

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA ESTABILIZAR EL SECTOR QUE SEPARA LOS BARRIOS TUNA ALTA Y EL SALITRE DE LA LOCALIDAD DE SUBA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

INFORME FINAL

CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 377 DE 2004 Trabajo GE-117

1. GENERALIDADES

En cumplimiento del Contrato de Consultoría N° 377/04, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (FOPAE) y el CONSORCIO PI – LAMBDA (constituido por Geocing Limitada y el Ingeniero Miguel Angel Raba M.), cuyo objeto es el de realizar el “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba en la ciudad de Bogotá D.C.”, se presenta este documento que contiene el Informe Final de los trabajos realizados.

1.1. Descripción general del área de estudio

La zona de estudio está ubicada en la localidad de Suba (ver Figura 1), en límites de los barrios Tuna Alta, El Rosal y El Salitre, y abarca la parte media y baja de la falda occidental del cerro de La Conejera. La pendiente de la ladera en la parte media es del orden del 25 al 40%, y por las características geológicas y morfológicas de la zona, estaría compuesta por rocas blandas, compuestas por arcillolitas y limolitas de la Formación Guaduas. Estas rocas pueden contener un horizonte de suelo residual de espesor no despreciable, y no se descarta la presencia de capas delgadas de carbón, las cuales son altamente susceptible al deslizamiento, por saturación, sobrecargas y por deformaciones permanentes.

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 1
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

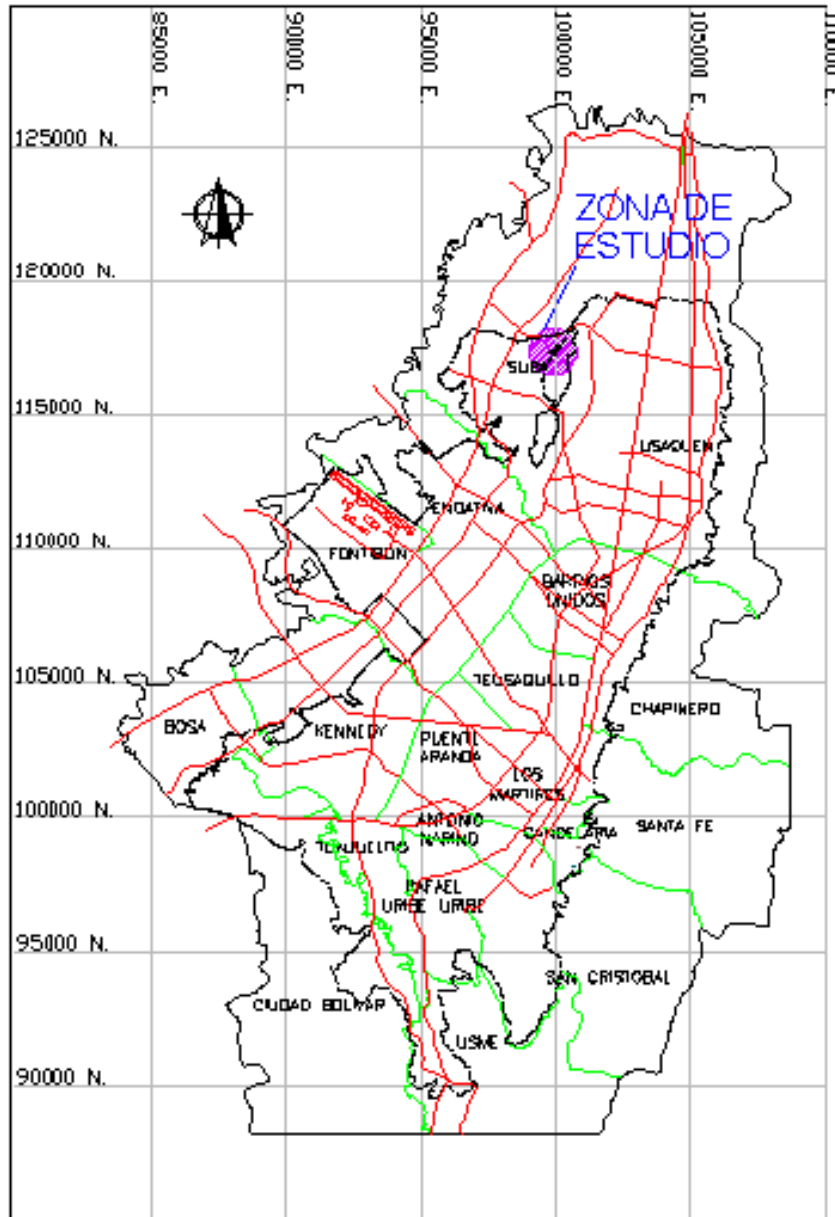


Figura 1. Localización general de la zona de estudio

El área de estudio se ubica entre la Avenida Carrera 90 a la Carrera 93 y entre las Calles 156C a 158B, en límites de los barrios Tuna Alta y El Salitre en la UPZ Suba (27) de la Localidad de Suba. Limitan al norte con el barrio El Salitre Parte Alta, al sur con el barrio Tuna Alta Sector Buenavista, al occidente con los barrios Horizonte Salitre y El Pénstil – El Salitre y al oriente con Altos de Suba, definiendo una longitud de 350 m y un ancho medio de 160, conformando un área aproximada de 5.5 Ha como se ilustra en la Figura 2. La parte

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

baja de la ladera (costado noroccidental), limita con los colegios Saint Geroge, Antonio Nariño y el Conjunto Aragón (ver Foto 1).

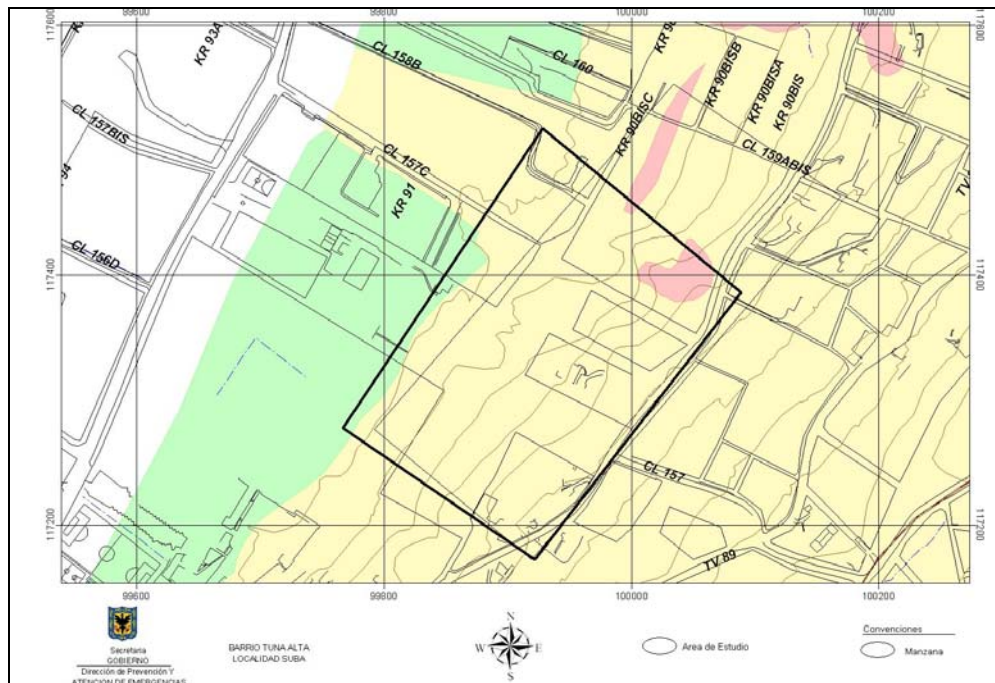


Figura 2. Localización específica del área de estudio



Foto 1. Panorámica general del área de estudio, tomada desde la parte alta; al fondo, en la parte baja, se observa el colegio Antonio Nariño y el Conjunto Aragón (costado derecho).

En la actualidad se encuentran varios niveles de escarpes que son visibles desde la parte baja (ver Foto 2); éstos escarpes están afectando varias viviendas del sector, entre ellas la propiedad del señor Octavio Méndez, la cual presenta una gran afectación. En la parte alta, adyacente a la Carrera 90, se encuentran unos rellenos antrópicos recientes, de baja calidad, los cuales fueron conformados posiblemente como cimentación de algún tipo de construcción en el borde de la vía; estos rellenos se encuentran fisurados, y están sobrecargando la ladera en la parte alta, aumentando el grado de amenaza por inestabilidad de la zona. Los diagnósticos efectuados con antelación por el DPAAE, indican que las causas de los problemas de estabilidad están relacionadas con problemas de saturación del suelo, atribuidas a la infiltración de aguas lluvias y servidas provenientes de la parte alta del barrio Tuna Alta.



Foto 2. Vista desde la parte baja, de la zona inestable que afecta el predio del Señor Octavio Méndez y zonas adyacentes (foto tomada en el mes de Octubre/2004). Los escarpes insinúan una falla relativamente profunda que en caso de reactivarse puede generar daños de los predios en la parte alta e invadir colegios y urbanizaciones en la parte baja, con un potencial de daño alto.

En la parte baja, zona occidental del área de estudio (frente al Conjunto Residencial Aragón, al Colegio Militar Antonio Nariño y al Colegio Saint George) se encuentran algunos cortes de poca altura donde predominan afloramientos de areniscas con planos de estratificación sub-horizontales que buzcan en la misma dirección de la ladera (ver Foto 3). Allí se han presentado algunos desprendimientos de bloques de suelo y roca que han generado alerta a la comunidad, que reside o trabaja en las edificaciones de la parte baja. Existe una gran preocupación por la invasión de materiales inestables a las zonas construidas, ante la detonación de fallas masivas en la parte alta del talud.



Foto 3. Vista del talud de corte en frente del Conjunto Residencial Aragón; el sustrato de arenisca buza levemente en la misma dirección de la ladera natural, y éste en conjunto con otras familias de diaclasas verticales que generan bloques susceptibles a desprendimientos.

Hacia la parte alta de la zona inestable, por el costado oriental, se encuentra un área con evidencias de reptación que puede tener alguna influencia sobre los problemas actuales de estabilidad o en la zona de estudio (ver Foto 4). En este sentido se considera necesario revisar el estado de los sistemas de aguas lluvias y negras de este sector, y de la cuneta de la vía, con el fin de verificar que éstos no presenten averías u obstrucciones que sean una fuente potencial de infiltración de aguas al suelo y roca en la parte baja.



Foto 4. Vista desde el sur del límite oriental del área de estudio, por la Carrera 90. Al lado derecho de la vía nótese la presencia de deformaciones leves de la superficie por reptación del suelo, que inclusive han obstruido la cuneta de la vía.

1.2. Recopilación de información secundaria

Las siguientes fueron las fuentes de información secundaria para el desarrollo del objeto del estudio:

- Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH INGENIERÍA y RECURSOS HÍDRICOS LTDA. – EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (Noviembre de 1995).
- Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. INGEOMINAS (1997).
- Estudio para la Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa de las Localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santafé, Chapinero, Usaquén Y Suba. INGEOCIM LTDA. – UPES (Octubre de 1998).
- Fotografías Aéreas
- Planchas, Escala 1:2000, IGAC.

1.3. Método de análisis

Para el análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa (FRM) se seguirá la metodología sugerida por Omar Darío Cardona, que se puede resumir así: "una vez conocida la amenaza o peligro (A), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo (R) puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado".¹

Para obtener los tres componentes mencionados en la anterior definición (amenaza, vulnerabilidad y riesgo), se lleva a cabo el proceso resumido en la Figura 3 y descrito a continuación.

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo.
- Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia). Para el sismo se utilizará los datos de la microzonificación de Santafé de Bogotá (aceleración

¹ Cardona-Arboleda, O, D, (1989). **VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE – TÉRMINOS DE USO COMÚN EN MANEJO DE RIESGO**. Primer taller de planificación en manejo de desastres. Oficina Nacional para la Atención de Desastres. Presidencia de la República de Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.

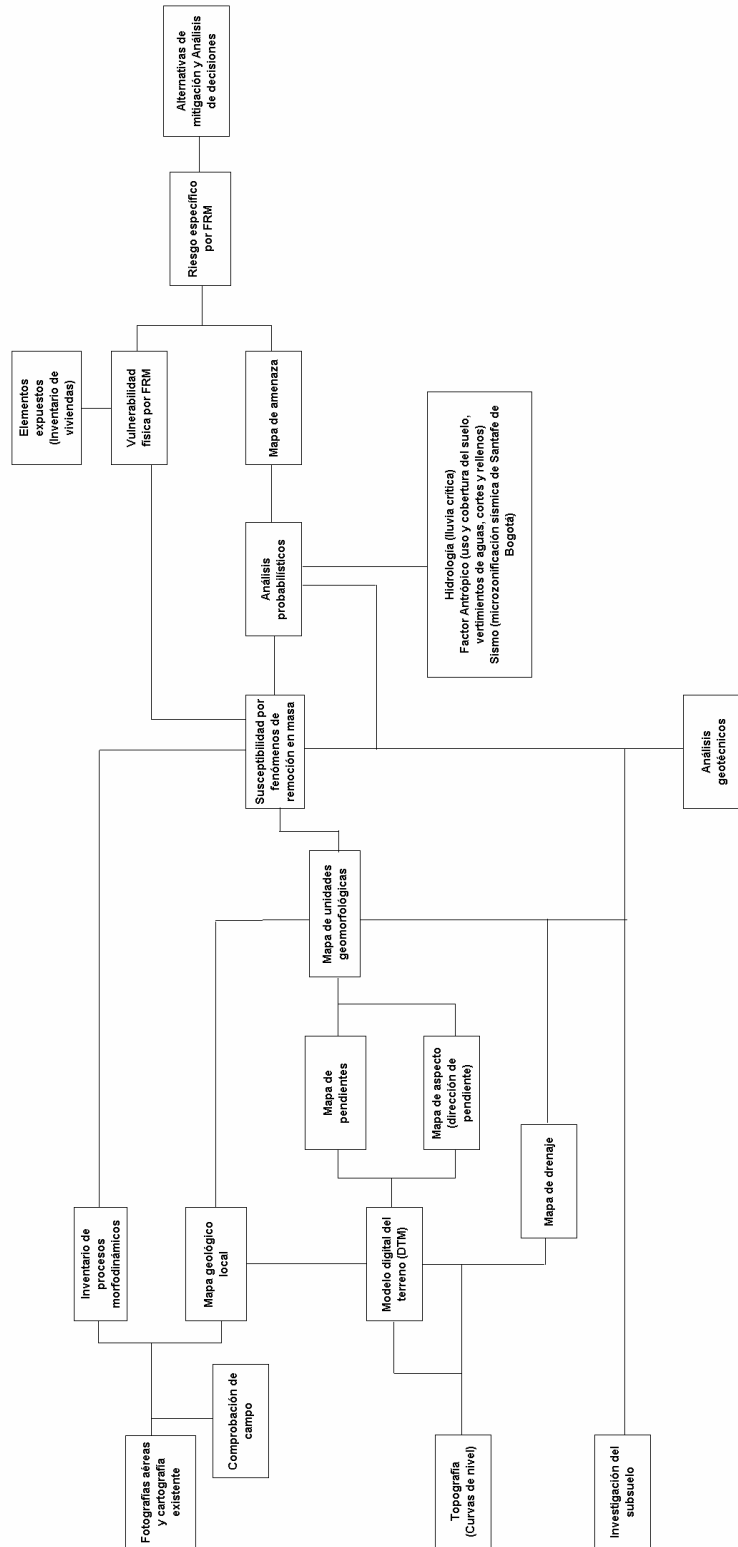
horizontal de 0.25 g, con un período de retorno de 475 años). Para la lluvia se determinará el período de retorno de la lluvia crítica, basándose en los trabajos realizados en 1998 por Ingeocim Ltda. – Upes. Es importante resaltar que los factores detonantes antrópicos (producidos por el hombre) se tendrán en cuenta al determinar las zonas de cortes y rellenos y, en algunos casos, la sobrecarga de las viviendas.

- Determinación de los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) en cada una de las zonas homogéneas, necesarios para realización de los análisis de estabilidad.
- Análisis de estabilidad probabilísticos, determinando los factores de seguridad y la probabilidad de falla teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo y los factores detonantes.
- Con base en la zonificación de amenaza realizada (determinando las posibles solicitaciones) y la tipificación de viviendas, se determina la vulnerabilidad y el riesgo de las viviendas y otros elementos expuestos ante fenómenos de remoción en masa siguiendo la metodología propuesta por Leone (1996).
- De acuerdo a los resultados de los trabajos precedentes, se propondrán las obras de mitigación posibles, determinando la mejor opción por medio de los análisis de costo / beneficio.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

Figura 3. Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM



2. TOPOGRAFÍA

2.1. Generalidades

Se efectuó un levantamiento altimétrico y planimétrico del sector de estudio que abarca desde la carrera 90 a la carrera 93 y desde la Calle 156 a la calle 159 A. El terreno presenta una topografía inclinada enmarcada entre las cotas 2556 y 2640 msnm.

Para la ejecución de los trabajos se utilizó una estación de las siguientes características:

INSTRUMENTO:	ESTACION
MARCA:	SOKKIA
MODELO:	SET-3E
SERIE:	71190
PRECISION ANGULAR:	SEGUNDO
PRECISION DISTANCIA:	MILÍMETRO
COLECTOR DE DATOS:	TRIPOD DATA SYSTEM

Este instrumento cuenta con su respectivo certificado de verificación óptico, mecánico y electrónico, suministrado por la empresa TOPO-ESTAR, el cual se presenta en el Anexo I.

2.2. Descripción de actividades

Las labores de campo en la zona se realizaron a partir del día 3 de Noviembre de 2004 y se prolongaron hasta el día 8 de noviembre de 2004; durante éste periodo se desarrollaron las siguientes actividades:

En una primera etapa se realizó un amarre de coordenadas a dos puntos cercanos a la zona, pertenecientes al Instituto Geográfico Agustín Codazzi; el mismo Instituto certificó las coordenadas del punto CD-359-A y el Azimut hacia el punto CD-358-A. El amarre se efectuó mediante una poligonal que permitiera trasladar las coordenadas de los puntos IGAC ya mencionados hasta el área de estudio. La precisión de la poligonal de traslado de coordenadas es de 1:36.000.

Posteriormente se ubicaron puntos estratégicos que permitieran tomar en detalle construcciones, vías, redes de teléfono, energía, pozos de acueducto o alcantarillado, así como aquellos puntos que facilitarían la descripción del relieve de la zona y de otros puntos que se consideraron importantes para la elaboración del plano.

El levantamiento de los contornos de manzanas y viviendas aisladas refleja el nivel de desplante de las construcciones y permite distinguir la existencia de zonas de corte y relleno.

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 9
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------

En los trabajos topográficos se identificaron los predios con dirección basada en la nomenclatura oficial más reciente.

Se materializaron 4 puntos en la zona de estudio para la futura localización de las obras diseñadas en este estudio. Las coordenadas de estos puntos son:

Tabla 1. Mojoneras de referencia del levantamiento topográfico realizado

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN (msnm)
P-L-1	117.477,0652	99.821,9074	2.558,100
P-L-2	117.417,7732	99.923,1050	2.564,598
PL-3	117.210,7577	99.956,7222	2.623,687
SIS2	117.296,6320	100.008,3787	2.619,579

Se recopiló información de 1949 puntos del área de estudio (ver Anexo I), y por medio del software SURFACE MODELING se generaron curvas de nivel cada 0.5 metros y un perfil longitudinal que se encuentran plasmados en un plano escala 1: 500 (ver Plano GE117-PL-01).

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de conocer la estratigrafía del sector y determinar las características geomecánicas de los diferentes materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, se llevó a cabo un programa de investigación del subsuelo, detallado a continuación.

3.1. Exploración del subsuelo

3.1.1. Exploración del subsuelo en forma directa

El programa de investigación del subsuelo estuvo compuesto por trece (13) sondeos mecánicos y seis (6) trincheras. La localización de los puntos de exploración se encuentran ubicados en el Plano GE117-PL-01 y en el Anexo II se presentan los registros de las perforaciones.

3.1.1.1. *Sondeos mecánicos*

En los sondeos se efectuó el ensayo de penetración estándar (SPT) y se recuperaron muestras alteradas con la cuchara partida (split spoon). El ensayo de penetración estándar se realizó cada 0.50 m a 1.50 m, con el objetivo de obtener parámetros de resistencia del suelo en intervalos de profundidad.

3.1.1.2. Trincheras

Las trincheras, seis (6) en total, pretendieron explorar los rellenos antrópicos y los depósitos arcillosos.

3.1.2. Exploración del subsuelo en forma indirecta

Se realizaron seis (6) sondeos eléctricos verticales con el fin de dar encontrar mayor información con respecto a la estratificación del sector. Los resultados de esta exploración se presentan en el Anexo II.

3.2. Ensayos de laboratorio

Todas las muestras obtenidas de los trabajos de exploración del subsuelo fueron identificadas visualmente, y sobre un número representativo de los tipos de suelos encontrados se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar su clasificación, propiedades físicas, compactación y resistencia. A continuación se presenta una tabla con el tipo de ensayo realizado y su respectiva norma.

Tabla 2. Ensayos de laboratorio

ENSAYO	NORMA
Contenido de humedad	NTC-1527
Límite líquido y plástico	NTC-4630
Peso unitario total	NTC-1527
Corte directo	NTC-1917

Los resultados de los análisis de laboratorio se presentan en el Anexo II.

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.1. Introducción

A continuación se hace una descripción de las condiciones geológicas y geomorfológicas del área de estudio enfocado hacia la identificación de las unidades litológicas así como de las geoformas, fenómenos de erosión y remoción en masa, insumos para la elaboración de mapas de amenaza y riesgo geotécnicos.

Para la realización de los trabajos geológicos y geomorfológicos, además de los reconocimientos de campo y los trabajos de exploración realizados, se tuvo en cuenta la siguiente información:

APROBO:	ELABORÓ:	INFORME N°	FECHA:	REVISIÓN N°	PÁGINA
Ing. Gustavo Lara - FOPAE	CONSORCIO PT-LAMBDA	GE-117	28/02/05	2	11

- Mapa geológico de Bogotá. Escala 1:5000. Ingeocim – Upes (1998).
- Fotografías aéreas del área de estudio disponibles en el IGAC.

4.2. Geología

4.2.1. Geología regional

4.2.1.1. *Generalidades*

La zona de estudio hace parte del Cerro La Conejera, conformado por un anticlinal normal donde aflora la secuencia sedimentaria de edad Cretácico-Terciario denominada Formación Guaduas, parcialmente cubierta por depósitos de origen coluvial a media ladera y cubiertas en la parte baja por depósitos de origen aluvial correspondientes a la terraza alta del Río Juan Amarillo (ver Plano GE117-PL-02).

4.2.1.2. *Estratigrafía*

a) Formación Guaduas (Ktgi)

Definida por Hettner en 1.892, presenta un espesor variable que fluctúa entre 700 y 1000 m; presenta geoformas onduladas de suave pendiente contrastando con las formaciones Labor y Tierna y Cacho, que la infrayacen y suprayacen respectivamente. Se le ha asignado una edad Maestrichtiano Superior – Paleoceno. Los depósitos de esta formación ocurrieron en un ambiente marino para la parte inferior y un ambiente transicional y aluvial para la parte media y superior (Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Ingeominas, 1.995).

Litológicamente esta unidad consta de tres conjuntos:

Conjunto inferior: consta esencialmente de arcillolitas gris oscuras con una capa delgada de carbón en el tope; el espesor del conjunto alcanza los 65 m (tomado del estudio de Ingeocim, 1.998).

Conjunto Medio: Consta de areniscas cuarzosas, gris claras a amarillas, de grano fino a conglomerático, moderadamente a bien seleccionadas; presenta intercalaciones de arcillolitas gris oscuras, blandas, con restos de plantas, en bancos de hasta 50m; en la parte media del conjunto se presenta un manto de carbón de 0.4 m de espesor. El espesor total del conjunto es de 606 m (Ulloa y Rodríguez 1.987, en Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Ingeominas, 1.995). Según estudio de Ingeocim (1.998) este conjunto está determinado por dos niveles de arenisca: en la base la Arenisca La Guía (30 metros de espesor aproximadamente) y en la parte superior la Arenisca Lajosa, similares a las de la parte superior del grupo Guadalupe, separadas por una masa de arcillolitas gris oscuras compactas que tienen mantos de carbón potencialmente explotables.

Conjunto Superior: Esta constituido por arcillolitas de color gris oscuro a negro, y amarillo rojizo a morado por meteorización, con esporádicas intercalaciones de areniscas cuarzosas, gris claras, de grano medio a grueso, friables, en capas de 0.3 a 2.0 m de espesor. El espesor de este conjunto es de 324 m.

b) Terraza Baja (Qtb)

Constituida por arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones de lentes de arenas y gravas y ocasionalmente delgadas capas de cenizas y tobas. El espesor de la Terraza Baja no se conoce. Los estudios geofísicos y algunas perforaciones profundas efectuadas en diferentes puntos de la Sabana, dejan presumir espesores hasta de 190 m, pero en ciertos sitios se llegó a profundidades hasta de 250 m sin encontrar la roca de base. Los bancos arenosos y de gravas son importantes acuíferos, de los cuales se extrae agua principalmente para riego en la industria de las flores.

El contacto con las unidades de Terraza Baja y Llanura Aluvial es neto en algunos sectores y se manifiesta por un escarpe, mientras que en otros sectores existe solamente un ligero cambio de pendiente (Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Ingeominas, 1.995).

c) Depósito de pendiente (Qdlc)

Son materiales no consolidados resultantes de la fracturación y transporte que han sufrido las unidades geológicas presentes en el área; se originan especialmente en zonas muy fracturadas, con alta pendiente, ayudados por la acción de la gravedad, transportados y acumulados principalmente en las partes bajas de las montañas.

También se les denomina depósitos coluviales, y muchos de ellos son originados por fenómenos de remoción en masa. Su espesor puede ser muy variable dependiendo de el relieve preexistente y al potencial del material desplazado.

Por razón de su composición y granulometría, los depósitos coluviales son algo permeables, captadores de agua, y muy susceptibles a inestabilizarse, especialmente cuando están localizados en zonas de alta pendiente (Ingeocim, 1.998).

4.2.1.3. Marco tectónico regional

Estructuralmente la zona se encuentra en el flanco occidental del anticlinal que conforma el cerro Suba - La Conejera, que según algunos autores podría corresponder al flanco occidental del Sinclinal de Usme, cubierto en este sector por sedimentos cuaternarios de la sabana (Ver plano GE117-PL-02).

Hacia el costado occidental el área está influenciada por la falla de La Conejera, que corresponde a una estructura de dirección general NNE-SSW que rompe el flanco occidental del anticlinal de La Conejera y posiblemente continua hacia el Sur por el frente occidental de los Cerros de Suba, donde forma contacto abrupto entre el relleno cuaternario y rocas del cretácico. Esta falla tiene el flanco occidental hundido.

En estudios recientes (INGEOMINAS – U. DE LOS ANDES 1997), se señala la presencia de la falla de Usaquén transversal a las estructuras de la Sabana. La fractura dirige el curso del río Juan Amarillo y corta los Cerros Orientales a la altura de Usaquén. Como elementos que explican esta fractura se citan: la culminación hacia el sur, de los anticlinales de Suba, Cota – Chía y Tabio – Tenjo; la dirección del Río Juan Amarillo y la disminución de altura de los Cerros al norte de Usaquén lo cual indicaría que este bloque norte se hundiría con relación al bloque de los Cerros al sur de la falla.

Para la elaboración del mapa geológico regional (Plano GE117-PL-02), se tomó como base el estudio realizado por INGEOCIM, 1.998, según el cual, nuestra área de estudio está ubicada en el flanco occidental de un sinclinal, cuyo eje está cortado por fallas locales perpendiculares a dicho eje. Hacia el sector norte, se presenta una falla de rumbo sinistral, que desplaza el eje del sinclinal. Con base en trabajos de fotointerpretación, se modificó el plano original de INGEOCIM, en cuanto al contacto coluvión-roca.

4.2.2. Geología local

4.2.2.1. *Generalidades*

Para este estudio se realizó en primer lugar una fotointerpretación preliminar y un posterior reconocimiento de campo, tomando como base la cartografía disponible a escala 1:500. Para el levantamiento geológico detallado del área, se realizó inicialmente un reconocimiento de campo, se llevó un control estructural (control de rumbos y ángulos de buzamiento de las capas presentes) y un análisis de estructuras encontradas dentro de los sitios de interés. La fotointerpretación se realizó a escala 1:20.000 con fotografías aéreas del sector tomadas en el año 2.000 (IGAC S39296). Finalizadas las labores de campo y la fotointerpretación, se continuó con un trabajo de reinterpretación y elaboración del correspondiente informe (ver Plano GE117-PL-03).

4.2.2.2. *Estratigrafía*

El área del proyecto está básicamente constituido por un depósito de pendiente matriz soportado de unos 11 m de espesor que hacia la base aumenta el contenido y tamaño de los clastos, el cual está cubriendo en casi toda el área a la Formación Guaduas Conjunto Medio aflorando solamente un paquete de bancos y capas gruesas de areniscas. También se observan varios rellenos antrópicos muy localizados.

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 14
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

Es importante resaltar que debido a la escala a la cual se realiza el presente estudio, las unidades geológicas corresponderían más a unidades de Formaciones Superficiales; sin embargo, se tratará de utilizar la nomenclatura convencional utilizada por Ingeominas, que es para designar unidades geológicas.

a) Rellenos antrópicos (Qr)

Este depósito corresponde a rellenos compuestos por materiales sobrantes de excavaciones y sobrantes de construcción con algo de basuras, los cuales no presentan ninguna disposición técnica. Se encuentran en diferentes partes de la zona de estudio alcanzando hasta 3 m de espesor y máximo 30 m de longitud.

b) Flujos de lodos (Qfl)

Algunos flujos son más superficiales, están compuestos por material mas fino y son originados por sobresaturamiento del terreno; en este caso estos depósitos están conformados por material arcilloso con algo de limo, alcanzando aproximadamente 1 m de espesor, y están localizados sobre flujos de detritos.

c) Flujos de detritos (Qfd)

Los flujos son producto del rápido desplazamiento de grandes volúmenes de material provenientes ya sea de rocas estratificadas o depósitos coluviales. Están constituidos por limos arcillosos y arcillas, grises, con frecuentes bloques, guijarros y gravas de areniscas de grano fino y medio, silíceas, ya que se desarrollaron básicamente sobre depósitos de pendiente. En nuestra área de estudio estos depósitos cuentan con espesores que varían entre 3 y 5 m.

d) Depósito de talus (Qtl)

Son producto de acumulación de grandes fragmentos de rocas con escasa matriz, acumulados en el pie de taludes escarpados, y que han sufrido muy poco transporte. Se observa básicamente en la esquina noreste del Conjunto Residencial Aragón, proveniente de la fracturación de las areniscas de la Formación Guaduas.

b) Depósitos de pendiente (Qdp):

La mayor parte de este depósito es matriz-soportado, con una matriz arcillosa con algo de limo con cantos y bloques angulares a subangulares predominantemente de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, algunos deleznable, de forma principalmente compacto-elongada alcanzando 6 cm de diámetro. Hacia la base del depósito disminuye el contenido de matriz, la cual se hace más arenosa, y aumenta el tamaño de los clastos, los cuales

alcanzan hasta 70 cm de diámetro. Son materiales regularmente consolidados y el espesor determinado para este depósito en el sondeo P-4 fue de 11.10 m.

a) Niveles de arenisca (Ktgu):

Corresponde a bancos y capas gruesas de areniscas de grano medio a fino, compactas, de color gris a amarillo por alteración, con rumbo N61W buzando 35 grados al SW, con espesor aproximado de 7 metros; los contactos son plano-paralelos. Están fuertemente diaclasadas y en la esquina noreste de la Urbanización Aragón se observan dos brechas de falla, con separaciones entre 50 y 80 cm, con fragmentos angulares a subangulares de areniscas de grano medio a fino que en promedio tiene de 12 a 15 cm de diámetro, pero algunos pueden alcanzar los 60 cm de diámetro; También se observan espejos de falla cuyas estrías indican una dirección de desplazamiento ENE-WSW (ver plano GE117-PL-03).

4.2.2.3. Evaluación estructural

Los taludes de roca presentan un fuerte diaclasamiento y alto grado de meteorización, lo cual produce caída de bloques sobre la pendiente fuertemente inclinada que conforma la parte alta del talud. Para los trabajos se realizó un levantamiento detallado de las diferentes discontinuidades que presenta el macizo, cuyos datos y análisis se presentan en el Anexo III.

La secuencia estratigráfica está afectada por varios sistemas de discontinuidades, los principales presentan las siguientes bandas:

Estratificación (E)	:	N16-61W / 35SW
Diaclasas Principales (D1)	:	N60-79EW / 61-87NE
(D2)	:	N01-19E / 43-87SE
(D3)	:	N10-49W / 35-89SW
(D4)	:	N45-61E / 30-57SE

Como ya se mencionó, en el Anexo III se presentan los diagramas de polos, diagramas de frecuencia y los planos de discontinuidades características, discriminados en zona norte, zona sur y registros de una cantera localizada unos 800 m al sur de la zona del proyecto.

Las familias de diaclasas, se caracterizan por presentar baja persistencia, espaciamiento moderado a bastante próximo, abertura desde cerrada hasta parcialmente abierta (0.5 A 20mm.) y el relleno es principalmente limo-arenoso. La rugosidad de las paredes es planar suave a escalonada rugosa. El análisis detallado del comportamiento, homogeneidad e influencia de las discontinuidades sobre la estabilidad de las laderas se realiza en la evaluación geotécnica del área.

4.3. Geomorfología

4.3.1. Generalidades

Desde el punto de vista morfogenético podemos decir que la mayor parte del área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la unidad de ladera ondulada con pendiente moderada a fuerte debido a que la unidad predominante es un depósito de pendiente. En cuanto a las características morfodinámicas se presentan varios sectores activos y algunas cicatrices de deslizamientos antiguos y otros que presentan una estabilidad precaria (deslizamientos dormidos).

4.3.2. Geoformas

Mediante la fotointerpretación y el trabajo de campo se identificaron geoformas relacionadas con el tipo de material presente (roca, suelos y rellenos) y con la función hídrica. Para la escala de detalle a la que se está trabajando podemos diferenciar cinco tipos de geoformas (ver plano GE117-PL-04), tal como se explica a continuación.

4.3.2.1. *Zonas de contraescarpe (I)*

Es una geoforma de origen denudacional estructural que se presenta sobre los bancos de areniscas del conjunto medio de la Formación Guadalupe; las pendientes son rectas regulares mayores a 61°, con presencia de erosión diferencial.

4.3.2.2. *Laderas coluviales*

Tanto la ladera cóncava como la ladera convexa conforman una ladera coluvial; se caracteriza por tener pendiente moderada con morfología ondulada. Está entallada por materiales heterogéneos de tamaño variado (bloques y cantos), subangulares embebidos en matriz arcillo-limosa, con un espesor variable entre 4 y 11 m, que suprayace un nivel de areniscas.

a) Ladera cóncava (II)

La morfología de ladera cóncava está asociada a la parte superior de los deslizamientos.

b) Ladera convexa (III)

Esta geoforma está asociada a las lengüetas de los deslizamientos tanto activos como inactivos.

4.3.2.3. Zonas planas antrópicas (IV)

Corresponde a zonas de cima plana con laderas de pendientes irregulares que se han ido conformando por la descarga de basuras, de escombros sobrantes construcciones y de realización de cortes para la reconfiguración del terreno, dispuestos de manera antitécnica que permiten mayor grado de infiltración de agua en el terreno.

Estas acciones son típicas de las labores de construcción de las viviendas, es normal que se realice la reconfiguración del terreno mediante excavación de las partes altas y relleno con el material de excavación de las partes deprimidas del terreno, sin una adecuada protección de los taludes así formados.

4.3.2.4. Ladera plana inclinada (V)

De morfología suave a moderadamente inclinada; se aprecian procesos incipientes de remoción en masa tipo reptación.

4.3.3. Morfodinámica

En el área de estudio se identificaron quince (15) procesos de remoción en masa (ver Tabla 3 y Plano GE117-PL-05), los cuales en su mayoría se encuentran asociados al tipo de material y al manejo de aguas lluvias en el sector (de origen antrópico).

Tabla 3. Procesos morfodinámicos

No.	Ubicación	Proceso	Estado	Área Aprox. (m ²)	Observaciones
1	Sector Norte	Deslizm.	Inactivo	400	
2	Sector Norte	Deslizm.	Inactivo	300	
3	Sector Norte	Deslizm.	Inactivo	400	
4	Sector Norte	Deslizm.	Inactivo	1500	
5	Sector Norte	Deslizm.	Inactivo	400	
6	Sector Norte	Deslizm.	Activo	300	
7	Sector Central	Deslizm.	Activo	500	
8	Sector Central	Deslizm.	Activo	800	Involucra una vivienda
9	Sector Central	Deslizm.	Activo	600	Involucra una vivienda
10	Sector Central	Deslizm.	Activo	600	
11	Sector Central	Deslizm.	Activo	600	
12	Sector Central	Deslizm.	Activo	700	
13	Sector Central	Flujo	Activo	200	
14	Sector Central	Flujo	Activo	200	
15	Sector Central	Flujo	Activo	200	

Los deslizamientos activos se observan principalmente en la parte central de la zona de estudio, con escarpes que alcanzan 1 m de altura y una longitud aproximada de 20 a 30 m entre sus flancos; los deslizamientos dormidos están ubicados principalmente en la zona

norte. Todos ellos involucran material heterogéneo compuesto por matriz arcillo-limosa con cantos y bloque de areniscas de grano fino a medio provenientes del depósito de pendiente que cubre la mayor parte de la zona de estudio. También se observan escarpes con longitudes entre 20 y 50 m, posiblemente pertenecientes a coronas de antiguos deslizamientos.

Los problemas de inestabilidad se han evidenciado en el sector con mayor énfasis, debido al cambio de volumen que sufrió el material por variación de humedad, expansión de las arcillas, favorecido por la litología del sector y la gravedad, dado que el vertimiento de aguas sanitarias y el manejo inadecuado de aguas lluvias origina fenómenos de remoción en masa tipo deslizamientos.

En el sector también se evidencian problemas de reptación, que corresponde a un desplazamiento amplio, abierto, muy lento casi imperceptible y superficial de partículas de suelo en capas y sobre una pendiente relativamente fuerte.

5. ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICOS, E HIDROGEOLÓGICOS

5.1. Generalidades

El área de estudio está enmarcada dentro de la cuenca del Río Juan Amarillo, que comprende un área de 12.892 Ha, distribuidas en un sector alto que presenta corrientes naturales de agua de alta pendiente sobre los Cerros Orientales de la ciudad; un sector medio que es plano y comprende gran parte del sistema pluvial de la ciudad donde se han canalizado, entubado y rectificado los cursos naturales y un sector bajo donde se encuentran cuerpos amortiguadores naturales que entregan al río Bogotá y han sido reducidos en su capacidad por acción antrópica.

5.2. Hidrografía

La red hidrográfica del Río Juan Amarillo está compuesta por los canales de Córdoba, Callejas y Rionegro que entregan al embalse de Córdoba y el Canal Salitre que recibe los caudales amortiguados del Canal Córdoba y entrega al embalse de Juan Amarillo.

El área de estudio corresponde al sector bajo, y dentro de la zona no se encuentran corrientes naturales que generen aporte a la cuenca del Juan Amarillo. En la parte alta, a la altura de la Carrera 90 y en la calle 159A bis, se encuentran redes de acueducto y de alcantarillado de Los Barrios Tuna Alta y Salitre. Según información suministrada por los vecinos de la zona, a lo largo de la Carrera 90, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, instaló una tubería de 12", la cual puede tener fugas y ser una fuente potencial de agua en el sector.

5.3. Hidrogeología

Respecto al comportamiento hidrogeológico, con base en lo encontrado durante la exploración geotécnica, se encuentran dos tipos de fuentes de agua en el subsuelo.

En la parte alta y media de la zona de estudio, se encuentra agua que fluye a través del depósito coluvial, manteniéndose todo el tiempo en estado de saturación. Este volumen de agua proviene de la parte alta del Cerro de la Conejera y corresponde a la escorrentía superficial que se infiltra dentro del suelo; también se encontraron vertimientos localizados de aguas servidas de casas de la zona. La presencia de agua permanente en algunas zonas supone la presencia de posibles fugas de agua en las redes de acueducto y de alcantarillado a lo largo de la carrera 90 y del barrio Tuna Alta; vale la pena destacar que durante el reconocimiento de campo se encontraron mangueras que indican la posible presencia de conexiones ilegales.

Una segunda fuente de agua corresponde a la presencia de acuíferos dentro del sustrato de roca que consiste en cuarzoarenitas permeables. En la parte baja de la ladera, al costado occidental del proyecto, se encuentran afloramientos de cuarzoarenitas, en las cuales se genera la efluencia de agua, lo que indica la presencia de agua subterránea en la roca, a este nivel. En la parte alta de la ladera, al costado oriental del área de estudio, el sustrato de roca se encuentra entre 8 y 12 m de profundidad; en la perforación P4 de 14 m de profundidad efectuada en época de invierno, se reportó la pérdida de agua en la perforación, en el momento de alcanzar el sustrato de roca; éste comportamiento indica que en periodos de invierno, el nivel de agua en el acuífero se encuentra por debajo del contacto coluvión-roca, a 12 m de la superficie de terreno natural.

5.4. Clima

5.4.1. Temperatura, evaporación y humedad relativa

Respecto a los diferentes aspectos climáticos se consultó y analizó la información encontrada en la estación instalada en la Escuela Colombiana de Ingeniería, en el año 1.986. Como se deduce de ésta información, la temperatura promedio de la ciudad de Bogotá es de unos 14°C, con variaciones entre 11 y 17 ° C (ver Figura 4). Con respecto a la evaporación, se encuentra una tendencia más o menos uniforme a lo largo del año con valores medios entre 90 y 100 mm, exceptuando los meses de enero, febrero y marzo, en donde se registran valores extremos mayores a 250 mm (ver Figura 5); en los periodos secos de enero y junio, el volumen de evaporación es mayor que la precipitación, mientras que en los meses intermedios de invierno, los valores de evaporación son menores que los valores de precipitación.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

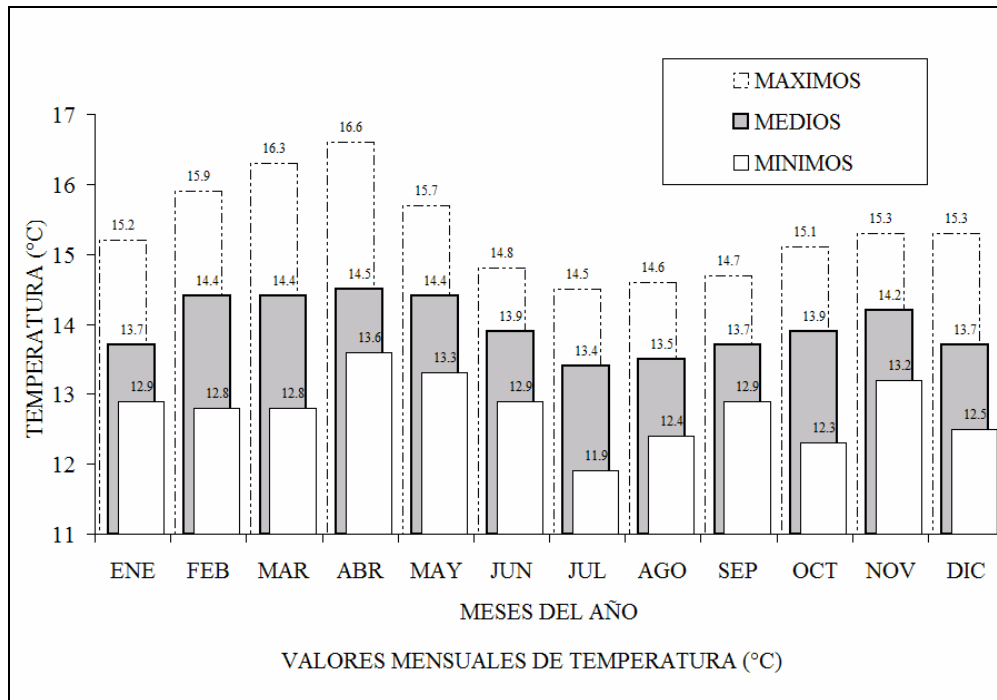


Figura 4. Valores mensuales de temperatura

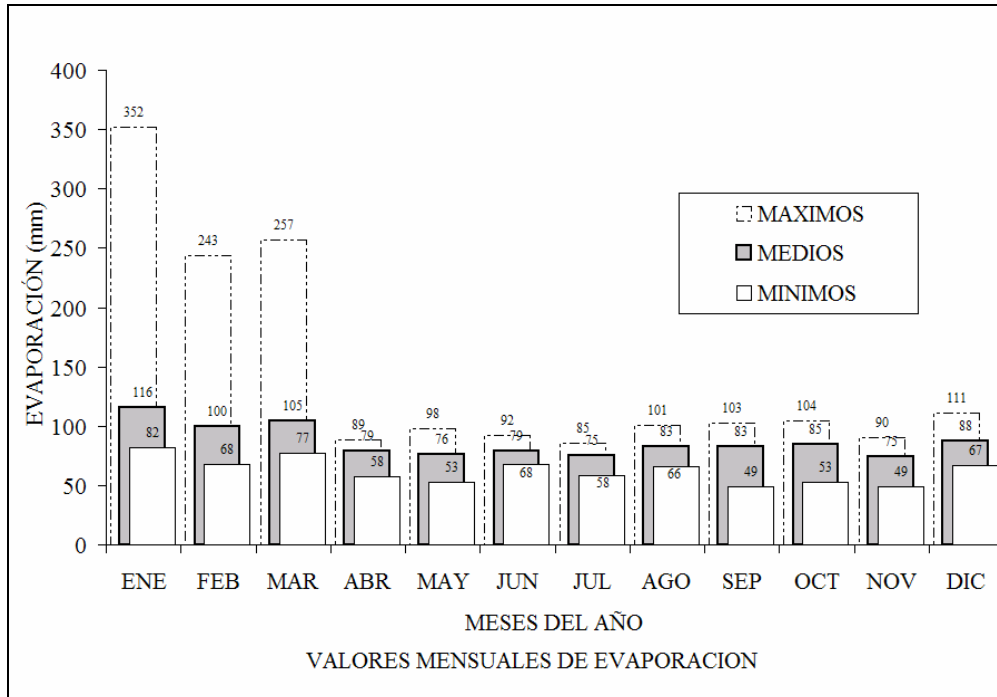


Figura 5. Valores mensuales de evaporación

La humedad relativa medida en la estación es variable entre el 67 y 88 %, siendo mas baja en los periodos secos y alta en las épocas de lluvia (ver Figura 6).

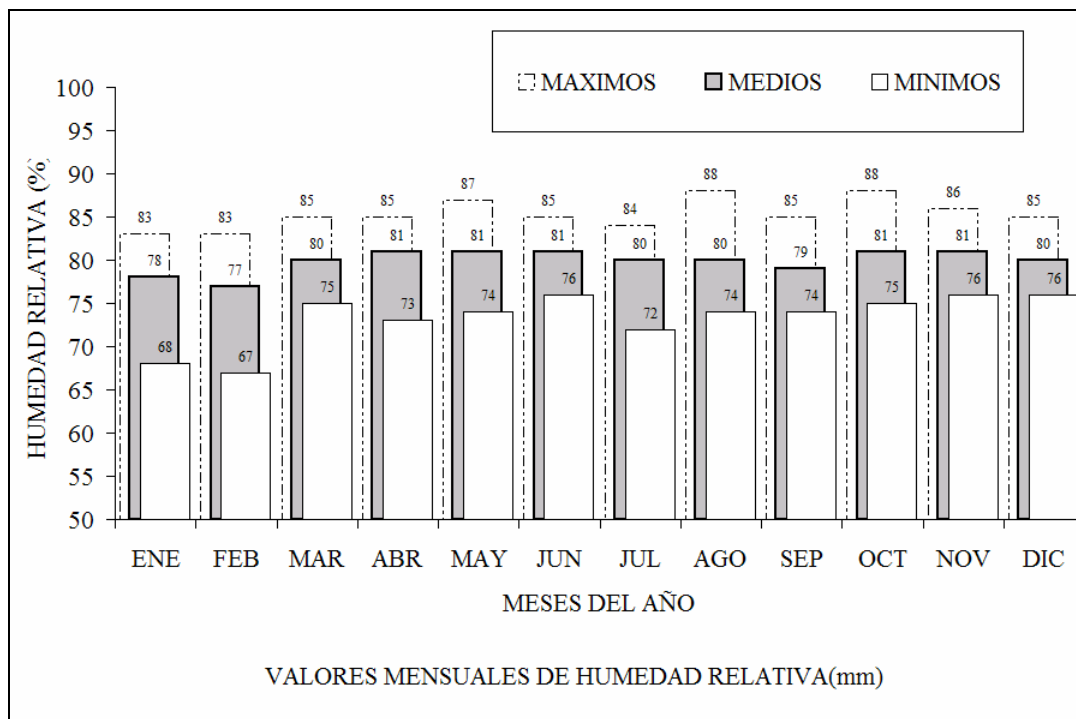


Figura 6. Valores mensuales de humedad relativa

5.4.2. Precipitación

5.4.2.1. Régimen pluviométrico

En los últimos 18 años se han registrado valores promedio de precipitación variables entre 65 y 91 mm/mes con valores máximos del orden de 318 mm/mes y mínimos de 1 mm/mes; Durante el año se define un régimen bimodal con dos periodos secos y dos húmedos: el primer periodo seco se define entre los meses de diciembre y enero y el segundo entre los meses de julio y agosto; entre los meses de febrero y junio y entre septiembre y noviembre se presentan periodos de lluvias (ver Figura 7).

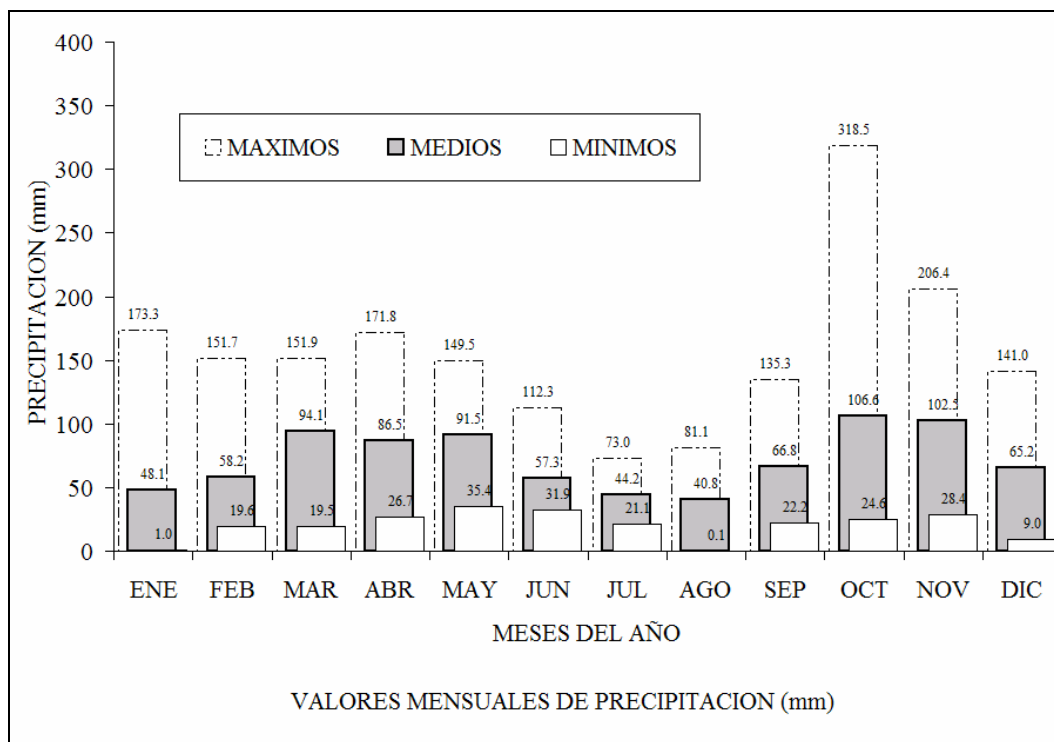


Figura 7. Valores mensuales de precipitación

5.4.2.2. Lluvia crítica² (relación lluvia – deslizamiento)

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de aguaceros de gran magnitud, o durante los periodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde no hay cobertura vegetal, donde la presencia de surcos y cárcavas puede hacer al talud susceptible al deslizamiento por medio de la infiltración, el agua procedente de la lluvia puede actuar en el talud o ladera de varias formas:

² González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). **RELACIONES DE PRECIPITACIÓN CRÍTICA-DURACIÓN QUE DISPARAN MOVIMIENTOS EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ**, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

- Aumentando la presión de poros y por consiguiente disminuyendo los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- Originando presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.
- Produciendo fuerzas hidrodinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie del talud o ladera.
- Reduciendo la cohesión del material (ablandamiento).
- Acelerando la meteorización.
- Produciendo erosión interna.
- Incrementando el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad del talud o ladera es aumentado por la ocurrencia de las lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia debido a que el talud no ha drenado el agua infiltrada de una lluvia cuando ocurre la siguiente y produce un fenómeno de acumulación progresiva hasta alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o de toda la ladera.

Debido a la falta de un inventario de deslizamientos con fecha de ocurrencia y localización del evento dentro del área de estudio; no se logró hacer un análisis estadístico local y detallado de la relación lluvia deslizamiento para la zona en estudio. Por esta razón se optó por utilizar el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998), para determinar la relación precipitación crítica – duración (relación lluvia – deslizamiento). En este estudio en donde a partir de un inventario histórico de deslizamientos (en Bogotá) detonados por lluvias y de registros históricos de precipitaciones diarias de estaciones ubicadas en Bogotá; en el Anexo IV se presenta el resumen de los resultados de este estudio.

6. ASPECTOS SISMOLÓGICOS.

6.1. Marco tectónico regional

La ciudad de Bogotá se encuentra localizada en la zona central de la Cordillera Oriental, la cual está afectada por el desplazamiento relativo de las Placas de Nazca, Caribe y Sur América. Con base en el proyecto CASA del INGEOMINAS, 1996, en conjunto con otras instituciones internacionales, se ha encontrado que la placa de Nazca se desplaza a una velocidad 60 mm por año, en sentido Occidente-Oriente; la placa de Sur América se desplaza en sentido oriente-occidente con una velocidad de 20 mm/año y la placa del Caribe por el costado Norte se desplaza con mayor lentitud hacia el sur-oriente. La Interacción de estas placas tectónicas ha generado una gran diversidad de fallas en el país que se prolongan desde el sur-occidente al nor-oriente y algunas fallas transversales locales originadas por el movimiento relativo de las placas tectónicas. En la Figura 8 se presenta un mapa de actividad de las fallas activas de las regiones nor-occidental y sur-oriental en un radio de

200 km alrededor de la ciudad de Bogotá. En esta figura se destacan las fallas del piedemonte llanero, el Valle del río Magdalena, Ibaguè, la Falla de Romeral entre otras.

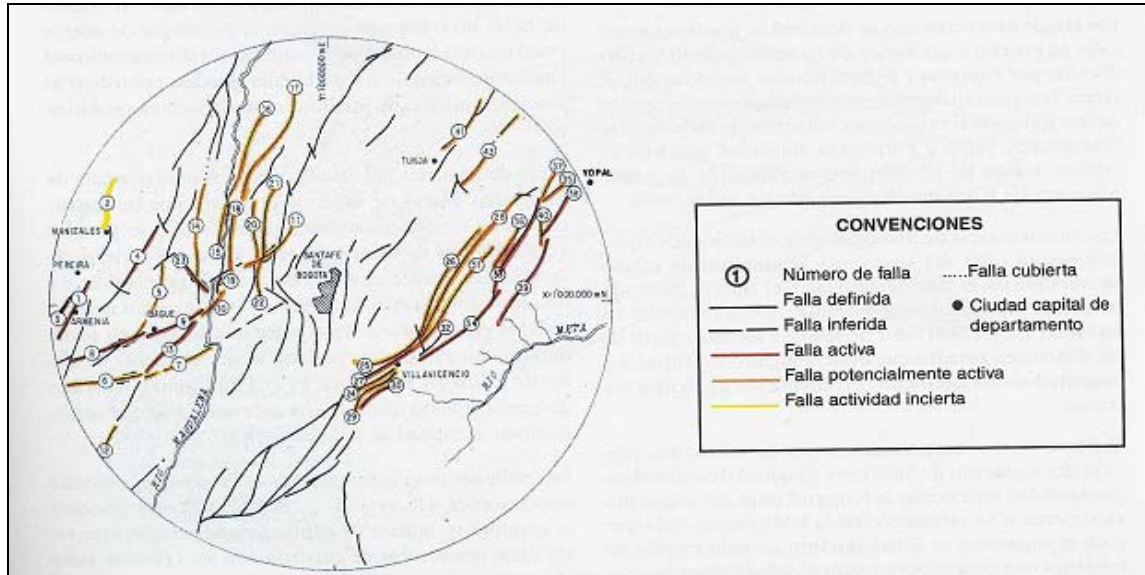


Figura 8. Mapas de actividad de fallas de las regiones Nor-occidental y Sur-oriental de la ciudad de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)

6.2. Marco tectónico local

A una escala mas detallada, en los alrededores de Bogotá, se distinguen fallas locales de cabalgamiento de las mismas características de las regionales, entre las cuales se destacan la Falla del Cabo y la de Bogotá, que se prolongan a lo largo del piedemonte de los cerros orientales, la falla del río Tunjuelo, entre otras; se resalta de manera muy particular, la falla de la Conejera que atraviesa el cerro de la Conejera a la altura de la Calle 170 y se prolonga por el piedemonte occidental del cerro de Suba, muy cerca de la zona de estudio. En esta misma escala se infieren, además, fallas transversales que atraviesan la ciudad de oriente a occidente y que están cubiertas por el depósito lacustre. Entre ellas se pueden detallar la falla de Usaquén que parte de los cerros orientales a la altura de Usaquén y se prolonga por el extremo sur del cerro de la Conejera, a la altura del Club de Los lagartos y Aguas Calientes; finalmente ésta falla se prolonga al occidente controlando el curso del río Juan Amarillo antes de su desembocadura en el río Bogotá. Es importante destacar que en la zona centro-occidental del área de estudio, en frente de la Urbanización Aragón, se encontró una brecha de falla y una discontinuidad morfológica que revela la presencia de un lineamiento transversal que atraviesa la zona, en sentido oriente occidente (ver Planos GE117-PL-02 y GE117-PL-03).

6.3. Sismicidad histórica

En el Mapa de Intensidades de la Sabana de Bogotá, se presenta una buena recopilación de sismos históricos que se han presentado entre el año 1500 y 1.994 (ver Figura 9); en éste mapa de intensidades se presenta el efecto local que produjo un mismo sismo en varios sitios (Sarriá, 1990); la intensidad es medida en función de la magnitud de los daños producidos, los cuales son medidas en la escala modificada de Mercalli, la cual está dividida en doce grados que varían desde I, donde el sismo es prácticamente imperceptible y XII donde el daño generado es total.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Figura 9. Mapas de Registros Históricos de sismos de la ciudad de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)

Con base en lo encontrado en éste mapa histórico y reportado en el EMS de Bogotá, la máxima intensidad registrada en los alrededores de Bogotá corresponde al sismo de 1.644 y se sintió en el Municipio de Chipaque, con una intensidad IX, el cual se considera como un caso excepcional.

Dentro de la ciudad de Bogotá, la intensidad registrada con mayor frecuencia es de VIII, y fue reportada en los municipios de Chía, Cota, Engativá, Fontibón, Usaquén y Soacha; ésta intensidad corresponde a sismos ocurridos en los años de 1.785, 1.827 y 1.928.

Se han registrado cinco sismos de intensidad VI (en 1616, 1644, 1928, 1.967 y 1.979); el bajo número de sismos se explica por el bajo grado de confiabilidad de la sismicidad histórica a esta escala. En la última década se han presentado sismos provenientes de fuentes lejanas los cuales han generado daños mínimos a nulos dentro de la ciudad.

Reagrupando los diferentes sismos históricos, se generó un catálogo de sismos históricos de la ciudad, los cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Sismos históricos en la ciudad de Bogotá

AÑO	MES	DIA	HORA	EPICENTRO	LAT N	LONG W	Io MSK
1616	02	--	--	Cajica/Cund	5.00	74.00	VII
1644	01	16	06	Pamplona/N Santander	7.40	72.70	IX
1644	03	16	--	Chipaque/Cund	4.50	74.00	IX
1646	04	03	03	Sogamoso/Boyacá	5.70	73.00	VIII
1743	10	18	0:045	Paramo de Chingaza/Cund	4.40	73.90	VIII
1785	07	12	07:45	Paramo de Chingaza/Cund	4.70	73.80	IX
1826	06	17	23:45	Sopó/Cund	4.80	73.90	VIII
1827	11	16	18	Timaná/Huila	1.90	75.90	X
1917	08	31	06:36	Páramo de Sumapaz	4.26	74.15	IX
1923	12	22	04:55	Paratebueno/Cund	4.40	73.20	VIII
1924	01	07		Gachalá/Cund	4.70	73.50	VIII
1928	11	01	11:08	El Milagro/Casanare	5.50	71.50	VII
1967	02	09	11:35	Los Cuachos(Huila-Caquetá)	2.93	74.00	IX
1967	07	29	05:24	Chucurí/Santander	6.84	74.09	VIII

6.4. Aspectos sísmico-tectónicos de la ciudad de Bogotá

La ocurrencia de sismos a nivel nacional está relacionada con tres posibles procesos de rupturas: en la zona de subducción, en la zona subducida o placa de Benioff intermedia y Benioff Profunda; también se incluyen otras fallas reconocidas como focos sísmicos dentro del territorio colombiano.

Para el caso de la ciudad de Bogotá, en el centro de Colombia, las fallas se pueden reagrupar en dos grupos: el grupo de fallamiento de la región noroccidental compuesto por las Fallas de Romeral, Palestina, Chapetón-Pericos, Cucuana-río Bogotá, Ibagué, Vianí,

Samaria-La Colorada, Magdalena y Noreste. En la región suroriental se han identificado los siguientes fallamientos: Servitá-Santa María, Guaicáramo, Yopal y Fallamiento Zona Axial (F. Boyacá, F. De San Francisco y F. De Soapagá), Vergara y otros, 1.996. A partir de estos estudios se determinaron las curvas de recurrencia para la ciudad de Bogotá, para las diferentes fuentes sísmicas, en función del número de sismos (N) y en la magnitud del sismo (Ms), con base en la ecuación universal de Richter así:

Para toda la Región	$M = 7.52 - 2.19 \log(N)$
Para sismos no asignados	$M = 7.46 - 2.69 \log(N)$
Para Zona Benioff Intermedia	$M = 4.91 - 3.20 \log(N)$
Para Zona Benioff Profunda	$M = 5.01 - 2.14 \log(N)$

Para establecer la aceleración máxima probable, se adoptaron los Modelos de Esteva, Donovan y Mc Guire (ver Figura 10); con ellos se determinó la aceleración máxima probable en función de la distancia epicentral en Km, la magnitud del sismo Ms, obteniendo la gráfica que se presenta en la Figura 5. De ésta gráfica se deduce que para un periodo de recurrencia de 475 años, la aceleración máxima probable en roca es de $a=0.19g$; para los análisis definitivos de los modelos dinámicos se seleccionó una aceleración de $0.20g$.

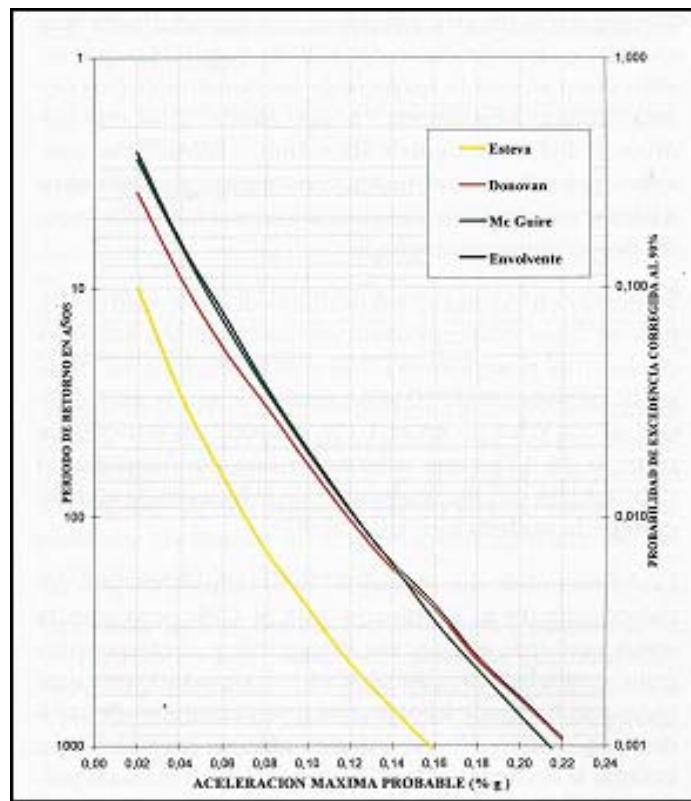


Figura 10. Aceleración local máxima probable obtenida en el modelo neotectónico del EMS, (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)

6.5. Componentes locales de la amenaza sísmica

Para el análisis de los efectos locales de amenaza sísmica en el EMS, las fuentes sísmogénicas se clasificaron en tres fuentes así:

- 1) Fuentes lejanas provenientes de la Zona de Subducción, con una distancia epicentral del orden de 400 km; para su análisis se tomó como base el sismo presentado en México, 1985, de 8.0 en la escala Ms.
- 2) Fuentes regionales o frontal del Cordillera Oriental, con una distancia epicentral de 60 km, tomando como referencia el sismo de Tauramena, de 6,6 en la escala Ms.
- 3) Fuentes Cercanas, locales en el área de la ciudad, localizadas a una distancia epicentral del orden de 15 a 20 km, tomando como referencia el sismo de Loma Prieta, 1.989 de 7.0 en la escala Ms.

Con base en estos sismos se determinaron los espectros de respuesta de acelerogramas de diseño, que sirven como base, para el estudio de respuesta dinámica del suelo (ver Figura 11).

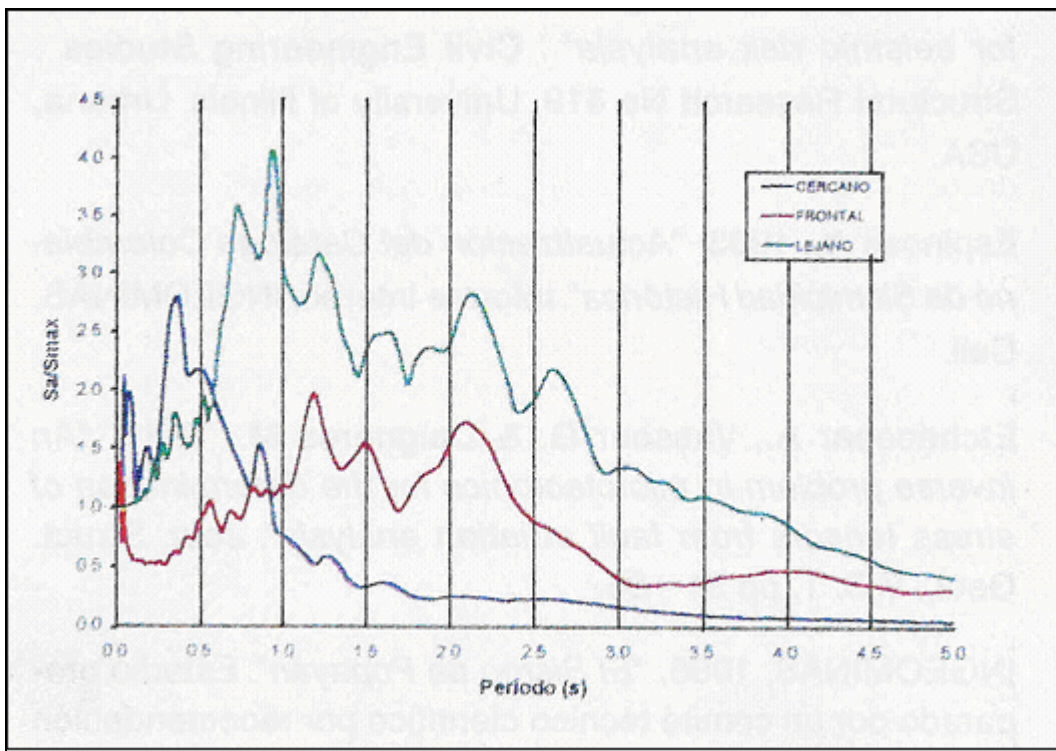


Figura 11. Espectros de respuesta sísmica para los tres sismos de diseños, bases del estudio de respuesta sísmica de Bogotá. (tomado del EMS de Bogotá, 1997).

Como resultado del estudio de respuesta dinámica de la ciudad de Bogotá, basado en modelos de elementos finitos bidimensionales, la zona de estudio fue clasificada como Zona 1-Cerros, en donde se define el siguiente espectro local de respuesta de diseño (ver Figura 12):

- Período inicial $T_0 = 0.20$
- Período corto $T_c = 1.00$
- Período largo $T_l = 5.00$
- Aceleración máxima $A_m = 0.24$
- Aceleración nominal $A_n = 0.30$
- Factor de amplificación de la aceleración $F_a = 1.00$
- Factor de amplif. En el intervalo de vel. constantes $F_v = 32.48$

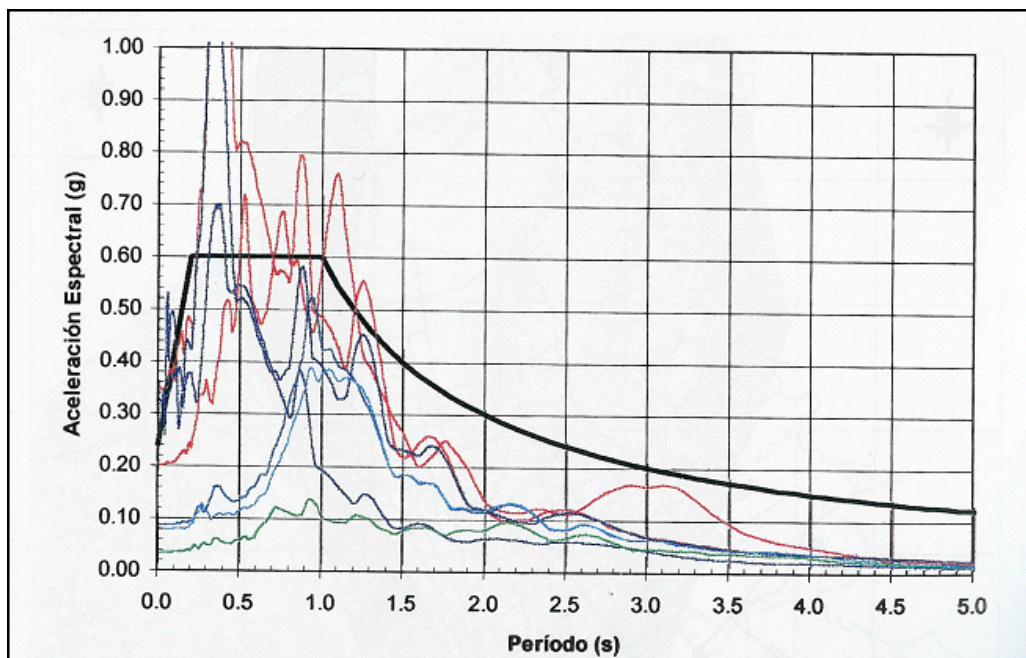


Figura 12. Espectro local de aceleraciones en la Zona 1-Cerros. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)

7. COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

7.1. Generalidades

El levantamiento de cobertura y uso del suelo puede ser definido como el análisis y clasificación de los diferentes tipos de cobertura y usos asociados que el hombre practica en una zona o región determinada. Su importancia se fundamenta en que algunos tipos de

actividad podrían predeterminar un terreno a sufrir movimientos de remoción en masa de acuerdo a su capacidad de filtrar agua en el terreno o no.

El término “cobertura” se aplica a algunos de los atributos de la tierra y ocupan una porción de su superficie; la cobertura puede derivarse de ambientes naturales producto de la evolución ecológica, o a partir de ambientes artificiales creados y mantenidos por el hombre. El término “uso” se aplica al empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, para satisfacer sus necesidades.

Para el presente estudio se tomó como base el sistema de clasificación CIAF, que consta de cuatro niveles categóricos que van de lo general a lo detallado a saber: Nivel exploratorio, nivel de reconocimiento, nivel semidetallado y nivel detallado.

Con base en dicha clasificación y en el reconocimiento de campo, el presente estudio se desarrolló a un nivel semidetallado y se establecieron las unidades de cobertura y uso del suelo (ver Plano GE117-PL-06). Para designar el nivel exploratorio se utilizaron los números romanos de I a V, para el nivel de reconocimiento las letras mayúsculas y para el nivel semidetallado los números ordinales.

7.2. Construcciones o edificaciones

Se denominan así todas aquellas obras hechas por el hombre para su servicio y beneficio, presentan un arreglo geométrico característico, según su dedicación.

IA1. Construcciones urbanas tipo residencial, multifamiliar, construidas principalmente con materiales convencionales ladrillo, bloque, mezcla de arena cemento, concreto, poseen estructuras de cimentación y soporte tales como vigas y columnas (pórtico), cuentan con servicios de acueducto, alcantarillado, energía y teléfono.

IA2. Construcciones urbanas tipo educativo, destinadas para la prestación de servicios de educación y guardería. Conformada básicamente por el colegio San George de Inglaterra y el Colegio Militar Antonio Nariño.

IA3. Construcciones urbanas tipo recreativo, cuya finalidad principal es la de brindar a los pobladores de la zona espacios para la recreación, prácticas deportivas y el desarrollo psicomotriz de los infantes. Esta unidad se localiza en la parte posterior del Conjunto Residencial Aragón.

IA4. Construcciones urbanas tipo vías, cuyo fin principal es servir de conectores entre las vías principales y las secundarias. Las vías principales están pavimentadas y la que está en el costado oriental, parte alta de la zona de estudio, tiene una pendiente moderada y no cuenta con alcantarillado pluvial; por ella diariamente transitan vehículos particulares, de carga y de servicio público.

IA5. Construcciones urbanas tipo rellenos y botaderos, cuyo fin principal es servir de sitio para disposición de escombros tales como desechos de construcción y cortes para vías y viviendas. Estos depósitos por lo general se van consolidando en la medida que se aumenta el volumen, pero no ofrecen garantía alguna de estabilidad, debido al deficiente manejo de la escorrentía superficial y la heterogeneidad de los materiales.

IB1. Construcciones urbanas tipo rural, que corresponden a viviendas sin planeamiento urbano, espaciadas, sin servicio de alcantarillado y algunas de ellas sin servicio de acueducto, utilizando pozos sépticos y mangueras para subsanar estas deficiencias.

7.3. Cultivos y parcelas

Agrupa todos aquellos elementos inherentes a las actividades culturales que el hombre realiza en el campo en busca de alimento.

II.A1. Corresponde a zonas de cultivos y parcelas confinadas donde se practica la horticultura principalmente conformada por legumbres, hortalizas y maíz, las cuales no cuentan con sistemas de riego.

7.4. Vegetación herbácea descubierta

Agrupa toda aquella vegetación de carácter herbáceo no leñoso que se considera dominante en términos de porcentaje de ocupación de la superficie de la tierra, con relación a otros estratos vegetales arbustivos o arbóreos.

IIIA1. Corresponde a vegetación herbácea tipo pastizales, constituida por pastos naturales destinado principalmente al pastoreo de ganado vacuno y bovino y solo hacia el costado sur de la zona de estudio actúa como protección del suelo.

IIIA2. Corresponde a vegetación herbácea tipo arbustiva, constituida por arbustos de porte mediano a bajo, destinados permanentemente para la protección del suelo y rara vez para labores de pastoreo.

7.5. Bosques

Agrupa todas aquellas coberturas vegetales cuyo estrato dominante, esta conformado principalmente de especies con tallo o tronco leñoso.

IVA1. Corresponde a una vegetación de bosques naturales compuestos principalmente por especies arbustivas de porte alto que cumplen una función de protección del suelo y de la fauna presente.

7.6. Tierras eriales

A esta clase corresponden todas aquellas superficies de tierra sin capacidad para ser cultivadas y labradas, donde generalmente la roca está aflorando o muy cerca de la superficie; no obstante, estas tierras o superficies no deben ser consideradas estériles o inútiles.

VA1. Tierras eriales tipo masivas, esta unidad corresponden aquellas áreas en donde la roca expuesta de la Formación Guaduas, principalmente los niveles de arenisca, conforman escarpes pronunciados que contrastan con la pendiente más o menos regular que caracteriza la ladera objeto de estudio.

VA2. Tierras eriales tipo fragmentos, corresponde a las áreas donde la roca por efecto de la meteorización química y mecánica y bajo la influencia de otros factores se descompone, disgrega y dispersa, formando extensiones de fragmentos (cantos y bloques) angulares a subangulares embebidos en una matriz que han sufrido movimientos gravitacionales a lo largo de superficies suavemente inclinadas y se encuentran cubiertos por una vegetación herbácea o arbustiva de porte bajo.

8. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con los trabajos precedentes, se han definido cuatro (4) zonas geotécnicas homogéneas (ver Plano GE117-PL-07). Para cada una de ellas, se hace una descripción específica de los problemas geotécnicos y se hace una presentación general de los resultados del programa de exploración del subsuelo con su respectiva interpretación.

8.1. Zona 1: costado norte

8.1.1. Delimitación del área

Esta zona se localiza en el costado norte del área de estudio y abarca un corredor del orden de 120 m de ancho x 140 m de largo, en una ladera de pendiente moderada a baja, del orden de 15° de inclinación, manteniendo en toda su superficie una forma muy regular. Por el costado norte limita con la calle 159ABis, por el oriente con la Carrera 90, por el sur limita en diagonal con una fila de Eucaliptos y por el occidente con un muro en piedra pegada que las separa de varias casas de un nivel.

La zona se encuentra cubierta por bosque en un 40% y por pastizales y cultivos en un 60%; en la parte alta se encuentra una pequeña casa prefabricada emplazada sobre un corte a media ladera de poca altura.

8.1.2. Descripción de problemas geotécnicos

Esta zona se caracteriza por la presencia de movimientos en masa antiguos y dormidos, consistentes en pequeños flujos de tierras y deslizamientos rotacionales de poca profundidad (ver Foto 5), los cuales se han generado producto de la infiltración de agua que proviene de la parte alta de la ladera, y de aguas servidas que provienen de casas que se encuentran dentro del lote.



Foto 5. Vista general de la Zona geotécnica 1, en la parte alta, al costado nótase encuentra un terreno de pendiente moderada con la presencia de movimientos de masa antiguos, flujos de tierras y deslizamientos rotacionales de poca profundidad. En este sector se encuentra solamente una casa prefabricada la cual está cimentada en una zona estable.

En la parte alta adyacente a la Carrera 90, se encuentran rellenos antrópicos del orden de 1 a 3 m de altura, y de ancho variable entre 5 y 10 m (ver Foto 6); éstos rellenos se conformaron durante la construcción de la Carrera 90. Sin embargo, no hay evidencias de problemas locales de estabilidad asociados a la presencia de ellos.



Foto 6. Vista lateral de la carrera 90, en el costado nor-oriental del área de estudio. Al lado derecho de la vía se encuentra un relleno el cual se dejó después de la conformación de la banca. Por otra parte se destaca la ausencia de cunetas en los bordes de la vía.

En la zona de corte adyacente a la casa prefabricada, mana agua en abundancia, lo mismo que en la parte baja de la ladera en donde se presentan algunos afloramientos de areniscas. La casa se encuentra emplazada sobre una plataforma, la mitad de ella en corte y la otra mitad en relleno y no presenta señales de inestabilidad.

Un poco mas al sur se encuentra una plataforma antigua de excavación y las bases de tres columnas de una casa antigua, la cual fue abandonada hace varios años por problemas de estabilidad de la zona.

Por el borde sur, se encuentran cultivos de maíz, sobre un deslizamiento activo; allí el suelo se encuentra saturado, producto de la acumulación de agua residual que proviene de una marranera que se encuentra en la parte alta, al otro lado de la fila de eucaliptos.

En la parte baja occidental del lote se encuentra un muro de piedra pegada de poca altura el cual fue construido hace mas de cuarenta años y a pesar de ello, se encuentra en perfecto estado.

Aunque las condiciones de estabilidad de la zona son precarias, producto de la presencia de agua abundante en el suelo y la presencia de movimientos en masa antiguos, éstos no generan amenaza inminente en las casas de la zona baja, ya que se encuentran lejos del área residencial y en general son movimientos en masas de poca profundidad y de baja tasa de movimiento (ver Foto 7 y Foto 8).



Foto 7. Vista general de la Zona Geotécnica 1, en la parte baja, al lado izquierdo se encuentran varias casas separadas de la ladera por un muro de piedra pegada de poca altura. Al lado derecho se presentan pequeñas lengüetas de falla de algunos deslizamientos menores de la parte alta; estos deslizamientos se encuentran retirados de la zona de las casas.



Foto 8. Vista lateral de la fila de casas que se encuentran en la parte baja de la zona 1. Las casas están separadas de la zona de ladera, por un pequeño muro en piedra pegada de mas de 40 años de antigüedad.

De todas maneras, esta zona en su condición actual no se considera apta para construcción de viviendas, y requiere de obras correctivas de drenaje superficial y subsuperficial, para su mejora y aptitud de uso urbano.

8.1.3. Estratigrafía del suelo

8.1.3.1. *Descripción de la exploración*

Para la determinación de las propiedades geotécnicas del suelo, se efectuaron tres perforaciones (P1, P2 y P3, tal como se observa en el Plano GE117-PL-01), que alcanzaron

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 37
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

profundidades no mayores a 3.0 m debido a la presencia de bloques en el suelo; se efectuaron dos trincheras, la trinchera 5 (TR-5), en la parte baja con el objeto de verificar la presencia del sustrato de roca, y la trinchera 6 (TR-6) en la parte alta contra el talud de corte adyacente de la casa prefabricada.

Con el objeto de determinar los espesores del depósito y la profundidad del contacto suelo-roca, se efectuaron los SEV 5 y 6 de 50 m de profundidad.

8.1.3.2. Perfil del suelo

En la parte alta se encuentra un horizonte de depósito coluvial del orden de 5 m de espesor seguido por el sustrato rocoso de areniscas; el siguiente es el perfil estratigráfico:

De 0.0 a 0.6 m : Capa vegetal y Limo orgánico de color café oscuro, con raíces, de consistencia media y plasticidad alta. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	$W_n = 40$ al 80%
Límite líquido :	$W_l = 62$
Límite plástico :	$W_p = 37$
Contenido de M. Orgánica	$MO = 9 \%$

De 0.6 a 3.0 m : COLUVION matriz-soportado: Compuesto por arcilla arenosa y arena arcillosa café y gris, con gravas y raicillas, de alta plasticidad; su consistencia varía entre media y firme. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	$W_n = 13$ al 40%
Límite líquido :	$W_l = 74$
Límite plástico :	$W_p = 28$
Peso unitario :	$\gamma_t = 1.9$ a 2.1 ton/m ³
Contenido de Finos	$PT_{200} = 26 - 60 \%$
Ensayo de Penetración Estándar SPT	$N = 5$ a 20 golpes/pie
Resistencia al corte no drenada	
	Veleta $C_{uv} = 3.0$ a 12 ton/m ²
	Penetrómetro $C_{up} = 3.0$ a 16 Ton/m ²
Resistividad eléctrica	$R = 300$ ohmio-metro

De 3.0 a 7.0/8.0 m : COLUVIÓN clasto-soportado : Compuesto por fragmentos y bloques de arenisca en matriz arcilloarenosa.

Ensayo de Penetración Estándar SPT	$N =$ Rechazo
Resistividad eléctrica	$R = 250$ a 500 ohmio-metro

Mayor de 7.0/8.0 m : Cuarzo arenitas en capas gruesas, compactas y secas.

Resistividad eléctrica $R = 1200$ ohmio-metro

En la parte superior el nivel del agua se encuentra entre 0 y 1 m de profundidad y en la parte inferior se pierde el agua en la perforación.

8.2. Zona 2: sector central

8.2.1. Delimitación del área

Esta zona abarca la parte central del área de estudio y cubre una franja de terreno del orden de 140 m de ancho x 150 m de largo. Esta zona es la de mayor afectación por movimientos en masa y abarca por la parte alta, los predios de la señora Carmenza de Yepes, y la Casa “Villa del Camino” del señor Octavio Méndez, que se encuentra en la zona central y la cual presenta un alto grado de afectación. Dentro está zona se encuentran otras dos casas quintas que se localizan por el costado oriental junto a la carrera 90 y se encuentran en amenaza potencial, ante un posible efecto regresivo del deslizamiento (ver Foto 9). Por el borde occidental se encuentra un pequeño parque recreacional adyacente al Conjunto Aragón y por el sur-occidente se encuentran los predios del colegio Antonio Nariño y del Colegio Saint George.



Foto 9. Vista de la parte alta de la zona 2 desde el lado norte. Se presenta un tercer escarpe que se prolonga por la parte baja de una pequeña casa de un piso. Esta grieta cierra contra la fila de eucaliptos que se encuentra a la altura del punto de toma de la foto.

La forma del terreno es variable; por el costado occidental se define una ladera de forma muy irregular y presenta una inclinación pronunciada del orden de 30 a 35 °, en su superficie se generan algunas concavidades y convexidades producto de procesos morfológicos antiguos. En la parte inferior de la ladera se efectuaron cortes casi verticales muy localizados, los cuales fueron efectuados para la adecuación de las Instalaciones del colegio Antonio Nariño y del bloque sur de la Urbanización Aragón. Unos 70 m al oriente, en la parte alta, se define un cambio de pendiente conformándose allí una ladera con superficie mas regular, y de pendiente moderada, con inclinaciones que oscilan entre 15 y 20° (ver Foto 10). Localmente se encuentran escalonamientos compuestos por cortes y rellenos, confinados por muros de piedra y concreto, los cuales fueron efectuados para la construcción de las casas y las casaquintas del sector y rellenos de borde de la Carrera 90.



Foto 10. Vista general de la parte nor-oriental de la Zona 2. Se define un terreno de pendiente moderada cubierto por pasto; se generan vertimientos de aguas residuales del sector de la marranera (lado derecho de la foto) y de una pequeña casa (lado izquierdo de la foto).

8.2.2. Descripción de problemas geotécnicos

En esta zona se presenta un movimiento en masa activo de gran magnitud, problemas de desprendimientos locales de bloques de roca y flujos de detritos, los cuales pueden generar afectaciones locales en el Conjunto Residencial Aragón y el Colegio Antonio Nariño.

8.2.2.1. *Antecedentes*

El problema principal lo constituye un deslizamiento rotacional de gran magnitud, el cual fue reportado por personal del DPAAE, en el mes de marzo del año 2.000; en esta fecha se generó un deslizamiento rotacional de poco espesor que afectó parcialmente el predio del señor Octavio Méndez. Según los reportes de la DPAAE, el factor detonante del problema lo

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 40
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

generó la saturación de la masa del suelo debido a la filtración de aguas lluvias y servidas provenientes de las parte altas del Barrio Tuna Alta.

Como resultado de esta primera gestión se generó un primer oficio con el fin de informar a la Junta Administradora local sobre la necesidad de un estudio detallado para la implementación de obras de mitigación en los Barrios Tuna Alta y la Urbanización Aragón, y la gestión para la construcción de redes de acueducto y alcantarillado.

En el año 2.001 se presentó un segundo Oficio se informó a la Subsecretaría de Control de Vivienda sobre la condición de amenaza por fenómenos de reptación ocurridos en el talud oriental del Conjunto Residencial Aragón, y se recomendó ejecutar la recolección de las aguas libres e inclusión de obras de drenaje (alcantarillado) y el mejoramiento del pavimento de la Carrera 90.

En el mismo año, producto de una nueva visita de campo y evaluación por personal de la DPAE y por solicitud de la Personería de Bogotá, se reiteraron las condiciones del sector y se incorporó en la Base de Datos de Sitios Críticos por Remoción en Masa.

Y finalmente en el Diagnóstico Técnico No. DI-2107 (09/09/2004) se recomienda realizar un estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa para establecer las acciones de mitigación correspondientes.

Durante el desarrollo de estos estudios, el problema de estabilidad evolucionó a un deslizamiento de tipo regresivo, que abarco la totalidad del predio del señor Octavio Méndez generando consigo daños severos en ésta propiedad y las zonas verdes adyacentes por los costados norte y sur.

8.2.2.2. Condición actual del deslizamiento

El deslizamiento en la actualidad abarca un horizonte de un depósito coluvial arcilloso del orden de 8 m de espesor, el cual se encuentra en toda la zona de estudio.

Se encontró un primer escalón de falla entre el lindero occidental del predio Villas del Camino y el talud adyacente a la urbanización Aragón, en donde se encuentran varios flujos de lodos producto de la saturación del suelo. Dos de ellos desembocan en el parque recreacional adyacente a la Urbanización Aragón, generando consigo la caída de varios árboles (ver Foto 11).

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 41
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------



Foto 11. Parte baja de la Zona Geotécnica 2; tomada desde la esquina nor-occidental del predio del señor Octavio Méndez. Se generó un primer deslizamiento rotacional de poca profundidad, que comprometió una capa superficial de coluvión; la pata de este deslizamiento aflora al lado de un parque recreacional adjunto a la Urbanización Aragón.

Un segundo escarpe de falla abarca el patio trasero de la casa del señor Méndez y se prolonga por los costados norte y sur conformando un arco que se cierra por el costado norte contra una hilera de eucaliptos (límites entre las zonas 1 y 2) y por el costado sur llega hasta la esquina nor-oriental del colegio Saint George (ver Foto 12 a Foto 14). Este escarpe se acentuó notablemente en los últimos dos meses generando un escalón del orden de 2 m de altura. Contra el Colegio Antonio Nariño se formó un pequeño flujo de lodos que invade parte de una terraza que se encuentra cerca de un chalet que forma parte de las instalaciones del colegio.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

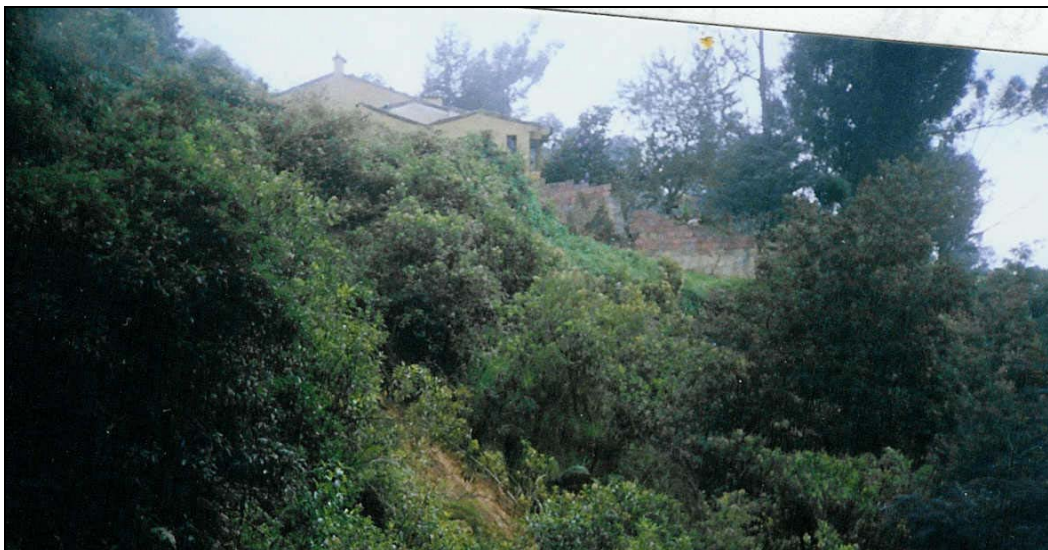


Foto 12. Parte media de la Zona Geotécnica 2: Foto tomada desde el costado norte del área de estudio sobre la fila de eucaliptos de fondo de la foto anterior. En primer plano se alcanza a notar un flujo de tierras que se desarrolló sobre la cara del talud por efecto de saturación del suelo; al fondo se aprecia el segundo escarpe de falla que afecta el muro cerramiento a la altura del patio trasero del Predio del Señor Octavio Méndez; el muro se encuentra agrietado y volcado hacia la izquierda, producto del efecto retrogresivo del deslizamiento rotacional del lado derecho de la foto.



Foto 13. Detalle del segundo escarpe de falla en el interior del patio trasero del señor Méndez. Se generó un escalonamiento del orden de 2 m de altura que coincidió con el sitio de un tanque colector de aguas negras.

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 43
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------



Foto 14. Proyección del segundo escarpe por el costado sur del predio del señor Méndez. Nótese el muro volcado hacia la derecha, al fondo de la foto y la prolongación del escarpe en curva cerrada, justa atrás del sitio donde está parada la Geóloga Pilar García. En este sitio también se genera la corona de un pequeño flujo de tierras, producto de la presencia abundante de agua en el suelo.

Durante este invierno se generó un tercer escarpe que se prolonga por el lindero oriental del predio del señor Méndez, afectando un tanque de agua potable ya fuera de servicio, y se prolonga por el costado norte hasta la hilera de eucaliptos y por el costado sur alcanzando la esquina nor-occidental del predio de la señora Carmenza de Yépez donde desaparece. Durante los últimos dos meses, la falla evolucionó de una insignificante grieta de tracción a un escalón de 1.5 m de altura.

En las últimas visitas se encontró señales de un cuarto escarpe que abarca la zona verde y parte de la construcción de la casa quinta adyacente al predio del señor Méndez y desaparece en el muro del lado sur del mismo predio (ver Foto 15).



Foto 15. Vista desde el lado sur del lindero oriental del predio del señor Octavio Méndez. Se generó en este invierno (diciembre de 2004), un tercer escarpe de falla que afectó el muro de cerramiento y un tanque de agua potable que se encuentra detrás de este. Al lado derecho, se encuentra otra casa quinta, en la cual ya existe un cuarto escalón que alcanza a afectar el patio trasero de éste casa. Es urgente llevar a cabo medidas de estabilización a corto plazo, con el objeto de frenar el efecto regresivo del deslizamiento.

Durante las visitas de campo se pudo constatar problemas de infiltración permanente de aguas en el acceso al predio del señor Méndez, el cual puede estar relacionado con la avería o rotura de una tubería en el sector de la Carrera 90. Es importante resaltar que la Carrera 90 es una vía angosta y no presenta ningún tipo de drenaje superficial; de tal manera que el agua de escorrentía que proviene de la parte Alta del Barrio Tuna Alta, atraviesa la vía e invade la zona baja contribuyendo a agravar el problema de estabilidad.

En la parte baja, la pata del deslizamiento desemboca a la altura de una terraza intermedia que se genera dentro del coluvión; allí se encontraron localmente afloramientos de cuarzoarenitas, y todo indica que el problema en la parte inferior es controlado por el macizo rocoso, quien es el responsable que el deslizamiento no comprometa la zona adyacente a la Urbanización Aragón y al Colegio Antonio Nariño (ver Foto 16).



Foto 16. Vista de la parte baja de la zona 2, en el sector adyacente al Conjunto residencial Aragón. Allí se encuentra una capa delgada de coluvión clasto-soportado compuesto por grandes bloques de arenitas en matriz arcillosa; este depósito descansa sobre el sustrato de arenisca. Detrás del muro de piedra se efectuó un corte en roca.

8.2.2.3. Otros problemas geotécnicos menores

Existe una amenaza indirecta de la invasión de los flujos de lodos provenientes del deslizamiento, a las instalaciones de la Urbanización Aragón y al Colegio Antonio Nariño, los cuales se pueden resolver fácilmente mediante la colocación de diques de protección en la terraza intermedia (Foto 17).



Foto 17. Detalle de un flujo de lodos que se originan en la parte alta del Colegio Antonio Nariño y que genera amenaza potencial sobre algunas de las instalaciones del Colegio. Es necesario contemplar la construcción de un dique de contención de lodos, para evitar que éstos invadan las instalaciones.

Vale la pena destacar otros problemas menores que se pueden presentar en el talud de corte de la Urbanización Aragón, en donde se pueden presentar pequeños desprendimientos de bloques que pueden generar daños locales en los apartamentos adyacentes del primer y segundo nivel, que se pueden solucionar mediante la colocación de mallas cogidas con barras de anclajes. Es de aclarar que, en este sector ya se construyó un muro de gaviones para evitar la caída de bloques sobre los apartamentos del Conjunto Aragón (ver Foto 18).



Foto 18. Detalle del talud de corte sur en el interior del Conjunto Residencial Aragón. Se encuentra un muro escalonado de gaviones de 5 m de altura y 2 m de ancho; el muro está recargado contra el macizo rocoso fracturado.

8.2.3. Estratigrafía del suelo

8.2.3.1. *Descripción de la exploración*

Para la evaluación de las propiedades geotécnicas del suelo, se efectuaron seis perforaciones cortas (P5, P6, P7, P9 y P10) de profundidades variables entre 3 y 6 m, mediante el uso de equipos manuales, hasta encontrar rechazo, y se efectuaron además las perforaciones (P4, P11 y P13) entre 2 y 15 m de profundidad con equipo mecánico de rotación y lavado hasta encontrar el sustrato de roca; se efectuaron además tres trincheras (TR-1, TR-2 y TR-3), en donde se recuperaron muestras inalteradas en bloque para ensayos de corte directo.

Con el objeto de calibrar y complementar los espesores de depósito y la profundidad del contacto suelo-roca, se efectuaron los SEV 1, 2 y 3 de 20 m de profundidad.

b) Perfil del Suelo:

Se define un horizonte de depósito coluvial del orden de 8 a 11 m de espesor seguido por el sustrato rocoso de arcillolitas alteradas y areniscas; el perfil estratigráfico es el siguiente:

De 0.0 a 0.6 m : Capa vegetal y Limo orgánico de color café oscuro, con raíces, de consistencia media y plasticidad alta. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	$W_n = 37$ al 40%
Materia Orgánica	MO = 4%

De 0.6 a 4.0/6.0 m : COLUVION matriz-soportado: Compuesto por arcilla arenosa amarilla café y gris, con gravas y raicillas, de alta plasticidad y consistencia media a firme. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural :	$W_n = 22$ al 35%
Límite líquido :	$W_L = 49-62$
Límite plástico :	$W_p = 21-36$
Peso unitario :	$\gamma_t = 1.8$ a 1.9 ton/m ³
Contenido de Finos	PT200 = 27 -78 %
Ensayo de Penetración Estándar SPT	N= 3 a 45 golpes/pie
Resistencia al corte no drenada	
	Veleta Cuv= 3.0 a 13 ton/m ²
	Penetrómetro Cup = 3.0 a 15 Ton/m ²
Resistividad eléctrica	R = 100 a 300 ohmio-metro
Cohesión	$c' = 1.0$ a 2.0 ton/m ²
Angulo de Fricción	$\phi' = 21$ a 25 °

De 4.0/6.0 a 9.0/12.0 m : COLUVIÓN clasto-soportado : Compuesto por fragmentos y bloques de arenisca en matriz arcillo-limo-arenosa.

Humedad natural :	$W_n = 13$ al 22%
Límite líquido :	$W_L = 67$
Límite plástico :	$W_p = 36$
Peso unitario :	$\gamma_t = 2.0$ a 2.2 ton/m ³
Ensayo de Penetración Estándar SPT	N= 34 -Rechazo
Resistividad eléctrica	R = 200 a 340 ohmio-metro

Mayor de 9.0/12.0 m : Cuarzo arenitas en capas gruesas, compactas y secas.

Resistividad eléctrica

$R = 900$ ohmio-metro

En la parte superior el nivel del agua se encuentra entre 0 y 1 m de profundidad y tan pronto se alcanza el sustrato de roca, se pierde el agua en la perforación.

8.3. Zona 3

8.3.1. Delimitación del área

Esta zona abarca el costado sur del área del proyecto y cubre una franja de terreno del orden de 60 m de ancho x 130 m de largo. Limita por el norte con la zona 2, por el oriente con los predios de Carmenza de Yepes, por el sur y occidente con el Colegio Saint George.

En este corredor se encuentra un terreno de forma regular y predominan pastos y construcciones, exceptuando la parte baja donde se encuentra un bosque. La pendiente del terreno es moderada, y su inclinación oscila entre 21 y 27°.

8.3.2. Problemas geotécnicos

En este sector se encuentran problemas generalizados de reptación de suelos y en la parte alta el suelo se encuentra saturado. En el muro oriental de la casa de la señora Carmenza de Yepes, se filtra agua a través del muro y en una casa localizada en el costado suroriental se vierten aguas residuales al suelo (ver Foto 19 a Foto 21).



Foto 19. Predio de la señora Carmenza de Yepes, visto desde el lado sur. Allí se encuentran algunos rellenos locales detrás del muro cerramiento y de un muro interno localizado en la parte media de la foto. El agua superficial es conducida a lo largo de un zanjón que se prolonga por el muro oriental (lado izquierdo de la foto), saturando el terreno en la parte baja al otro lado del muro.



Foto 20. Vista general de la zona geotécnica 3, al costado sur de la zona de estudio. Se encuentran evidencias de reptación en la superficie producto del agua proveniente del predio de la señora Carmenza de Yepes, al lado derecho de la foto. En la casa blanca del lado derecha, también se vierten aguas residuales al suelo.



Foto 21. Detalle de la casa blanca localizada en el extremo sur-oriental de la zona 3. Allí se presenta el vertimiento de aguas residuales hacia la parte baja, contribuyendo a acentuar los problemas de deformaciones por reptación en la parte baja de la ladera..

8.3.3. Estratigrafía del suelo

8.3.3.1. Descripción de la exploración

Se efectuaron dos barrenos manuales del orden de 3 m de profundidad, P8 y P12 y un sondeo eléctrico vertical a 20 m de profundidad SEV 6.

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 50
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

8.3.3.2. Perfil del suelo

Se define un horizonte de depósito coluvial del orden de 8 a 11 m de espesor seguido por el sustrato rocoso de arcillolitas alteradas y areniscas; el perfil estratigráfico es el siguiente:

De 0.0 a 0.5 m : Capa vegetal y Limo orgánico de color café oscuro, con fragmentos de areniscas .

Humedad natural : $W_n = 30$ al 37%

De 0.5 a 1.0 m : COLUVION matriz-soportado: Compuesto por arcilla arenosa amarilla café y gris, con fragmentos de roca de 5 cm, de alta plasticidad y consistencia media a blanda. Las siguientes son sus propiedades geotécnicas:

Humedad natural : $W_n = 30 - 36\%$

Peso unitario : $\gamma_t = 2.0$ a 2.1 ton/m^3

Contenido de Finos $PT_{200} = 27 - 98 \%$

Ensayo de Penetración Estándar SPT $N = 9$ golpes/pie

Resistencia al corte no drenada

Veleta $C_{uv} = 7.5 \text{ ton/m}^2$

Penetrómetro $C_{up} = 5$ a 7 Ton/m^2

Resistividad eléctrica $R = 600$ ohmio-metro

De 1.0 a 7.0 m : COLUVIÓN clasto-soportado : Compuesto por fragmentos y bloques de arenisca en matriz arcillo limo arenosa.

Humedad natural : $W_n = 10\%$

Peso unitario : $\gamma_t = 2.0$ a 2.2 ton/m^3

Ensayo de Penetración Estándar SPT $N = 36$ -Rechazo

Resistividad eléctrica $R = 200$ a 400 ohmio-metro

Mayor de 7.00 m : Cuarzo arenitas en capas gruesas, compactas y secas.

Resistividad eléctrica $R = 1200$ ohmio-metro

8.4. Zona IV: Afloramientos de roca

En la parte baja occidental del área de estudio se encuentran afloramientos de cuarzoarenitas fracturadas (ver Foto 22 y Foto 23), cubiertas por una capa delgada de suelo orgánico negro y coluvión clastosoportado. Las propiedades del macizo rocoso y sus discontinuidades son las siguientes:

Material rocoso:

Resistencia a la compresión : $\sigma_c = 578 \pm 267 \text{ kg/cm}^2$
 Parámetros de Hoek y Brown $m_i = 15$
 $s_i = 1.0$

Macizo rocoso:

Grado de fracturamiento : RQD = 33 a 90
 Índice De calidad de la Roca (Bieniawsky) RMR: 48
 Parámetros de Hoek y Brown $m = 1.96$
 $S = 0.002$
 Cohesión $c' = 8.7 \text{ ton/m}^2$
 Angulo de fricción $\phi' = 44^\circ$

Familias de discontinuidades:

Con base a las condiciones geoestructurales de la zona, se diferencian dos unidades, tal como se observa en las siguientes tablas.

Tabla 5. Condiciones geoestructurales de la zona norte

No.	TIPO	AZIMUT DE BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO (°)
1	Estratificación	207	35
2	Diaclasa 1	246	75
3	Diaclasa 2	074	61
4	Diaclasa 3	014	89
5	Diaclasa 4	266	19
6	Diaclasa 5	162	63
7	Diaclasa 6	310	77

Tabla 6. Condiciones geoestructurales de la zona sur

No.	TIPO	AZIMUT DE BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO (°)
1	Estratificación	332	26
2	Diaclasa 1	255	62
3	Diaclasa 2	101	74
4	Diaclasa 3	012	74
5	Diaclasa 4	257	26
6	Diaclasa 5	151	66
7	Diaclasa 6	300	49

Las características generales encontradas en las diferentes familias de diaclasas son las siguientes:

Tabla 7. Características de las diferentes familias de discontinuidades

No.	SEPARACIÓN (m)	ABERTURA (cm)	PERSISTENCIA (m)	RUGOSIDAD (m)	TIPO DE RELLENO
1	0.15-1.0	cerrada	Continua	rugosa	Sin relleno
2	1.0	2 a 4	continua	mod-rugosa	Arenoso
3	1.0	cerrada	baja	Esc.-mod	Sin Relleno
4	>0.2	cerrada	>2.0	Ond-rugosa	Sin Relleno
5	0.25	0.3 a 3.0	--	Rugosa	Limo seco
6	0.04 – 0.15	cerrada	1	Mod rugosa	Sin relleno
7	1.5 a 2.0	cerrada	continua	Esc-rugosa	Sin relleno



Foto 22. Talud del corte oriental en el interior del Conjunto Residencial Aragón. Se encuentran afloramientos de cuarzo-arenitas intercaladas con capas delgadas del mismo material mas fracturado; se pueden presentar desprendimientos ocasionales de bloques.



Foto 23. Detalle del macizo rocoso del costado nororiental de la zona de estudio.

9. AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS

9.1. Generalidades

En forma general, el Factor de Seguridad (FS) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ , y cohesión c), la presión de poros (que se puede modelar como R_u), la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y el ángulo del talud (β); las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), el ángulo del talud (β), la presión de poros (R_u) y la aceleración producida por el sismo (α). Se puede decir que, todas las anteriores variables son aleatorias (con su respectiva distribución de probabilidad) que se pueden considerar como independientes; la convolución de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (FS); se puede determinar la probabilidad de falla del talud (P_f) determinando la probabilidad de que el FS sea menor o igual a 1.0.

Bajo la hipótesis de que las variables son independientes, se puede decir que la distribución de probabilidades del factor de seguridad es igual a la multiplicación de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias, es decir:

$$f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(R_u)$$

Además, se tiene que:

$$FS = \varphi(\phi, c, \alpha, R_u)$$

Entonces, la probabilidad de falla se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS) dFS = \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(R_u) d\phi dc d\alpha dR_u$$

Donde S es el conjunto de todo (ϕ, c, α, R_u) tal que $\varphi(\phi, c, \alpha, R_u)$ es menor o igual a 1.0, es decir cuando el FS es menor a la unidad (o sea, falla el talud). Para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas de análisis seleccionadas se utilizó el método PEM, utilizando para tal efecto el programa Sted 5.0. Además, para ver los posibles problemas retrogresivos por deformaciones se realizaron análisis con elementos finitos utilizando el programa Plaxis.

9.2. Probabilidades de falla

Se determina la estabilidad de cada talud característico, hallando el factor de seguridad por medio de la teoría del equilibrio límite y determinando la probabilidad de falla por el método del punto medio –PEM– (Rosenblueth, 1975).

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 54
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

Rosenbleuth (1975) propuso el método PEM (Point Estimate Method) para determinar la probabilidad de falla en obras civiles. En la forma generalizada, el método establece lo siguiente:

Dada una función y (en este caso el factor de seguridad del talud), con variables aleatorias x_1, x_2, \dots, x_n , es decir:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Se definen los valores máximos y mínimos de cada una de las variables aleatorias como:

$$x_n^+ = \tilde{x}_n + \sigma(x_n), \text{ para el caso máximo}$$

$$x_n^- = \tilde{x}_n - \sigma(x_n), \text{ para el caso mínimo}$$

Entonces, se define la probabilidad de cada combinación de casos (máximos y mínimos), así

$$p^{\pm\pm\dots\pm} = \frac{1}{2^n} \left(\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \cdot \rho_{ij} \right)$$

Donde,

$a_{ij} = 1$ si las dos variables (i, j) son máximas o mínimas, o -1 en caso contrario.

$\rho_{ij} =$ Coeficiente de correlación entre las variables x_i y x_j

En general, para n variables se tienen 2^n probabilidades condicionales y $n(n-1)/2$ coeficientes de correlación.

Se define el valor esperado de la variable y como:

$$E(y) = \sum_{k=1}^{2^n} p_k^{\pm\pm\dots\pm} \cdot f_k(x_1^{\pm}, x_2^{\pm}, \dots, x_n^{\pm})$$

y la desviación de la variable y como:

$$\sigma(y) = \sqrt{E(y^2) - (E(y))^2}$$

definiendo,

$$E(y^2) = \sum_{k=1}^{2^n} p_k^{\pm\pm\dots\pm} \cdot [f_k(x_1^\pm, x_2^\pm, \dots, x_n^\pm)]^2$$

Una vez definido el valor esperado y la desviación de la variable aleatoria (factor de seguridad) se puede definir la probabilidad de excedencia de un valor determinado (en este caso $FS > 1$) ajustándola a una función de probabilidad determinada (normal, lognormal, etc.)

En forma general el factor de seguridad de un talud es función de cuatro variables; dos de ellas intrínsecas (los parámetros de resistencia) y dos extrínsecas (o factores externos, lluvia y sismo). Sin embargo, simplificando el problema se puede determinar probabilidades condicionales para los casos de factores externos, determinando cuatro casos, a saber:

- Sin lluvia sin sismo.
- Con lluvia sin sismo.
- Sin lluvia con sismo.
- Con lluvia con sismo.

De esta forma, la probabilidad de falla se puede determinar utilizando la regla de probabilidad total (González, 1992):

$$P(FS \leq 1) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 P[FS \leq 1 / (S_i \cap L_j)] \cdot P(S_i \cap L_j)$$

Donde,

- S_1 : Probabilidad de ocurrencia del sismo.
 $S_0 = I - S_1$: Complemento de la probabilidad de ocurrencia del sismo.
 L_1 : Probabilidad de ocurrencia de la lluvia.
 $L_0 = I - L_1$: Complemento de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia.

Además, como la lluvia y el sismo son eventos independientes, se tiene que:

$$P(S_i \cap L_j) = P(S_i) \cdot P(L_j)$$

A continuación se presenta la variabilidad de los factores intrínsecos de los diferentes materiales que conforman el área de estudio, los factores detonantes influyentes y los resultados de los análisis de estabilidad probabilísticas.

9.3. Factores intrínsecos

9.3.1. Parámetros de resistencia

Con base en los resultados encontrados durante la fase de exploración se distinguen principalmente las siguientes capas de suelo:

- Coluvión matriz soportado: Corresponde a la capa superficial de suelo coluvial, consistente en arcillas de color gris y amarillo, con lentes ocasionales de arcillas arenosas, y bloques ocasionales de areniscas.
- Coluvión clastosoportado: Se trata de grandes bloques de areniscas embebidos en una matriz de suelo arcilloarenoso de consistencia firme a dura; el volumen de bloques es tal que existe contacto entre ellos.

Para la caracterización geotécnica de suelos se tomaron como base los siguientes criterios:

- Envoltentes de resistencia al corte obtenida a partir de ensayos de corte directo. Para éste proyecto se efectuaron 3 ensayos de corte directo sobre muestras inalteradas en bloque obtenidas de diferentes sitios del proyecto; las muestras fueron falladas en condiciones de inmersión, consolidadas y luego falladas a baja tasa de deformación, obteniendo de ellas los parámetros de resistencia pico y residual del suelo en un intervalo de esfuerzos de confinamiento entre 0.5 y 2.0 kg/cm².

Resistencia Pico:

Cohesión	$c' = 1.1 \text{ ton/m}^2$
Angulo de Fricción	$\phi' = 25.4^\circ$

Resistencia Residual :

Cohesión	$c' = 0 \text{ a } 5 \text{ ton/m}^2$
Angulo de Fricción	$\phi' = 21^\circ$

- Envoltentes de resistencia al corte obtenidas a partir de correlaciones empíricas con el Ensayo de Penetración Estándar, (González, et al, 1996). Este método se basa en la determinación de los esfuerzos de corte de falla a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar SPT, a diferentes profundidades. Con base en la nube de puntos obtenidos se encontraron las envoltentes de falla (ver Figura 13), y su rango de variación, logrando bastante similitud con las pruebas de corte directo.

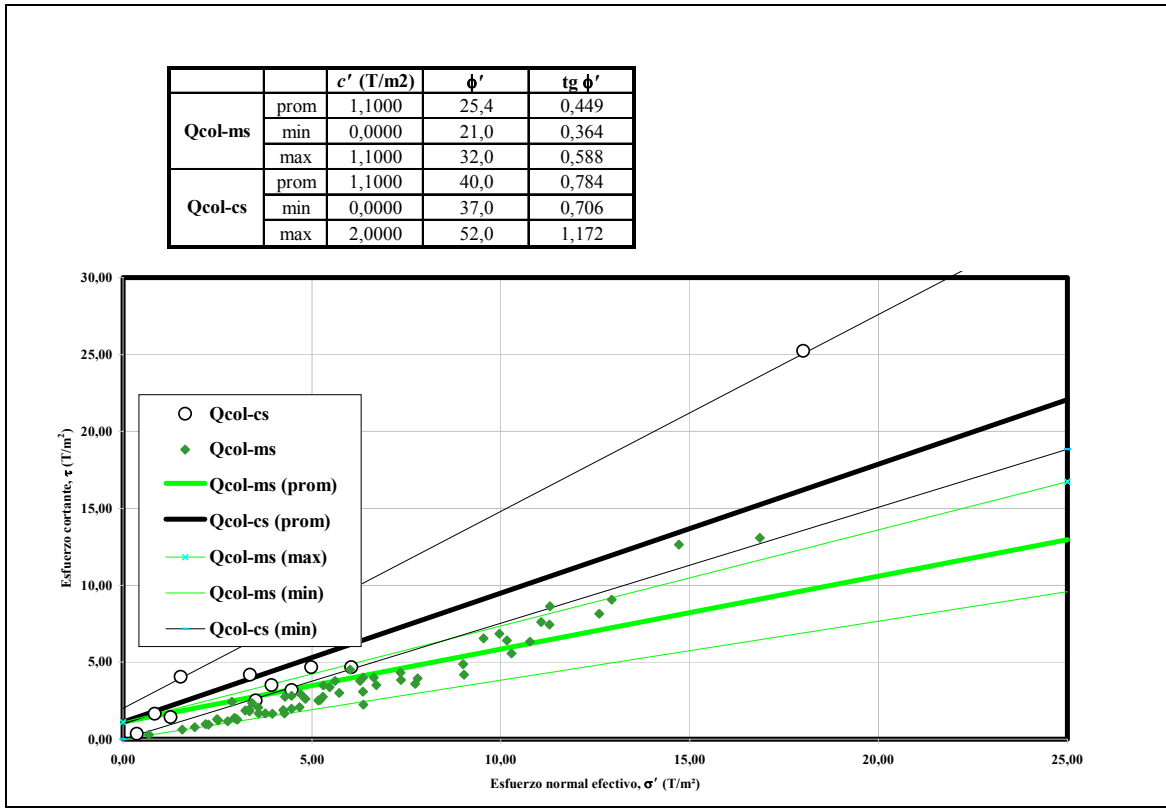


Figura 13. Parámetros de resistencia obtenidos del ensayo SPT

- Envolventes de resistencia obtenidos por retroanálisis de modelos escala: Para la evaluación de los parámetros de resistencia del suelo, se efectuaron retroanálisis sobre zonas inestables con superficies de fallas conocidas; a partir de estos análisis se encontraron los parámetros de resistencia del suelo en condición de falla.

Cohesión $c' = 5 - 8 \text{ ton/m}^2$

Angulo de Fricción $\phi' = 21^\circ$

Para los análisis de estabilidad se adoptaron los siguientes parámetros de resistencia al corte:

Tabla 8. Parámetros de resistencia de los diferentes materiales

MATERIAL	Peso Unitario total (KN/m³)	COHESIÓN (KN/m²)			ANGULO DE FRICCIÓN (°)		
		MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.
Coluvión alterado, zona de fallas	19.5	0.0	5.1	8.4	21	25.4	32
Coluvión inalterado matriz soportado	19.5	0.0	11	11.4	21	25.4	32
Coluvión clasto-soportado	20.0	0.0	11	20	37	40	49.9
Roca	22.0	66.1	86.8	104.6	39.1	44.0	45.9

Adicionalmente, y en los suelos identificados como rellenos, se adoptaron como valores del modelo, los equivalentes al 90% del coluvión matriz soportado.

La desviación estándar de los parámetros de resistencia se obtuvo como:

$$\sigma = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{6}$$

9.3.2. Parámetros de deformación

Para los análisis de deformación con Elementos Finitos, los suelos se representaron como materiales elasto-plásticos tipo Mohr-Coulomb con los siguientes parámetros geotécnicos promedio:

Tabla 9. Parámetros elastoplásticos

MATERIAL	γ_t (KN/m³)	C' (KN/m²)	ϕ' (°)	ψ' (°)	E (KN/m²)	ν'	κ (m/día)
Coluvión matriz soportado	19.5	11	25.4	3	7837	0.15	1e-4
Coluvión clasto-soportado	20.0	11	37	17	20000	0.15	1e-4
Roca	22.0	86.8	44	3	66830	0.15	100

9.4. Factores detonantes

9.4.1. Condiciones del agua subterránea

Para la representación del agua en el suelo, se consideraron dos escenarios posibles.

Escenario 1 : Suelo coluvial saturado, por influencia del agua infiltrada proveniente de la parte alta, posiblemente por la presencia de tubos de acueducto o de alcantarillados, con

presencia de fugas, o por la infiltración de aguas servidas de las casas de la zona. Este escenario representa la situación actual.

Escenario 2: Suelo coluvial seco, que representa una condición de suelo drenado, pero con la presencia de acuíferos no confinados en el sustrato de roca.

El período de retorno de la lluvia crítica (Escenario 1) adoptada fue de 25 años.

9.4.2. Sismo

Para determinar la variabilidad de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca, se utilizaron los datos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (AIS, 1997), ajustando los datos a una función de probabilidad exponencial (ver Figura 14).

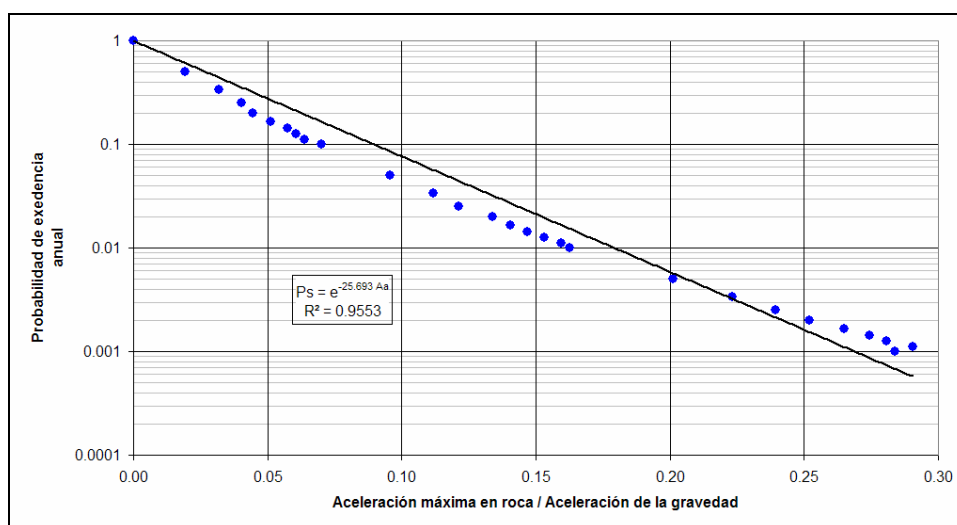


Figura 14. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial

9.5. Modelos utilizados

9.5.1. Modelo de equilibrio límite

Para cada una de las secciones geotécnicas (ver Plano GE117-PL-07) se obtuvieron perfiles de análisis típicos (ver Plano GE117-PL-08), sobre los cuales se realizaron los análisis bidimensionales de estabilidad por medio de la teoría del equilibrio límite, utilizando para tal efecto los métodos implementados en el software Slide; los resultados de los análisis se presentan en el Anexo V.

9.5.2. Modelos de elementos finitos

Para los análisis de deformabilidad del talud, se utilizó el programa PLAXIS, Versión profesional 7, en donde se puede representar el suelo por medio de elementos finitos bidimensionales de forma triangular, compuestos cada uno de ellos por 6 nodos.

Se analizó la zona central correspondiente al eje del deslizamiento que corresponde a la sección E-E, en donde se han presentado las mayores afectaciones de estabilidad.

Para los análisis se contemplaron las siguientes etapas.

- Condición de esfuerzos iniciales – situación actual.
- Condiciones de esfuerzos y deformaciones en el talud por efecto de saturación del coluvión.
- Condiciones de esfuerzo y deformaciones en el talud por efecto gradual de pérdida de resistencia en el suelo.

Los resultados de deformaciones se presentan en el Anexo V del informe y en ellos se encontró lo siguiente:

En condiciones de esfuerzo inicial, se encuentra que la parte baja del coluvión (en estado seco) presenta condiciones de estabilidad precarias que se refleja por la presencia de un volumen considerable de suelo en estado plástico.

El efecto de saturación del suelo desde la parte alta genera fuerzas de campo laterales que inducen a fallas en el talud ; existe una tendencia de desplazamiento lateral del talud, que en la práctica es la causa de fallas de tipo regresivo en el talud (ver Figura 15).

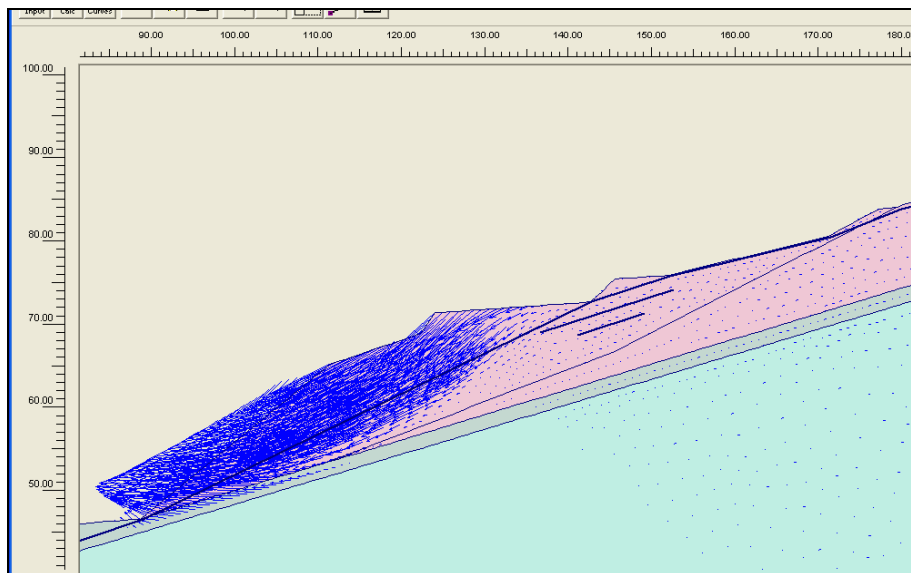


Figura 15. Falla del talud generada por saturación del depósito coluvial; vectores de desplazamiento incremental.

En condiciones de coluvión seco (Figura 16), y contemplando un modelo gradual de pérdida de resistencia al corte se observa que en éstas condiciones el borde oriental del talud es susceptible a fallas locales, con una componente de movimiento vertical importante.

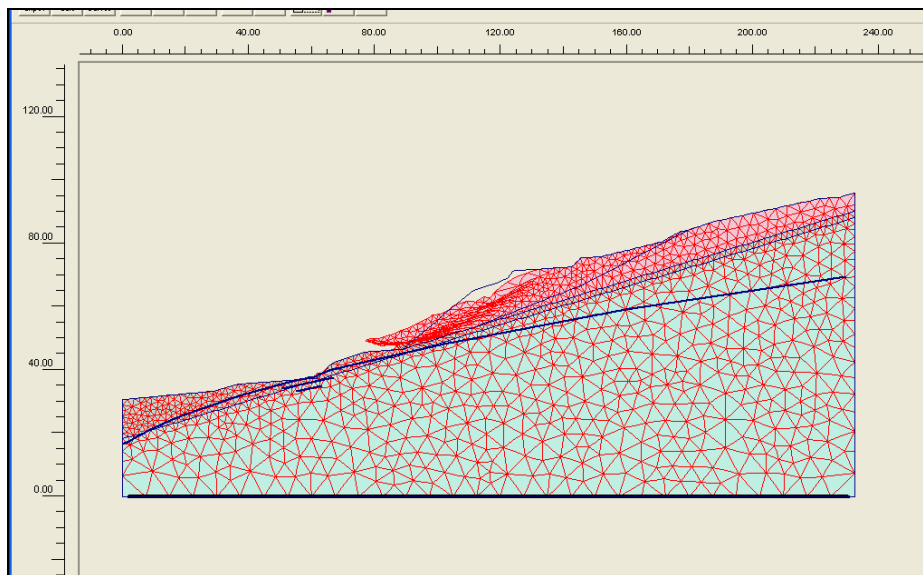


Figura 16. Falla local en el talud generada por pérdida gradual de resistencia en el suelo.

9.5.3. Recorrido de los deslizamientos

Para tener en cuenta el posible alcance de las masas deslizadas, se utilizaron las correlaciones presentadas por Finley et al. (3), y cuyo resumen se presenta en el Anexo V.

9.6. Categorización de la amenaza

Teniendo en cuenta los análisis probabilísticos de estabilidad se realizó el mapa de amenaza por deslizamientos en la zona (véase Plano GE117-PL-09), categorizando la amenaza teniendo como base el factor de seguridad promedio esperado, así:

Tabla 10. Categorización de la amenaza en la zona de estudio

Categoría de amenaza	Factor de seguridad
Alta	FS menor o igual a 1.1
Media	FS entre 1.1 y 1.9
Baja	FS mayor o igual a 1.9

9.7. Resultados obtenidos

A continuación se presenta una tabla con el resumen de los resultados probabilísticos de estabilidad, y la caracterización de la amenaza en cada zona.

³ Finley, P.J., Mostyn, G.R. and Fell, R. 1999. Landslide Risk Assessment: prediction of travel distance. Canadian Geotechnical Journal, 36: 556-562.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

Tabla 11. Resultados probabilísticos de estabilidad

CASO	c	f	agua	sismo	ZONA 1 CORTE A-A		ZONA 2 CORTE E-E			ZONA 3 CORTE G-G	ZONA 4	
					ZONA DE DESPLAZAMIENTOS DORMIDOS	OTRAS ZONAS	ESCARPE 1	ESCARPE 2	ESCARPE 3	ZONA POSTERIOR	UNICO CASO	PARTE BAJA ROCA
					FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	
1	min	min	0	0	1.30	1.37	0.47	0.57	0.81	0.93	1.49	2.48
2	min	min	1	0	0.62	0.65	0.46	0.55	0.65	0.64	1.01	2.32
3	min	min	0	1	0.66	0.68	0.30	0.35	0.48	0.54	0.80	1.48
4	min	min	1	1	0.29	0.30	0.29	0.34	0.35	0.33	0.50	1.37
5	prom	prom	0	0	2.01	3.03	0.75	0.80	1.05	1.21	3.39	3.11
6	prom	prom	1	0	1.25	1.99	0.72	0.75	0.84	0.90	1.81	2.90
7	prom	prom	0	1	1.05	1.57	0.49	0.52	0.63	0.70	2.31	1.85
8	prom	prom	1	1	0.63	0.98	0.46	0.48	0.47	0.50	1.19	1.72
9	max	max	0	0	2.54	3.62	0.93	0.97	1.24	1.43	3.87	3.65
10	max	max	1	0	1.70	1.87	0.89	0.91	0.99	1.06	2.04	3.37
11	max	max	0	1	1.34	2.45	0.62	0.63	0.74	0.83	3.05	2.13
12	max	max	1	1	0.88	1.24	0.59	0.58	0.56	0.58	1.58	1.99
PROBABILIDAD DE FALLA	Sin sismo sin lluvia	media	1.95	2.67	0.72	0.78	1.03	1.19	2.92	3.08		
		desv	0.25	0.48	0.09	0.08	0.09	0.10	0.51	0.24		
		Pf	0.01%	0.02%	99.86%	99.64%	35.24%	3.16%	0.01%	0.00%		
	Sin sismo con lluvia	media	1.19	1.50	0.69	0.74	0.83	0.87	1.62	2.86		
		desv	0.22	0.30	0.09	0.07	0.07	0.09	0.22	0.21		
		Pf	19.55%	4.82%	99.98%	99.98%	99.36%	93.83%	0.25%	0.00%		
	Sin lluvia con sismo	media	1.02	1.57	0.47	0.50	0.62	0.69	2.05	1.82		
		desv	0.14	0.36	0.07	0.06	0.05	0.06	0.47	0.13		
		Pf	45.24%	5.84%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	1.22%	0.00%		
	Con sismo con lluvia	media	0.60	0.84	0.45	0.47	0.46	0.47	1.09	1.69		
		desv	0.12	0.20	0.06	0.05	0.04	0.05	0.22	0.13		
		Pf	99.95%	79.03%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	34.34%	0.00%		
	Probabilidad total	media	1.17	1.80	0.72	0.78	1.03	1.09	2.47	1.77		
		desv	0.14	0.13	0.01	0.01	0.03	0.04	0.14	0.06		
		Pft	0.78%	0.08%	99.86%	99.64%	36.01%	4.27%	0.02%	0.00%		
CATEGORIZACION DE AMENAZA					MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA	BAJA	MEDIA

9.7.1.1. Zona geotécnica 1

Para esta zona se evaluaron dos casos típicos: un primer caso corresponde a las condiciones de estabilidad en zonas de deslizamientos dormidos, en las cuales, se encuentran evidencias de zonas de creep muy lento que han degenerado en fallas muy superficiales que comprometen una capa de suelo arcilloso del orden de 2 m de espesor. Los resultados

indican que estos deslizamientos se pueden llegar a activar mediante una combinación de sismo, con el depósito totalmente saturado.

En la parte baja de la zona 1, las condiciones de estabilidad son favorables debido a la baja pendiente del terreno y al poco espesor de las capas de suelo susceptibles al deslizamiento.

En consecuencia, sobre esta zona la probabilidad de falla de taludes es media; sin embargo, debido a que el suelo se encuentra en estado de creep, es necesario efectuar obras de drenaje superficial en las zonas más húmedas, las cuales fueron detectadas en la parte alta cercana a la vía y en un deslizamiento menor que se generó por el costado sur, cercano al sitio de la marranera.

9.7.1.2. Zona geotécnica 2 - parte central.

Los resultados de los análisis en la zona geotécnica 2, revela condiciones de estabilidad muy desfavorables producto de la mayor inclinación de los taludes en la parte baja del lote, y a la presencia de una capa espesa de coluvión arcilloso saturado.

Los análisis de estabilidad indican una probabilidad alta de falla de los taludes, con presencia de escarpes activos, y una probabilidad de falla entre media y alta, en la zona posterior adyacente a los escarpes. Los análisis indican una susceptibilidad alta al deslizamiento por saturación del coluvión o por la ocurrencia de sismos de magnitud moderada.

Para controlar las condiciones de estabilidad de la zona es inminente la ejecución de obras correctivas de drenaje, y si se requieren salvar unos predios, es necesario incorporar obras de estabilización mediante el uso de estructuras de contención con anclajes postensados.

9.7.1.3. Zona geotécnica 3

Los resultados indican una baja susceptibilidad al deslizamiento; sin embargo en la zona, existente evidencias de creep muy lento que con el tiempo pueden degenerar en movimientos masivos de falla. En este sentido es necesario contemplar obras preventivas, mediante la corrección de drenajes superficiales, y eventualmente la construcción de sistemas de drenaje subsuperficial, mediante la instalación de subdrenes en la zona; debido a esto último se considera la categoría de amenaza por deslizamiento como media.

9.7.1.4. Zona geotécnica 4

En la parte baja de la zona del proyecto se encuentra una capa muy delgada de coluvión clastosoportado, que cubre un horizonte espeso de areniscas de la Formación Guaduas. En la roca predominan familias de diaclasas con buzamientos cercanos a la vertical; los cuales eventualmente pueden generar desprendimientos locales; sin embargo, los taludes en la

actualidad están cubiertos con malla y mortero, y un muro de gaviones, reduciendo la probabilidad de desprendimiento de bloques locales.

10. VULNERABILIDAD

10.1. Generalidades

Los principales elementos a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), los análisis de vulnerabilidad se encaminaron a determinar los posibles daños en las edificaciones. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basa en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone⁴ y modificada por Soler et al⁵. En resumen, el trabajo consistió en:

- Clasificar la tipología de vivienda a nivel lote, determinando el nivel de daño que presenta actualmente la vivienda.
- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

10.2. Tipificación de viviendas

Para tipificar las viviendas se utilizó el criterio de Leone, el cual se resume en la siguiente tabla.

Tabla 12. Tipificación de las viviendas

TIPO EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	Tugurios (ranchos).
B2	Casas en mampostería o prefabricadas.
B3	Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).

⁴ Leone, F. (1999) **CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN**. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

⁵ Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). **METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA**. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

Las edificaciones encontradas en la zona de influencia del proyecto y su tipología respectiva se presentan en la Tabla 13. Las características de las edificaciones presentes en la zona se pueden apreciar de la Foto 24 a la Foto 30.

Tabla 13. Tipología de vivienda en la zona de estudio

Predio No.	Dirección	Contacto	Teléfono	Tipología
1	Carrera 90 No. 157-15	Octavio Méndez	3106961511	B3
2	Carrera 90 No. 157-13	Raúl Crisancho	6861659	B3
3	Carrera 90 No. 157-05	Raúl Crisancho	6861659	B1
4	Carrera 90 No. 156B-95	Manuel Zamudio		B1
5	Carrera 90 No. 156-95 (Villa Ximena)	Carmenza de Yepes		B3
6	Sin (Costado norte del predio de Octavio Méndez)	Hernando Berincure / Marlén Riaño		B1
7	Carrera 91 No. 157 - 82	Conjunto Aragón (Carlos Escamilla - Administrador)	6812164	B4
8	Carretera Suba - Cota No. 157 - 44	Colegio Antonio Nariño (Teniente Germán Sarmiento)	6820932 6815068	B3
9		Colegio Saint George	6849175	B3

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Foto 24. Predio de propiedad del señor Octavio Méndez, localizado en la Carrera 90 No. 157-15. Obsérvese el gran deterioro que ha sufrido la edificación por el movimiento del talud.



Foto 25. Al fondo se aprecia la casa ubicada en la Carrera 90 No. 157-13, de propiedad del señor Raúl Cristancho. Obsérvese el escarpe del tercer escarpe de falla, que amenaza la casa mencionada.

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 68
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Foto 26. Vivienda localizada en la Carrera 90 No. 157-05.



Foto 27. Vivienda localizada en el predio de propiedad del señor Manuel Zamudio (Carrera 90 No. 156B-95), actualmente habitada por el señor Javier Garzón.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Foto 28. Vivienda habitada por la señora Marlen Riaño, localizada al costado norte del predio del señor Octavio Méndez. El lote no tiene nomenclatura urbana, y es de propiedad del señor Hernando Berincure, según información dada por la señora Riaño.



Foto 29. Foto tomada desde la parte baja de la zona de estudio. Se aprecia al fondo el talud central (zona geotécnica 2), que puede afectar los predios del colegio Antonio Nariño. Se observa también, al costado izquierdo de la foto, el Conjunto Aragón.

APROBO: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PT-LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 70
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------



Foto 30. Panorámica desde la parte baja de la zona de estudio. Se observa el colegio Antonio Nariño y al fondo costado derecho el colegio Saint George, en frente del talud que se denominó en este estudio como zona geotécnica 3.

10.3. Calificación de los daños

10.3.1. Generalidades

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue el criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, tal como se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Clasificación de los daños según el DRM

ÍNDICE DE DAÑO (ID)	TIPO DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0.4 - 0.6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 - 0.8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	0.9 - 1.0

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(V_i - V_f)}{V_i}$$

Donde,

V_i : Valor inicial del bien (antes del evento).

V_f : Valor final del bien (después del evento).

10.3.2. Daños actuales

Para tener en cuenta los daños actuales se determinaron los índices de daño actual (de acuerdo con la inspección a las viviendas) y potencial. En la zona de estudio, los daños actuales se presentan en la casa del señor Octavio Méndez, los cuales se catalogan como V (ver Foto 31); las demás estructuras no presentan daños por el movimiento del terreno.



Foto 31. Vista lateral (hacia el norte) de la casa de propiedad del señor Octavio Méndez. La casa se encuentra deshabitada, por los grandes daños ocasionados por el deslizamiento. Obsérvense las fisuras en los muros.

10.3.3. Daños potenciales

En forma general, los daños potenciales de una estructura son una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto; en la Tabla 15 se presentan los criterios de resistencia y los modos de daño de las estructuras dependiendo del tipo de sollicitación.

Tabla 15. Criterios de resistencia de las estructuras según el tipo de solicitud⁶.

Tipo de solicitud	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostamiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo.

Las solicitudes dependen del tipo de movimiento (deslizamiento o caída de rocas, generalmente) y la localización relativa del elemento expuesto; es así como para los deslizamientos se pueden producir desplazamientos laterales o empujes laterales (bien sea que, el elemento expuesto este sobre el deslizamiento o en la parte baja del movimiento, respectivamente), y para la caída de rocas, generalmente, las solicitudes se asocian a los impactos.

Las viviendas de la parte alta pueden sufrir asentamientos y rupturas (modos de daño) debido a los desplazamientos laterales de la masa sobre la cual están cimentadas (ver Foto 32). Las edificaciones localizadas en la parte inferior (Conjunto Aragón y los colegios Antonio Nariño y Saint George), pueden eventualmente sufrir problemas por empujes laterales (ver Foto 33); sin embargo tal como se deduce de los análisis de las distancias de viaje (ver numeral 9.5.3), en promedio, las edificaciones no sufrirán daño por este tipo de movimiento, sin embargo, si se pueden ver afectados algunos predios del colegio Antonio Nariño y el parque infantil localizado en la parte posterior del Conjunto Aragón (ver Foto 34).

Los posibles daños producidos por el impacto de eventuales bloques de roca sobre los edificios del Conjunto Aragón se han eliminado debido a la construcción de un muro de gaviones que sirve como barrera entre el talud de roca y las edificaciones (ver Foto 35), motivo por el cual este tipo de solicitud no fue tomada en cuenta para la evaluación de la vulnerabilidad.

⁶ Adaptado de Leone (1996)

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Foto 32. Vista del asentamiento diferencial (aproximadamente 1 m) que afecto la casa del señor Octavio Méndez (al fondo).



Foto 33. Vista de la pata del deslizamiento de la zona geotécnica 2, la cual afecta parte de los predios del colegio Antonio Nariño; superficialmente se ven flujos de lodos. El movimiento no ha afectado estructuras existentes en la parte inferior (colegio Antonio Nariño y Conjunto Aragón).

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.



Foto 34. Parque infantil localizado en la parte posterior del Conjunto Aragón y que puede verse afectado eventualmente por el movimiento del talud del sector central de la zona de estudio (zona geotécnica 2). Al fondo se puede observar el muro (en color verde) que separa el parque del Colegio Antonio Nariño, el cual también puede colapsar por los posibles empujes de la masa de suelo potencialmente inestable.



Foto 35. Vista desde arriba del muro en gaviones construido para evitar caída de bloques del macizo rocoso sobre los edificios del Conjunto Aragón.

Para la evaluación de los posibles daños en cada una de las edificaciones objeto del estudio, se realizó una matriz de daño que relaciona la resistencia de la edificación y una calificación cualitativa de la sollicitación (ver Tabla 16).

Tabla 16. Matriz de daño

SOLICITACIÓN	TIPOLOGIA			
	B1	B2	B3	B4
Muy Alta	V	V	IV	IV
Alta	V	V	IV	III
Media	V	IV	III	III
Baja	IV	III	III	II
Muy Baja	III	II	II	I

10.4. Índice de vulnerabilidad física (IVF)

Los dos índices de daño determinados antes (IDA e IDp) se cuantifican por medio de conjuntos difusos (ver Figura 17) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas (IPa, asociado al IDa; y el IPP, asociado al IDp). Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996).

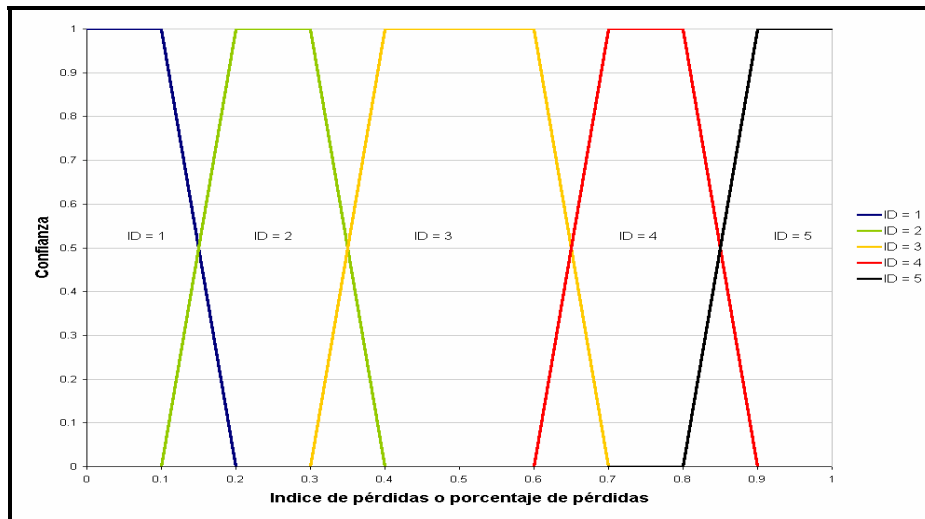


Figura 17. Valoración del índice de pérdidas por conjuntos difusos

Dado que se tienen dos índices, se determinó el índice de vulnerabilidad física (IVF) como la ocurrencia de alguno de los dos índices de daños determinados (expresado como índices de pérdidas), es decir:

$$IVF = P (IPa \cup IPP) = IPa + IPP - IPa \times IPP$$

10.5. Mapa de vulnerabilidad por deslizamientos

Con base en los resultados de los análisis de vulnerabilidad (ver AnexoVI) se elaboró el Plano de Vulnerabilidad (ver Plano GE117-PL-10), donde se categorizó la vulnerabilidad de cada uno de los elementos expuestos (edificaciones) de acuerdo con el valor del IVF promedio (hallado como el centroide de área del número difuso), teniendo en cuenta los criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler A. J. González y otros, los cuales se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Criterios de categorización de la vulnerabilidad

CATEGORIA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA	IVF promedio ≥ 0.65
MEDIA	$0.35 \leq$ IVF promedio < 0.65
BAJA	IVF promedio < 0.35

11. EVALUACIÓN DEL RIESGO

11.1. Método de análisis

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E, S, A} = \int P(e) P_{(E, S, A)}$$

en donde,

$R_{E, S, A}$ Es el riesgo ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A).

$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; denominado también amenaza (H).

$P_{(E, S, A)}$ Es la pérdida en el sector ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A) que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad por predio, se puede estimar el riesgo físico individual por vivienda definiendo el índice de riesgo (IR) como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la Figura 18.

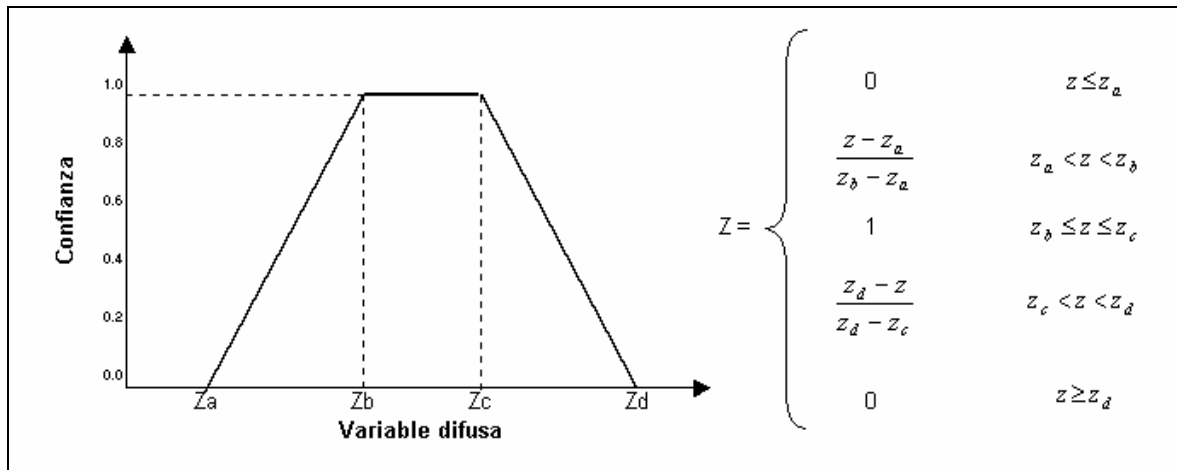


Figura 18. Conjuntos difusos trapezoidales

Una vez calculado el índice de riesgo representado como una variable difusa se puede calcular el riesgo como la probabilidad de excedencia de las pérdidas, habiendo dos posibilidades de calcularla:

11.1.1. Hipótesis 1

En este caso se pueden determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente. Es decir,

11.1.1.1. Media

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z) dz, \quad \text{para la esperanza o media.}$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\mu = z_a + \frac{1}{A} \left[\frac{4A_1^2}{3} + A_2 \left(\frac{A_2}{2} + 2A_1 \right) + A_3 \left(A_2 + 2A_1 + \frac{2A_3}{3} \right) \right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

11.1.1.2. Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z - \mu)^2 \cdot f(z) dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_\mu}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1 \left[\mu - \left(\frac{2z_b + z_a}{3} \right) \right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2 \left[\mu - \left(\frac{z_c + z_b}{2} \right) \right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3 \left[\mu - \left(\frac{z_d + 2z_c}{3} \right) \right]^2$$

Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del factor de seguridad se calcula la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a 1 (probabilidad de falla) ajustándolo a distribuciones de probabilidad tipo normal o lognormal.

11.1.2. Hipótesis 2

Se calcula la probabilidad de excedencia de un valor dado como,

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z dz} \quad Z \equiv IR$$

Para un conjunto difuso trapezoidal, la anterior ecuación da como resultado lo presentado en la siguiente figura.

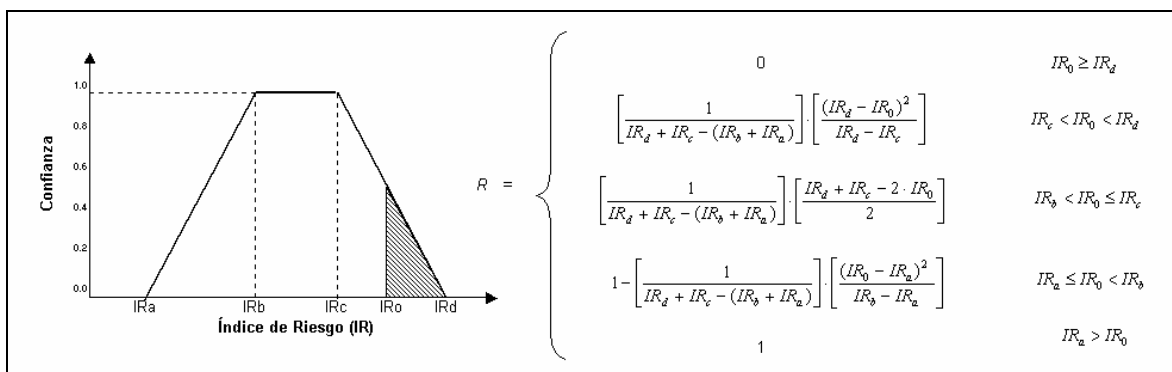


Figura 19. Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

11.2. Criterios aplicados y resultados obtenidos

Para el caso de estudio, se aplicó la hipótesis 2 determinando la probabilidad de excedencia de las pérdidas para los valores de 0.1 y 0.3. El riesgo se categorizó en los tres niveles presentados en la Tabla 18.

Tabla 18. Categorización del riesgo

Categoría del riesgo	Criterio
Alta	El porcentaje de pérdidas esperadas es mayor al 30%
Media	El porcentaje de pérdidas esperadas está entre el 10% y el 30%
Baja	El porcentaje de pérdidas esperadas es menor al 10%

Los resultados de los análisis se presentan en el Anexo VI y se visualizan en el Plano GE117-PL-11.

12. ANALISIS COSTO/BENEFICIO

12.1. Método de análisis

La metodología utilizada para el análisis de costo/beneficio es la de Costo por Vida Salvada (CVS)⁷, el cual consiste en relacionar la diferencia de pérdidas esperadas entre una situación con obras y la situación actual, con la diferencia en personas perjudicadas entre la condición actual y la situación con obras, es decir:

$$CVSi = \frac{E(Ai) - E(Ao)}{E(Po) - E(Pi)}$$

Donde,

CVSi	:	Costo por vida salvada de la alternativa I.
E(Ai)	:	Costo esperado de las pérdidas para la alternativa I.
E(Ao)	:	Costo esperado de las pérdidas para la situación actual.
E(Pi)	:	Costo esperado de las personas afectadas para la alternativa I.
E(Po)	:	Costo esperado de las personas afectadas para la situación actual.

De otra parte:

$$E(Ai) = Coi + E(Ci) = Coi + IRi * PVa$$

Donde,

Coi	:	Costo de la obra.
IRi	:	Índice de riesgo promedio de las viviendas afectadas ⁸ .
Pva	:	Valor de las viviendas afectadas.

Para el cálculo del índice de riesgo de la alternativa (IRi) se analizaron las probabilidades de falla de los taludes con cada una de las obras planteadas en las alternativas, teniendo en cuenta la probabilidad de falla de la obra y realizando el cálculo de la probabilidad total.

Es de anotar que, todas las alternativas se están comparando con la situación actual, en donde las pérdidas esperadas están dadas por:

$$E(Ao) = IRo * PVa$$

⁷ Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996

⁸ Para el caso de reubicación se tomó un índice del 20%.

Donde,

IRo : Índice de riesgo promedio actual.

Para el número esperado de personas afectadas, se toma el número de personas y se multiplica por el respectivo índice de riesgo promedio.

El criterio de selección es el de menor costo por vida salvada.

12.2. Análisis de alternativas

Las alternativas para el mejoramiento de la disminución de la amenaza en la zona están concentradas en la zona geotécnica 2 (perfil de análisis E-E) ya que es la que presenta mayor amenaza en la zona; para las otras zonas, se recomienda aumentar su factor de seguridad (disminuir la probabilidad de falla) llevando a cabo obras de drenaje subsuperficial (trincheras).

Se plantearon tres (3) alternativas de manejo de la zona central (ver Planos GE117-PL-12 y GE117-PL-13), a saber:

12.2.1. Alternativa 1

Contempla la construcción de una pantalla drenante al borde de la carrera 90, que entrega sus aguas a un descole en sacos de suelo cemento, el cual, para su desagüe, se deberá conectar al alcantarillado localizado en la parte inferior de la zona de estudio (costado norte del conjunto Aragón). Adicionalmente, se contempla el terraceo de la zona (retirando gran parte del material deslizado actualmente), y realizando un drenaje profundo (drenes horizontales o de penetración) y superficial (cunetas), entregando las aguas recolectadas al descole principal enunciado anteriormente.

Como medida preventiva, se contempla también la construcción de un dique y malla de cerramiento en la parte inferior del deslizamiento, con el fin de crear un aislamiento de los predios de los colegios y el conjunto Aragón y el talud.

Los costos de esta alternativa se desglosan en la tabla presentada a continuación.

Tabla 19. Costos de la Alternativa 1

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Localización y replanteo	global	1	\$ 1,500,000	\$ 1,500,000
Excavación mecánica	m3	15,800	\$ 5,000	\$ 79,000,000
Transporte y disposición de material sobrante	m3	15,800	\$ 6,450	\$ 101,910,000
Relleno compactado con material del sitio	m3	4,100	\$ 5,942	\$ 24,362,200
Cuneta en piedra	ml	435	\$ 37,900	\$ 16,486,500
Descole en sacos de suelo-cemento	ml	170	\$ 65,000	\$ 11,050,000
Dren de penetración	ml	560	\$ 111,077	\$ 62,203,120
Empradización	m2	10,633	\$ 13,478	\$ 143,311,574
Valor total de las obras contempladas en la Alternativa 1				\$ 439,823,394

12.2.2. Alternativa 2

Para aumentar el factor de seguridad, especialmente en la parte superior donde se localiza la casa del señor Raúl Cristancho, y disminuir el riesgo de posibles asentamientos diferenciales de la casa mencionada, se analiza una segunda alternativa, que además de las obras contempladas en la Alternativa 1 contemplan la construcción de una fila de anclajes en la primera terraza propuesta vista de la parte alta a la parte baja del talud (cota 2608 msnm). Los costos de estas obras se presentan en la Tabla 20)

12.2.3. Alternativa 3

Contempla todas las obras planteadas en la Alternativa 2, más una segunda fila de anclajes (localizados en la cota 2598 msnm); los costos se presentan en la Tabla 21)

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

Tabla 20. Costos de la Alternativa 2

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Localización y replanteo	global	1	\$ 1,500,000	\$ 1,500,000
Excavación mecánica	m3	15,800	\$ 5,000	\$ 79,000,000
Transporte y disposición de material sobrante	m3	15,800	\$ 6,450	\$ 101,910,000
Relleno compactado con material del sitio	m3	4,100	\$ 5,942	\$ 24,362,200
Pantalla anclada en concreto reforzado (no incluye anclajes)	m3	95	\$ 450,000	\$ 42,750,000
Anclajes	ml	200	\$ 220,000	\$ 44,000,000
Cuneta en piedra	ml	435	\$ 37,900	\$ 16,486,500
Descole en sacos de suelo-cemento	ml	170	\$ 65,000	\$ 11,050,000
Dren de penetración	ml	560	\$ 111,077	\$ 62,203,120
Empradización	m2	10,633	\$ 13,478	\$ 143,311,574
Valor total de las obras contempladas en la Alternativa 2				\$ 526,573,394

Tabla 21. Costos de la Alternativa 3

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Localización y replanteo	global	1	\$ 1,500,000	\$ 1,500,000
Excavación mecánica	m3	15,800	\$ 5,000	\$ 79,000,000
Transporte y disposición de material sobrante	m3	15,800	\$ 6,450	\$ 101,910,000
Relleno compactado con material del sitio	m3	4,100	\$ 5,942	\$ 24,362,200
Pantalla anclada en concreto reforzado (no incluye anclajes)	m3	183	\$ 450,000	\$ 82,350,000
Anclajes	ml	375	\$ 220,000	\$ 82,500,000
Cuneta en piedra	ml	435	\$ 37,900	\$ 16,486,500
Descole en sacos de suelo-cemento	ml	170	\$ 65,000	\$ 11,050,000
Dren de penetración	ml	560	\$ 111,077	\$ 62,203,120
Empradización	m2	10,633	\$ 13,478	\$ 143,311,574
Valor total de las obras contempladas en la Alternativa 3				\$ 604,673,394

12.3. Análisis de amenaza con obras

Los resultados de los análisis probabilísticos de estabilidad para las alternativas propuestas se presentan en el Anexo VII, y se resumen a continuación.

Tabla 22. Resultados probabilísticos de estabilidad para las alternativas planteadas

	Actual	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
FS PROMEDIO	1.10	1.30	1.51	1.57
FS Minimo	0.74	0.50	0.74	0.74
FS Maximo	1.46	1.69	1.96	2.02
X	0.500	0.672	0.631	0.648
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.120	0.130	0.150	0.150
ALFA1	8.111	8.050	5.903	5.907
ALFA2	8.111	3.925	3.450	3.203
PROBABILIDAD DE FALLA	13.05%	3.67%	0.30%	0.19%

12.4. Análisis de decisiones

La selección de la medida de mitigación a implementar en la zona se toma por el menor índice CVS obtenido de los análisis de costo - beneficio, es decir, la alternativa 2 (ver Tabla 23).

Tabla 23. Análisis costo - beneficio

Alternativa	Costo obra (Co)	IR		Costo daños posibles		Personas afectadas		CVS	Costo por Vida Salvada CVS		
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Promedio
Actual	0	15.0%	11.0%	90,000,000	66,000,000	1	1				
1	439,823,394	6.0%	2.0%	475,823,394	451,823,394	0	0	857385320	857,385,320	857,385,320	857,385,320
2	526,573,394	2.0%	0.0%	538,573,394	526,573,394	0	0	837406171	837,406,171	690,112,914	763,759,542
3	604,673,394	1.0%	0.0%	610,673,394	604,673,394	0	0	979406171	979,406,171	743,819,134	861,612,653
Reubicación	600,000,000	1.5%	1.1%	609,000,000	606,600,000	0	0	1092121212	1,092,121,212	768,888,889	930,505,051

13. DISEÑO DE ALTERNATIVAS PLANTEADAS

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios realizados, a continuación se presentan las obras recomendadas para mitigar el riesgo por deslizamientos en la zona de estudio; los presupuestos, cronograma de ejecución y especificaciones de construcción de las obras propuestas se presentan en el Anexo VIII.

13.1. Medidas de emergencia inmediatas

De acuerdo con los resultados de los análisis realizados y a la visita técnica efectuada el 21 de enero del año 2005, para la atención de la emergencia presentada entre los predios del señor Octavio Méndez y el señor Raúl Cristancho, quienes reportaron la rotura del tanque por la presencia de un deslizamiento activo, se concluyó que:

Durante la visita se encontró que el escarpe del deslizamiento principal, localizado entre los predios del señor Octavio Méndez y Raúl Cristancho, se incrementó en un metro de altura y generó la caída de un tanque de agua potable localizado en la corona de dicho escarpe (ver Foto 36). Este escarpe ya había sido detectado en el segundo informe de avance del mes de diciembre de 2004.



Foto 36. Tanque localizado en el tercer escarpe, al costado sur-occidental de la casa del señor Méndez. Este tanque falló por la pérdida de soporte generada por el hundimiento de falla. Recientemente el tanque se partió por la mitad y cayó a la parte baja.

Es importante destacar que unos diez metros detrás de este escarpe, se está insinuando un cuarto escarpe de falla (ver Foto 37), el cual indica una clara tendencia retrogresiva del deslizamiento que puede dejar en un futuro cercano, en riesgo potencial de falla el predio del señor Raúl Cristancho.



Foto 37. Al costado sur del predio del señor Raúl Cristancho, se está generando un cuarto escarpe que puede afectar la casa quinta; se considera necesario la ejecución de obras antes que el deslizamiento evolucione regresivamente y genere daños sobre esta propiedad.

En la parte baja a la altura del segundo escarpe, se ha incrementado la altura de los escalonamientos y el movimiento progresivo del deslizamiento ha generado el desprendimiento y la caída de varios eucaliptos (ver Foto 38).



Foto 38. Esquina nor occidental de la casa de Don Octavio. Se generó el desprendimiento y la caída de un eucalipto, el cual se volcó hacia la zona del parque infantil; en donde existe una pequeña terraza natural justo debajo de la pata del deslizamiento.

Por otra parte existe preocupación de parte de la comunidad de los colegios Antonio Nariño y de la urbanización Aragón, localizadas en la parte baja del cerro, frente a la posibilidad de

afectaciones y daños que puedan generarse por el deslizamiento. Ante esta situación se propone acometer las siguientes medidas inmediatas, de prevención y control:

1. Solicitar a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá que efectúen una inspección interna de una línea de acueducto que se localiza a lo largo de la carrera 90 (parte alta de la ladera), la cual presenta aparentemente fugas por posibles conexiones ilegales o roturas en el mismo, que pueden ser una fuente permanente de agua que se infiltra en el suelo. De igual manera se solicita revisar la línea de alcantarillado que se prolonga sobre la misma vía y puede presentar problemas similares; ante la comprobación de fugas se debe establecer con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, las medidas correctivas pertinentes.
2. En la parte baja del cerro se recomienda colocar a la altura del parque infantil un dique de retención de sedimentos del orden de 1.50 m de altura, con el fin de aprovechar esta pequeña terraza como zona de amortiguamiento ante una eventual falla masiva de la ladera o la generación de pequeños flujos de lodos que invadan la zona urbanizada; se recomienda además la colocación de un cerramiento provisional con el fin de evitar el ingreso, de personas a dicho sector.
3. Suspender el pozo séptico que se encuentra localizado en el predio del señor Raúl Cristancho el cual puede acelerar el problema de falla en este sector.
4. Con el fin de generar un sistema de alarma para seguridad de la comunidad que reside en la parte baja, antes de que se inicien las obras finales de estabilización, se recomienda implementar un monitoreo permanente de deformaciones mediante la instalación de unos 6 a 8 mojones en el cuerpo del deslizamiento; mediante este sistema se puede informar oportunamente a la comunidad ante una eventual aceleración del movimiento de falla del cuerpo deslizante estimado entre 20000 y 25000 m³. Igualmente se recomienda la instalación de dos (2) piezómetros.

El presupuesto de las obras de control planteadas (dique en suelo – cemento y cerramiento) se presenta a continuación.

Tabla 24. Presupuesto de obras de emergencia inmediatas

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Dique en suelo - cemento	m3	113	\$ 65,000	\$ 7,345,000
Columneta de anclaje	unidad	77	\$ 20,000	\$ 1,540,000
Cerramiento en malla eslabonada	ml	113	\$ 150,000	\$ 16,950,000
Valor total de las obras				\$ 25,835,000

13.2. Obras de control a corto plazo

Como complemento a las medidas de emergencia planteadas en el numeral anterior, se recomienda llevar a cabo las obras recomendadas para la zona geotécnica 2 y planteadas en la alternativa 2, que contemplan:

- Terraceo.
- Obras de drenaje (drenes profundos, trincheras y cuentas).
- Una fila de anclajes en la cota 2608 msnm.

Los costos de esta propuesta se presentan en la Tabla 20, cuya valor asciende a la suma de QUINIENTOS VEINTISEIS MILLONES QUINIENTOS SETENTA Y TRES MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y CUATRO PESOS (\$526,573,394).

13.3. Obras preventivas a largo plazo

Las obras preventivas a largo plazo recomendadas en los predios adyacentes a la zona geotécnica 2 (zonas geotécnicas 1 y 3), corresponden a obras de drenaje subsuperficial (trincheras y cunetas), cuyo valor se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 25. Valor obras de drenaje superficial Zona geotécnica 1

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cuneta en piedra	ml	150	\$ 37,900	\$ 5,685,000
Trincheras tipo 1	ml	898	\$ 146,069	\$ 131,169,962
Tubería de 6"	ml	145	\$ 50,000	\$ 7,250,000
Cajas colectoras	unidad	4	\$ 322,400	\$ 1,289,600
Valor total				\$ 145,394,562

Tabla 26. Valor obras de drenaje superficial Zona geotécnica 3

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Trincheras tipo 1	ml	291	\$ 146,069	\$ 42,506,079
Cajas colectoras	unidad	1	\$ 322,400	\$ 322,400
Valor total				\$ 42,828,479

ESTRUCTURACIÓN GENERAL DEL INFORME FINAL

- TOMO I** - **Informe general.**
TOMO II - **Planos.**
TOMO III - **Anexos.**
TOMO IV - **Resumen ejecutivo.**

TABLA DE CONTENIDO - TOMO I

	<i>Pág.</i>
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Descripción general del área de estudio.....	1
1.2. Recopilación de información secundaria.....	6
1.3. Método de análisis.....	6
2. TOPOGRAFÍA.....	9
2.1. Generalidades.....	9
2.2. Descripción de actividades.....	9
3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO.....	10
3.1. Exploración del subsuelo.....	10
3.1.1. Exploración del subsuelo en forma directa.....	10
3.1.1.1. Sondeos mecánicos.....	10
3.1.1.2. Trincheras.....	11
3.1.2. Exploración del subsuelo en forma indirecta.....	11
3.2. Ensayos de laboratorio.....	11
4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	11
4.1. Introducción.....	11
4.2. Geología.....	12
4.2.1. Geología regional.....	12
4.2.1.1. Generalidades.....	12
4.2.1.2. Estratigrafía.....	12
4.2.1.3. Marco tectónico regional.....	13
4.2.2. Geología local.....	14
4.2.2.1. Generalidades.....	14
4.2.2.2. Estratigrafía.....	14
4.2.2.3. Evaluación estructural.....	16
4.3. Geomorfología.....	17
4.3.1. Generalidades.....	17
4.3.2. Geoformas.....	17

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI - LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA i
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

4.3.2.1.	Zonas de contraescarpa (I)	17
4.3.2.2.	Laderas coluviales.....	17
4.3.2.3.	Zonas planas antrópicas (IV)	18
4.3.2.4.	Ladera plana inclinada (V).....	18
4.3.3.	Morfodinámica	18
5.	ASPECTOS CLIMÁTICOS, HIDROLÓGICOS, E HIDROGEOLÓGICOS.....	19
5.1.	<i>Generalidades</i>	19
5.2.	<i>Hidrografía</i>	19
5.3.	<i>Hidrogeología</i>	20
5.4.	<i>Clima</i>	20
5.4.1.	Temperatura, evaporación y humedad relativa.....	20
5.4.2.	Precipitación	22
5.4.2.1.	Régimen pluviométrico	22
5.4.2.2.	Lluvia crítica (relación lluvia – deslizamiento).....	23
6.	ASPECTOS SISMOLÓGICOS.....	24
6.1.	<i>Marco tectónico regional</i>	24
6.2.	<i>Marco tectónico local</i>	25
6.3.	<i>Sismicidad histórica</i>	26
6.4.	<i>Aspectos sísmico-tectónicos de la ciudad de Bogotá</i>	28
6.5.	<i>Componentes locales de la amenaza sísmica</i>	30
7.	COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO.....	31
7.1.	<i>Generalidades</i>	31
7.2.	<i>Construcciones o edificaciones</i>	32
7.3.	<i>Cultivos y parcelas</i>	33
7.4.	<i>Vegetación herbácea descubierta</i>	33
7.5.	<i>Bosques</i>	33
7.6.	<i>Tierras eriales</i>	34
8.	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	34
8.1.	<i>Zona 1: costado norte</i>	34
8.1.1.	Delimitación del área.....	34
8.1.2.	Descripción de problemas geotécnicos.....	35
8.1.3.	Estratigrafía del suelo	37
8.1.3.1.	Descripción de la exploración	37
8.1.3.2.	Perfil del suelo	38
8.2.	<i>Zona 2: sector central</i>	39
8.2.1.	Delimitación del área.....	39
8.2.2.	Descripción de problemas geotécnicos.....	40
8.2.2.1.	Antecedentes	40
8.2.2.2.	Condición actual del deslizamiento.....	41
8.2.2.3.	Otros problemas geotécnicos menores	46
8.2.3.	Estratigrafía del suelo	47

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C. – FOPAE

Estudio de Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras Recomendadas para Estabilizar el Sector que Separa los Barrios Tuna Alta y El Salitre de la Localidad de Suba, en la ciudad de Bogotá D.C.

8.2.3.1.	Descripción de la exploración	47
8.3.	Zona 3.....	49
8.3.1.	Delimitación del área.....	49
8.3.2.	Problemas geotécnicos	49
8.3.3.	Estratigrafía del suelo	50
8.3.3.1.	Descripción de la exploración	50
8.3.3.2.	Perfil del suelo	51
8.4.	Zona IV: Afloramientos de roca	51
9.	AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS	54
9.1.	Generalidades	54
9.2.	Probabilidades de falla	54
9.3.	Factores intrínsecos	57
9.3.1.	Parámetros de resistencia.....	57
9.3.2.	Parámetros de deformación	59
9.4.	Factores detonantes	59
9.4.1.	Condiciones del agua subterránea.....	59
9.4.2.	Sismo	60
9.5.	Modelos utilizados.....	60
9.5.1.	Modelo de equilibrio límite	60
9.5.2.	Modelos de elementos finitos	61
9.5.3.	Recorrido de los deslizamientos	63
9.6.	Categorización de la amenaza	63
9.7.	Resultados obtenidos.....	63
9.7.1.1.	Zona geotécnica 1	64
9.7.1.2.	Zona geotécnica 2 - parte central	65
9.7.1.3.	Zona geotécnica 3	65
9.7.1.4.	Zona geotécnica 4	65
10.	VULNERABILIDAD.....	66
10.1.	Generalidades	66
10.2.	Tipificación de viviendas	66
10.3.	Calificación de los daños	71
10.3.1.	Generalidades	71
10.3.2.	Daños actuales	72
10.3.3.	Daños potenciales	72
10.4.	Índice de vulnerabilidad física (IVF)	76
10.5.	Mapa de vulnerabilidad por deslizamientos	77
11.	EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	77
11.1.	Método de análisis	77
11.1.1.	Hipótesis 1	78
11.1.1.1.	Media	78
11.1.1.2.	Varianza	79
11.1.2.	Hipótesis 2	80
11.2.	Criterios aplicados y resultados obtenidos	80

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI - LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA iii
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	----------------------

12.	ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO	81
12.1.	<i>Método de análisis</i>	81
12.2.	<i>Análisis de alternativas</i>	82
12.2.1.	Alternativa 1	82
12.2.2.	Alternativa 2	83
12.2.3.	Alternativa 3	83
12.3.	<i>Análisis de amenaza con obras</i>	85
12.4.	<i>Análisis de decisiones.....</i>	85
13.	DISEÑO DE ALTERNATIVAS PLANTEADAS	85
13.1.	<i>Medidas de emergencia inmediatas</i>	86
13.2.	<i>Obras de control a corto plazo.....</i>	89
13.3.	<i>Obras preventivas a largo plazo</i>	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Mojones de referencia del levantamiento topográfico realizado.....	10
Tabla 2.	Ensayos de laboratorio	11
Tabla 3.	Procesos morfodinámicos.....	18
Tabla 4.	Sismos históricos en la ciudad de Bogotá	28
Tabla 5.	Condiciones geoestructurales de la zona norte.....	52
Tabla 6.	Condiciones geoestructurales de la zona sur	52
Tabla 7.	Características de las diferentes familias de discontinuidades	53
Tabla 8.	Parámetros de resistencia de los diferentes materiales.....	59
Tabla 9.	Parámetros elastoplásticos.....	59
Tabla 10.	Categorización de la amenaza en la zona de estudio.....	63
Tabla 11.	Resultados probabilísticos de estabilidad.....	64
Tabla 12.	Tipificación de las viviendas.....	66
Tabla 13.	Tipología de vivienda en la zona de estudio	67
Tabla 14.	Clasificación de los daños según el DRM.....	71
Tabla 15.	Criterios de resistencia de las estructuras según el tipo de solicitud.....	73
Tabla 16.	Matriz de daño.....	76
Tabla 17.	Criterios de categorización de la vulnerabilidad	77
Tabla 18.	Categorización del riesgo	80
Tabla 19.	Costos de la Alternativa 1	83
Tabla 20.	Costos de la Alternativa 2	84
Tabla 21.	Costos de la Alternativa 3	84
Tabla 22.	Resultados probabilísticos de estabilidad para las alternativas planteadas	85
Tabla 23.	Análisis costo - beneficio	85
Tabla 24.	Presupuesto de obras de emergencia inmediatas.....	88
Tabla 25.	Valor obras de drenaje superficial Zona geotécnica 1.....	89
Tabla 26.	Valor obras de drenaje superficial Zona geotécnica 3.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la zona de estudio.....	2
Figura 2. Localización específica del área de estudio	3
Figura 4. Valores mensuales de temperatura.....	21
Figura 5. Valores mensuales de evaporación	21
Figura 6. Valores mensuales de humedad relativa	22
Figura 7. Valores mensuales de precipitación.....	23
Figura 8. Mapas de actividad de fallas de las regiones Nor-occidental y Sur-oriental de la ciudad de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).....	25
Figura 9. Mapas de Registros Históricos de sismos de la ciudad de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).....	27
Figura 10. Aceleración local máxima probable obtenida en el modelo neotectónico del EMS, (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)	29
Figura 11. Espectros de respuesta sísmica para los tres sismos de diseños, bases del estudio de respuesta sísmica de Bogotá. (tomado del EMS de Bogotá, 1997).....	30
Figura 12. Espectro local de aceleraciones en la Zona 1-Cerros. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).....	31
Figura 13. Parámetros de resistencia obtenidos del ensayo SPT.....	58
Figura 14. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial.....	60
Figura 15. Falla del talud generada por saturación del depósito coluvial; vectores de desplazamiento incremental.	62
Figura 16. Falla local en el talud generada por perdida gradual de resistencia en el suelo.	62
Figura 17. Valoración del índice de pérdidas por conjuntos difusos.....	76
Figura 18. Conjuntos difusos trapezoidales.....	78
Figura 19. Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales	80

LISTADO DE ANEXOS

Anexo I.	Levantamiento topográfico.
Anexo II.	Investigación del subsuelo.
Anexo III.	Geología estructural.
Anexo IV.	Hidrología.
Anexo V.	Análisis de amenaza.
Anexo VI.	Análisis de vulnerabilidad y riesgo.
Anexo VII.	Alternativas de mitigación.
Anexo VIII.	Presupuestos, cronograma y especificaciones técnicas de obras propuestas.

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI - LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA 2	PÁGINA v
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	--------------------	--------------------

LISTADO DE PLANOS

GE117-PL-01	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y EXPLORACION DEL SUBSUELO
GE117-PL-02	GEOLOGIA REGIONAL
GE117-PL-03	GEOLOGIA LOCAL
GE117-PL-04	GEOMORFOLOGIA
GE117-PL-05	PROCESOS
GE117-PL-06	USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL
GE117-PL-07	ZONIFICACION GEOTECNICA
GE117-PL-08	SECCIONES GEOTECNICAS
GE117-PL-09	AMENAZA
GE117-PL-10	VULNERABILIDAD
GE117-PL-11	RIESGO
GE117-PL-12	ALTERNATIVA DE MITIGACION
GE117-PL-13	CORTES Y DETALLES

APROBÓ: Ing. Gustavo Lara - FOPAE	ELABORÓ: CONSORCIO PI - LAMBDA	INFORME N° GE-117	FECHA: 28/02/05	REVISIÓN N° 2	PÁGINA vi
---	--	-----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------