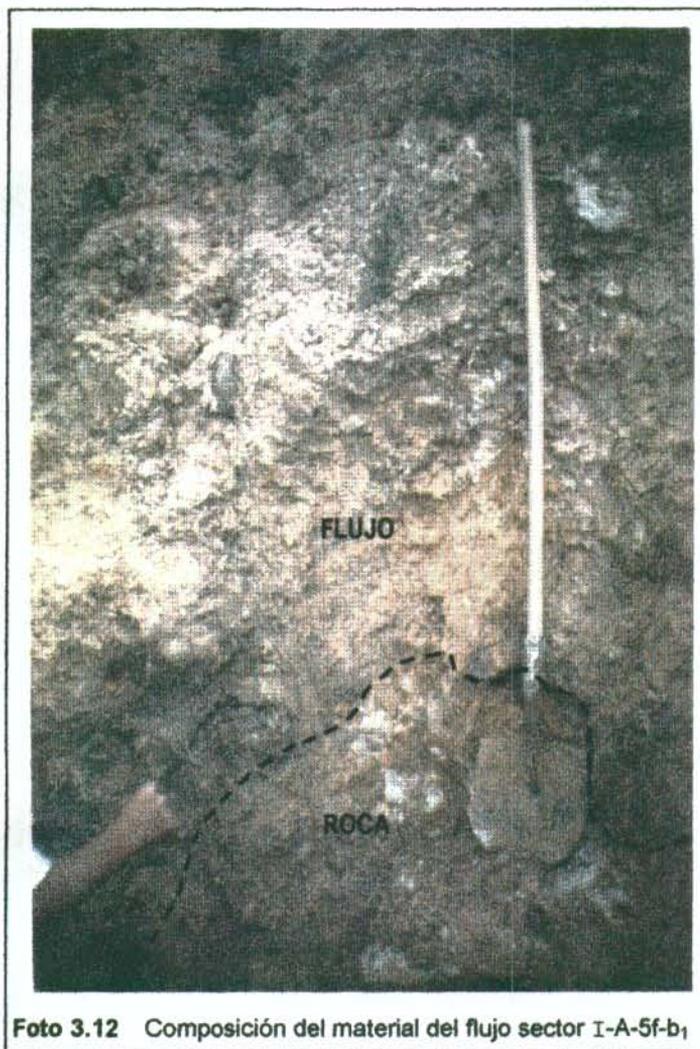


Foto 3.12 Composición del material del flujo sector I-A-5f-b1

La masa de lodo fluye sobre el basamento rocoso; y su material proviene de la parte superior del talud y se desplaza al sector por las aguas de escorrentía. Durante el lapso de tiempo de ejecución del estudio - que transcurrió durante los meses de enero a marzo - el flujo fue constante y de tipo pulsante. Este se reactivaba en la medida en que el material alcanzaba una saturación suficiente y para causar su desplazamiento.

3.3.2.3. Sector I-A-3

De acuerdo a los procesos identificados en el campo, las condiciones geomorfológicas del terreno (pendiente) y su ubicación espacial, El área geomecánica I-A-3 fue dividido en 10 sectores (ver Plano 4, Anexo 10 y Cuadro 3.5).

Este sector, conformado por depósitos de pendiente (derrumbes de escarpes) y escombros de la excavación de la antigua cantera, es el que presenta los mayores problemas debido a los procesos de remoción en masa en los sectores con pendientes superiores a 10°.

Cuadro 3.5 Determinación de sectores en el área I-A-3

SECTOR	PENDIENTE, grad.	PROCESO	SECTOR	PENDIENTE, grad.	PROCESO
I-A-3-a ₁	<10	Erosión difusa	I-A-3-b ₃	34	Deslizamiento, erosión en surcos
I-A-3-a ₂	<10	Erosión difusa	I-A-3-b ₄	31	Erosión en surcos o cárcavas
I-A-3-a ₃	<10	Erosión difusa	I-A-3-b ₅	19	Erosión en surcos o cárcavas
I-A-3-b ₁	28	Deslizamientos, Erosión y sofusión	I-A-3-b ₆	26	Erosión en surcos o cárcavas
I-A-3-b ₂	34	Deslizamientos, Erosión y sofusión	I-A-3-b ₇	19	Erosión en surcos o cárcavas

Los sectores I-A-3-b₁, I-A-3-b₂ y I-A-3-b₃ contiene material proveniente de los derrumbes antiguos ocurridos en los años 1992 - 1993.

En los sectores I-A-3-b₂ y I-A-3-b₁, actualmente se observan unas grietas de coronación abiertas y continuas, que indican la existencia de movimientos gravitacionales en dirección hacia el espacio abierto (ver fotos 3.13, 3.14).



Foto 3.14. Grieta en la corona del deslizamiento en el sector I-A3-b3, 19-01-99



Foto 3.13. Grieta lateral deslizamiento en el sector I-A3-b3, 19-01-99

Tal como se puede observar en el Mapa de Susceptibilidad a los Procesos (Anexo 10), en la "pata" del deslizamiento I-A-3-b₂ aflora agua subterránea, la cual genera los procesos de sofusión y provoca el desarrollo del flujo de lodo en el sector I-A-5f-b₁. Al presentarse el flujo de lodo, disminuye el peso del material en la base del sector I-A-3-b₂, lo que produce su movimiento en dirección NW. A su vez, este movimiento induce el cambio del estado de equilibrio en el sector I-A-3-b₃ y su subsecuente desplazamiento. Es decir, este proceso es sucesivo y su actividad se relaciona con la magnitud y frecuencia del desplazamiento del flujo de lodo. A su vez este desplazamiento depende de la cantidad de material que se acumula en el sector I-A-5f-b₁ y el caudal de aguas subterráneas que satura el flujo y lo transporta. Por lo tanto, y mientras exista el flujo de lodo, parecen inevitables los deslizamientos en los sectores vecinos ubicados más arriba.

La explotación geológica y la geotécnica mediante la ejecución de apiques, trincheras, perforaciones manuales y la correlación de sus resultados con los de los perfiles geoelectrónicos, permitieron definir el posible plano de falla, cuya trazo se presenta en los perfiles geológicos (ver Mapa Geológico, Anexo 10). De acuerdo a estos perfiles el mecanismo del deslizamiento en el sector I-A-3-b₂ es por falla circular, mientras que el deslizamiento del sector I-A-3-b₃ es de tipo translacional, con el plano de falla sobre el estrato de arcillolita, el cual está lubricado por las aguas subterráneas.

Tal como lo atestiguan los vecinos del área, y como se evidencia por la comparación de las fotos de los años 1994 y 1999 (ver fotos 1.1 y 3.2) en ambos sectores (I-A-3-b₂ y I-A-3-b₃) no se han presentado movimientos notables.

En el sector I-A-3-b₁ no existe ninguna evidencia de deslizamiento. Sin embargo, y debido a la pendiente del sector, este se tuvo en cuenta para el análisis de estabilidad. En este sector puede ser posible el desarrollo de un proceso de sofusión, por encontrarse en el área de descarga de las aguas subterráneas.

La erosión superficial laminar y en surcos (ver foto 3.15) es otro proceso importante que afecta el área geomecánica I-A-3.

La intensidad de la erosión varía de sector a sector, dependiendo de su pendiente y recubrimiento vegetal; y por lo tanto, requiere de un análisis particular de susceptibilidad en cada uno.

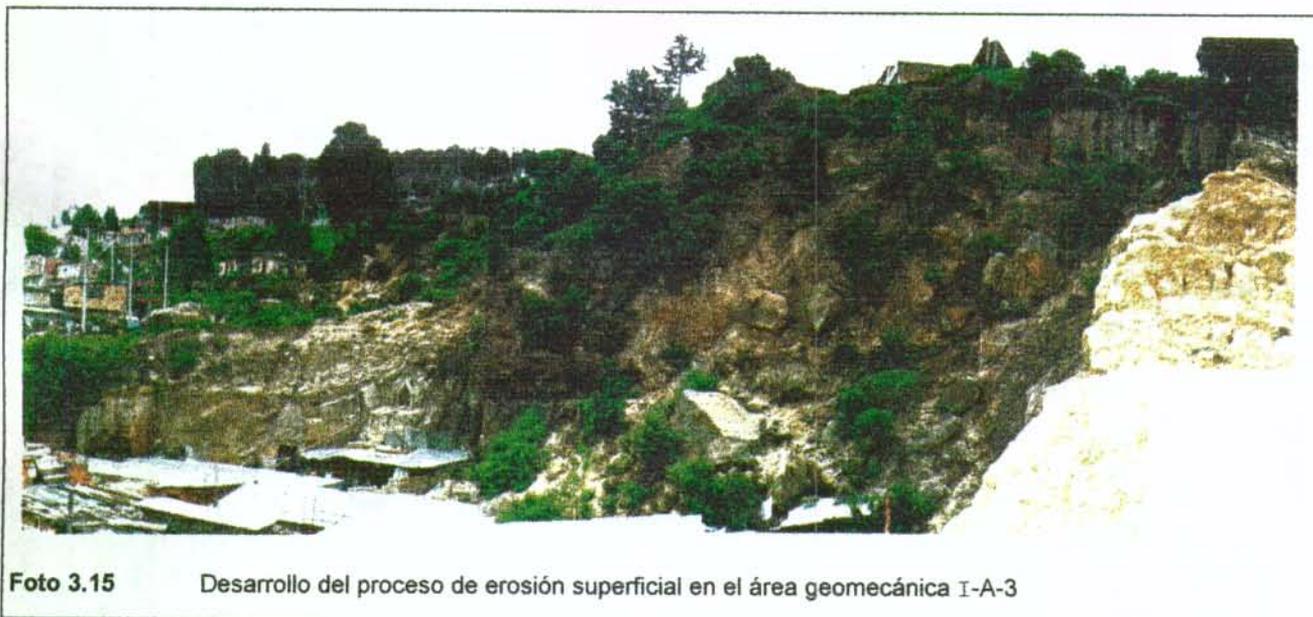


Foto 3.15 Desarrollo del proceso de erosión superficial en el área geomecánica I-A-3

3.3. 3. Análisis de susceptibilidad a los procesos.

El análisis de susceptibilidad se efectuó para cada uno de los 24 sectores diferenciados de acuerdo con la distribución espacial de los procesos, identificados en el terreno.

Para este fin, se conformó la matriz de evaluación presentada en el Cuadro 3.6. Por medio de esta matriz se logró un pronóstico de la susceptibilidad de cada uno de los sectores con base en el conocimiento de los fenómenos naturales y sus casualidades, y del desarrollo y distribución espacial de los procesos de remoción en masa y de erosión fluvial.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 3.6 Matriz de evaluación de áreas homogéneas por susceptibilidad a los procesos

AREA GEOMORFOLÓGICA	SECTOR	PROCESOS	BIBLIografía Aumento de presión del suelo	GRADO DE DESATURACION	PROPIEDADES GEOMECANICAS Grupo de rocas	HIDROLOGIA (permeabilidad)	RELIEVE (GEOMORFOLOGIA)			VEGETACION	SUSCEPTIBILIDAD										
							FIBROSITE		Lecto, en dirección de movimiento												
							Terreno	Perfil				Formas									
I-A-3	I-A-3-a	Deslizamiento	1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	4	28	1	28	1	30%	1	30%	4	21	medio		
	I-A-3-b		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	34	5	1	34	5	10%	5	10%	5	31	alto	
	I-A-3-c		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	34	5	1	34	5	50%	5	50%	3	29	medio	
	I-A-3-d		2.3-2.6	5	0-0.15 kg/cm ²	5	5	5	5	36	5	1	36	5	90%	1	90%	1	36	alto	
	I-A-3-e		1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	30	3	30	5	30	5	96%	1	96%	1	21	medio
I-D-2	I-D-2-a	Deslizamiento	1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	23-26	4	30	5	30	5	30%	1	30%	4	25	medio
	I-D-2-b		1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	26	4	30	5	30	5	96%	1	96%	1	18	bajo
	I-D-2-c		1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	26	4	30	5	30	5	96%	1	96%	1	18	bajo
I-D-2	I-D-2-d	Deslizamiento	1	1	medio-alto	4	2	5	5	41 a 60	4	62-68	5	62-68	5	60%	3	60%	3	31	alto
	I-D-2-e		1	1	medio-alto	4	2	5	5	45 a 60	4	28-38	3	28-38	3	5%	5	5%	5	33	alto
	I-D-2-f		1	1	medio	3	2	5	5	60 a 90	4	30	2	30	2	5%	5	5%	5	28	medio
	I-D-2-g		1	1	medio	3	2	5	5	51 a 65	3	43-84	5	43-84	5	10%	5	10%	5	29	medio
	I-D-2-h		1	1	alto	2	2	5	5	90	5	30-84	5	30-84	5	0	5	0	5	34	alto
I-A-5f	I-A-5f-a	Flujo de lodo	2.0-2.4	5	no cohesivo	5	5	5	>14	5	45	5	45	5	0	5	0	5	45	muy alto	
	I-A-5f-b		1	1	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	5	2	5	2	5	2	0	5	0	5	28	medio
	I-A-5f-c		1	1	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	11	4	11	4	11	4	80%	1	80%	1	26	medio
	I-A-5f-d		1	1	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	7	3	7	3	7	3	0	5	0	5	27	medio
	I-A-5f-e		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	28	5	28	5	28	5	30%	4	30%	4	33	alto
	I-A-5f-f		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	34	5	34	5	34	5	10%	5	10%	5	37	alto
	I-A-5f-g		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	34	5	34	5	34	5	50%	3	50%	3	32	alto
	I-A-5f-h		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	31	6	31	6	31	6	5%	5	5%	5	34	alto
	I-A-5f-i		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	27	5	27	5	27	5	0	5	0	5	35	alto
	I-A-5f-j		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	26	5	26	5	26	5	80%	1	80%	1	24	medio
	I-A-5f-k		1.5	3	0-0.15 kg/cm ²	3	3	3	3	19	5	19	5	19	5	0	5	0	5	36	alto
	I-A-5f-l		2.3-2.6	5	0-0.05 kg/cm ²	5	5	5	5	5	2	5	2	5	2	100%	0	100%	0	24	medio
	I-A-5f-m		2.3-2.6	5	0-0.05 kg/cm ²	5	5	5	5	36	5	36	5	36	5	95%	1	95%	1	37	alto
	I-A-5f-n		1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	6	3	6	3	6	3	0%	5	0%	5	26	medio
	I-D-2		I-D-2-a	Erosión Fluvial	1	1	0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	10	4	10	4	10	4	0%	5	0%	5
I-D-2-b		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	22	5	22	5	22	5	100%	0	100%	0	24	medio
I-D-2-c		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	23-26	5	23-26	5	23-26	5	50%	3	50%	3	32	alto
I-D-2-d		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	26	5	26	5	26	5	95%	1	95%	1	26	medio
I-D-2-e		1	1		0-1.2 kg/cm ²	3	2	2	2	42	5	42	5	42	5	50%	3	50%	3	32	alto
I-D-2-f		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	36	5	36	5	36	5	5%	5	5%	5	37	alto
I-D-2-g		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	36	5	36	5	36	5	10%	5	10%	5	29	medio
I-D-2-h		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	90	5	90	5	90	5	0	5	0	5	28	medio
I-D-2-i		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	80 a 90	5	80 a 90	5	80 a 90	5	5%	5	5%	5	29	medio
I-D-2-j		1	1		0-2.8 kg/cm ²	1	2	2	2	80 a 90	5	80 a 90	5	80 a 90	5	5%	5	5%	5	29	medio

CLASIFICACION SUSCEPTIBILIDAD:
 9-19 BAJO
 20-29 MEDIO
 30-45 ALTO

Entre los criterios de evaluación para el cálculo de los indicadores respectivos se encuentran los siguientes factores intrínsecos del terreno:

3.3.3.1. Sismicidad

Parámetro: Aumento de la intensidad del sismo. Este parámetro se define por medio de la clasificación de los perfiles del suelo (Medvedev, 1965 y NSR – 98, AIS, 1998) y considera la influencia de las características geotécnicas locales sobre el cambio de intensidad del sismo, ver Cuadro 3.7.

Para la asignación de los valores del Cuadro 3.7 también se tuvo en cuenta el relieve.

3.3.3.2. Fracturamiento (Grado de Desintegración)

Parámetros: Para suelos – Cohesión
 Para rocas – Grado de fracturamiento

El parámetro de cohesión se definió mediante ensayos de laboratorio realizados (ver Cuadro 2.1 y Anexo 5). Al mayor valor presente se asigna la menor susceptibilidad igual a cero (0).

El grado de fracturamiento se determinó con base en el espaciamiento entre las discontinuidades (ver Anexo 2). La mayor susceptibilidad (5) se asigna al menor espaciamiento entre diaclasas tectónicas.

Cuadro 3.7. Clasificación de los perfiles del suelo (Medvedev, 1965)

N°	GRUPO DE ROCAS	SUELO TIPO NSR - 98	FACTOR DE AMPLIFICACION, F_a	SUSCEPTIBILIDAD
1	Rocas duras	A	0.1 - 0.8	1
2	Rocas Alteradas	B	0.7 - 1.1	2
3	Depósitos Granulares no cohesivos: bloques, gravas, arenas.	C	0.9 - 1.5 1.2 - 1.8	3
4	Depósitos Blandos cohesivos: arcillas, limos	D	1.2 - 1.6 1.3 - 1.8	
5	Antrópicos: escombreras, suelos orgánicos	E	2.3 - 2.6 2.6 - 3.0	4
6	Depósitos Saturados: bloques, gravas, arenosos, arcillosos, antrópicos	F	1.6 - 2.0 2.0 - 2.4 2.4 - 2.8 3.3 - 3.9	5

3.3.3.3. Propiedades Físico - Mecánicas de los Materiales

Parámetro: **Grupo geomecánico de rocas**, según la zonificación por áreas geomecánicas (ver cuadro 3.8).

La incidencia de las propiedades de las rocas también aporta a la definición de la susceptibilidad de los sectores a los procesos dañinos superficiales.

Es así como los deslizamientos, pueden formarse en cualquier tipo de suelos o rocas desde arcillosos y arenosos no consolidados hasta en rocas competentes. Se entiende que la posibilidad de su ocurrencia aumenta en sentido descendente desde el grupo 1 hasta el grupo 5 (ver Cuadro 3.8).

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUA ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE UZAUQUEN

Cuadro 3.8 Clasificación Geotécnica General de Rocas y Depósitos no Consolidados (Lomtatze, 1984).

GRUPO	TIPOS GENÉTICOS DE ROCAS										PROPIEDADES FÍSICO - MECANICAS											
	MAGMÁTICAS			METAMORFICAS			SEDIMENTARIAS				ANTROPICAS			FÍSICAS			HÍDRICAS			MECÁNICAS		
	INTRUSIVOS PROFUNDOS	CUERPOS INTERMEDIOS	DERIVADOS SUPERFICIALES	MACIZOS	FOUNDAS	PRO-CLÁSTICAS	GRANULARES	ARCILLOSAS	ORGANICAS QUÍMICAS	ARTIFICIALMENTE MEJORADAS	ARTIFICIALMENTE TRANSFORMADAS	FÍSICAS	HÍDRICAS	MECÁNICAS								
1	Granodiorito, Gabro, Diorita, Peridotita y otros.	Porfiro - granítico, sienítico, diorítico, granodiorítico, gábrico-porfírico.	Porfíro, Diabasa, Tráfico, Dacito, Andesito, Basalto, Liparita.	Mármol, Cuarzo.	Neis, Esquistos, cuarcosos.			Calizas y Dolomitas.	Rocas del grupo 1 compactadas y cementadas con reforzadas con cemen-tación, bituminización o por otro método.	Rocas del grupo 2 transformadas a rocas duras por intermedio de su consolidación y cementación.	r= 85-3 10 t/m ² (alta), r<1% (insignificante).	No rellenan humedad, no permeabilidad secundaria únicamente por fracturas, K<10 mDía w<5 t/m ³ .	Alta: 15-50 Media: 2.5-1.5 Baja: <2.5 Rc, MPa varía Alta: >5 Media: 1-5 Baja: <1 Deformabilidad baja o practivamente no deformable. Ed varía desde 2.000 hasta 10.000 MPa Vp=1.1-4.5 km/seg. n= 2.3-4.7 hasta 10-12. " e" por el concepto varía desde 0.3 hasta 0.55. Son anisotrópicos, tienen propiedades reológicas. La estabilidad de los taludes depende del grado de fracturamiento y meteorización t, =2+8. Excavación por voladura y percusión.									
2				Rocas del grupo 1, fuertemente fracturadas, con desarrollo de terómeros carsticos, con propiedades físico - mecánicas inferiores.			Lutitas, arcillitas y argilitas.	Calizas y dolomitas arcillosas, margas, liza, rocas silíceas.	Rocas del grupo 2 compactadas y cementadas con reforzadas con cemen-tación, bituminización o por otro método.	Rocas del grupo 3 y 4 consolidadas y reforzadas con arcillosas endurecidas por métodos térmicos o con cemen-tación, silicización, métodos químicos, rocas transformadas a rocas duras por intermedio de su consolidación y cementación.	r= 2.20-2.65 t/m ² , n hasta 10 - 15 %	Relación de humedad baja, K1 varía dependiendo del fracturamiento y meteorización K1 5 +30 mDía w hasta 15 t/m ³ , para rocas de permeabilidad baja-media, K1>30mDía w > 15t/m ³ para rocas de permeabilidad alta.	Alta: 15-50 Media: 2.5-1.5 Baja: <2.5 Rc, MPa varía Alta: >5 Media: 1-5 Baja: <1 Deformabilidad baja o practivamente no deformable. Ed varía desde 2.000 hasta 10.000 MPa Vp=1.1-4.5 km/seg. n= 2.3-4.7 hasta 10-12. " e" por el concepto varía desde 0.3 hasta 0.55. Son anisotrópicos, tienen propiedades reológicas. La estabilidad de los taludes depende del grado de fracturamiento y meteorización t, =2+8. Excavación por voladura y percusión.									
3								Arenas y luviones.	Rocas del grupo 3 consolidadas y reforzadas por métodos de secado, compactación, vibración, bituminización o con complementación granulométrica.		r= 1, 40 - 1, 90 t/m ² n= 20 - 45% varía notablemente dependiendo de la granulometría	Relación de humedad o relación de humedad muy fina), prácticamente no disolubles permeables K1>30 mDía para alta.	R depende del grado de compactación. Dureza (Rc<2). Ed varía desde 5-10 hasta 100 MPa. Vp=0.2-1.8 km/s, rs desde 0.5-4.8 hasta 0.25-0.60; la estabilidad en taludes depende del "T" y de la intensidad de acción dinámica. Su excavación es mecánica y manual.									
4									Rocas del grupo 4 compactadas, reforzadas con rodamiento y apisonamiento con secado, electroosmosis y con mejoramiento de sus propiedades con los métodos electroquímicos, etc.		r= 1, 40 - 1, 90 t/m ² n= 20 - 45% varía notablemente dependiendo de la granulometría	Relación de humedad o relación de humedad muy fina), prácticamente no disolubles permeables K1>30 mDía para alta.	R varía dependiendo del grado de humedad, Rk<2, compresibles y fuertemente compresibles. Ed=varía desde 5 hasta 100 MPa. Vp varía desde 0.3-0.85 hasta 1.0-2.2 km/seg. rs desde 0.8-2.3 hasta 2.8-5.9; j=0.15-0.35.									
5											r= 10-2 10 t/m ² n hasta 75-80% y W varía de 12-30 hasta 75-80%.	Relaciones de humedad, no disolubles, de K1 muy bajo a impermeables K1<0.1 mDía.	La estabilidad en taludes depende de su altura y de la humedad de las rocas. Se excavan mecánica o manualmente, tienen propiedades reológicas.									

CONVENCIONES: r - Densidad
n - Porosidad
Rc - Resistencia a la compresión
Rt - Resistencia al corte
Ri - Resistencia a la tracción
Vp - Velocidad de ondas sísmicas
rs - Rigidez sísmica
f - Coeficiente de fricción
Sapropel arenoso
Sapropel arcilloso
Sapropel arcilloso andrudo, gárril
Sapropel, suelos orgánicos, sal
Rellenos, botaderos, terraplenes, playas artificiales, etc.
Rocas de este grupo se caracterizan por propiedades específicas. Requieren métodos especiales y calificación individual.
fk - Coeficiente de Protolateralov
w - Hidroscopia unitaria
K1 - Coeficiente de permeabilidad
W - Humedad
j - Angulo de fricción interna

Los derrumbes y las caídas de bloques y detritos afectan rocas cuya resistencia en los contactos estructurales no es suficiente para conformar taludes de alta pendiente. Aunque pueden ocurrir en arcillas y arenas cementadas, en cuyo caso los derrumbes no son grandes. Generalmente intervienen en ellos las rocas que pertenecen a los Grupos 1 y 2.

Actualmente, está definido que la posibilidad de la formación de **flujos de lodo y detritos**, sus tipos e intensidad de manifestación en mayor grado están predeterminados por el grupo geomecánico de rocas y depósitos no consolidados. En términos generales, aplicables al caso que nos ocupa, la susceptibilidad a flujos de lodo varía de 1 hasta 5, para las rocas de los grupos de 1 a 5 respectivamente.

Todas las rocas y suelos tienen un cierto (mayor o menor) grado de susceptibilidad a la **erosión**; y solamente es necesario superar la resistencia (fricción y cohesión) entre las partículas que las componen para originar la erosión. Dependiendo de los tamaños y formas de los granos del material, en dicha resistencia también pueden influir las fuerzas de atracción y repulsión de los enlaces a nivel iónico y molecular. Estos materiales también son susceptibles a la acción de agua, pero como agente físico- químico.

La degradación de los materiales geológicos puede ocurrir después de la destrucción de dichos enlaces (conexiones), debido a la disolución, ablandamiento con agua, ciclos consecutivos de saturación y secamiento o la destrucción mecánica.

Las laderas conformadas por las rocas del grupo 1 son susceptibles a la erosión hídrica en los sitios afectados por fracturamiento tectónico y procesos de meteorización. Las rocas del grupo 2 se desintegran más fácilmente que las del grupo 1. Los suelos y las rocas arcillosas se degradan y desintegran más rápido con el agua. Los materiales menos resistentes a la erosión hídrica son los suelos y las rocas arenosas.

De aquí, la susceptibilidad al proceso de erosión hídrica varía en la siguiente forma:

Grupo geomecánico	Susceptibilidad
1	1
2	2
3	4
4	3
5	5

3.3.3.4. Condiciones Hidrogeológicas.

Parámetros: Permeabilidad. Este parámetro se definió por medio del ensayo directo en el terreno. Para las rocas se asignaron valores de permeabilidad mediante el uso de las clasificaciones existentes y los conceptos dados por algunos expertos.

Los efectos de las condiciones hidrogeológicas constituyen uno de los factores más importantes para los análisis de estabilidad de taludes.

El papel de las aguas subterráneas como originadoras de deslizamientos, consiste en el aumento de la presión de poros en el talud, con su consecuente disminución de la resistencia efectiva al corte de los materiales que componen al mismo.

Además de lo anterior, la presión hidrodinámica del agua proporciona una fuerza adicional que induce la formación de deslizamientos.

La incidencia del agua subterránea sobre la formación **de derrumbes y las caídas** de bloques o detritos, se refleja mayormente a través de su influencia sobre algunas de las propiedades de los materiales geológicos (disminución de su resistencia, aumento de volumen y otros), como el ya mencionado factor que define la presión hidrodinámica e hidrostática y, en algunos casos, como agente de meteorización.

De esta forma, el análisis de influencia de las condiciones hidrogeológicas sobre la susceptibilidad de áreas por los deslizamientos y caídas de bloques se realizó bajo los siguientes criterios:

Susceptibilidad	Permeabilidad de la masa, que recibe la presión hidrodinámica
1	alta a muy alta, >20 m/día
2	media, 5 – 20 m/día
3	baja, 0.5 - 5 m/día
4	muy baja, 0.1 - 0.5 m/día
5	prácticamente Impermeable, < 0.5 m/día

La influencia de las condiciones hidrogeológicas en la causación y la distribución espacial de los **flujos de lodos o detritos**, depende de la permeabilidad de las

rocas y suelos, las condiciones de alimentación y descarga de las aguas subterráneas y del grado de saturación de los depósitos detríticos.

Para la definición de susceptibilidad se tuvo en cuenta el parámetro de la saturación. En el sector I-a-5f-b₁ los depósitos se encuentran completamente saturados, por lo tanto se les asignó la susceptibilidad de 5 (cinco).

En buena medida la distribución espacial de los **procesos de la erosión hídrica** (por escorrentía superficial) está definida por las áreas de distribución de las rocas de diferentes composiciones y propiedades. Para los fines de evaluación de susceptibilidad de áreas al dicho proceso se tuvo en cuenta el factor hidrogeológico a través del parámetro de permeabilidad, que caracteriza la capacidad de infiltración de aguas lluvias y, respectivamente, el valor de la escorrentía superficial en la forma, que para los deslizamientos.

3.3.3.5. Relieve (condiciones geomorfológicas)

Parámetros: **Pendiente y formas**

Las condiciones geomorfológicas influyen sustancialmente sobre la **distribución de deslizamientos** en el espacio. A este respecto, el parámetro morfométrico principal es la inclinación de las vertientes, taludes o laderas.

Se entiende que bajo diversas condiciones (tecto – estructurales, hidrogeológicas, etc.), los valores máximos del ángulo del talud con el cual se inicia su inestabilidad son diferentes. Sin embargo, y con las demás condiciones similares, el parámetro indicado puede definir no solamente la posibilidad de falla del talud, sino también el carácter del proceso destructivo. Cuando la pendiente supera los 35° predominan los movimientos de masas superficiales (reptación, flujos y escurrimientos). Con ángulos inferiores se presentan los deslizamientos propiamente.

Un factor importante en la susceptibilidad de áreas a los deslizamientos es la forma de la vertiente en perfil. En las vertientes convexas, se evidencia una mayor susceptibilidad que en las cóncavas. Sin embargo, los volúmenes de falla de las convexas tienden a ser menores que los de las cóncavas.

Como otra señal de la formación de deslizamientos sirve la forma de la vertiente en planta. Numerosas observaciones demuestran que a dicho proceso favorecen las laderas cóncavas, debido a que a esta forma que ocupa la posición isométrica más baja, esta dirigido el flujo de aguas subterráneas y superficiales que humedecen a los depósitos y rocas existentes.

Es de especial importancia el papel de las condiciones geomorfológicas en la predicción de **derrumbes y caídas de bloques y detritos**, debido a que estos solo ocurren en taludes empinados con pendientes de 35° y más. Con un ángulo de inclinación $> 60^\circ$, los fragmentos se mueven en saltos grandes. Los procesos de derrumbamientos o de caídas de bloques y detritos están frecuentemente asociados con laderas convexas, cortadas por nichos y con cornisas orientadas hacia el lado del mayor calentamiento por el sol, lado en el que se desarrollan más activamente los procesos de meteorización física.

Los procesos de meteorización y erosión superficial hídrica son importantes para la acumulación de material de **los flujos de detritos**. Es evidente que el ángulo de inclinación de la superficie de la vertiente define en muchos aspectos el carácter del movimiento de los flujos de detritos. Las investigaciones pertinentes han demostrado que algunos flujos se generan en terrenos con pendientes mayores de 14° ; y los flujos de mayor densidad se generan en pendientes mayores de 16° .

La morfología del talud también ejerce una gran influencia sobre el carácter e intensidad de la **erosión hídrica**. A medida que es mayor la diferencia entre la morfología del talud y las condiciones del equilibrio hidrodinámico, mayor es la erosión.

De esta manera, la distribución de los tramos de talud con diferentes pendientes condiciona la ubicación espacial del proceso de socavación y erosión hídrica. Con el aumento del ángulo del talud se aumenta el volumen de socavación del terreno.

Las observaciones demuestran, que si las pendientes no superan los 2° , el lavado del material suelto es muy escaso. Con ángulos entre 2° y 5° la erosión se vuelve notoria. Con pendientes entre 5° y 8° la erosión laminar y en surcos se vuelve intensiva y se desarrolla por todas partes. Finalmente, en las laderas con inclinación superior a 8° la erosión es en surcos, los cuales rápidamente se convierten en cárcavas.

En el proceso de erosión juega papel significativo la velocidad del flujo de agua, el cual está predeterminado por la altura y longitud de las pendientes. Estas también se tuvieron en cuenta para la evaluación de las susceptibilidades a la erosión de las diferentes áreas.

3.3.3.6. Vegetación

Parámetro: Porcentaje de recubrimiento.

Debido a que en el caso que nos ocupa, el tipo de vegetación es del mismo tipo, la presencia y cubierta de vegetación en el área de estudio se consideró como un factor positivo para la conservación de la estabilidad del área. La cubierta vegetal protege los depósitos de la erosión y la meteorización; y favorece la regulación de la escorrentía superficial; lo cual por lo general aumenta la estabilidad de los taludes.

El análisis de los factores, presentado en el Cuadro 3.6, se efectuó en forma semicuantitativa. La valoración se hizo en una escala de 1 a 5, que fue seleccionada con base en la clasificación general de rocas y depósitos no consolidados de Lomtadze (1984). El mayor valor (5) se asigna a las condiciones que presentan la mayor posibilidad de ocurrencia de uno u otro proceso; y a medida que disminuye el valor, aumentan las posibilidades de inestabilidad.

La valoración de la susceptibilidad natural ($S_{natural}$) de los procesos de desestabilización se efectuó para cada uno de los factores que influyen sobre los procesos de remoción en masa; y luego, para obtener el resultado final, se sumaron las susceptibilidades parciales y se procedió a su clasificación, tal como se puede apreciar en el Cuadro 3.6.

3.3.4. Caracterización de las áreas homogéneas por su susceptibilidad a los procesos desestabilizantes

La caracterización de las áreas homogéneas por sus susceptibilidades a los procesos desestabilizantes, se efectuó con base en la evaluación descrita en el numeral anterior.

Para una mejor comprensión, los resultados obtenidos se agruparon en el Cuadro 3.9, del cual se definió que todas las áreas geomecánicas tienen sectores de alta susceptibilidad.

La mayor susceptibilidad a los procesos de deslizamiento es la que se presentan en los sectores I-a3-b₂ y I-A-5_r-b₁, debido principalmente a la baja cohesión de los materiales que los componen y las altas pendientes del terreno.

El sector I-A-5_r-b₁ se caracteriza por su alta susceptibilidad a los flujos de lodo. Todos los factores que se analizaron favorecen su desarrollo, más si se tiene en cuenta que este sector recibe continuamente material detrítico desde las partes altas. Aunque las magnitudes de flujo son relativamente pequeñas, estos influyen desfavorablemente en la estabilidad de los sectores ubicados en su cabecera.

Los sectores I-D-C-2-C₁, I-D-C-2-C₂ y I-D-2-C₅ son de una susceptibilidad alta a los derrumbes y las caídas de bloques debido al alto grado de fracturamiento de la masa rocosa, la fuerte inclinación de los taludes, la presencia de meteorización física y desfavorable posición de la estratificación del macizo rocoso.

La erosión hídrica es un proceso que se evidencia prácticamente en toda el área, debido principalmente a las características de los materiales, las altas pendientes y la delgada cubierta de vegetación. Es necesario destacar que el desarrollo del proceso de erosión está estrechamente relacionado con los otros procesos descritos anteriormente, y puede primar como un factor detonante. El mayor desarrollo del proceso de erosión se observa en los sectores relacionados en el cuadro 3.10

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 3.9. Caracterización de áreas homogéneas por procesos

AREA GEOMECANICA	SECTOR	PROCESOS			
		Deslizamiento	Desprendimiento	Flujo de lodo	Erosión Fluvial
I-A-5f	I-A-5f-b ₁				
I-A-3	I-A-3-a ₁				
	I-A-3-a ₂				
	I-A-3-a ₃				
	I-A-3-b ₁				
	I-A-3-b ₂				
	I-A-3-b ₃				
	I-A-3-b ₄				
	I-A-3-b ₅				
	I-A-3-b ₆				
	I-A-3-b ₇				
I-A-5r	I-A-5r-a ₁				
	I-A-5r-b ₁				
I-D-2	I-D-2-a ₁				
	I-D-2-a ₂				
	I-D-2-b ₁				
	I-D-2-b ₂				
	I-D-2-b ₃				
	I-D-2-c ₁				
	I-D-2-c ₂				
	I-D-2-c ₃				
	I-D-2-c ₄				
	I-D-2-c ₅				
I-D-2-c ₆					

CLASIFICACIÓN:

5 - 19	BAJO
20 - 29	MEDIO
30 - 45	ALTO

NO SE DETECTO

Cuadro 3.10 Formas de erosión

SECTOR	FORMA	EFFECTO PRINCIPAL
I-A-3-b ₁	Laminar y en surcos	Aportan gran cantidad de sedimentos para las partes inferiores en cota.
I-A-3-b ₂	Laminar y en surcos	
I-A-3-b ₃	Laminar y en surcos	
I-A-3-b ₄	Laminar y en surcos	
I-A-3-b ₅	Laminar y en surcos	
I-A-3-b ₇	Laminar y en surcos	
I-D-2-b ₂	Lavado de fracturas tectónicas y formación de cárcavas.	Induce caída de bloques.
I-D-2-C ₁		
I-D-2-C ₂		
I-D-2-C ₃		
I-D-2-C ₄		

3.3.5. Análisis de Factores Detonantes

Los factores detonantes de los procesos de desestabilización de taludes son tres: la actividad antrópica, la pluviosidad y la sismicidad del área de estudio.

3.3.5.1. Actividad Antrópica

A partir del análisis de antecedentes se deduce que la causa principal de los procesos reside, sin duda, en la intervención antrópica anterior al presente estudio, relacionada con la deforestación de la vertiente, la explotación de canteras, la construcción de vías y la urbanización del sector.

Dicha intervención antrópica ha producido cambios notables en el estado de equilibrio geomecánico natural del área consistente en:

1. Modificaciones en la cobertura vegetal (deforestación).
2. Alteración de los elementos del ciclo hidrológico; escorrentía, infiltración, evapotranspiración, cantidad y calidad de aguas subterráneas.
3. Cambio del relieve, con un aumento de las pendientes debido a los cortes y excavaciones realizados para la explotación de la cantera.
4. Conformación de rellenos con material estéril proveniente de la construcción de las vías y las excavaciones para las casas, algunos de ellos en sitios desfavorables para la estabilidad de taludes.
5. Modificación del estado de esfuerzos, tanto en el macizo rocoso como en los depósitos de materiales, debido a las excavaciones y los rellenos.

Lo anterior desembocó en unas condiciones geotécnicas relativamente nuevas, en las cuales el sistema todavía no ha logrado un estado de equilibrio, y se encuentra en un proceso de acomodamiento. Los fenómenos actuales de desestabilización son el reflejo de este proceso.

Aunque ocasionalmente se extraen arenas, en la actualidad ha cesado la actividad antrópica en el área crítica y su incidencia se circunscribe al sector de las viviendas (sector I-A-3-a₁), para tránsito de personas y recreo.

Sin embargo, el mal manejo de las aguas lluvias (y de las utilizadas en la cantera Servitá) sigue siendo factor detonante para desarrollo de procesos de erosión y dinámica hídrica en los sectores I-D-2 -a₂, I-A-3-b₅, I-D-2-b₂, I-A-3-b₇, I-A-3-b₆, I-D-2-C₄, y especialmente en el I-D-2-C₅, que es el más cercano a las viviendas.

No es factible predecir el caudal y la periodicidad de las descargas de aguas en el área de estudio, ni la tasa de avance de los efectos de la erosión hídrica, pero se pueden analizar algunas evidencias directas en el terreno. La cárcava delimitada por el sector I-D-2-C₅ ha crecido 4 m en 4 años. Si sigue a este ritmo, en 3 a 5 años puede derrumbarse el talud que sirve como soporte a 3 casas.

Por otra parte, las aguas negras de la viviendas, ubicadas en el sector I-A-5r-a₁, alimentan permanentemente las aguas subterráneas que afloran en el sector I-A-3-b₂, generando el flujo de lodo en el sector I-A-5f-b₁.

3.3.5.2. Pluviosidad

En la zonificación, realizada por EAAB ESP (IRM, 1995) el área de estudio corresponde a la Zona I. La estación más cercana a la zona es la de Usaquén, donde se registra una precipitación promedio anual de 1020 mm y una evaporación promedio de 1000 mm, la que apunta hacia un clima cercano al árido.

La distribución anual de las lluvias en la zona es bimodal, con dos períodos lluviosos, y con precipitaciones máximas en el mes de abril (200 mm) y octubre, noviembre y diciembre (100 - 120 mm).

La intensidad de las lluvias máximas con períodos de retorno de 10 y 25 años corresponden a 106 y 127 mm/h respectivamente (ver Anexo 7), con duración de 15 minutos.

Si comparamos estos valores con la permeabilidad de los depósitos que conforman el área que oscila entre 417 y 2500 mm/hora (ver cuadro 3.3), se puede concluir que una buena parte del agua que cae sobre un suelo plano se infiltra fácilmente.

La permeabilidad del substrato rocoso es 10 o más veces inferior que los depósitos, razón por la cual puede generarse un flujo temporal de agua por los contactos depósitos – rocas.

Sin embargo, debido a la alta permeabilidad de los depósitos y de la roca, el agua probablemente no genera una presión sobre los mismos; y su acción puede limitarse a lubricar temporalmente la superficie de falla, disminuyendo así los parámetros de resistencia de los materiales en el contacto roca – suelo.

Los análisis de los antecedentes del comportamiento de las áreas de deslizamientos potenciales durante un período de 7 años (incluyendo el periodo del presente estudio) con base principalmente en los testimonios de los vecinos y

en las fotos áreas de diferentes épocas, han demostrado que las lluvias no han tenido una incidencia notoria.

La influencia de la precipitación es directamente proporcional sobre el desarrollo de los procesos de erosión hídrica, la formación de cárcavas y los flujos de lodo. Estos procesos se activan con cualquier lluvia, y son más notorios en los períodos de alta pluviosidad.

El caudal máximo de escorrentía calculado para diferentes áreas geomecánicas varía de $0.009 \text{ m}^3/\text{seg}$ a $0.05 \text{ m}^3/\text{seg}$ (50 lts/seg) y de $0.01 \text{ m}^3/\text{seg}$ a $0.06 \text{ m}^3/\text{seg}$, para lluvias máximas con periodo de retorno de 10 y 25 años (ver Anexo 7).

En el área no existe ningún sistema de manejo de aguas lluvias. Como es lógico, en los mayores caudales (y con mayor energía) el agua llega con sedimentos a los sectores más bajos, ocasionando inundaciones en el primer piso de las viviendas del barrio inmediatamente próximo al sector I-A-3-a₁. Este evento se presentó en dos ocasiones durante el período del estudio.

3.3.5.3. Sismicidad

De acuerdo con la microzonificación sísmica de Bogotá, el área de estudio pertenece a una zona de riesgo intermedio con una intensidad para un sismo máximo en magnitud de 7 y con una aceleración pico efectiva (A_a) de 0.20 g.

Esta magnitud se califica como fuerte, porque provoca daños graves en las construcciones, en muchos casos deslizamientos en las laderas, y cambios en los caudales de los manantiales, otras fuentes hídricas y en el nivel freático (Lomtadze, 1977).

Los cambios de las condiciones geotécnicas se empiezan a observar con un sismo de intensidad VI, o inclusive interior, si se consideran los factores de la ampliación local del espectro de aceleración por efectos de sitio y material geológico.

El análisis de la influencia de la sismicidad, como un factor detonante de los procesos desestabilizantes que se desarrollan en el área de estudio, se hizo a partir de la información secundaria y por medio de los cálculos de estabilidad.

Los antecedentes de actividad sísmica ocurrida en el período desde que se formaron los depósitos de pendiente (1990), hasta la fecha del presente estudio (1999), se analizaron en relación con los efectos que se han producido sobre el área. En el Cuadro 3.11 se presentan los sismos más cercanos ocurridos durante dicho período.

Las entrevistas con los vecinos del área, y la comparación tanto de fotografías áreas como las tomadas en el sitio, ambas en diferentes épocas, no han revelado ninguna evidencia de movimientos perceptibles por causa de los sismos.

Cuadro 3.11 Eventos Sísmicos cuyos registros se utilizan para el presente estudio

SITIO	FECHA	MAGNITUD	
		EN FOCO	EN BOGOTA
Nariño	17 de octubre de 1992	6.6	Hasta 4 – 5
	18 de octubre de 1992	7.2	
Paez	6 de junio de 1994	6.4	
Tauramena	19 de enero de 1995	6.5	
Calima	2 de agosto de 1995	6.6	
Armenia	19 de enero de 1999	6.4	

Los últimos sismos que generaron daños de consideración en Santafé de Bogotá fueron los movimientos telúricos de 1917 y de 1928.

Se supone que el período de recurrencia de un sismo cercano a Bogotá (fallas de Usaquén y de Bogotá) es de 100 y 50 años para una intensidad de VII en la escala de Mercalli. Es probable, que un sismo cercano active los procesos en los sectores potencialmente inestables del área de estudio.

Para el cálculo de estabilidad a las cargas dinámicas se estimó el coeficiente local de amplificación de la intensidad del sismo para cada uno de los sectores analizados, los cuales se presentaron en el Cuadro 3.6. Este coeficiente varía de 1.0 en la roca hasta 2.3 a 2.6 en los flujos de lodo y los rellenos antrópicos ubicados sobre las superficies inclinadas con pendientes hasta de 35°.

4. EVALUACION DE AMENAZAS

De acuerdo con UNDRO, la amenaza natural comprende la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente desastroso que afecte un área dada, para un período de retorno específico. Se clasifica en alta, moderada y baja. Se diferencia porque se clasifica en subgrupos por la naturaleza del fenómeno. Para el caso que nos ocupa, es el impacto de los bloques caídos, la presión de la masa de un deslizamiento, la acumulación de materiales de un derrumbe o proveniente del arrastre del material suelto por el agua de escorrentía.

4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos de evaluación de amenazas son los siguientes:

- 1) Identificar los procesos y definir su distribución espacial.
- 2) Identificar los factores detonantes.
- 3) Determinar la magnitud, el estado de actividad y la tendencia a la propagación de los actuales procesos de inestabilidad.
- 4) Categorizar la amenaza

Los dos primeros objetivos fueron realizados en el capítulo anterior, cuyo resultado fue el mapa de susceptibilidad de áreas homogéneas por procesos.

Los dos últimos serán el objetivo del presente capítulo.

4.2. CRITERIOS Y METODOLOGIA DE EVALUACION

En el ámbito mundial no existe una metodología unificada para estas evaluaciones. En Colombia el mayor aporte en evaluación de amenazas indiscutiblemente

corresponde a INGEOMINAS (Rodríguez E, 1998). Aun considerando el avance alcanzado, la metodología de evaluación de amenaza para escalas de 1:500 o 1:250 no se ha desarrollado suficientemente, motivo por el cual fue necesario adoptar un método específico para el presente estudio.

Ante todo, consideramos que el análisis debe ser cuantitativo, que utiliza los conocimientos y métodos de ciencias geológicas y geotécnicas, específicamente de mecánica de suelos y rocas.

"...No es nada fácil lograr la cuantificación total de todas las variables, dado que la inestabilidad del terreno es un fenómeno por lo menos de segundo orden, el cual depende de condiciones intrínsecas evolutivas y de factores detonantes de carácter semialeatorio y que presenta diversas sollicitaciones a los elementos expuestos. Por estas razones, es necesario, durante el proceso de evaluación, apelar en todo caso a relaciones empíricas, variabilidades estimadas y asignaciones subjetivas de algunos de los componentes, para poder llegar a valores cuantitativos, lo cual determina que, aunque se obtengan cifras, casi todos los análisis resultan realmente semi-cuantitativos. Adicionalmente, es importante recalcar que los resultados son estimativos de órdenes de magnitud para toma de decisiones, más que valores numéricos exactos." (González Alvaro, 1990)

Además, los métodos analíticos cuantitativos se defieren el uno del otro dependiendo del tipo de proceso analizado (deslizamiento, erosión, caídas de bloques), y debe hablarse del grupo de métodos.

En el presente estudio la definición de la amenaza se hizo a través de correlaciones. Para los deslizamientos se empleo la correlación entre el factor de seguridad dinámico y la probabilidad de falla del talud por encontrarse en una región sísmicamente activa.

Como criterio de estabilidad de taludes se ha tomado el factor de seguridad, en la siguiente forma (Paducov, 1981; Schuster R., 1978)

$F_s < 1$	Inestable
$F_s = 1.0 - 1.5$	Estado de equilibrio límite
$F_s > 1.5$	Estado estable

Se consideró, que el factor de seguridad de 0 a 1.0 corresponde a amenaza alta; de 1.0 a 1.5 como media, y mayor a 1.5 como de amenaza baja. Se empleó la distribución probabilística en forma de la Campana de Gauss, tal como se presenta en la figura 4.1, la cual se corroboró posteriormente con resultados obtenidos en los cálculos de estabilidad a través de distribución logarítmica.

Luego de obtener los valores de amenaza para los deslizamientos, se elaboró la gráfica de correlación entre los parámetros de probabilidad de áreas al proceso de deslizamiento, presentada en la figura 4.2. Esta correlación sirvió de base para la definición de amenaza por los procesos de caída de bloques y erosión.

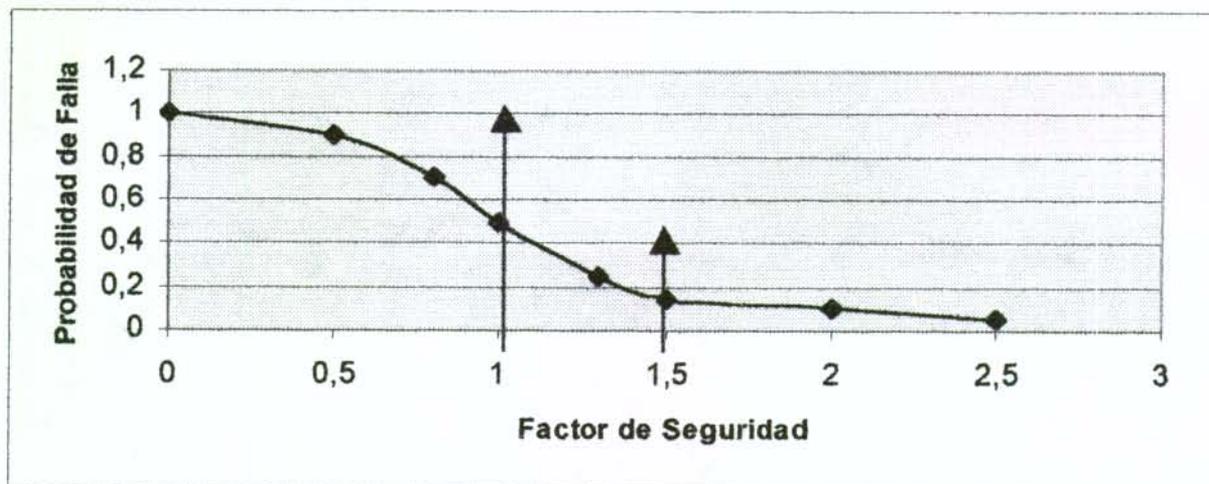


Figura 4.1 Relación entre la Probabilidad de Falla y Factor de Seguridad.

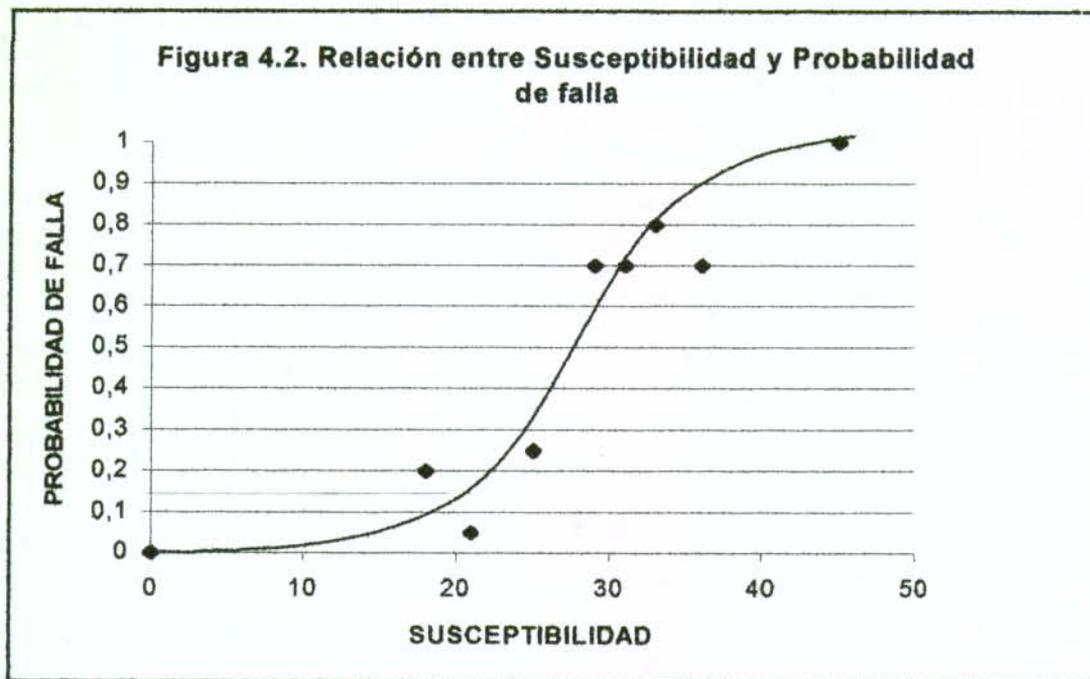
En síntesis, los métodos empleados en el presente estudio, se puede ver en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Síntesis de métodos de evaluación y cálculos empleados.

AMENAZAS POR PROCESOS		MÉTODOS DE VALORACIÓN
Deslizamientos	en suelos	Método de Jambu para superficie de falla, predeterminado. Programa PC-STABLE. Correlación entre el factor de seguridad dinámico y probabilidad de falla.
	en roca	Jambu y Hoek and Bray. Falla Circular y Planar. PC-STABLE y hoja de cálculo EXCEL.
Caída de bloques		Análisis Cinemático. Método de Grechischev. Programa Tumble. Correlaciones entre susceptibilidad y amenaza.
Erosión		Correlaciones entre susceptibilidad y amenaza.

El análisis de estabilidad se hizo para las condiciones estáticas y dinámicas aplicando las recomendaciones de NSR - 98 para estudios geotécnicos.

En condiciones dinámicas se tomo como base el $A_a = 0.2$, al cual se le aplicó el coeficiente de amplificación por efectos locales.



4.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

4.3.1 Caída de Bloques

De acuerdo con el mapa de susceptibilidad a los procesos, los sectores susceptibles a la caída de bloques corresponden a los taludes con inclinación superior a 35° , conformados por areniscas con niveles de arcillolita de la Formación Arenisca Tierna.

A estos sectores se practicó el análisis cinemático de discontinuidades, obteniéndose los resultados que se presentan en el anexo 2.

Según el análisis cinemático, todos los taludes analizados pueden presentar desprendimientos de bloques cuyo tamaño varía de 10cm a 1m.

Para la definición de la zona con amenaza alta y/o media por caídas de bloque, se calculó la distancia horizontal máxima desde el pie del talud, hasta donde podrá llegar un bloque desprendido, analizada por la ecuación de Grechishev :

$$X_h = (\alpha + 45)/450 \times H$$

Donde: X_h = Distancia horizontal desde el pie del talud
 H = Altura del talud
 α = Inclinación del talud

Las distancias calculadas fueron corregidas por el factor de seguridad ($K_{sies}=1.5$), debido al efecto sísmico.

Con base en el cálculo realizado se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 4.2 y en el mapa de zonificación de amenazas por caída de bloques (ver anexo 10).

Cuadro 4.2 Cálculo de distancia horizontal de caída de bloques

AREA GEOMECANICA	SECTOR	PENDIENTE, grad		ALTURA, m		DISTANCIA, m		
		DE	HASTA	DE	HASTA	DE	HASTA	con K_{sies}
I-D-2	I-D-2-C ₁	41	80	4	15	0.76	4.17	6.25
	I-D-2-C ₂	45	80	4	10	0.80	2.78	4.17
	I-D-2-C ₃	60	90	4	10	0.93	3.00	4.50
	I-D-2-C ₄	51	65	4	7	0.85	1.71	2.57
	I-D-2-C ₅	90	90	4	8	1.20	2.40	3.60
	I-D-2-C ₆	80	90	4	6	1.11	1.80	2.70

4.3.2. Deslizamientos

En el análisis de susceptibilidad de áreas homogéneas por procesos fueron identificadas 7 áreas susceptibles a deslizamientos (ver cuadro 3.9).

La evaluación de la estabilidad de los taludes se efectuó a través del programa PC-STABLE elaborado por la universidad de PURDUE (EE.UU.) bajo el auspicio de la Federal Highway Administración. Este programa incluye toda una serie de menús que permiten estimar el factor de seguridad al deslizamiento de una masa de suelo mediante los siguientes tipos de análisis: Superficie Circular de Jambu, superficie circular de Bishop, superficie irregular de Jambu, Bloque deslizante, bloque de Rankine, superficie específica de Jambu y superficie específica de Bishop.

En los casos de falla planar la estabilidad se evaluó mediante las fórmulas de Hoek y Bray, atendiendo a las condiciones estructurales que se consideran necesarias para que se produzca la falla. Las fórmulas se desarrollan a través de una hoja de calculo EXCEL cuyos resultados se anexan al presente informe (ver anexo 8).

En el calculo del factor de seguridad se consideraron dos estados de carga: 1) sobrecarga sin sismo y 2) con sismo y sin sobrecarga. El método de análisis utilizado fue el de Jambu tanto para superficies circulares como para superficies específicas.

4.3.2.1. Modelos de Falla y parámetros de cálculo

Para la definición del modelo de falla se realizo un conjunto de actividades, tales como:

- Levantamiento de perfil topográfico.
- Análisis de antecedentes.
- Exploración geológica y geotécnica.

- Perfiles geoelectricos.
- Ejecución de trincheras, apiques y perforaciones manuales.
- Correlación de información.
- Revisión por el método de equivalencia de las masas.
- Consulta de opinión de expertos.

El resultado final fue plasmado en los perfiles que se presentan en el anexo 8.

En el talud del sector I-A-5r-b₁ se distinguen tres clases de suelo: en la parte alta y al nivel superficial existe una capa de material antrópico constituido por fragmentos de arenisca, desechos de construcción y basura embebidos en una matriz limoarenosa. Debajo se detectó una capa de bloques de arenisca de diversos tamaños envueltos por una matriz también limoarenosa. Finalmente, esta el macizo rocoso constituido por bancos de areniscas friables con delgadas intercalaciones de arcillolitas arenosas. Para este sector el modo de falla estudiado fue del tipo circular.

El talud que comprende los sectores 1-A-3-b₁, 1-A-3-b₂, 1-A-3-b₃, ubicado en el costado sur del área de estudio, consiste en una capa de material de pendiente compuesto por bloques de arenisca de tamaño variable soportados por una matriz arenosa. Esta capa se apoya sobre un macizo rocoso conformado por bancos de arenisca e intercalaciones de arcillolita. Los perfiles propuestos fueron establecidos a partir de la información obtenida de los apiques y sondeos geoelectricos, cuyos registros se adjuntan en el informe. En este caso los modos de falla analizados fueron del tipo circular y planar.

Los materiales de pendiente son muy permeables, por lo tanto no se tuvo en cuenta la presión de agua subterránea.

En los sectores 1-D-2-b₁, 1-D-2-b₂, 1-D-2-b₃, 1-D-2-c₂, el modo de falla estudiado fue planar y la evaluación de la estabilidad se hizo a partir de las fórmulas de Hoek y Bray. Se presenta a continuación el desarrollo de estas fórmulas y el significado de los símbolos utilizados en la hoja de calculo para su comprensión.

En el caso de rotura plana se supone que la masa rocosa que desliza está limitada hacia atrás por una fisura de tracción, cuya posición se determina de manera tal que el coeficiente de seguridad sea mínimo.

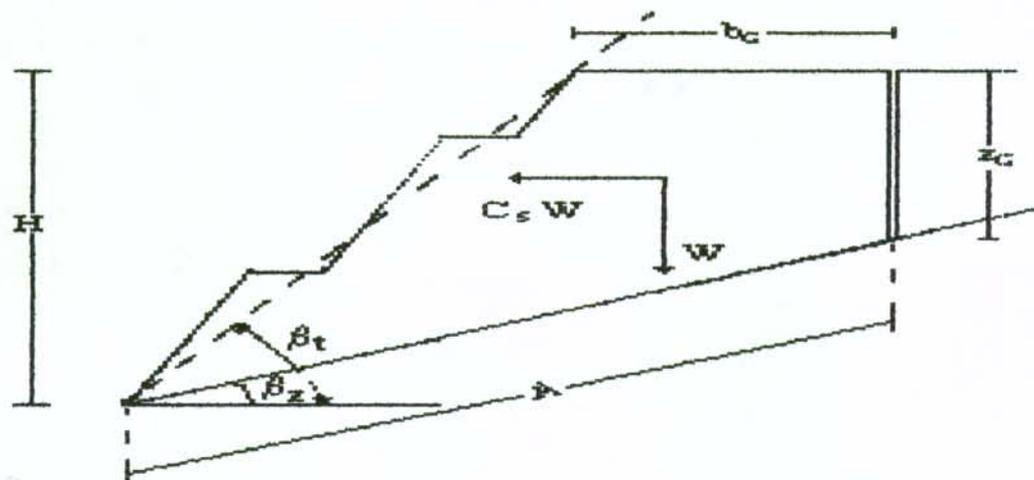


Figura 4.3 Geometría del talud para falla plana

Se considera que el talud está sometido a esfuerzo sísmico, adoptándose los coeficientes sísmicos que aparecen en el cuadro 4.3

El coeficiente de seguridad al deslizamiento es:

$$F_s = \frac{c \cdot A + (W \cos b_z - C_s W \sin b_z) \operatorname{tg} f}{(W \sin b_z + C_s W \cos b_z)}$$

- Donde:
- W = Peso de la masa de roca
 - C_s = cohesión a lo largo del plano de deslizamiento
 - f = fricción a lo largo del plano de deslizamiento
 - b_z = buzamiento del plano de deslizamiento
 - H = altura del talud
 - b_c = distancia, por detrás de la cresta del talud, a la que se encuentra la fisura de tracción
 - z_c = profundidad de la grieta de tracción
 - A = (H-z)/sen b_z

La posición crítica de la grieta se determina, de acuerdo a Hoek y Bray, haciendo mínimo el coeficiente de seguridad y responde a esta expresión:

$$b_c = H ((\operatorname{cotg} b_t \operatorname{cotg} b_z)^{1/2} - \operatorname{cotg} b_t)$$

y la profundidad de esta grieta es:

$$z_c = H (1 - \cotg b_t \operatorname{tg} b_z)^{1/2}$$

Donde: b_t es el ángulo que forma el talud con la horizontal.

En los cálculos se ha considerado un b_t ficticio que tiene en cuenta la presencia de bermas (Ver fig. 4.3). De esta manera es más sencillo el cálculo del peso de la cuña. Este ángulo responde a las siguientes expresiones:

Si H no coincide con un múltiplo de la separación vertical entre bermas (10 o 15 m):

$$b_t = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (H) / (H_o * n / t + (H - H_o * n) / t + b * n)$$

Si H coincide con un múltiplo de la separación vertical entre bermas:

$$b_t = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (H) / (H_o * n / t + (H - H_o * n) / t + b * (n - 1))$$

Donde: H = altura total del talud
Ho = separación vertical entre bermas (10 o 15 m)
t = pendiente del talud (t v: 1 h)
b = ancho de berma
n = entero(H/Ho).

Si H no es múltiplo de Ho, n es igual al número de bermas. Si H es múltiplo de Ho, n es el número de bermas menos 1. Estos valores se ilustran en fig. 4.4

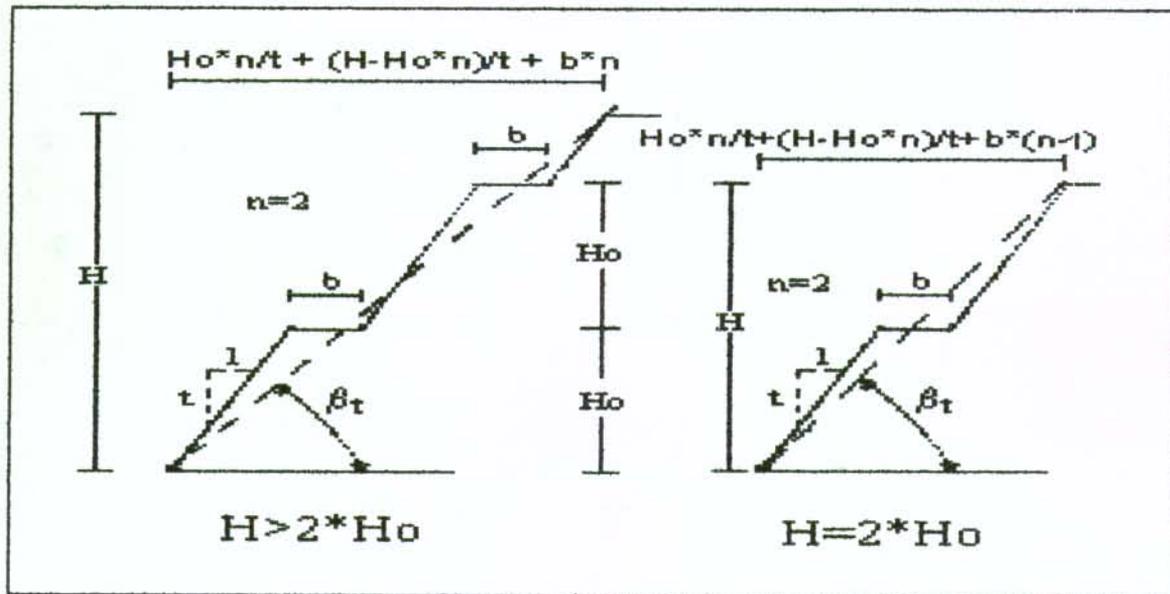


Figura 4.4 Falla Planar

Con los valores de c y f propuestos para la arcillolita se analizaron taludes con inclinaciones que varían entre 30 y 45 grados con respecto a la horizontal. En este caso las bermas no se consideraron. La inclinación de los planos de deslizamiento se supuso de 30 grados, correspondiente al buzamiento de estratos.

La caracterización de los suelos fue hecha mediante ensayos de laboratorio y los parámetros de resistencia adoptados para efectos de análisis son los que se describen en el cuadro 4.3. Estos parámetros fueron revisados por el método probabilístico, que consistió en tomar para el cálculo una serie de valores de c y f , definir factores de seguridad respectivos, incluyendo menores del 1.

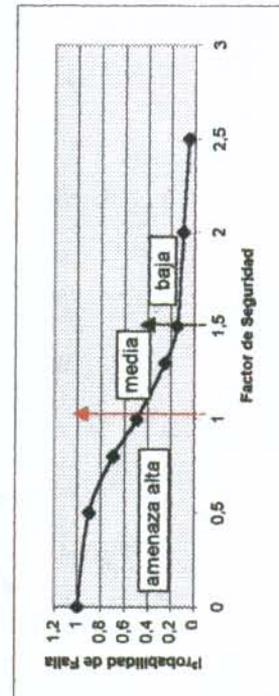
Los parámetros de resistencia con los cuales se obtuvo el factor de seguridad que más se aproxima a la situación real del sector afectado por deslizamiento, se consideraron como apropiados. Los resultados de laboratorio coinciden con los parámetros determinados por el método probabilístico.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 4.3 Evaluación de amenaza por deslizamientos

NUMERO DEL SECTOR	MODELO DE FALLA				PARAMETROS DE CALCULOS ADOPTADOS				DEFINICION DEL MODELO DE FALLA	RESULTADOS				AMENAZA			
	SUSCEPTIBILIDAD	Pendiente	Area m ²	Tipo falla	Tipo de material	Cohesión Kpa	Angulo de Fricción	Peso unitario KN/M ³		Coefficiente sísmico K _{ais}	FACTOR DE SEGURIDAD	MAGNITUD DEL DESPLAZAMIENTO m			PROBABILIDAD DE FALLA	Clasificación	
										Dinámico	Estático	1 Seg.	2 Seg.	Kexp.	Pf		
I-A-3-b ₁	21	28	300,19	Circular	Talus Arenisca Arcillolita	1,5 2808 12	37 38 18	20,4 20,5 20	0,3 0,3 0,3	Con base a los perfiles geológicos y reconstrucción de la topografía del terreno en épocas anteriores a los derrumbes antiguos. Por medio del método indirecto (geoeléctrica), apiques y trincheras, sondeos con barreno manual. La superficie de falla se corrobora por el método de equivalencia de masa obteniéndose el modelo de falla presentada.	0,70	1,30	0,96	3,9	4,81	0,75	alto
I-A-3-b ₂	31	34	346,01	Circular	Talus Arenisca Arcillolita	1,5 2808 12	37 38 18	20 21 20	0,3 0,3 0,3		0,80	1,60	0,87	3,5	4,36	0,70	alto
I-A-3-b ₃	29	34	588,56	Circular y Planar	Talus Arenisca Arcillolita	1,5 2808 12	37 38 18	20 21 20	0,3 0,3 0,3		0,80	1,10	0,87	3,5	4,36	0,70	alto
I-A-5-b ₁	35,5	36	544,16	Circular	Talus Arenisca Arcillolita	5 15 2800	34 37 38	18 21 21	0,48 0,46 0,46		0,80	1,20	0,84	3,3	4,16	0,70	alto
I-D-2-b ₁	21	22	395,37	Planar	Arcillolita	1,2	18	20	0,20	Con base en los perfiles geológicos, con grieta de tracción por falla geológica	2,04	3,19			10,6	0,05	bajo
I-D-2-b ₂	25	28	337,28	Planar	Arcillolita	1,2	18	19,7	0,20		1,29	2,17			17,5	0,25	medio
I-D-2-b ₃	18	26	398,44	Planar	Arcillolita	1,2	18	20	0,20		1,40	2,29			12,5	0,20	medio
I-D-2-c ₂	33	36	182,90	Planar	Arcillolita	1,2	18	20	0,20		0,67	1,14			12,5	0,80	alto

AMENAZA	Factor de seguridad dinámico de hasta
alto	0
medio	1
bajo	mas de 1,5



4.3.2.2. Consideraciones sísmicas:

Para el establecimiento de las condiciones sísmicas de la zona se recurrió al documento de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Santafé de Bogotá y a los mapas adjuntos al mismo. Con base en este estudio se ubicó el sitio de proyecto dentro de la Zona I - Cerros.

La aceleración máxima del terreno para la zona I (A_m) es 0.20 y es el valor que se ha considerado en los análisis de estabilidad de los sectores rocosos. En el caso de sectores en depósitos cuaternarios, ubicados sobre las vertientes, se aplicó la corrección por el coeficiente de amplificación del espectro por efectos de sitio (NSR- 98, Medvedev, 1965)

En los análisis de estabilidad la acción sísmica fue involucrada mediante la aparición de fuerzas de inercia en las direcciones horizontal y vertical debido a la aceleraciones horizontales y verticales del suelo. Las aceleraciones son expresadas aquí como una fracción de la gravedad y el método de análisis es del tipo pseudoestático. El incremento en la presión de poros debido al sismo no es considerado aquí, dada la alta permeabilidad de los materiales presentes.

4.3.2.3. Calculo del Factor de Seguridad y distancias de desplazamiento

Los modelos ingresados al programa son los mostrados en la figuras del anexo 8 y los parámetros de resistencia del suelo son los antes descritos.

Los factores de seguridad críticos tanto estáticos como dinámicos se presentan en el cuadro 4.3.

En el mismo cuadro se presentan los valores máximos de desprendimiento de las masas en movimiento definidas por varios métodos, tales como: Sarma y Ambraseys.

El cálculo se realizó para los eventos con duración de 1 y 2 seg, solamente para los depósitos no consolidados.

La distancia obtenida fue afectada por el coeficiente de expansión de 1.25, debido a la desconsolidación de los materiales.

Las distancias de esparcimiento del material debido a fallas de taludes en roca se determinaron con base en datos reales a través del análisis retrospectivo de 2 (dos) eventos de deslizamientos - derrumbes que se han presentado en el área de estudio.

En el sector I-A-3-b_{1,2,3} la falla del talud se presentó cuando éste tenía una altura de 20 m. La grieta de tracción se formó a 18 m del borde del talud y el material del derrumbe se extendió a una distancia de 25 m desde la "pata" del mismo. El antiguo talud tenía una inclinación de 70°-80° aproximadamente (por analogía con taludes existentes en el área), obteniéndose después del derrumbe un ángulo de reposo que varía de 40° a 22° en la parte alta y baja respectivamente.

En el sector I-A-S_{-b}₁, falló un talud de 24 m de altura y se formó una grieta de tracción a 25m desde el pie del talud, expandiéndose el material del derrumbe a una distancia de 33m.

Teniendo en cuenta los valores anteriores, se elaboró las siguientes ecuaciones lineales:

$$X_h \approx 1.25H$$

$$a_h \approx 1H$$

Donde: X_h = es la distancia probable de expansión de material del derrumbe
 H = altura del talud
 a_h = Ubicación de la probable grieta de tracción, distancia desde la pata del talud

4.4 CLASIFICACION DE AMENAZAS

Como se mencionó al inicio del capítulo 4 la amenaza se clasifica en alta, moderada (media) y baja. De acuerdo con su definición como el parámetro probabilístico, la amenaza puede variar desde 0 hasta 1.

amenaza alta corresponden los valores de 0.5 a 1, la media de 0.2 a 0.5 y a la baja inferior a 0.2.

4.5. CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS POR AMENAZA

4.5.1. Definición de áreas bajo amenaza específica

La distribución espacial de amenazas por caídas de bloques, deslizamientos y erosión se presenta en los mapas temáticos (planos 5, 6 y 7, Anexo 10).

Como base para la elaboración de dichos mapas se tomó el mapa de susceptibilidad a los procesos (plano 5), cada uno de los veinticuatro (24) sectores, que aparecen en el mapa mencionado fue evaluado desde el punto de vista de amenaza que genera, y se ampliaron sus límites de acuerdo al área de influencia por posibles movimientos calculados.

Es así como en el pie de los taludes rocosos afectados por caída de bloques se delimitó la distancia máxima de probable alcance.

Lo mismo se hizo con los sectores susceptibles a los deslizamientos. Dichos sectores fueron ampliados de acuerdo con el avance esperado, definido por el cálculo.

En los sectores susceptibles por erosión en cárcavas se pronosticó su avance teniendo en cuenta la información secundaria.

El período considerado para la evaluación de amenaza por deslizamiento es de 25 a 95 años, correspondiente a la tasa de ocurrencia de un sismo cercano de 0.24 N/año para la magnitud 7.0 (Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, 1997).

El período de ocurrencia de caída de bloques puede considerarse el mismo, aunque con mayor tasa de ocurrencia debido a su aceleración por los procesos de meteorización de roca y erosión de las fracturas tectónicas.

El proceso de meteorización física y erosión es casi constante, con mayor incidencia en períodos lluviosos y con lluvias máximas cuyo período de retorno (considerado en el presente estudio para los cálculos de caudales máximos de escorrentía) es de 25 años.

Partiendo de este razonamiento, para el cálculo de amenaza se tomó el período de 25 años y se aplicó la siguiente ecuación:

$$A_{25} = P_{fd} \times 0.10 + P_{bl} \times 0.25 + P_{fe} \times 0.65$$

Donde:

- A_{25} = Amenaza esperada para el período de 25 años
- P_{fd} = Probabilidad de falla por deslizamientos
- P_{bl} = Probabilidad de falla por caída de bloques
- P_{fe} = Probabilidad de falla por erosión

Los valores 0.10, 0.25 y 0.65 fueron asumidos por consenso de los especialistas participantes en el estudio y corresponden a la frecuencia de manifestación en el tiempo de los fenómenos de deslizamientos, caídas de bloques y erosión, respectivamente, en el período de 25 años.

En el área de estudio la erosión es evidente y se presenta a diario, además, contribuye a la disminución de la estabilidad del área a través del lavado del relleno de fracturas tectónicas y su ampliación, motivo por el cual se le asignó el máximo valor. El siguiente fenómeno más frecuente es la caída de bloques, debido a alto fracturamiento del macizo rocoso y características desfavorables de fracturas tectónicas. El valor mínimo fue asignado al proceso de deslizamientos, porque éste puede ocurrir solo en caso de un evento sísmico.

Los valores de amenaza total se presentan en cuadro 6.1

4.5.2. Valoración de amenaza

Los valores de amenaza fueron obtenidos en cada uno de los sectores homogéneos, por separado para cada uno de los procesos de movimiento en masa específicos. Estos valores se determinaron gráficamente a partir de las correlaciones obtenidas y presentadas en las figuras 4.1 y 4.2. Los resultados finales se resumen en el cuadro 4.4

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 4.4 Resultados finales de la Evaluación de Amenaza

AREA GEOMECÁNICA	SECTOR	PROCESOS	SUSCEPTIBILIDAD		AMENAZA
I-A-3	I-A-3-b ₁	Deslizamiento	21	medio	0,22
	I-A-3-b ₂		31	alto	0,72
	I-A-3-b ₃		29	medio	0,60
I-A-5r	I-A-5r-b ₁		36	alto	0,88
I-D-2	I-D-2-b ₁		21	medio	0,22
	I-D-2-b ₂		25	medio	0,39
	I-D-2-b ₃	18	bajo	0,12	
I-D-2	I-D-2-c ₁	Desprendimiento	31	alto	0,72
	I-D-2-c ₂		33	alto	0,78
	I-D-2-c ₃		28	medio	0,56
	I-D-2-c ₄		29	medio	0,59
	I-D-2-c ₅		34	alto	0,80
	I-D-2-c ₆		25	medio	0,27
I-A-5f	I-A-5f-b ₁	Flujo de lodo	45	muy alto	1,00
I-A-3	I-A-3-a ₁	Erosión Fluvial	28	medio	0,56
	I-A-3-a ₂		26	medio	0,42
	I-A-3-a ₃		27	medio	0,53
	I-A-3-b ₁		33	alto	0,78
	I-A-3-b ₂		37	alto	0,90
	I-A-3-b ₃		32	alto	0,74
	I-A-3-b ₄		34	alto	0,80
	I-A-3-b ₅		35	alto	0,86
	I-A-3-b ₆		24	medio	0,33
	I-A-3-b ₇		36	alto	0,88
I-A-5r	I-A-5r-a ₁		24	medio	0,33
I-A-5r	I-A-5r-b ₁		37	alto	0,90
I-D-2	I-D-2-a ₁		26	medio	0,42
	I-D-2-a ₂		32	alto	0,74
	I-D-2-b ₁		24	medio	0,33
	I-D-2-b ₂		32	alto	0,74
	I-D-2-b ₃		26	medio	0,42
	I-D-2-c ₁	32	alto	0,74	
	I-D-2-c ₂	37	alto	0,90	
	I-D-2-c ₃	29	medio	0,59	
	I-D-2-c ₄	30	alto	0,66	
	I-D-2-c ₅	29	medio	0,59	
I-D-2-c ₆	29	medio	0,59		

CLASIFICACIÓN	9 -19	BAJO
SUSCEPTIBILIDAD:	20-29	MEDIO
	30 -45	ALTO

5 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad ha sido definida como el grado de daño, perjuicio y/o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento, sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial con una determinada magnitud.

En el presente estudio la vulnerabilidad fue definida a través de la susceptibilidad de elementos por resistencia y exposición.

5.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Los objetivos específicos de evaluación de vulnerabilidad, formulados para el presente estudio son los siguientes:

- Identificar y localizar los elementos bajo amenaza.
- Definir la susceptibilidad de elementos.
- Definir el grado de exposición de elementos frente a la amenaza.
- Valorar y clasificar la vulnerabilidad

5.2 CRITERIOS Y METODOLOGIA APLICADOS

En primer término se identifican los elementos expuestos mediante el reconocimiento directo, depositando la información en fichas técnicas (anexo 9).

El análisis de la vulnerabilidad se ha abordado con base en la estructura física de las construcciones, la localización de las mismas, y la sensibilidad de los elementos expuestos, estableciendo los diferentes grados de afectación por localización.

Con el reconocimiento del sector y la escala del estudio se opta por aplicar una metodología con base en matrices que permitan involucrar todos los tangibles de vulnerabilidad.

El esquema metodológico general se presenta en la figura 5.1.

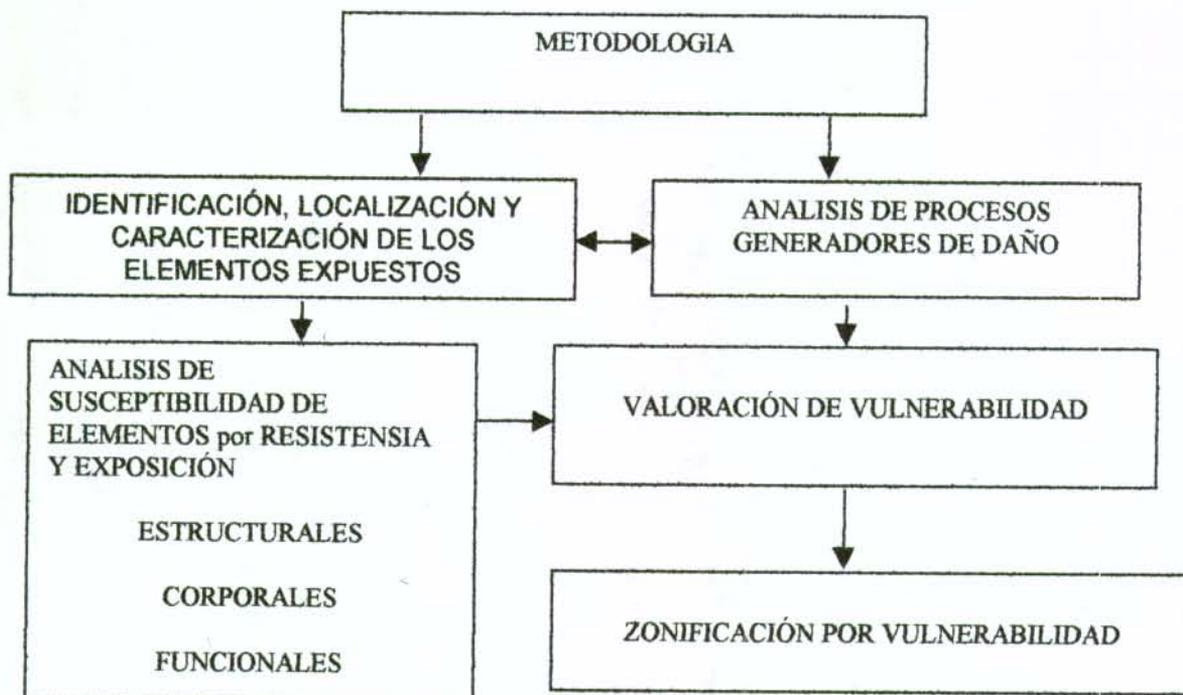


Figura 5.1. Esquema metodológico general.

5.3 IDENTIFICACION DE ELEMENTOS

Para la evaluación de la vulnerabilidad es necesaria la identificación de los elementos que se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno. Se tomaron para este estudio tres grandes grupos de elementos así: Corporales, Estructurales y Funcionales, los cuales fueron clasificados de acuerdo a la escala del estudio.

Se realizaron encuestas en las viviendas para definir la conformación de los elementos en riesgo, así como también un inventario físico para analizar los elementos estructurales y la fisiología de los elementos funcionales. Los resultados de inspección se plasmaron en las fichas del anexo 9.

Con el soporte de las encuestas y el inventario físico se definieron los elementos cuya clasificación se da a continuación:

- **Elementos Corporales:** Para la clasificación de estos se consideró la actividad diaria de la población, teniendo en cuenta la temporalidad de los residentes en sus viviendas y estimando posibles escenarios para la ocurrencia del evento, Diurno o Nocturno. En el Diurno las personas que laboran y estudian no se encuentran en las viviendas y durante la noche se asume que las personas están ubicadas en sus viviendas.

A través de las encuestas se estableció una población total nocturna de 95 habitantes y diurna de 15 habitantes (ver resumen de encuestas Anexo 9), lo que permite definir que el evento nocturno es el más crítico, por que la población residente es mayor y está más expuesta. Por esta razón, la evaluación considera únicamente a los elementos corporales ubicados al interior de las construcciones, por lo que el grado de perjuicio por los procesos generadores de daño esta supeditado al daño que sufran las estructuras.

- **Elementos estructurales:** Como elementos estructurales se encontraron: Edificaciones, Vías Peatonales, Red Aérea Eléctrica y Telefónica artesanal, Red de Acueducto y Red de Alcantarillado subterráneos.

Vías: Se llega al sector del estudio a través de una vía principal pavimentada (calle 166ª), de donde se desprende un carreteable de acceso a la manzana de unos 25 m de largo. Perpendiculares a este existen dos caminos peatonales, creando una nomenclatura de interiores, sobre la calle 166A#8-45.

Las vías no han sido tratadas técnicamente, se encuentran en estado natural, las aguas lluvias erosionan el terreno y los parámetros existentes no tienen las distancias mínimas requeridas para una urbanización.

Red eléctrica: Cuenta con dos postes de distribución de energía, localizados fuera de la zona de riesgo amenaza. Las redes son radiadas de estos postes. Hay algunos postes provisionales, localizados en las edificaciones para las acometidas, los cuales están sujetos a los eventos que se sucedan en las construcciones, transmitiendo a través de las redes de solicitaciones fuera del perímetro en cuestión.

Red de acueducto: Solamente existe una vivienda con instalación de la E.A.A.B. Las demás viviendas tienen suministro de agua potable, a través de un sistema comunitario, sin que la empresa tenga control directo.

Las redes son elementales, se encuentran en muchas casas sin protección y a la vista por el frente de las construcciones, motivo por el cual, son altamente vulnerables por su exposición.

Red de alcantarillado: Por información de los vecinos se asume que las aguas negras son recogidas por una red construida por la comunidad, donde cada construcción se conectó a través de una caja de inspección, hasta llegar a un pozo colector en un nivel más bajo. Esta red, construida con un sistema artesanal, se hace vulnerable en la medida en que las construcciones y las vías lo sean.

Debido a las características, tipo de vías y redes solo se tomaron para la evaluación de la vulnerabilidad las edificaciones, considerando que el costo de redes se encuentra incluido dentro de las casas y lotes.

Para el análisis de los elementos estructurales se partió de un esquema de loteo descrito por los vecinos del sector en el cual se identifican 16 edificaciones cuyo uso general es vivienda y están ocupadas, 1 en proceso de construcción no ocupada, 2 en obra suspendida y 1 en abandono. Todas las viviendas son levantadas por autoconstrucción, no cumplen normas de urbanismo, no son sismoresistentes.

- **Elementos Funcionales:** No se tuvieron en cuenta para evaluación de vulnerabilidad, no se han encontrado los elementos funcionales en la zona, no existe ningún negocio, ni centro educativo, cultural o de salud, etc.

5.4. DEFINICION DE SUSCEPTIBILIDAD

La definición de susceptibilidad de elementos se hizo por resistencia y por exposición con respecto a la amenaza.

Para el análisis de las posibles afectaciones en las edificaciones (diecisiete viviendas) se consideraron cinco factores en las edificaciones que determinan la susceptibilidad por la resistencia de cada una de ellas, CIMENTACIÓN, ESTRUCTURA, MUROS, ENTREPISO Y TECHO.

De acuerdo a los criterios presentados en el cuadro 5.1, se evaluó la susceptibilidad de las estructuras en general a cualquier evento, tal como se presenta en el cuadro 5.2.

Para la evaluación de susceptibilidad por exposición se han tenido en cuenta los mapas de amenaza por deslizamientos, caídas de bloques, erosión y la ubicación de predios (ver planos 5, 6, y 7).

La superposición de 4 planos permitió establecer 5 zonas con diferentes modos y nivel de afectación de los elementos estructurales y corporales (ver plano 8).

La evaluación de susceptibilidad por exposición se realizó bajo los criterios indicados en el cuadro 5.3. El análisis se hizo con ayuda de una matriz donde se cruza el modo de afectación con elementos estructurales y se define el nivel de daño en escala de 1 a 5 (ver cuadro 5.4).

La suma de daños parciales define el grado de susceptibilidad por exposición.

La susceptibilidad total se obtuvo mediante la suma de susceptibilidad por resistencia y exposición, los valores obtenidos que se presentaron en el cuadro 5.5, varían entre 0 y 50, clasificándose la susceptibilidad en la siguiente forma:

De	0 a 17	baja	daño leve
De	18 a 34	media	daño mediano
De	35 a 50	alta	perdida total

Las susceptibilidades totales de elementos superiores a 35, tendrán la vulnerabilidad 1. Los valores obtenidos de vulnerabilidad para los elementos estructurales de la manzana amenazada se presentan en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.1. Parámetros de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos VS Factor

S U S C E P T I B I D A D	CIMENTACION		ESTRUCTURA		MUROS		ENTREPISO		TECHO	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	CICLOPEO ZAPATAS VIGA DE AMARRE	PORTICO CON TABIQUE	BLOQUE DE CEMENTO							
2	ZAPATAS VIGA DE AMARRE	COLUMNAS CONFINADAS	BLOQUE DE CERAMICA			CONCRETO REFORZADO				CONCRETO PLACA
3	CICLOPEO VIGA DE AMARRE		BLOQUE DE ESCORIA							ASBESTO
4	VIGA DE AMARRE	MAMPOSTERÍA ARTESANAL	CALICANTO							ZINC
5	CONCRETO CICLOPEO	PREFABRICADOS	ZINC			MADERA				LONA, PLASTICO

CALIFICACIÓN	1	5	MINIMA	5	ALTO	DE 25 A 17
					BAJO	DE 9 A 1

Cuadro 5.2. Evaluación de Susceptibilidad de Edificaciones por Resistencia

CODIGO	DIRECCIÓN	HAB. N	HAB.D	CIMENTACIÓN	ESTRUCTURA	MUROS	ENTREPISO	TECHO	SUMA	SUSCEPTIBILIDAD	# PISOS	PRECIO	
1	Calle 166A N° 8 -										LV	*	2,000
2	Calle 166A N° 8 - 25	6		1	2	4	2	4	13	MEDIO	2	*	15,000
3	Calle 166A N° 8 - 48	7		1	1	2	2	1	7	BAJO	2	*	35,000
4	Calle 166A N° 8 -			1	1	2				BAJO	AB	*	3,000
5	Calle 166A N° 8 -			1	1	2				BAJO	AB	*	3,000
6	Calle 166A N° 8 - 45 Int.										LV	*	2,000
7	Calle 166A N° 8 - 45 Int.										LV	*	2,000
8	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 5	7		5	4	4	2	2	17	MEDIO	2	*	20,000
9	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 7	5		3	4	2	X	5	19	ALTO	1	*	10,000
10	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 12	5		5	4	2	2	2	15	MEDIO	1	*	8,000
11	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 10	6	3	X	5	5	X	4	24	ALTO	1	*	1,500
12	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 8	6		1	2	2	2	2	9	MEDIO	2	*	20,000
13	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 6	13	2	1	2	3	2	2	10	MEDIO	2	*	15,000
14	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 4	7	2	3	4	3	2	4	16	MEDIO	2	*	10,000
15	Calle 166A N° 8 - 45 Int.								0		LV	*	2,000
16	Calle 166A N° 8 - 45 Int.	3		5	4	3	X	5	20	ALTO	1	*	8,000
17	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 11	7	2	3	4	4	X	5	19	ALTO	1	*	10,000
18	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 13	3		1	2	3	2	2	10	MEDIO	1	*	12,000
19	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 15	5	3	1	2	2	X	5	15	MEDIO	1	*	10,000
20	Calle 166A N° 8 - 45 Int.	3	2	X	5	5	X	5	24	ALTO	1	*	3,000
21	Calle 166A N° 8 - 45 Int.										LV	*	2,000
22	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 14	7		5	4	2	5	3	19	ALTO	2	*	15,000
23	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 16	5	1	3	4	3	X	5	19	ALTO	1	*	8,000
24	Calle 166A N° 8 - 45 Int. 18			3	4	2	5	4	18	ALTO	2	*	10,000
TOTALES		95	15										226,500

LV LOTE VACIO

AB ABANDONO

X AUSENCIA

* PRECIO ESTIMADO POR EL ENCUESTADOR

PRECIO PRECIOS DADOS EN MILES

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 5.3. Criterios de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos por Exposición.

ZONAS		Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
TIPO DE ELEMENTOS	S D E E N N S E I L S E I L B E I M L E I N D T A O D S	NO EXPUESTO	EXPUESTO A CAIDA DE BLOQUES	EXPUESTO AL EMPUJE Y DESIZAMIENTO	MUY EXPUESTO AL EMPUJE, ACUMULACION Y CAIDA DE BLOQUES	EXPUESTO AL EMPUJE, ACUMULACION Y ALGO DE CAIDA DE BLOQUES
		I				
CICLOPEO, ZAPATAS Y VIGA DE AMARRE	1	1	1	2	1	1
ZAPATAS Y VIGA DE AMARRE	2	1	1	2	2	1
CICLOPEO Y VIGA DE AMARRE	3	1	1	3	3	3
VIGA DE AMARRE	4	1	1	4	4	4
CONCRETO CICLOPEO O AUSENCIA	5	1	1	5	5	5
II						
PORTICO CON TABIQUE	1	1	2	1	4	2
COLUMNAS CONFINADAS	2	1	3	2	5	3
MAMPOSTERIA ARTESANAL	4	1	4	4	5	4
PREFABRICADOS	5	1	5	5	5	5
III						
BLOQUE DE CEMENTO	1	1	2	2	2	2
BLOQUE DE CERAMICA	2	1	4	2	5	5
BLOQUE DE ESCORIA	3	1	3	2	3	2
CALICANTO	4	1	1	2	1	2
ZINC	5	1	5	5	4	5
IV						
CONCRETO REFORZADO	2	1	2	3	3	1
MADERA O AUSENCIA	5	1	5	5	5	5
V						
CONCRETO PLACA	2	1	3	1	3	3
ASBESTO	3	1	4	1	4	4
ZINC	4	1	4	1	4	4
LONA, PLASTICO	5	1	5	1	5	5

- I CIMENTACION
- II ESTRUCTURA
- III MUROS
- IV ENTREPISO
- V TECHO

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 5.4. Matriz de Evaluación de Susceptibilidad de Elementos por Exposición.

ELEMENTO	CODIGO																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	CICLOPEO, ZAPATAS Y VIGA DE AMARRE																							
2	ZAPATAS Y VIGA DE AMARRE																							
3	CICLOPEO Y VIGA DE AMARRE																							
4	VIGA DE AMARRE																							
5	CONCRETO CICLOPEO O AUSENCIA																							
II	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	PORTICO CON TABIQUE																							
2	COLUMNAS CONFINADAS																							
4	MAMPOSTERIA ARTESANAL																							
5	PREFABRICADOS																							
III	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	BLOQUE DE CEMENTO																							
2	BLOQUE DE CERAMICA																							
3	BLOQUE DE ESCORIA																							
4	CALICANTO																							
5	ZINC																							
IV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	CONCRETO REFORZADO																							
5	MADERA O AUSENCIA																							
V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	CONCRETO PLACA																							
3	ASBESTO																							
4	ZINC																							
5	LONA, PLASTICO																							
TOTAL SUSCEPTIBILIDAD		0	11	5	2	2	0	0	10	19	21	25	14	11	13	0	17	15	10	20	24	0	17	17

ZONA 1 NO EXPUESTA

ZONA 2 EXPUESTA A CAIDA DE BLOQUES

ZONA 3 EXPUESTA AL EMPUJE POR DESLIZAMIENTO

ZONA 4 MUY EXPUESTA POR EMPUJE, ACUMULACION Y CAIDA DE BLOQUES

ZONA 5 EXPUESTA AL EMPUJE, ACUMULACION Y ALGO DE CAIDA DE BLOQUES

I CIMENTACION

II ESTRUCTURA

III MUROS

IV ENTREPISO

V TECHO

S SENSIBILIDAD

0 0.10-0.30

1 0.31-0.60

2 0.61-0.99

BAJO DE 9 A 1

MEDIO DE 17 A 9

ALTO DE 26 A 17

5.5. VALORACION Y CLASIFICACION DE VULNERABILIDAD

La valoración de vulnerabilidad inicialmente se realizó para el sector I-A-3-a1, donde se concentran las viviendas.

Para asignar los valores de vulnerabilidad, expresado en grado de pérdida del conjunto de un elemento o conjunto de elementos bajo amenaza, expresados en una escala de 0 (ningún daño) a 1 (pérdida total), se realizó una correlación lineal entre susceptibilidad total y vulnerabilidad (ver figura 5.1.).

En esta correlación se consideró que si el 50% de la construcción ha tenido daño, se declara la pérdida total. Este 50% corresponde a una susceptibilidad de 35 y a la vulnerabilidad de 1.

Como se puede apreciar en el cuadro 5.5 y en la figura 5.1, la vulnerabilidad se clasificó en la siguiente forma:

Vulnerabilidad	Clasificación
Baja	de 0 a 0.50
Media	de 0.50 a 0.99
Alta	igual o superior a 1.0

Para los elementos corporales la vulnerabilidad se consideró como 1.0, (para las viviendas habitadas) y "0" para los lotes vacíos.

La magnitud de lesiones de personas es difícil de determinar. Del análisis de la calidad de las viviendas en zonas amenazadas se puede deducir que pueden generarse consecuencias muy graves.

La caracterización del sector I-A-3-a₁ por vulnerabilidad se presenta en el plano 8 del anexo 10. El análisis de vulnerabilidad también se realizó para cada uno de los sectores homogéneos definidos. Los resultados de valoración se presentan en el cuadro 6.1.

Esta evaluación se practicó con el fin de obtener la zonificación del área de estudio por riesgos, no para la definición de pérdidas esperadas, pues allí no hay construcciones ni uso definido del terreno. Sin embargo, se aprecia el tránsito constante de personas de las viviendas vecinas.

Cuadro 5.5 Definición de Vulnerabilidad de elementos estructurales.

SUSCEPTIBILIDAD	DEL ELEMENTO																								TOTAL	VULNERABILIDAD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
POR RESISTENCIA	0	11	5	2	2	0	0	0	10	19	21	25	14	11	13	0	17	15	10	20	24	17	17	17	0	0,00	
	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	24	0,71	
	1	LV	BAJO																							0	0,00
	2	13	MEDIO																							12	0,35
	3	7	BAJO																							2	0,05
	4	LV	BAJO																							2	0,06
	5	LV	BAJO																							0	0,00
	6	LV	BAJO																							0	0,00
	7	LV	BAJO																							0	0,00
	8	17	MEDIO																							27	0,79
	9	19	ALTO																							38	1,00
	10	15	MEDIO																							36	1,00
	11	24	ALTO																							49	1,00
	12	9	MEDIO																							23	0,68
	13	10	MEDIO																							22	0,65
	14	16	MEDIO																							29	0,85
	15	LV	BAJO																							0	0,00
	16	20	ALTO																							37	1,00
	17	19	ALTO																							34	1,00
	18	10	MEDIO																							20	0,59
	19	15	MEDIO																							35	1,00
	20	24	ALTO																							48	1,00
	21	GALLI	ALTO																							50	1,00
	22	19	ALTO																							36	1,00
23	19	ALTO																							35	1,00	
24	18	ALTO																							35	1,00	

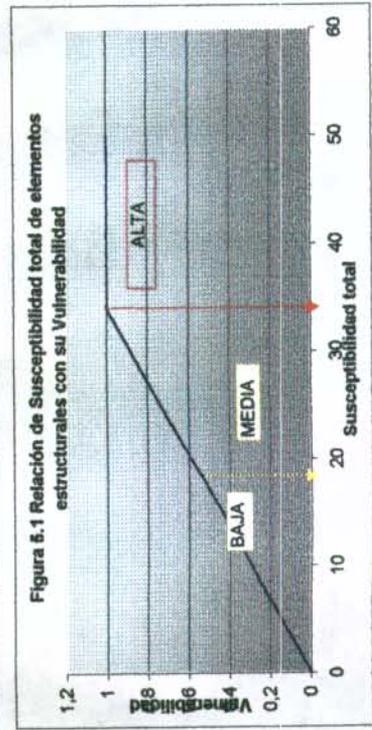


Figura 5.1 Relación de Susceptibilidad total de elementos estructurales con su Vulnerabilidad

6. EVALUCION DE RIESGO

Para el presente estudios se tomó la definición de riesgo como la probabilidad de ocurrencia de un nivel de daño a los elementos (González, 1990).

6.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos de evaluación de riesgo consisten en:

- Analizar la condición para clasificar el grado de riesgo de cada elemento amenazado.
- Realizar zonificación del área por riesgo.

6.2. CRITERIOS Y METODOLOGIA APLICADA

Teniendo en cuenta la definición de riesgo, este se determinó como el producto de la amenaza por vulnerabilidad.

Como base para el cálculo se tomaron los valores definidos en los cuadros 4.4, 5.2, 5.5 y representados gráficamente en los mapas de amenazas y vulnerabilidad (ver planos 5, 6, 7 y 8).

6.3. ANALISIS DE CONDICIONES DE RIESGO

El análisis de riesgo se realizó en toda el área de estudios para cada uno de los sectores definidos en el mapa de susceptibilidad de áreas al desarrollo de

procesos. Igualmente, se hizo la evaluación para cada uno de los elementos estructurales ubicados en el sector de más alta amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Se han definido dos escenarios de riesgo: Diurno y nocturno, según la dinámica, tradicional que poseen los elementos corporales.

El sector con mayor cantidad de personas, tanto de día como de noche es el I-A3-a₁, donde se encuentran las viviendas. En los demás sectores hay tránsito diurno de peatones y áreas de juego de niños (I-A-3-a₂).

Para la evaluación de riesgo la vulnerabilidad de elemento corporal se tomó como cociente del número de personas en el sector dividido en el máximo presente. También se consideró el número total de personas en riesgo alto y medio, el cual es de 40 personas de día y 100 de noche, en total para toda el área estudiada.

Los resultados de evaluación de riesgo para toda el área se presentan en el cuadro 6.1 y para el sector I-A-3-a₁ en el cuadro 6.2. Con estos resultados se elaboró el mapa de zonificación por riesgo (plano 9), para el escenario diurno, porque en el nocturno solo esta amenazado un sector (I-A-3-a₁) el que conserva el mismo nivel de alto riesgo, con el aumento de la cantidad de víctimas en el escenario nocturno.

Para este trabajo se tomó la siguiente clasificación de índice de riesgo esperado:

Alto	de 0.02 a 0.1 por año
Medio	de 0.008 a 0.02 por año
Bajo	inferior a 0.008 por año

6.4. EVALUACION DE COSTOS ESPERADOS

Debido a la ausencia de elementos estructurales en la mayoría de los sectores, indefinido uso de suelo e imposibilidad de valorar las vidas humanas, la evaluación de costos se realizó solo para el sector I-A-3-a₁, ocupado por las viviendas.

En este sector durante el censo de viviendas se obtuvieron los costos de edificaciones y lotes, suministrados por propietarios o estimados por arquitecto encuestador. Dentro de este precio se incluyó el costo de redes rudimentarias.

Los costos esperados por daños se calcularon como producto de riesgo total por costo del elemento (ver cuadro 6.2), donde el riesgo total se tomó como la suma de riesgos específicos para deslizamientos, caídas de bloques y erosión respectivamente:

$$R_t = R_d + R_{bl} + R_e$$

Donde:

- R_d = Riesgo específico por deslizamientos
- R_{bl} = Riesgo específico por caída de bloque
- R_e = Riesgo específico por erosión

El costo total esperado para los elementos estructurales para el periodo de recurrencia de 25 años es de OCHENTA Y DOS MILLONES TRESCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y UN PESOS (\$82'388.681) MCTE.

En este valor no se incluyen las probables pérdidas humanas, las cuales no es posible calcular en términos de dinero.

Cuadro 6.1 Resultados de evaluación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por sectores.

SECTOR	AMENAZA										VULNERABILIDAD										RIESGO ESPERADO		
	Desliz.	Caida de blo.	Erosión	Total	Estructuras	Redes	Pers.	Día	Pers.	Noche	Total día	Total noche	Día	NOCHE	RIANO								
I-A-5f-b ₁	1	1,000	0,900	0,935	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0	0,000	0,000								
I-A-3-a ₁	0,001	0,001	0,420	0,273	1,000	1,000	15	1,000	100	1,000	18,000	3,000	4,92	0,82	0,197								
I-A-3-a ₂	0,001	1,000	0,420	0,523	0,000	0,200	7	0,467	5	0,050	7,667	0,250	4,01	0,13	0,161								
I-A-3-a ₃	0,001	0,000	0,530	0,345	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-A-3-b ₁	0,750	0,000	0,780	0,507	0,041	0,000	1	0,067	0	0,000	1,108	0,041	0,58	0,02	0,023								
I-A-3-b ₂	0,700	0,000	0,900	0,663	0,000	0,000	1	0,067	0	0,000	1,067	0,000	0,71	0,00	0,026								
I-A-3-b ₃	0,700	0,000	0,740	0,481	0,000	0,000	1	0,067	0	0,000	1,067	0,000	0,51	0,00	0,021								
I-A-3-b ₄	0,750	0,780	0,800	0,774	0,000	0,000	1	0,067	0	0,000	1,067	0,000	0,83	0,00	0,034								
I-A-3-b ₅	0,050	0,000	0,860	0,559	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-A-3-b ₆	0,050	0,590	0,330	0,362	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-A-3-b ₇	0,750	0,000	0,880	0,572	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-A-5f-a ₁	0,001	0,000	0,330	0,215	0,041	0,100	6	0,400	2	0,020	6,541	0,161	1,40	0,03	0,057								
I-A-5f-b ₁	0,700	0,000	0,900	0,644	0,000	0,000	1	0,067	0	0,000	1,067	0,000	0,69	0,00	0,028								
I-D-2-a ₁	0,001	0,000	0,420	0,273	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-D-2-a ₂	0,050	0,590	0,740	0,629	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-D-2-b ₁	0,050	0,000	0,590	0,394	0,000	0,050	2	0,133	0	0,000	2,183	0,050	0,84	0,02	0,034								
I-D-2-b ₂	0,250	0,000	0,660	0,501	0,000	0,010	1	0,067	0	0,000	1,077	0,010	0,54	0,01	0,022								
I-D-2-b ₃	0,200	0,000	0,420	0,351	0,000	0,010	1	0,067	0	0,000	1,077	0,010	0,38	0,00	0,016								
I-D-2-c ₁	0,800	0,720	0,740	0,717	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-D-2-c ₂	0,800	0,780	0,900	0,839	0,000	0,000	1	0,067	0	0,000	1,067	0,000	0,89	0,00	0,036								
I-D-2-c ₃	0,001	0,560	0,590	0,604	0,000	0,000	2	0,133	0	0,000	2,133	0,000	1,28	0,00	0,052								
I-D-2-c ₄	0,700	0,590	0,660	0,604	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-D-2-c ₅	0,700	0,800	0,590	0,584	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
I-D-2-c ₆	0,001	0,270	0,590	0,451	0,000	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,000								
TOTAL							40																
								107															

AMENAZA	
ALTA	0,5-1,0
MEDIA	0,2-0,5
BAJA	0,0-0,2

VULNERABILIDAD	
ALTA	> 1,0
MEDIA	0,5-1,0
BAJA	< 0,5

RIESGO		
ALTO	DIANOCH	NIANO
MEDIO	0,5-1,0	de 0,02 a 0,1
BAJO	0,2-0,5	de 0,008 a 0,02
	0,0-0,2	de 0 a 0,008

Cuadro 6.2 Cuantificación de RIESGO esperado por fenómenos de remoción en masa en el sector I-A-3-a1.

No. ELEMENTO	COSTO ESTIMADO		AMENAZA			VULNERABILIDAD			RIESGO ESPECIFICO, Rs				RIESGO TOTAL	COSTO ESPERADO*
	VALOR, P	VALOR, P	Deslizamientos	Caída bloques	Erosión	Estruc-turales	Elementos		Deslizam.	Caída bloq.	Erosión	RIESGO TOTAL		
							Corporales,	personas,						
							día	noche						
1	0,001	\$2.000.000	0,000	0,56	0,00	0	0	0	0,00071	0,000	0	0	0	\$0
2	0,001	\$15.000.000	0,000	0,56	0,71	0	6	0	0,00035	0,000	0,40	0,40	0,257	\$3.855.176
3	0,001	\$35.000.000	0,000	0,56	0,35	0	7	0	0,00006	0,000	0,20	0,20	0,129	\$4.497.706
4	0,001	\$3.000.000	0,000	0,56	0,06	0	0	0	0,00006	0,000	0,03	0,03	0,021	\$64.253
5	0,001	\$3.000.000	0,000	0,56	0,06	0	0	0	0,00006	0,000	0,03	0,03	0,021	\$64.253
6	0,001	\$2.000.000	0,000	0,56	0,00	0	0	0	0,00000	0,000	0,00	0,00	0,000	\$0
7	0,001	\$2.000.000	0,000	0,56	0,00	0	0	0	0,00000	0,000	0,00	0,00	0,000	\$0
8	0,001	\$20.000.000	0,000	0,56	0,79	0	7	0	0,00079	0,000	0,44	0,44	0,289	\$5.782.765
9	0,001	\$10.000.000	0,270	0,56	1,00	0	5	0	0,00100	0,270	0,56	0,56	0,4316	\$4.316.000
10	0,750	\$8.000.000	0,720	0,9	1,00	0	5	0	0,75	0,720	0,90	0,90	0,840	\$6.720.000
11	0,750	\$1.500.000	0,000	0,56	1,00	3	6	0	0,75	0,000	0,56	0,56	0,439	\$658.500
12	0,750	\$20.000.000	0,000	0,56	0,68	0	6	0	0,51	0,000	0,38	0,38	0,297	\$5.939.412
13	0,750	\$15.000.000	0,000	0,56	0,65	2	13	0	0,49	0,000	0,36	0,36	0,284	\$4.260.882
14	0,750	\$10.000.000	0,000	0,56	0,85	2	7	0	0,64	0,000	0,48	0,48	0,374	\$3.744.412
15	0,001	\$2.000.000	0,000	0,56	0,00	0	0	0	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000	\$0
16	0,750	\$8.000.000	0,000	0,56	1,00	0	3	0	0,75	0,000	0,56	0,56	0,439	\$3.512.000
17	0,750	\$10.000.000	0,000	0,56	1,00	2	7	0	0,75	0,000	0,56	0,56	0,439	\$4.390.000
18	0,750	\$12.000.000	0,000	0,56	0,59	0	3	0	0,44	0,000	0,33	0,33	0,258	\$3.098.823
19	0,750	\$10.000.000	0,000	0,56	1,00	3	5	0	0,75	0,000	0,56	0,56	0,439	\$4.390.000
20	0,750	\$3.000.000	0,720	0,9	1,00	2	3	0	0,75	0,720	0,90	0,90	0,840	\$2.520.000
21	0,750	\$2.000.000	0,560	0,59	1,00	0	0	0	0,75	0,560	0,59	0,59	0,599	\$1.197.000
22	0,750	\$15.000.000	0,560	0,59	1,00	0	7	0	0,75	0,560	0,59	0,59	0,599	\$8.977.500
23	0,750	\$8.000.000	0,560	0,9	1,00	1	5	0	0,75	0,560	0,90	0,90	0,900	\$6.400.000
24	0,750	\$10.000.000	0,560	0,9	1,00	0	5	0	0,75	0,560	0,90	0,90	0,800	\$8.000.000
TOTAL						15	100						TOTAL	\$82.388.681

NOTA: * Solo se evaluó el costo por daño esperado en elementos estructurales.

RIESGO	
ALTO	0,5 - 1
MEDIO	0,2 - 0,5
BAJO	0,0 - 0,2

7. EVALUACION DE MEDIDAS DE PROTECCION

Como es lógico suponer, para la solución de los problemas de inestabilidad que aquejan la zona siempre existen varias alternativas. Es así, como para el caso que nos ocupa han surgido 5 alternativas diferentes.

La descripción de alternativas se presenta en los cuadros 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5.

Debido a las características, tipo de vías y redes solo se tomaron para la evaluación de la vulnerabilidad las edificaciones, considerando que el costo de redes se encuentra incluido dentro de las casas y lotes.

Para la cárcava, ubicada a espaldas del escarpe en el extremo sur del área de estudio, en límites de la cantera Servita se recomienda realizar su relleno con sobrantes de excavación del material pétreo (bloques, gravas, arenas) con conformación de un talud de 2H:1V. La necesidad de su llenado se justifica por las siguientes razones:

- Los escarpes de la cárcava, cuya profundidad supera los 6 m son inestables, el relleno ayudará a soportarlos.
- La ampliación de cárcavas amenaza las viviendas, que emplearon el escarpe rocoso como elemento estructural.

Para mitigar el proceso de erosión se recomienda construir sobre el relleno una zanja revestida, empedrar y arborizar el talud conformado.

El tratamiento de la cárcava debe estar coordinado con los propietarios de la cantera Servita.

7.1. COMPARACION DE ALTERNATIVAS

La comparación de las alternativas de prevención, corrección, protección y control se realizó por los siguientes aspectos:

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.1. Descripción de la Alternativa 1.

1. Alternativa No. 1					
2. Descripción					
Zona norte			Zona sur		
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo aguas superficiales • Sellamiento e impermeabilización grieta • Arborización • Gaviones en la pata • Cunetas laterales 			<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de aguas superficiales • Filtros en espina de pescado • Remover bloques superficiales • Perfilado del talud • Arborización, empradización • Demoler 5 casas. 		
3. Ventajas:		Protección contra la erosión. Recuperación del área como zona verde. Control a la infiltración del agua . Creación de plataforma en la pata para amortiguar caída de material. Se elimina el peligro de que rueden			
4. Desventajas:		Dudas sobre infiltración de agua hacia potencial superficie de falla. No están definidos los aumentos del FS. Manejo social por la demolición de las 5 casas. Los taludes de roca no tienen protección.			
5. Aspectos Constructivos		Métodos sencillos. Malacates para remover los bloques.			
6. Costos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	GLOBAL			\$1.000.000
2	Cunetas revestidas	ML	250	8.000	\$2.000.000
3	Plantación de árboles	UNIDAD	200	10.000	\$2.000.000
3	Gaviones	M3	30	55.000	\$1.650.000
5	Filtro	ML	100	37.000	\$3.700.000
6	Remoción de bloques	M3	40	20.000	\$800.000
7	Remoción de tierra	M3	50	8.000	\$400.000
8	Casas	UNIDAD	5	8.000.000	\$40.000.000
9	Empradización	M2	1600	6.000	\$9.600.000
TOTAL					\$61.150.000

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.2. Descripción de la alternativa 2.

1. Alternativa No. 2					
2. Descripción					
Zona norte			Zona sur		
<ul style="list-style-type: none"> • Empradización y arborización • Sellamiento e impermeabilización grieta • Pernado de bloques inestables • Manejo de aguas superficiales 			<ul style="list-style-type: none"> • Empradización y arborización • Pernado de bloques inestables en talud en roca • Manejo de aguas superficiales • Remover bloques superficiales 		
3. Ventajas:		Los taludes en roca mejoran su estabilidad. Se recupera el área como zona verde. Control a la infiltración de agua. Se elimina el peligro de que rueden bloques del material coluvial.			
4. Desventajas:		Dudas sobre el verdadero efecto de la empradización en la entrada de agua a la superficie de falla. No están definidos los aumentos en el FS. No se controla la caída de bloques pequeños del talud en roca.			
5. Aspectos Constructivos		Se requiere perforadora y bomba de mortero para instalar los pernos. Malacates para mover los bloques. Los demás trabajos son con métodos sencillos			
6. Costos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	GLOBAL			\$1.000.000
2	Empradización	M2	1600	6.000	9.600.000
3	Plantación de árboles	UNIDAD	200	10.000	2.000.000
4	Pernos	ML	100	40.000	4.000.000
5	Zanjas revestidas	ML	250	8.000	2.000.000
6	Remoción de bloques	M3	40	20.000	800.000
TOTAL					19.400.000

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.3. Descripción de la alternativa 3.

1. Alternativa No. 3					
2. Descripción					
Zona norte			Zona sur		
<ul style="list-style-type: none"> • Muro de tierra armado con gaviones (H=6m) • Disminuir pendiente de talud • Manejo de aguas superficiales • Arborización y empradización 			<ul style="list-style-type: none"> • Muro de tierra armada con gaviones (H = 10 m) • Disminuir pendiente del talud • Pernos y malla en talud en rocas • Manejo de aguas • Arborización y empradización 		
3. Ventajas:					
Protección contra la erosión. Recuperación del área como zona verde. Protección de los taludes en roca. Los cálculos definen los aumentos en el FS. Control a la infiltración de agua. Eliminación de bloques peligrosos y utilización de estos en gaviones.					
4. Desventajas:					
Dudas sobre infiltración del agua hacia la superficie de falla. Al disminuir pendiente aumenta el talud en roca. Es necesario traer material para los rellenos.					
5. Aspectos Constructivos					
Perforadora y bomba de mortero para instalar pernos. Las demás actividades son manuales.					
6. Costos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	GLOBAL			\$1.000.000
2	Gaviones	M3	740	\$55.000	\$40.700.000
3	Rellenos	M3	3000	\$9.000	\$27.000.000
4	Zanjas revestidas	ML	350	\$8.000	\$2.800.000
5	Plantación de árboles	UNIDAD	200	\$10.000	\$2.000.000
6	Remoción de tierra	M3	500	\$9.000	\$4.500.000
7	Pernos	ML	500	\$40.000	\$20.000.000
8	Malla eslabonada	M2	1400	\$9.000	\$12.600.000
9	1 vivienda				\$10.000.000
TOTAL					\$120.600.000

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.4. Descripción de la alternativa 4.

1. Alternativa No. 4					
2. Descripción					
Zona norte		Zona sur			
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de aguas superficiales • Empradización y arborización 		<ul style="list-style-type: none"> • Reubicar 7 casas • Conformar terrazas hasta la corona • Empradización y arborización • Relleno en la pata 			
3. Ventajas:		Se retiran las casas vulnerables. Se amplía zona verde. Cualquier desprendimiento no afectaría viviendas. Los cálculos definen los aumentos en el FS.			
4. Desventajas:		Manejo social de las viviendas a demoler. Dudas sobre el agua que llega a la superficie de falla.			
5. Aspectos Constructivos		Es necesario traer material para conformar las terrazas. Se requiere bulldozer pequeño para mover tierra y compactar			
6. Costos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	GLOBAL			\$1.000.000
2	Zanjas revestidas	ML	250	\$8.000	\$2.000.000
3	Empradización	M2	1600	\$6.000	\$9.600.000
4	Plantación de árboles	UNIDAD	200	\$10.000	\$2.000.000
5	Rellenos	M3	4000	\$9.000	\$36.000.000
6	Casas	UNIDAD	7	\$8.000.000	\$56.000.000
TOTAL					\$106.600.000

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.5. Descripción de la alternativa 5.

1. Alternativa No. 5					
2. Descripción					
Zona norte			Zona sur		
<ul style="list-style-type: none"> • Retiro de material parte alta • Colocación de material en pata • Manejo de aguas superficiales • Pernado de taludes en roca • Malla metálica con enredaderas • Empradización y arborización 			<ul style="list-style-type: none"> • Retiros de bloques superficiales. Colocación en pata • Retiro de material parte alta • Colocación de material en pata • Manejo de aguas superficiales • Filtro parte alta • Pernado de taludes en roca • Malla metálica con enredaderas • Empradización y arborización 		
3. Ventajas:		Protección contra la erosión. Recuperación del área como zona verde. Protección de taludes en roca. Aumentos de FS definidos con cálculos. Eliminación de bloques peligrosos.			
4. Desventajas:		Taludes en roca aumentan. Dudas sobre infiltración de agua a la superficie de falla.			
5. Aspectos Constructivos		Se requiere perforadora y bomba de mortero para instalar los pernos. Malacates para mover los bloques. Los demás trabajos son con métodos sencillos			
6. Costos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	TOTAL
1	Localización y replanteo	GLOBAL			\$1.000.000
2	Zanja de coronación	ML	172	\$6.000	\$1.032.000
3	Zanja de conducción	ML	240	\$8.000	\$1.920.000
4	Filtro de piedra	ML	75	\$37.000	\$2.775.000
5	Excavación en depósito de pendiente	M3	800	\$9.000	\$7.200.000
6	Excavación en material común	M3	330	\$8.000	\$2.640.000
7	Remoción de bloques superficiales	M3	100	\$20.000	\$2.000.000
8	Rellenos semicompactados	M3	535	\$5.000	\$2.675.000
9	Colocación de capa vegetal	M2	1500	\$2.000	\$3.000.000
10	Gaviones	M3	165	\$55.000	\$9.075.000
11	Empradización	M2	1500	\$4.000	\$6.000.000
12	Arborización	UNIDAD	159	\$6.000	\$954.000
13	Evacuación de una vivienda	UNIDAD			\$3.000.000
14	Pernos Ø 1 1/4"	ML	256	\$45.000	\$11.520.000
15	Pernos Ø 3/4"	ML	280	\$38.000	\$10.640.000
16	Malla eslabonada	ML	1336	\$9.000	\$12.024.000
17	Enredaderas	DOCENA	20	\$30.000	\$600.000
TOTAL					\$78.055.000

6000
 1200
 4200
 6000

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

- Ventajas y desventajas desde el punto de vista de seguridad y manejo ambiental.
- Aspectos constructivos
- Costos
- Beneficios

Los resultados de comparación se presentan en el cuadro 7.6.

Cuadro 7.6. Comparación de Alternativas

ALTERNATIVAS		VENTAJAS	DESVENTAJAS	ASPECTOS CONSTRUCTIVOS	COSTOS EN MILES \$	BENEFICO	BENEFICIO / COSTO
Nº	DESCRIPCION						
1	• Gaviones • Disminución pendiente	Control, infiltración y erosión	Dudas sobre Fs, manejo social	Todo manual	\$61.150	En duda	Sin definir
2	• Empradización • Pernos	Taludes en rocas estables, control de infiltración	Dudas en factor de seguridad	Perforadora, bomba de mortero	\$19.400	En duda	Sin definir
3	• Muros en tierra armada	Aumento factor de seguridad	Aumento de talud en roca	Perforadora, bomba de mortero	\$120.600	\$82.389	0,68
4	• Reubicar 7 casas	Se amplia zona verde	Manejo social	Traída de material para relleno bulldozer	\$106.600	\$82.389	0,77
5	• Retiro del material enrocado en la pata	Aumento Fs, manejo ambiental	Aumento de talud en roca	Perforadora, bomba de mortero	\$78.055	\$82.389	1,06

Mediante la comparación de alternativas se seleccionó como la más viable la alternativa 5, debido al aumento de seguridad y mayor beneficio, para esta alternativa se realizaron los diseños detallados de obras y paisajístico.

Con la alternativa 5 en la zona norte el FS aumenta de 1.2 a 2.6 para el caso estático y de 0.7 a 1.0 para el caso sísmico, mientras en la zona sur éstos aumentos son de 1.3 a 2,6 en el caso estático y de 0.7 a 1.6 en el caso dinámico (ver cálculos en el Anexo 8).

7.2. DISEÑO DE OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

Identificados los fenómenos que causan la inestabilidad en la zona y su gravedad es necesario implementar un conjunto de medidas que se requieran para estabilizar el terreno y protegerlo contra el proceso de erosión.

7.2.1. Manejo de Aguas Superficiales

En primer término es necesario eliminar las aguas que en la parte alta son aportadas por un drenaje y un tubo que desemboca en la zona sur estudiada. Para tal efecto, se requiere retirar el tubo, rellenar el drenaje y construir encima una cuneta revestida con piedra pegada y mortero, la cual desembocará en la zanja de coronación.

La zanja de coronación, será revestida en piedra pegada con mortero y descarga sus aguas en la cuneta de las vías que existen en proximidades a la zona inestable.

Con el fin de evacuar las aguas procedentes de los filtros y de los taludes en el contorno de las zonas inestables, es necesario construir zanjas de conducción, revestidas en piedra pegada con mortero. Estas conducciones evacuarán sus aguas a la cuneta de la vía pavimentada de acceso al barrio Soratama.

7.2.2. Manejo de Aguas Subterráneas

Buena parte de las aguas perjudiciales tienen origen subterráneo, las cuales se infiltran en el macizo rocoso en la parte alta y fluyen hacia las zonas inestables por los estratos permeables de arenisca.

En la zona sur las aguas subterráneas fluyen sobre los estratos de arcillolita, los cuales tienen características impermeables. Estas aguas afloran actualmente en la masa inestable, produciendo flujo de lodos. Con el fin de cortar el paso de agua subterránea hacia la masa inestable, es necesario construir un filtro perimetral en la parte alta, por el contacto roca - suelo. Para construir este filtro, donde se presentan los mayores flujos de agua subterránea se requiere primero hacer una excavación, con el fin de remover aproximadamente unos 7m de material.

El filtro está constituido por bloques confinados con geotextil en zanja de aproximadamente 2 m de profundidad.

En la zona norte el filtro también será perimetral y está constituido en la misma forma como se indica para la zona sur.

Las aguas provenientes de los filtros desembocan en zanjas de conducción de sección trapezoidal.

7.2.3. Excavaciones

De acuerdo con los cálculos de estabilidad realizados, los taludes son estáticamente estables, pero con factores de seguridad (F_s) muy precarios. A la acción sísmica los taludes son inestables.

Esto significa que es necesario tomar medidas para mejorar la estabilidad de los terrenos, pues aunque es cierto que con el control de agua es posible mejorar las propiedades mecánicas del material, también es cierto que no es posible definir los valores de aumento de la resistencia al corte, quedando duda sobre el verdadero mejoramiento de la estabilidad.

El aumento de la estabilidad, además del control de aguas, también se logra con obras de retención o descargando la parte superior, que es la que más contribuye a la inestabilidad.

Para el caso que nos ocupa, las obras de contención tendrían dimensiones monumentales, con costos también elevados. En estas condiciones, surge como medida más apropiada la descarga superior del talud, hasta el nivel tal que el talud estáticamente tenga factores de seguridad superiores a 1.5 y a la acción sísmica el F_s llegue a 1.

Teniendo en cuenta que los bloques de roca superficiales en la zona sur son el principal elemento de peligro, pues debido a la acción erosiva de las aguas de lluvia, los bloques se van socavando y pierden equilibrio, es necesario remover todos los bloques superficiales, depositándolos en la parte baja.

Entre las dos zonas hay un material en la parte baja que es necesario remover también.

Los taludes en roca deben ser despojados de bloques sueltos en peligro de caer. No se requiere regularización de los taludes en roca, por lo que no se requiere utilización de explosivos.

7.2.4. Rellenos

Con el fin de no transportar los materiales excavados, para minimizar costos de obras, se ha proyectado colocar un relleno en la parte baja de los taludes inestables. Esta acción contribuye en el mejoramiento de la estabilidad del talud, regularización y disminución de la pendiente.

Uno de los rellenos se localiza en la pata del talud de la zona sur. Allí se ubicarán todos los bloques superficiales removidos y parte de los materiales de excavación obtenidos de la parte alta de ese talud.

El segundo relleno se ubica en la parte baja del talud de la zona norte y el tercero en las cárcavas que se requiere recuperar. Allí se colocará el material restante, producido en la excavación del talud de la zona sur, siendo prioritario el de las cárcavas. Si el material no es suficiente para el relleno de la zona norte, este puede ser disminuido.

Los rellenos se conforman con los taludes indicados en los planos.

Teniendo en cuenta que los materiales excavados en la parte alta de la zona norte están constituidos por suelo vegetal, estos son ideales para cubrir el talud de la zona sur y el relleno de la zona norte con el fin de favorecer la revegetalización. Así que se tiene previsto esparcir en esa área los materiales obtenidos de la excavación en la zona norte.

De acuerdo con las cantidades calculadas, se puede conformar un espesor de 20 a 25 cm de suelo vegetal sobre las zonas a revegetalizar.

7.2.5. Gaviones

Con el fin de delimitar las áreas de relleno se han proyectado muros de gaviones de 2 m de altura en la zona sur y 1 m en la zona norte. Además para evitar accidentes y delimitar el área destinada a parque infantil, se proyectó un muro de gaviones de 1 m de altura en el extremo occidental del área.

Los gaviones serán construidos con material proveniente de las excavaciones realizadas en la zona sur.

7.2.6. Empradización

Si se tiene en cuenta que el problema más significativo de la zona sur es la erosión causada por las aguas lluvias, surge como una necesidad el recubrimiento de toda el área con cespedones. También es necesario empradizar el relleno de la zona norte y el área expuesta, luego de las excavaciones realizadas.

7.2.7. Arborización

Como complemento a la empradización, con el fin de recuperar la zona y mejorar las propiedades de corte del suelo por la presencia de las raíces y absorción de agua, es necesario plantar árboles.

Dadas las condiciones del terreno, es conveniente plantar arbustos, tales como Espino Corono, Divi Divi, Hayuelo, Abutilon, en distribución de tresbolillo a distancia de 2.5 m entre plantas.

7.2.8. Pernos

Estos elementos se instalan con el fin de asegurar el talud de roca contra probables fallas por deslizamientos del macizo rocoso sobre estratos de arcillolita. Para tal efecto, los pernos se colocan hacia la parte baja del talud en roca, con inclinación hacia abajo de 60°, con una longitud de 4.0 m, atravesando el estrato más bajo de arcillolita.

De acuerdo con los cálculos realizados y teniendo en cuenta que el factor de seguridad de las varillas debe ser superior a 2 respecto a la resistencia al corte es necesario colocar 1 perno de $\phi 1\frac{1}{4}$ " por 4 m de longitud cada 1 m. Con las platinas se pega la malla al talud. Estos pernos deben instalarse antes de abrir la zanja para el filtro.

7.2.9. Malla Eslabonada

Dado que en el talud en roca es latente el peligro de que se desprendan bloques debido a los procesos de erosión a que se encuentra sometido el macizo rocoso, es necesario cubrir los taludes con malla eslabonada, la cual en la parte alta se ancla con un perno de $\phi 3/4$ " x 1 m cada 2.0 m y se pega al talud con pernos de las mismas dimensiones en red de 2 x 2 m.

7.2.10. Enredaderas

Con el fin de darle a las obras de protección de taludes en roca un tratamiento paisajístico, se plantarán en la parte baja enredaderas de tipo Hiedra, Manto de María, Uña de Gato, las cuales con el tiempo cubrirán la malla y protegerán el talud contra las gotas de agua de lluvia y meteorización.

El diseño de las obras a ejecutar en la zona estudiada, se puede apreciar en el Plano No. 10 del Anexo 10.

7.3. DISEÑO PAISAJISTICO

La situación de análisis corresponde al sector en estudio con la topografía que se establece para la estabilización del antiguo escarpe de explotación.

Adoptando el enfoque de FORMAN Y GODRON (1986), cabe distinguir en el paisaje de Santafé de Bogotá y para este estudio un corredor que se asimila con la cadena montañosa de los Cerros Orientales, donde en la actualidad se encuentran manchas dadas por la actividad humana en la explotación de canteras, generando posteriormente asentamientos humanos, construcción de vías que degradaron progresivamente el paisaje original. Este escenario alteró, además, la estabilidad de las rocas, el color, la forma, la textura y en general las características visuales de los cerros.

El paisaje visual es muy complejo tanto por las características topográficas del terreno como por su morfología. La percepción de este es restringida a sectores muy pequeños, y la aproximación se da desde el propio terreno, que en un recorrido se fortalece con el factor sorpresa por los accidentes que lo caracterizan, y que a la vez son espacios que rodean al observador.

Basados en el diseño de estabilización, futura realidad territorial y tomando el paisaje como la manifestación externa de los procesos que tiene un territorio, el diseño paisajístico es el reflejo de la última intervención antrópica esperada.

7.3.1 Objetivos

Entendiendo el paisaje en la forma anteriormente descrita con el diseño se propone:

- Fortalecer el diseño de estabilización de taludes con las propiedades ingenieriles de la vegetación.
- Proteger la roca para retardar la meteorización de la misma.
- Controlar erosión por escorrentía y caída de bloques.
- Rehabilitación y restauración del espectro de la superficie.

7.3.2 Selección de Especies

De acuerdo con las condiciones biofísicas del área, teniendo en cuenta la morfología del terreno y los requerimientos del mismo, se tienen tres grupos de vegetación que nos refuerzan con sus propiedades la estabilización del terreno.

GRUPO A: Son especies de arboles que se plantan en sitios estratégicos para que la raíz trabaje estructuralmente (Ver Cuadro 7.7).

Cuadro 7.7 Arboles

CANTIDAD	GRUPO A		NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS	
					DIMETRO	ALTURA
6	1	CC	CERZO COMUN	PRUNUS SEROTINA	3 - 6 M.	7 - 10 M.
3	2	CS	CAUCHO SABANERO	FICUS SOATENSIS	3 - 6 M.	5 - 8 M.
2	3	GC	GAQUE CUCHARO	CLUSIA MULTIFLORA	5 - 8 M	5 - 8 M.
2	4	LC	LAUREL DE CERA	MIRICA POLICARPA	4 M	5 - 8 M.
2	5	MA	MAGLE	ESCILLONIA	5 - 8 M	5 - 8 M
3	6	RO	ROBLE	QUERCAS HUMBOLDIT	15 - 20 M.	20 - 25 M.
2	7	GM	GUAYACAN DE MANIZALES	LAFOENSIA ACUMINATA	3 - 6 M.	7 - 10 M.
20						

Las especies de este grupo deben plantarse en los sitios indicados en el plano, los robles se consideran como ejemplar aislado por la altura que alcanza y la cobertura de su follaje, los guayacanes son arboles que requieren protección y su crecimiento es competitivo, en cuanto tenga a su alrededor otros arboles para destacarse su crecimiento más rápido.

GRUPO B: Son arbustos con características para producir setos que para efectos en este diseño, además de ser elementos de composición, se requieren como barreras para frenar el deslizamiento; plantados con distribución de tresbolillo (Ver Cuadro 7.8).

Las especies de este grupo deben plantarse en forma lineal a distancias de 60 cm, con las mismas especificaciones técnicas que se definieron para los arboles, conservando las proporciones para el ahoyado en relación con el tamaño de las bolsas plásticas y de los arbustos.

ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACIÓN AL BARRIO SORATAMA, LOCALIDAD DE USAQUEN

Cuadro 7.8. Arbustos

CANTIDAD	GRUPO B		NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS	
					DIMETRO	ALTURA
10	1	EC	ESPIÑO CORONO	XILOSMA SPECULLFERUM	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
15	2	DI	DIVIDIVI	CAESALPINIA SPINOSA	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
16	3	HA	HAYUELO	DODONEA VISCOSA	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
10	4	RL	RETAMO LISO		1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
33	6	AR	ABUTILON ROJO	ABUTILON DARWINIF	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
21	6	AA	ABUTILON AMARILLO	ABUTILON HIBRIDUM	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
9	7	AN	ABUTILON NARANJA		1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
25	8	HO	HOLY	COTONEASTER	1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M
139					1.5 - 2 M.	1.5 - 3 M

GRUPO C: En este grupo se encuentran las plantas trepadoras que se utilizan para cubrimiento, las especies seleccionadas son de diferentes colores y texturas permitiendo establecer contrastes de colores en el recubrimiento de las rocas expuestas a través de mallas que estructuran una de las técnicas para controlar la erosión (Ver cuadro 7.9).

Cuadro 7.9. Trepadoras

CANTIDAD	GRUPO C		NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS	
					COLOR FOLLAJE	COLOR FLOR
30	1	BU	BUGAMBIL VERANERA	BOUGAMINVILLEA	VERDE INTENSO	FUCSIA
45	2	HM	HIEDRA MORADA		VERDE OSCURO	
25	3	HV	HIEDRA VERDE		VERDE CLARO	
15	4	HJ	HIEDRA VARIEGADA JASPIADA		VERDE Y BLANCO	
50	5	MM	MANTO DE MARIA		VERDE OSCURO	BLANCA
50	6	OS	OJO DE SUSANITA		VERDE CLARO	AMARILLA
120	7	UG	UÑA DE GATO		VERDE INTENSO	
	8	KI	KIKUYO		VERDE PASTO	
335						

La plantación de estas especies debe hacerse en época de lluvias por la dificultad para el riego, en su defecto o si el volumen de lluvias no es suficiente debe establecerse algún sistema con manguera que garantice la humedad requerida.

Estas especies deben plantarse con el cuidado ya expresado de preparación del suelo en el sentido longitudinal de la malla cada ochenta (80) cm en un hoyo apropiado para las dimensiones de la planta, considerando las alturas a que debe llegar la planta. Para agilizar el recubrimiento, es necesario en el sentido vertical hacer plantaciones a cuatro (4) m.

Todos los demás cuidados que requieren las plantas están dados en técnicas silvícolas y son comunes para los tres grupos.

La siembra ha de hacerse directamente en el suelo y deberá cumplir con las especificaciones técnicas.

7.3.3 Elementos de Diseño

Los elementos del diseño comprenden los componentes: físicos, bióticos, actuación humana.

7.3.3.1 Físicos.

Relieve: Es el elemento primordial en el diseño del sector pues se crea una topografía que es el resultado de la estabilización de los taludes, allí se producen dos cortes entre 7 y 12 metros de altura que descubren la roca, quedando en su estado original, y expuesta a las afectaciones meteorológicas. El movimiento de tierra producido por este corte es trasladado a la base de la ladera para equilibrar el talud, produciendo dos mesetas soportadas por gaviones de piedra del sector.

Gaviones: Son elementos estructurales en la estabilización de taludes en las áreas de rellenos.

Zanjas: Es otro elemento que interviene en el diseño, son canales de manejo de aguas lluvias a través de zanjas recubiertas en piedra pegada para evitar erosión por escorrentía.

Senderos: Son caminos producidos por el recorrido de las personas que están asentadas en el sector y que acortan camino a través de esta zona. Se producen dos en diferentes direcciones, con características diferentes, una casi perpendicular a las curvas de nivel, paralelo a una cárcava en el sector norte y el otro que sigue paralelo con las curvas por el centro del territorio desde un sendero al sur hasta llegar al sendero norte.

7.3.3.2. Bióticos

Vegetación: Se cuenta con las especies del sector.

- Especies plantadas existentes en el sector
- Especies propuestas para la recuperación
- Como elementos se cuenta con arboles como ejemplar aislado.
- Arbustos
- Enredaderas
- Empradización

Fauna: La fauna existente en aves es escasa y es probable que sea por la vegetación deficiente del momento. Con la revegetalización de la zona se genera migración de algunas especies que consumen el fruto de las nuevas plantas.

7.3.3.3 Descripción

Con estos elementos se tienen determinantes fijas como, el relieve, la zanja, los gaviones y los senderos que ya están preestablecidos; donde se conforma la estructura del diseño, se tienen dos depresiones separadas por una elevación que esta enmarcada por zanjas. A la vez las zanjas recorren todo el espacio recogiendo las aguas lluvias que puedan alterar la estabilidad de los taludes.

Se trabaja con los tres grupos de vegetación para recuperar el espacio, dichos elementos están dados por:

- Barreras de arbustos con los que se controla la caída de bloques con las especies seleccionadas estableciendo diferentes tonalidades, para dar variedad al paisaje.
- Elementos arboles individuales. Estos están distribuidos en los sectores que sus raíces pueden arraigarse, mejorando las propiedades al corte del suelo.
- Enredaderas. Especies trepadoras que permiten recubrir zonas de difícil empradización como son los taludes y los escarpes.

- Empradización. Este es el elemento mas generalizado en el proyecto, se constituye en la cubierta del territorio.

El sendero es una ruta establecida por la vecindad que se toma en la mayoría de su recorrido, se recubre con piedra pegada extraída del sector, obteniendo variedad en el recorrido con escalones, a la vez se recrean con arboles y arbustos en el recorrido.

7.4. CANTIDADES DE OBRA

Las cantidades de obra se presentan el cuadro 7.10.

Cuadro 7.10. Cantidades de obra

Item	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Localización y replanteo	GLOBAL	1
2	Zanja de coronación y recolección	ML	335
3	Zanja de conducción	ML	134
4	Filtro de piedra	ML	75
5	Excavación en depósito de pendiente	M3	800
6	Excavación en material común	M3	330
7	Remoción de bloques superficiales	M3	100
8	Rellenos semicompactados	M3	535
9	Colocación de capa vegetal y empradización	M2	1.500
10	Gaviones	M3	165
11	Arborización	U	20
12	Arbustos	U	50
13	Evacuación de una vivienda	U	1
14	Pernos ϕ 1 1/4"	ML	150
15	Pernos ϕ 3/4"	ML	280
16	Malla eslabonada	M2	1.336
17	Enredaderas	DOCENA	20
OBRAS ADICIONALES			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Sendero Peatonal	ML	63
2	Parque Infantil	U	1

7.5. PRESUPUESTO

El presupuesto de obras de mitigación se calculó considerando las cantidades de obra, indicadas en el capítulo anterior. Los precios unitarios se evaluaron, tornando como precios base los contratadas por UPES para obras de la misma naturaleza.

En estas condiciones, en el cuadro 7.11 se presenta el presupuesto de obra correspondiente a los trabajos de estabilización de los taludes.

Cuadro 7.11. Presupuesto

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
1	Localización y replanteo	GLOBAL	1		\$1.000.000
2	Zanja de coronación y recolección	ML	335	\$12.000	\$4.020.000
3	Zanja de conducción	ML	134	\$8.000	\$1.072.000
4	Filtro de piedra	ML	75	\$37.000	\$2.775.000
5	Excavación en depósito de pendiente	M3	800	\$9.000	\$7.200.000
6	Excavación en material común	M3	330	\$8.000	\$2.640.000
7	Remoción de bloques superficiales	M3	100	\$20.000	\$2.000.000
8	Rellenos semicompactados	M3	535	\$5.000	\$2.675.000
9	Colocación de capa vegetal y empradización	M2	1.500	\$6.000	\$9.000.000
10	Gaviones	M3	165	\$55.000	\$9.075.000
11	Arborización	U	20	\$10.000	\$200.000
12	Arbustos	U	50	\$5.000	\$250.000
13	Evacuación de una vivienda	U	1		\$3.000.000
14	Pernos ϕ 1 1/4	ML	150	\$45.000	\$6.750.000
15	Pernos ϕ 3/4	ML	280	\$38.000	\$10.640.000
16	Malla eslabonada	M2	1.336	\$9.000	\$12.024.000
17	Enredaderas	DOCENA	20	\$30.000	\$600.000
SUBTOTAL					\$74.921.000
IMPREVISTOS, 5%					\$3.746.050
TOTAL					\$78.667.050

OBRAS ADICIONALES					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
1	Sendero Peatonal	ML	63	\$40.000	\$2.520.000
2	Parque Infantil	U	1	\$10.000.000	\$10.000.000

7.6 PROCESO CONSTRUCTIVO

Con el fin de adelantar la construcción de las obras de estabilización el contratista debe maximizar el empleo de mano de obra local y minimizar la utilización de maquinaria.

En general los materiales de excavación deben utilizarse para conformar los rellenos y obtener material pétreo para gaviones, filtros y revestimiento de zanjas. No está previsto transportar materiales a escombreras.

Es importante anotar, que antes de iniciar los trabajos debe hacerse la adquisición y demolición de la vivienda, ubicada al pie del talud sur.

En cuanto a la secuencia, es necesario tener en cuenta que las obras deben iniciarse con la construcción de la zanja de coronación con el fin de manejar las aguas que puedan emproblemar las excavaciones y conformación de rellenos.

Posteriormente, se procederá a hacer los movimientos de tierra previstos, hasta los niveles señalados en los planos. No se requiere excavar roca in-sitú, motivo por el cual, al realizar las excavaciones los taludes en roca no requieren conformación.

En caso de encontrar que el perfil de roca no se ajusta en algún sitio a los diseños establecidos, es necesario acomodar el diseño a lo realmente encontrado.

Luego de haberse conformado los cortes, se procederá a instalar los pernos y malla eslabonada en los taludes en roca.

Una vez estén protegidos los taludes en roca se procederá a construir los filtros y zanjas.

Como última actividad, está previsto hacer el empedrado, plantación de árboles, arbustos y enredaderas.

El contratista, en las labores de excavación debe tomar las máximas medidas de seguridad para evitar que rueden materiales a las viviendas más próximas a los taludes.

En la misma forma, durante la ejecución de los trabajos debe prohibirse el tránsito de personas por el lugar.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los estudios y análisis realizados, relatados en el presente informe, se pueden formular las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Los fenómenos de remoción en masa que se identificaron en el área de estudio son: deslizamientos, caídas de bloques y erosión.
- En el área de estudio se definieron 24 sectores de diferente susceptibilidad al desarrollo de los fenómenos anteriores.
- Los fenómenos de deslizamiento actualmente se encuentran en el estado de equilibrio límite con factores de seguridad estática, que varían entre 1.1 y 1.3. Sin embargo estos pueden disminuir a valores menores a 1 por un efecto sísmico de magnitudes superiores a 5.
- Los fenómenos de caída de bloques y cascajo son evidentes y activos. Existen cuñas potencialmente inestables en todos los escarpes rocosos, debido a la presencia de zonas de cizalla fallas tectónicas y buzamiento desfavorable de estratificación.
- El fenómeno de erosión está presente en toda el área de estudio en forma de erosión laminar, en surcos y cárcavas de gran tamaño.
- El fenómeno de erosión se consideró como factor detonante para la aceleración de los procesos de movimiento en masa.
- Se han definido las áreas de amenaza alta, media y baja para cada uno de los fenómenos con su respectiva zonificación.
- La evaluación de vulnerabilidad de elementos ha dado como resultado que 10 viviendas son altamente vulnerables a la amenaza y 7 tienen vulnerabilidad media.
- Se elaboró la zonificación del área por riesgo actual y se calculó el costo esperado de OCHENTA Y DOS MILLONES TRESCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL SEISCIENTOS OCHENTA Y UN MIL PESOS (\$82'388.681) MCTE.

- En caso de no ejecutar las obras de mitigación se corre el riesgo de que 30 personas queden afectadas, incluso con pérdidas humanas.
- El riesgo que se prevé es mitigable. Existen varias alternativas de mitigación, de los cuales se recomienda una, la que tendrá el menor impacto social, la mayor seguridad y el beneficio para la población.
- Para la construcción de las obras de mitigación se requiere comprar la vivienda identificada con el código 20, cuya costo es de TRES MILLONES DE PESOS (\$3'000.000).
- Durante la construcción de obras se recomienda evacuar la vivienda identificada con el código 10, debido al riesgo por caída de bloques.

BIBLIOGRAFÍA

- AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1998) *NSR-98 Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes*, Santafé de Bogotá.
- GONZÁLEZ A. J., (1990) – Conceptos sobre la evaluación de riesgos por deslizamientos – VI Jornadas Geotécnicas – SCI – Memorias - Tomo I, Bogotá, Octubre 1990.
- GONZÁLEZ A. J., (1990) – Metodología para evaluación de riesgo por deslizamiento – VI Jornadas Geotécnicas – SCI – Memorias - Tomo II, Bogotá, Octubre 1990.
- IAEG, Asociación Internacional de Ingeniería Geológica, 1976
- INGEOCIM Ltda - UPES (1998) *Estudio de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inestabilidad del terreno para las localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba de Santafé de Bogotá.*
- INGEOMINAS (1988) Convenio 200 - 86. *Zonificación Geotécnica de Bogotá.*
- INGEOMINAS (1995a) - Barrio Soratama, Santafé de Bogotá D.C. *Informe de visita de emergencia.* Santafé de Bogotá, 7 pág.
- INGEOMINAS (1995b) - *Evaluación de sitios críticos de inestabilidad en el Barrio Soratama.* Santafé de Bogotá, 17 pág.
- INGEOMINAS - UNIANDES (1997) *Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá.* Convenio interadministrativo 01-93. Agosto 1997
- LOMTADZE V.D. (1977) *Ingeniería Geológica (Geodinámica Ingeniería)*. Leningrado Nedra, 479 pág.
- LOMTADZE V.D. (1984) *Ingeniería Geológica (Petrología Ingeniería)*. Leningrado Nedra, 511 pág.
- MARTINEZ R. JUAN M., RODRÍGUEZ O. JORGE A. (1998), - *Zonificación geotécnica, mapas de susceptibilidad y amenaza por remoción en masa.* Sociedad Colombiana de Geotecnia - VII Congreso Colombiano de Geotecnia - Memoria Técnica, vol. 2, Santafé de Bogotá, D.C. 21, 22 y 23 de Octubre, pág. 8.1 - 8.16.
- MEDVEDEV S.V. (1965) - *Microzonificación sísmica.* Moscú, Nedra, 200 pág.
- PADUCOV H. (1981) - *Pronostico de estabilidad de los taludes de canteras.* Instituto de Minas de Leningrado, 50 pág.
- RODRÍGUEZ E. E., CEPEDA E., OJEDA B. J., (1998) – *Aporte del INGEOMINAS en los estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo geológico en Colombia.* - VII Congreso Colombiano de Geotecnia - Memoria Técnica, vol. 2, Santafé de Bogotá, D.C. 21, 22 y 23 de Octubre, pág. 8.17 - 8.45.

- SUSTER ROBERT, KRIZEK RAYMOND (1978) Landslides. *Análisis and control special Report 176*, Washington D.C., 366 pág.
- TCHEMODANOVA V. (1998) – *Metodología de Zonificación Geotécnica Regional*. - VII Congreso Colombiano de Geotecnia - Memoria Técnica, vol. 2, Santafé de Bogotá, D.C. 21, 22 y 23 de Octubre, pág. 8.80 - 8.91.
- UJUETA G, 1991 Lineamientos Río Ariari, Bogotá y Gachalá en los Departamentos de Cundinamarca y Meta. *Estudio regional del alineamiento de la Falla de Bogotá*. Santafé de Bogotá, Pág. 345 – 358.
- UPES 1994 *Concepto técnico N25*. Usaquen, Barrio Soratama. Cra.7a Calle 166B. 2 pág.

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:

TOPOGRAFIA DEL AREA

PLANO No.:

1

FUENTE:

- Levantamiento directo

ELABORARON:

PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**

LEVANTO: ESTOARQ LTDA.

CALCULO: ESTOARQ LTDA.

DIBUJO: Luis Miguel Cáceres R.

SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA

**ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.G.C. LTDA**

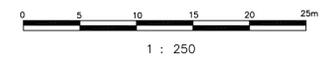


FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Cresta de talud
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



FECHA

MARZO DE 1.999



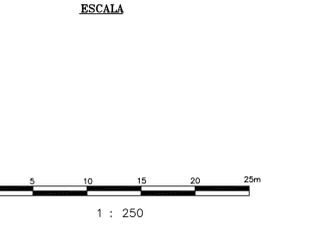
PUNTOS DE AMARRE TOPOGRAFICO

PLACA	NORTE	ESTE	COTA
CD-325-A	116,669.224	106,098.807	2,584.905
CD-324-A	116,698.068	105,676.121	2,565.055

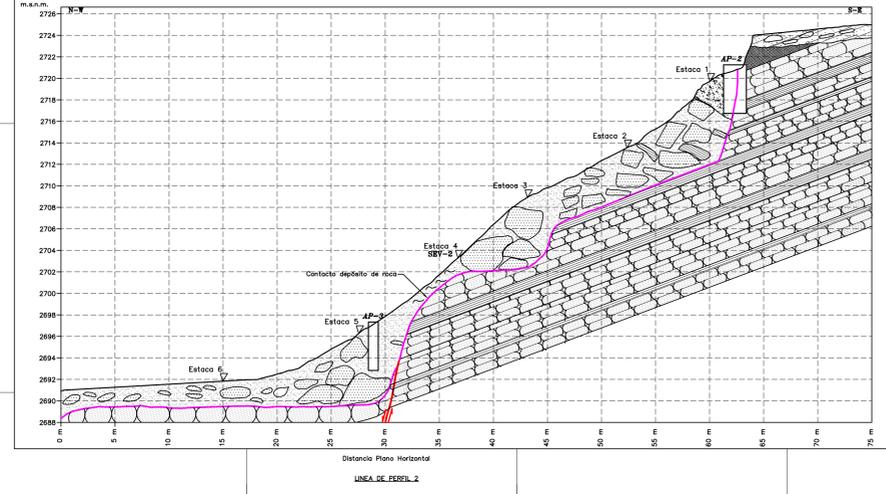
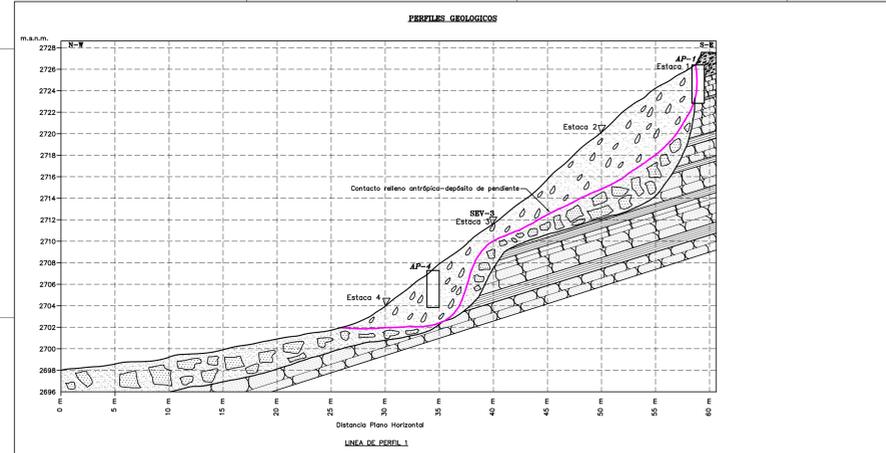
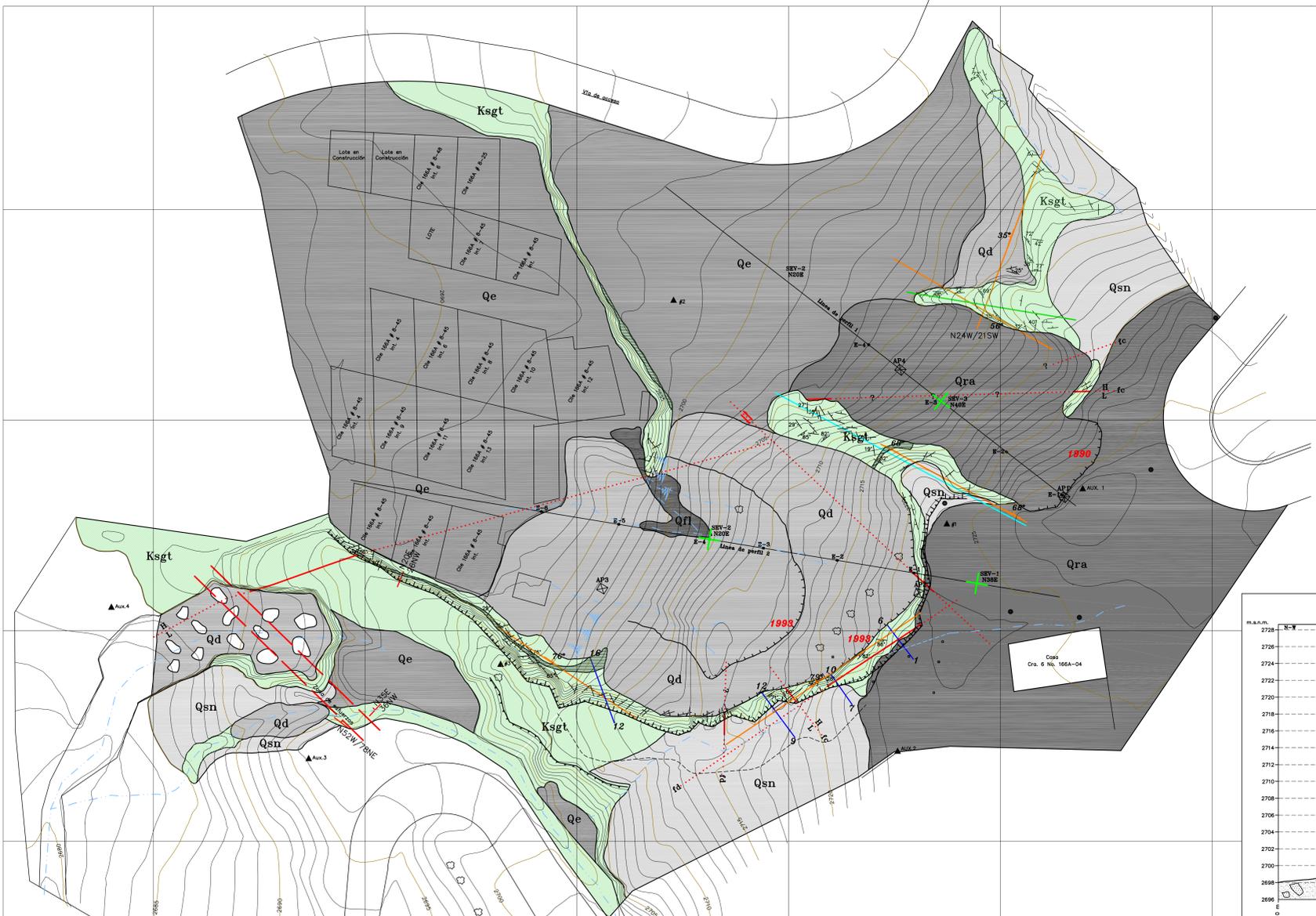


CONVENCIONES GENERALES

	Corriente intermitente
	Curva de Nivel
	Sendero
	Poste
	Estación Topográfica Usada
	Vegetación arbustiva



FECHA
MARZO DE 1.999



CORRELACION DE COLUMNAS LITOLÓGICAS

EDAD	ESPESOR (m)	LITOLOGIA	ESPESOR (m)	LITOLOGIA	ESPESOR (m)	LITOLOGIA
Qfl, Qra, Qe, Qd, Qsn	3.00	[Symbol]	1.60	[Symbol]	0.50	[Symbol]
	4.50	[Symbol]	4.90	[Symbol]	0.70	[Symbol]
	1.00	[Symbol]	1.50	[Symbol]	0.60	[Symbol]
	0.30	[Symbol]	0.40	[Symbol]	0.35	[Symbol]
	2.70	[Symbol]	2.60	[Symbol]	0.80	[Symbol]
	0.70	[Symbol]	1.00	[Symbol]	2.30	[Symbol]
	2.00	[Symbol]	0.80	[Symbol]	1.40	[Symbol]
	2.20	[Symbol]	0.50	[Symbol]	2.20	[Symbol]
	0.50	[Symbol]	6.65	[Symbol]		

CONVENCIONES GEOLOGICAS

	Flujos de lodos
	Relleño Anti-típico
	Escorras de excavación
	Depósito de pendiente
	Suelos negros
	Cretácico Superior Grupo Cúcuta (Formación Arenisca Tierra)

ESTRUCTURAS

	Contacto Litológico (Geológico)
	Estratificación
	Diastasis principal
	Falla por distensión del macizo rocoso
	Falla por cizallamiento del macizo rocoso
	Falla cubierta
	Zona de esfuerzos
	Sección don se levantó columna litológica norte
	Sección don se levantó columna litológica central
	Sección don se levantó columna litológica sur
	Orientación de tidal
	Flujos de agua
	Límite de deslizamiento activo y/o del último movimiento
	Escarpe de derrumbe
	Sondeo eléctrico vertical
	Localización de estacos

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-150-98

CONTENIDO:

MAPA DE ZONIFICACION GEOMECANICA AREAS HOMOGENEAS

PLANO No.:

3

FUENTE:

- Ingemétrica Ltda.

ELABORARON:

PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**

REALIZO: Ing. Geólogo, Valentina Tchemedanova

DIBUJO: Luis Miguel Cáceres R.

SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.G.C. LTDA

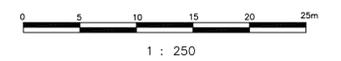


FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

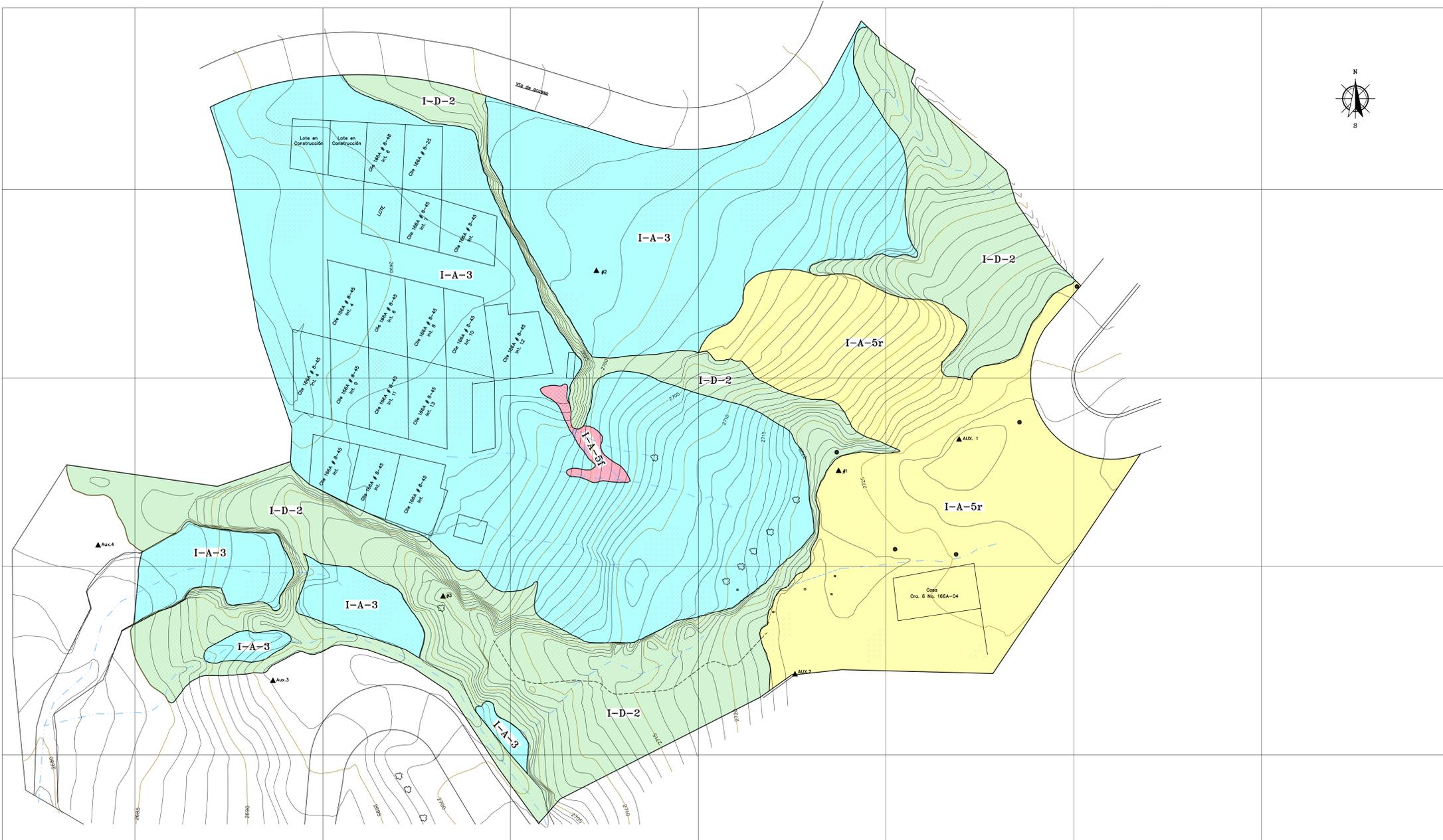
- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA

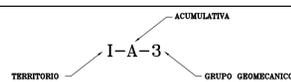


FECHA

MARZO DE 1.999



ZONIFICACION GEOMECANICA DEL AREA DEL ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION EN EL BARRIO SORATAMA										
TERRITORIOS GEOTECNICOS	ZONAS GEOTECNICAS				CLASIFICACION GEOMECANICA	PROPIEDADES FISICO - MECANICAS			CLASIFICACION POR PROPIEDADES SISMICAS	AREAS HOMOGENEAS
	Tecto estructuras paleo históricas	Formas morfo-genéticas	Tipos genéticos de rocas	Edad, unidad litoestratigráfica		Características litológicas	Físicas	Hídricas		
I FLANCO OCCIDENTAL DE LA CORDILLERA ORIENTAL	I - D: DENUDATIVA	(Sedimentarias) (ROCAS)	Ksgt Formación Arenisca Tierra	Secuencia de niveles de areniscas de grano grueso a conglomeráticas con cemento arcilloso, caolinitico, separados por estratos delgados de lodolitos, limolitas y arcillitas	2 Rocas sedimentarias, granulares, alteradas	Peso unitario de arenisca 2.05 t/m ³ , de arcillita 1.97 t/m ³ Porosidad: hasta 10-15 %	Retención de humedad baja, Kf varía dependiendo del fracturamiento y meteorización entre 0.5 y 30 m ³ /m ³ Humedad natural de arcillita 21.2 %	Resistencia Baja, Rcompresión 273 kg/cm ² , Rtracción = 31.3 kg/cm ² , deformabilidad baja o prácticamente no deformables. Módulo de deformación 10000 kg/cm ² . Excavación por voladura y percusión. Angulo de fricción interna de arcillita = 18 y de areniscas = 38 grados; la cohesión es de 0.12 kg/cm ² para arcillita y 2.8 kg/cm ² para arenisca.	I/1.0	I-D-2
										Qra Relenos Antérrpicos
	I - A: ACUMALATIVA	(Sedimentarias) (DEPOSITOS NO CONSOLIDADOS)	Qfl Flujos de lodo	Depósito de material arena limosa saturado.	5 Depósitos especiales	Densidad: 1.40 t/m ³ , Porosidad hasta 45%	Saturados.	Suelos susceptibles a fluación.	VI/2.0-2.4	I-A-5f
			Qdp Depósitos de pendiente	Conjunto de bloques de arenisca de diversas tallas hasta 3 m, cantos, guijas y gravas en matriz areno-arcillosa producto de desprendimientos ocurridos en los taludes.	3 Granulares no cohesivos	D.C. grave en matriz areno arcillosa. Peso unitario 1.98 - 2.05 t/m ³	Humedad natural 9.6%	Angulo de fricción = 37 grados Cohesión = 0.15 kg/cm ²	III/1-1.5	I-A-3
			Qe Escorias de excavación	Depósito de fragmentos meteorizados de arenisca con lamapas hasta de 20 cm, en matriz areno-arcillosa, sobrantes de antiguas explotaciones.						



"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-150-98

CONTENIDO:
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE AREAS AL DESARROLLO DE PROCESOS

PLANO No.: **4**

FUENTE:
- Ingemétrica Ltda.

ELABORARON:
PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**
REALIZO: Ing. Geólogo, Valentina Tchemedanova
DIBUJO: Luis Miguel Cáceres R.
SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA:
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA. A.G.C. LTDA



FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

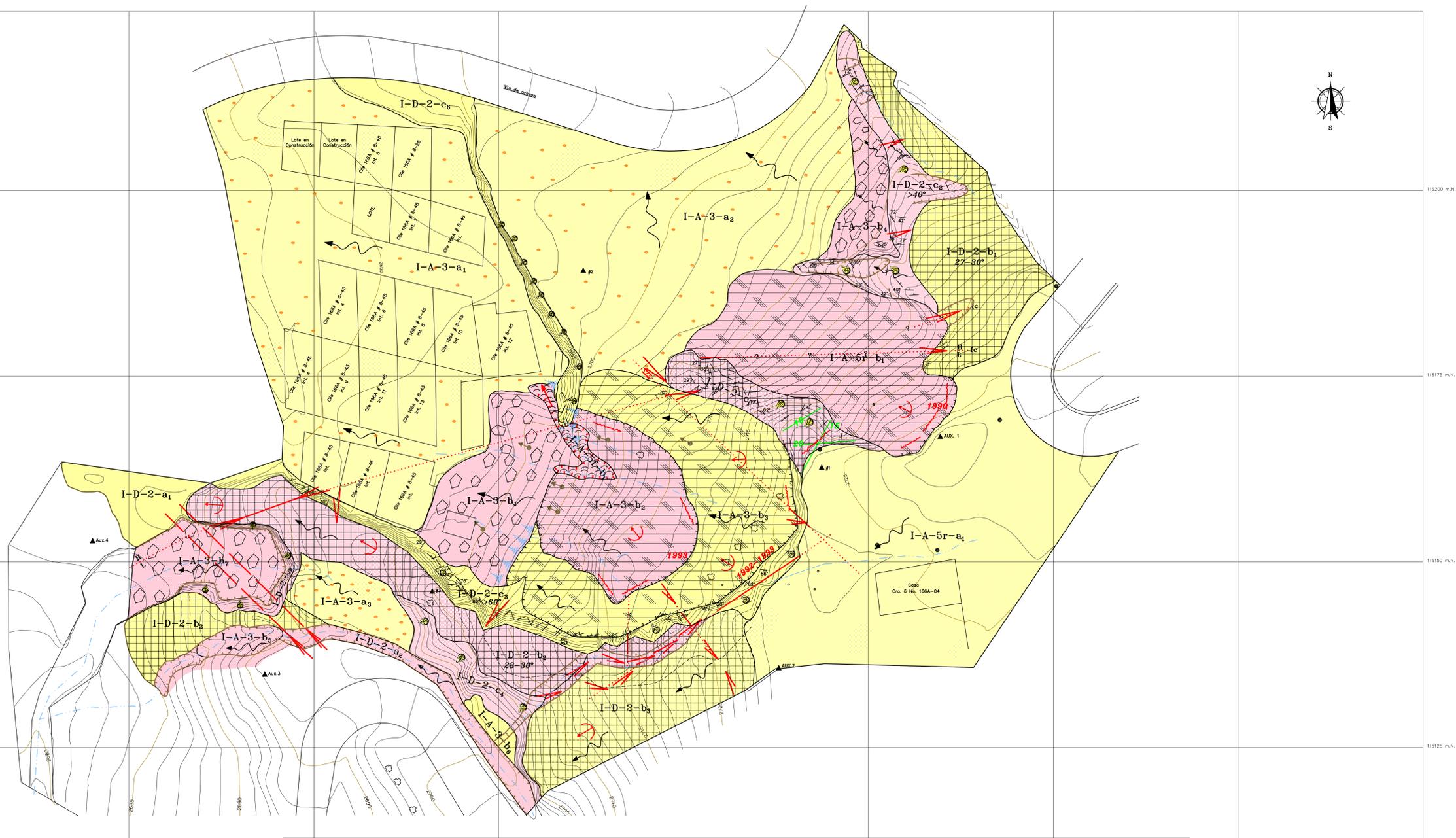
- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



FECHA

MARZO DE 1.999



CONVENCIONES TEMATICAS

FORMAS MORFOGENETICAS			
A - Acumulación			Rumbo y buzamiento de los estratos
D - Denuación			Posibles caídas de bloques, piedras y gravas
AREA GEOMECANICA			Sitios de posible erosión y lavado de las fracturas tectónicas
5r - Rellenos antrópicos			Posible desarrollo de sofusión
5f - Flujos de lodos (Depósitos de pendiente o escombros de excavación)			Erosión en cárcavas
3 - Depósitos de bloques			Erosión en surcos
2 - Rocas in situ			Area de acumulación de sedimentos
PENDIENTE			Flujo de lodos
a: 0 - 10°			Falla por distensión del macizo rocoso
b: 10 - 35°			Falla por cizallamiento del macizo rocoso
c: > 35°			Falla cubierta
INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD			Límite de deslizamientos activos y año de último movimiento
ALTA			Grietas de tracción frescas y su apertura
MEDIA			Acumulación de bloques
BAJA			Salida de agua subterránea
			Dirección de movimiento de masas
			Deslizamientos de tipo combinado
			Dirección de posible movimiento de macizos de rocas alterados, descargados y preparados para remoción traslacional
			Grietas de relajación y su apertura, normalmente sobre las fracturas tectónicas

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:

MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES Y FLUJOS DE LODO

PLANO No.:

5

FUENTE:

- Ingemétrica Ltda.

ELABORARON:

PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**

REALIZO: Ing. Geólogo, Valentina Tchemedanova

DIBUJO: Luis Miguel Cáceres R.

SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA:

ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.G.C. LTDA

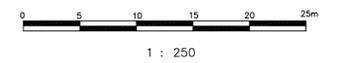


FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



CONVENCIONES TEMATICAS

FORMAS MORFOGENETICAS					
A - Acumulación			Rumbo y buzamiento de los estratos		Falla por distensión del macizo rocoso
D - Denuclación			Posibles caídas de bloques, piedras y gravas		Falla por cizallamiento del macizo rocoso
AREA GEOMECANICA			Sitios de posible erosión y lavado de las fracturas tectónicas		Falla cubierta
5r - Rellenos antrópicos			Posible desarrollo de sulfosión		
5f - Flujos de lodos (Depósitos de pendiente o escombros de excavación)			Erosión en cárcavas		
3 - Depósitos de bloques			Erosión en surcos		
2 - Rocas in situ			Area de acumulación de sedimentos		
PENDIENTE			Flujo de lodos		
a: 0 - 10°					
b: 10 - 35°					
c: > 35°					
AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS, DERRUMBES Y FLUJO DE LODOS					
AMENAZA		Pf	Fd	Fe	
	ALTA	0.6 - 1	0 - 1	1 - 1.5	
	MEDIA	0.2 - 0.6	1 - 1.5	1.5 - 2.0	
	BAJA	< 0.2	> 1.5	< 2.0	
					Pfd Probabilidad de falla por deslizamiento
					Fd Factor de seguridad dinámico
					Fe Factor de seguridad estático

FECHA

MARZO DE 1.999

CONTENIDO:

MAPA DE AMENAZA POR CAIDA DE BLOQUES

PLANO No.:

6

FUENTE:

- Ingemétrica Ltda.

ELABORARON:

PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**

REALIZO: Ing. Geólogo, Valentina Tchemedanova

DIBUJO: Luis Miguel Cáceres R.

SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA

**ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.G.C. LTDA**



FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

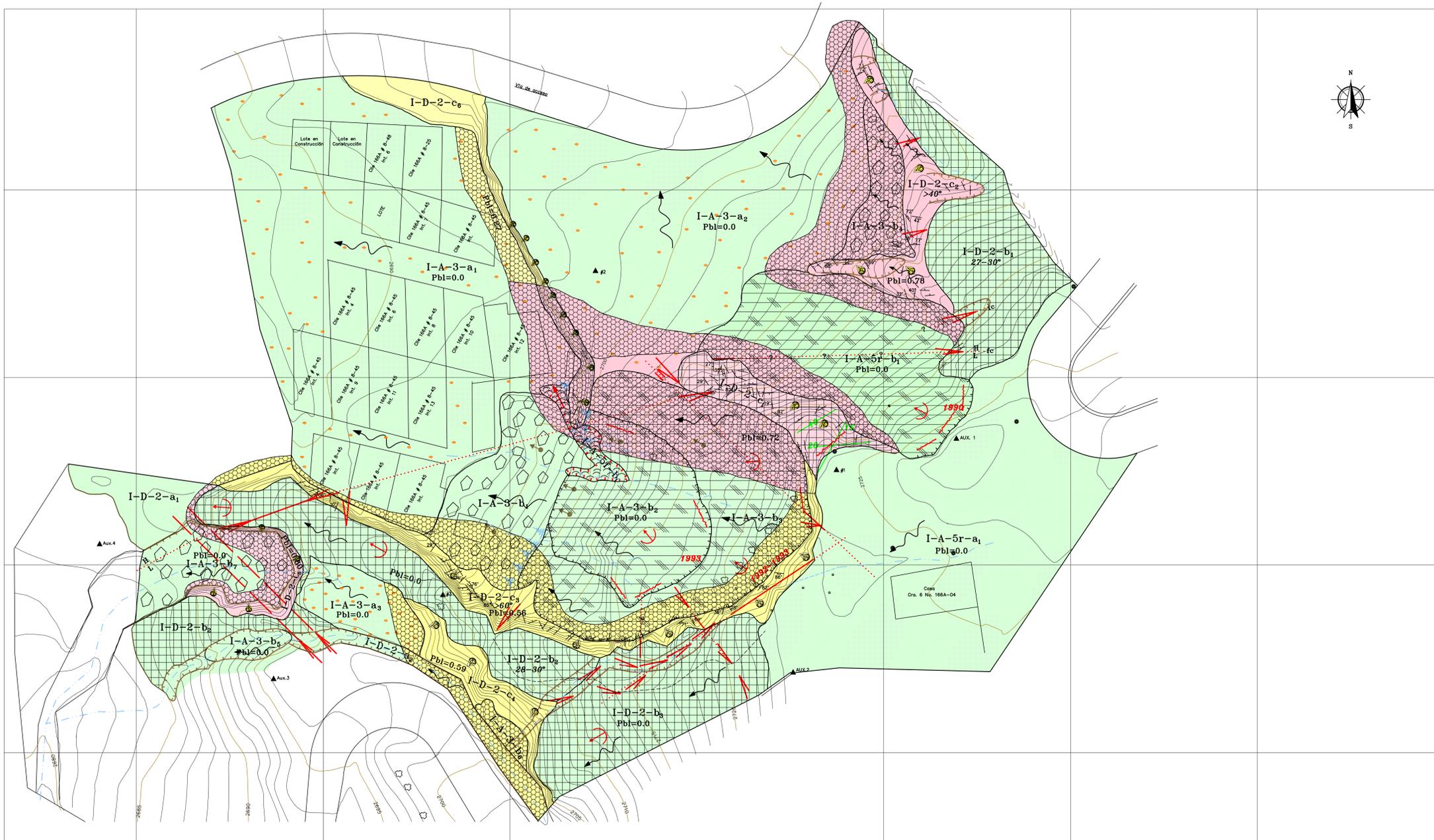
- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



FECHA

MARZO DE 1.999



CONVENCIONES TEMATICAS

FORMAS MORFOGENETICAS		
A	-	Acumulación
D	-	Denuclación
AREA GEOMECANICA		
5r	-	Rellenos antrópicos
5f	-	Flujos de lodos (Depósitos de pendiente o escombros de excavación)
3	-	Depósitos de bloques
2	-	Rocas in situ
PENDIENTE		
a:	0 - 10°	
b:	10 - 35°	
c:	> 35°	
AMENAZA POR CAIDA DE BLOQUES		
AMENAZA	Pbi	CARACTERISTICAS DE TALUDES
	0.6 - 1.0	Fracturamiento alto alturas 4 - 15 m.
	0.2 - 0.6	Fracturamiento alto alturas 4 - 10 m.
	< 0.2	Fracturamiento alto alturas < 4 m.

	/ 30	Rumbo y buzamiento de los estratos
		Posibles caídas de bloques, piedras y gravas
		Sitios de posible erosión y lavado de las fracturas tectónicas
		Posible desarrollo de sulfosión
		Erosión en cárcavas
		Erosión en surcos
		Area de acumulación de sedimentos
		Flujo de lodos
		Fallo por distensión del macizo rocoso
		Fallo por desplazamiento del macizo rocoso.
		Fallo cubierta

	1993	Límite de deslizamientos activos y año de último movimiento
		Grietas de tracción frescas y su apertura
		Acumulación de bloques
		Salida de agua subterránea
		Dirección de movimiento de masas
		Deslizamientos de tipo combinado
		Dirección de posible movimiento de macizos de rocas alterados, descargados y preparados para remoción traslacional
		Grietas de relajación y su apertura, normalmente sobre las fracturas tectónicas
		Distancia máxima probable de caída de bloques
Pbi		Probabilidad de caída de bloques

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:
DISEÑO PAISAJISTICO

PLANO No.:
10

FUENTE:
- Levantamiento directo

ELABORARON:
PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**
LEVANTO: ESTOARQ LTDA.
CALCULO: ESTOARQ LTDA.
DIBUJO: Fernando Suarez Ariza.
SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA:
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA. A.G.C. LTDA

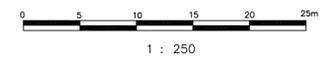


FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Cresta de talud
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



FECHA

ABRIL DE 1.999



ESPECIES PLANTADAS

CUADRO N° 1

ARBOLES						
CANTIDAD	GRUPO A	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS		
				DIAMETRO	ALTURA	
1	C-C	CEPES COMUN	IBERIA SENECENSIS	3.0 M	7 - 10 M	
2	CB	SAUZA BARBERI	IBERIA BOVENSIS	3.0 M	5 - 8 M	
2	CC	ESQUE COLOMBIO	IBERIA MULTICOLOR	2.0 M	5 - 8 M	
2	CC	CAÑEL DE CERVA	IBERIA POLYCARPA	1.5 M	5 - 8 M	
2	BA	MOJILE	IBERIA	2.0 M	5 - 8 M	
2	MO	MOJILE	IBERIA	1.5 - 2.0 M	20 - 25 M	
2	OB	SUAVISAN DE MANOSALES	IBERIA	3.0 M	7 - 10 M	

CUADRO N° 2

ARBUSTOS						
CANTIDAD	GRUPO B	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS		
				DIAMETRO	ALTURA	
10	CC	ESQUE COLOMBIO	ALGUNA SPECIALLYERUM	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	OB	GUARDIA	COCAINIA SPINOSA	1.0 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	BA	MOJILE	IBERIA VESICATA	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	MO	MOJILE	IBERIA	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	OB	MOJILE	IBERIA	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	OB	MOJILE	IBERIA	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	
10	OB	MOJILE	IBERIA	1.5 - 2.0 M	1.5 - 3.0 M	

CUADRO N° 3

TREPADORAS						
CANTIDAD	GRUPO C	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	CARACTERISTICAS		
				DIAMETRO	COLOR FOLIAJE	COLOR FLOR
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA
20	OB	BOGOTANA	BOGOTANA	1.5 - 2.0 M	VERDE	ROSA

CONVENCIONES

- SENDERO TIPO A
- SENDERO TIPO B
- SENDERO TIPO C
- GAVION
- MALLA
- CAÑUELA

SENDERO TIPO A: Escalones de contravuelta de 20 cm de altura y huella de 23 a 25 cm.
SENDERO TIPO B: Rampa con escalón contravuelta de 15cm de altura y rampa 10% de 1.50m.
SENDERO TIPO C: Rampa con escalón contravuelta de 10 cm de altura y rampa 10% de 1.50m.



CUADRO DE DELTAS

DELTA No.	NORTE	ESTE
▲ #1	116,162.548	106,568.687
▲ #2	116,189.136	106,536.423
▲ #3	116,145.899	106,516.002
▲ AUX. #1	116,166.730	106,584.730
▲ AUX. #2	116,135.627	106,562.870

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:

DISEÑO DE OBRAS

PLANO No.:

11

FUENTE:

- Levantamiento directo

ELABORARON:

PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**
 LEVANTO: ESTOARQ LTDA.
 CALCULO: ESTOARQ LTDA.
 DIBUJO: Fernando Suarez Ariza.
 SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA

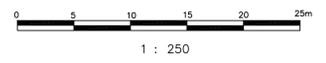
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA.
A.G.C. LTDA



CONVENCIONES GENERALES

- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Cresta de talud
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva
- Zona de Corte
- Zona de Relleno

ESCALA



FECHA

ABRIL DE 1.999

"ZONIFICACION DE AMENAZAS Y RIESGOS POR REMOCION EN MASAS, EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS PARA ESTABILIZAR ANTIGUO ESCARPE DE EXPLOTACION FRENTE AL BARRIO SORATAMA LOCALIDAD DE USAQUEN"

CONTRATO No. G-1075-159-98

CONTENIDO:
DISEÑO DE OBRAS (DETALLES)

PLANO No.:
12

FUENTE:
- Levantamiento directo

ELABORARON:
PROYECTO: **INGEMETRICA LTDA**
LEVANTO: ESTOARQ LTDA.
CALCULO: ESTOARQ LTDA.
DIBUJO: Fernando Suarez Ariza.
SIG: Ing. Natalia Rico

INTERVENTORIA:
ANALISIS GEOTECNICOS COLOMBIANOS LTDA. A.G.C. LTDA

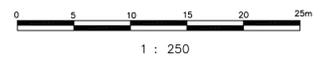


FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ D.C.

CONVENCIONES GENERALES

- Corriente intermitente
- Curva de Nivel
- Sendero
- Cresta de talud
- Poste
- Estación Topográfica Usada
- Vegetación arbustiva

ESCALA



FECHA

ABRIL DE 1.999

