

**ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA  
PARA LOS ASENTAMIENTOS BRISAS DEL VOLADOR PARTE ALTA  
Y TABOR – ALTA LOMA, DE LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLÍVAR,  
EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

**CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 283 DE 2003**

**INFORME EJECUTIVO**

**1. GENERALIDADES**

El área de estudio comprende los asentamientos de origen ilegal identificados como “Brisas del Volador Parte Alta y Tabor – Alta Loma” de la Localidad Ciudad Bolívar. Abarca unas 14.0 ha sobre una franja de terreno de forma alargada, del orden de 100.0 a 250.0 m de ancho y de 950.0 m de largo correspondiente a la parte alta del Cerro del Volador.

Para referenciar la zona de estudio según la nomenclatura urbana, sus límites se establecieron así: al Norte, la Vía que conduce al Barrio Bella Flor; al Oeste, predios no ocupados; al Sur, predios no ocupados; y al Este, los Barrios Los Alpes y Brisas del Volador.

Se localiza en el sector Suroccidental del Distrito Capital, dentro de la Localidad de Ciudad Bolívar, en donde la presión urbanística ha afectado la parte alta de la Cuenca de la Quebrada de Limas con asentamientos informales localizados en sectores de ladera de alta pendiente, y en donde los factores antrópicos generados por el mismo desarrollo urbano, condicionan la estabilidad.

**2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

Los trabajos de topografía se desarrollaron entre el 27 de octubre y el 1 de noviembre y entre el 4 y el 8 de noviembre de 2003, con un total de 7194 puntos radiados. Adicionalmente se materializaron tres mojones en campo para amarre a coordenadas reales de futuros trabajos en la zona; dichos mojones se encuentran referenciados en la **Tabla 2. 1**.

**Tabla 2. 1 Coordenadas de mojones materializados en la zona de estudio**

<b>Mojón</b>	<b>Coordenada Norte</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Cota</b>
<b>1</b>	93839.42	91121.73	2832.90
<b>2</b>	94271.10	91216.34	2889.43
<b>3</b>	94515.66	91199.72	2858.71

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 1
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-----------------------

El amarre a coordenadas IGAC se realizó con los Vértices CD 616 (certificación del IGAC 022646 del 2 de diciembre de 2003 a nombre de Edwin Gaitán; recibo número SB277863 del 1 de Diciembre de 2003), en cercanías a otro tanque del acueducto en la siguiente elevación al norte de la zona de trabajo, en los alrededores del Barrio Jerusalén. El azimut se tomó con respecto a la Cruz de la Iglesia de Monserrate.

A través del programa TRANSIT se llevó a cabo la manipulación de las carteras electrónicas para la modificación de las coordenadas iniciales y el azimut inicial para determinar la posición real de todos los puntos radiados. El dibujo se realizó en AutoCAD R14 y las curvas de nivel en SURFER 8.0.

### 3. INVENTARIO DE VIVIENDAS

Del inventario de los 788 predios identificados en la zona de estudio, pudieron obtenerse, entre otros, los resultados de la **Tabla 3. 1**.

**Tabla 3. 1 Tipificación de las viviendas (Leone, 1996) y distribución en la zona de estudio**

TIPO DE PREDIO	DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL DE PREDIOS (%)
B1	Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural, denominadas generalmente de recuperación, tugurios o ranchos.	50.7
B2-Mampostería	Construcciones de calidad regular a mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuados.	17.9
B2-Prefabricada		5.6
B3	Construcciones de buena calidad, realizadas con materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc.) de hasta dos (2) niveles	12
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y cimentación adecuados. Poseen más de dos niveles.	1.3
L.V.	Lotes vacíos	12.5

### 4. GEOLOGÍA REGIONAL

El Estudio Geológico Regional fue elaborado con base en información secundaria y visitas de campo, las cuales tuvieron como objetivo verificar la existencia de un anticlinal fallado de carácter regional y establecer los contactos de la Formación Plaeners con la Formación Labor. Adicionalmente permitió establecer la existencia de otra falla no cartografiada. El mapa correspondiente es la **Figura 4. 1**.

**Figura 4. 1 Geología Regional**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 3
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-----------------------

En mapas existentes se identificaba la Formación Plaeners en la zona de estudio; sin embargo, con las visitas de campo se corroboró que dicha Formación se encuentra fuera de la misma y en cercanías de la Quebrada de Limas, presentando cambios bruscos de buzamientos que explican la distribución espacial de ésta última.

#### **4.1. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL**

En este sector de la ciudad se exponen las rocas del Cretáceo superior correspondiente a las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna y la Formación Guaduas del Cretáceo Superior y Terciario Inferior. Estas unidades litológicas forman parte del flanco oriental de una estructura anticlinal cuyo eje se localiza al occidente de la Quebrada de Limas, y ha sido muy deformada por efectos tectónicos.

##### **4.1.1. Unidades de roca del Cretáceo Superior (Ksg)**

Las rocas del cretáceo se encuentran conformadas por las areniscas y arcillolitas de Grupo Guadalupe, el cual se encuentra dividido en cuatro formaciones, a saber, de inferior a superior: Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Arenisca Labor (Ksgl) y Arenisca Tierna (Ksgt).

*Formación Arenisca Tierna (Ksgt):* Conformada por capas de areniscas de grano grueso y conglomeráticas, en mantos arenosos masivos con delgadas intercalaciones de arcillositas; hacia la parte superior de la unidad las capas de arenisca se vuelven masivas, de color gris claro, cuarzosas y muy friables.

*Formación Arenisca Labor (Ksgl):* Areniscas de grano fino a conglomerática, de color blanco a gris, con intercalaciones delgadas de lodolitas silíceas. Se caracteriza por la presencia de las areniscas en mantos gruesos a muy gruesas, con espesores de hasta 5.0 m.

*Formación Plaeners (Ksgp):* Conformada por lodolitas silíceas colores grises y marrones, arcillosas, con intercalaciones de arcillolitas grises caolínicas, y areniscas cuarzosas bien cementadas, de grano fino a muy fino, en capas delgadas con estratificación laminar.

*Formación Arenisca Dura (Ksgd):* Sucesión de areniscas de grano fino a medio, blancas a gris amarillento, cuarzosas, con cemento silíceo, duras y bien seleccionadas con algunos niveles de limolitas silíceas.

##### **4.1.2. Unidades de roca del Terciario (TKg)**

Estas unidades se exponen al oriente y norte de los límites del área de estudio y pertenecen a la base de la Formación Guaduas, datadas como del Cretáceo superior al Terciario inferior. Esta formación está subdividida en tres unidades: Conjunto Inferior (Tkgi, que suprayace concordantemente sobre las areniscas conglomeráticas de la Formación Arenisca Tierna), Conjunto Medio (Tkgm) y Conjunto Superior y en términos generales está constituida por una secuencia de arcillolitas grises interestratificadas con areniscas de grano fino a medio, ocasionalmente conglomeráticas, con arcillolitas y mantos de carbón.

*Formación Guaduas - Conjunto Medio (Tkgm):* El conjunto medio de la formación Guaduas se caracteriza por presentar un paquete grueso de arcillolitas limitado en su parte inferior y superior por areniscas denominadas nivel de arenisca La Guía y Lajosa. Aflora en la parte más norte del área en el barrio Villas de Diamante

*Formación Guaduas - Conjunto Inferior (Tkgi):* Arcillolitas rojas y grises intercaladas con capas delgadas de areniscas blancas levemente conglomeráticas, en la parte media del conjunto se presenta shales carbonosos y vetas de carbón de hasta 0.35 m de espesor.

#### 4.1.3. Suelos y Depósitos de Cuaternario

Los suelos y depósitos del cuaternario se asocian a los procesos de erosión de las diferentes vertientes que forman la cuenca alta de la Quebrada de Limas y a la sedimentación local de cenizas volcánicas, generalmente expuestas en la parte alta de las vertientes. Se diferencian en el contexto regional las siguientes unidades: Depósitos Fluvioglaciares, Depósitos Aluviales (Qal), Depósitos Coluviales (Qc).

*Depósitos Aluviales (Qal):* Constituidos por gravas, cantos, arenas y limo, localizados a lo largo de los márgenes; conformados por materiales de arrastre que incluyen rellenos y basuras.

*Deposito Coluvial (Qc):* Constituidos por cantos y gravas angulares dentro de una matriz limo-arcillosa.

*Depositos Fluvioglaciales (Qfg):* Bloques de arenisca de forma angular y subangular embebidos por una matriz consolidada areno-limosa.

#### 4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las condiciones estructurales de este sector de la ciudad corresponden a un bloque tectónico, levantado por un sistema de fallas inversas, que delimita por este sector el sinclinal de Usme. Las condiciones estructurales muestran las siguientes propiedades:

- Un sistema de pliegues con orientación N-S a NE-SE, asociado a la tectónica de la región. En el área del proyecto, las unidades expuestas forman parte del flanco oriental del anticlinal de Quiba.
- Un sistema de fallas inversas con orientación N-S a NW-SE, de edad terciario superior, contemporáneo con el sistema de plegamiento anterior. Este sistema de fallas se asocia a la Falla de la Quebrada de Limas y la Falla Cordillera que presentan una orientación similar a la Falla que delimita el valle del Tunjuelo y la Falla Mochuelo.
- Un sistema secundario de fallas de desplazamiento, con orientación E-W, con un espaciamiento que varía entre 0.5 y 1.0 km, resultantes del proceso principal de compresión que define el sistema de fallas inversas. Este sistema secundario afecta el área de influencia regional (Fallas El Recuerdo, Quebrada Sur y La Estrella) que cruza por la parte media y la Falla Quebrada Honda en el límite norte del área del proyecto y demarcan zonas de fracturamiento. En términos generales las fallas son de poco salto.
- Se destaca la Falla Cordillera por la definición de una zona de muy alto fracturamiento de las unidades de areniscas de la Formación Tierna y los niveles de areniscas y arcillolitas de la Formación Guaduas Inferior.

- La dirección preferencial de los planos de estratificación son N35W a N20W, con buzamientos que varían desde los 20° hasta 80° al NE, exceptuando la zona localizada entre las fallas Quebrada Sur y Estrella donde los estratos se encuentran invertidos con rumbos NE y buzando hacia el occidente.

### 4.3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En el contexto regional este sector de la ciudad corresponde a un conjunto de laderas de pendientes moderadas a altas, que han sido modeladas sobre las rocas del Cretáceo y el Terciario. Asociado a este proceso se identifica una superficie de meteorización con el desarrollo de un horizonte de suelo residual con espesores que varían entre uno y dos metros, identificado por la presencia de bloques superficiales.

Las laderas de mayor pendiente en general tienen un origen estructural destacándose las desarrolladas sobre las unidades del Grupo Guadalupe, de carácter denudativo. Como resultado de los cambios climáticos durante el cuaternario reciente se han desarrollado procesos de cárcavas que se restringen a drenajes antiguos donde se identificó un perfil de arcillas grises, paleosuelos y niveles de cenizas volcánicas.

La actividad antrópica urbana reciente y la deforestación han favorecido el incremento del potencial erosivo y el desarrollo de las cárcavas, además durante la segunda mitad del siglo pasado la extracción de materiales para la construcción de la ciudad generó el desarrollo de canteras que dejaron escarpes casi verticales.

### 4.4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

#### 4.4.1. Rocas de la Formación Labor (Ksgl)

Se exponen en la mayor parte de la zona de estudio, conformando el área del drenaje principal, las laderas aledañas al Tanque del Acueducto y al Sur, entre las fallas la Estrella y la Quebrada Sur. Se identificaron las siguientes unidades (véase **Figura 4. 2**):

*Ar1*: Areniscas amarillas masivas, friables de grano medio a grueso, amarillas con pequeñas intercalaciones de arcillolitas amarillas, rojas y blancas.

*Ar2*: Areniscas amarillas y blancas en capas delgadas (0.10 m) con intercalaciones ocasionales de limolitas silíceas en capas de 0.02 a 0.03 m.

*Ar3*: Areniscas masivas de grano medio a grueso, amarillas, duras.

*Ac1*: Arcillolitas grises muy meteorizada con algunos niveles de arenisca de grano fino.

*Ar4*: Areniscas Laminadas de color blanco y amarilla muy consolidada en capas de hasta 0.10 m, meteorizadas.

*Ac2*: Arcillolitas y lodolitas silíceas de colores blanco y gris, muy consolidadas.

*Ar5*: Areniscas blancas de grano fino, bien cementadas fracturadas en capas gruesas.

*Ac3*: Arcillolitas grises en capas delgadas.

#### 4.4.2. Rocas de la Formación Tierna

Afloran en la parte más nororiental de la zona y conforman el lomo de la ladera oriental, donde se encuentra la vía principal del barrio. Se diferenciaron dos unidades de roca que se encuentran en contacto fallado:

*Ar6*: Areniscas amarillas, masivas, de grano grueso a conglomerático, cuarzosa, muy friables en capas gruesas, en su mayoría se desarrolla un perfil de meteorización de suelos arenosos.

*Ar7*: Areniscas amarillas, masivas, muy fracturada, compactas.

#### 4.4.3. Unidades de suelo y depósitos

La mayoría de las rocas se encuentran casi en su totalidad cubiertas por suelos residuales, coluviones y cenizas volcánicas. Los depósitos coluviales y los suelos residuales presentan espesores importantes para la cartografía, a diferencia de los paleosuelos y los horizontes de cenizas volcánicas que son de difícil seguimiento y con espesores menores a 0.5 m., que aunque importantes en el estudio geotécnico no son unidades para cartografiar en la **Figura 4. 2**. Además se incluyen las zonas de brecha de falla. Las unidades de suelo o depósitos identificadas son las siguientes:

*Brecha de falla, Bf*: Rocas muy fracturadas y alteradas por el fallamiento.

*Suelo residual, Sr*: Suelos residuales arcillosos y/o arenosos producto de la meteorización de las unidades de roca de la Formación Labor

*Suelo residual, Sr1*: Cantos y bloques de areniscas embebidos en materiales arenosos y arcillosos que tienen como roca originaria las unidades de areniscas.

*Suelo residual, Sr2*: Suelos residuales rojos que se desarrollan sobre arcillolitas altamente meteorizada, plásticas.

*Suelo residual, Sr3*: Suelos desarrollados sobre la Unidad de areniscas Ar1, caracterizados por bloques redondeados no transportados, con areniscas de hasta 5.0 de diámetro, como producto de la meteorización diferencial de bancos de arenisca con pequeñas intercalaciones de arcillolita, cubren la parte más sur de la zona.

*Depósitos aluviales, Qa*

*Depósitos coluviales, Qc*: Bloques, cantos y gravas de areniscas embebidos en una matriz limosa, medianamente consolidados, alcanzan espesores de 2.5 m y se localizan en las partes bajas de la ladera.

*Flujos, Qf*: Limos arenosos de color café muy saturados.

*Rellenos antrópicos, Qra*: Depósitos de escombros, basuras y materiales de excavación. No se cartografiaron los rellenos asociados a las construcciones.

**Figura 4. 2 Geología Local**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 8
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-----------------------



#### 4.4.4. Aspectos Estructurales Locales

*Fallas Transversales:* Son fallas que pertenecen al sistema regional de fallas con orientación Este-Oeste a NE-SW, que atraviesan las rocas del Cretáceo y Terciario, cubiertas en algunos sitios por depósitos recientes. Se pueden apreciar la Falla La Estrella y las fallas que atraviesan la parte central de la zona de estudio (Tanque de Quiba) y la parte norte, sin cambios de rumbo importante, mientras que la falla que define la orientación del drenaje principal (NW-SE) cambia bruscamente hasta alinearse con la orientación principal de este sistema de fallas. Son fallas de rumbo y normales de alto ángulo.

*Fallas Longitudinales:* Son fallas que tienen trazos paralelos a los contactos geológicos, también corresponden a un sistema regional de fallas y ponen en contacto las areniscas de las Formaciones Labor y Tierna y las unidades de areniscas Ar6 y Ar7 de la Formación Tierna. El contacto fallado entre las unidades de arenisca de la Formación Labor y Tierna es un leve cabalgamiento.

*Planos de estratificación:* El rumbo preferente es NW-SE con inclinaciones promedio de 35° al SE. Hacia el límite noroccidental, los buzamientos son más pronunciados, suavizándose hacia el límite Sur del área de estudio. En la zona del Tanque de Quiba se aprecia un replegamiento de las areniscas laminadas con los buzamientos verticales, que rápidamente cambian hacia el Sur en la zona de cárcavas (Falla La Estrella), hasta colocarse en posición casi horizontal 20° E, en los límites Sur de la zona.

#### 4.4.5. Geomorfología Local

Corresponde a la **Figura 4.3**. Está conformada por las siguientes unidades de ladera:

*Laderas Estructurales (Le1):* Son laderas de pendientes altas, constituidas por unidades areniscas meteorizadas de grano medio a fino con buzamientos fuertes que desarrollan suelos residuales de hasta 2.40 m de espesor caracterizados por presentar bloques dentro de una matriz arenosa.

*Laderas Estructurales (Le2):* Son laderas conformadas por capas de arenisca muy fracturada y replegadas por efectos de las fallas, originan formas de relieve ondulado con laderas simétricas.

*Ladera Estructural (Le3):* Ladera de contrapendiente estructural, compuesta por unidades de arenisca y arcillolita de la Formación Labor con bajo grado de meteorización y cubierta por una capa delgada de suelo vegetal. Se presenta en los cortes de las viviendas caídas de bloques y erosión.

*Ladera Estructural (Le4):* Ocupa la divisoria de aguas de la parte oriental de la zona constituye una zona de infiltración importante, esta constituida por arenisca de la Formación Tierna. No se observan procesos de inestabilidad.

*Ladera residual (Lr1):* Conformada por suelos residuales arenosos y arcillosos con espesores de hasta 1.3 m que cubren las unidades rocosas del techo de la Formación Labor y una zona de brecha de falla sobre pendientes altas. Desarrollan áreas muy saturadas (flujos) y desprendimientos de suelo y roca meteorizada, se ubican en la margen derecha del drenaje principal cercana a la zona de coluviones.

*Ladera residual (Lr2):* Segmentos conformados por un nivel de arcillolitas meteorizadas a suelos residuales y expuestas en la parte media y baja del perfil, hacia la parte superior de este segmento se

exponen horizontes de areniscas muy meteorizadas que definen una zona de recarga y aporte de agua de infiltración a la parte media y baja del perfil.

**Ladera residual (Lr3):** Ladera de suelos arenosos superficiales de muy alta permeabilidad con un proceso de saturación del horizonte arenoso. Hacia la parte inferior se desarrollan suelos arcillosos. En las cabeceras y márgenes del drenaje principal se observan procesos de saturación y reptación del horizonte de suelos residuales afectando varias construcciones, en términos de susceptibilidad presenta una alta condición a la formación de flujos y deslizamientos en los suelos residuales, cenizas y rellenos que cubren estos suelos residuales.

**Ladera residual (Lr4):** Desarrollada sobre roca meteorizada de las areniscas de la Formación Labor con presencia de grandes bloques superficiales con un régimen principal de infiltración cuya orientación de los flujos afectan las márgenes del zanjón donde cruza la línea de transmisión. Las construcciones en este sector se apoyan directamente sobre el horizonte de roca meteorizada.

**Ladera (Lc1):** En su parte superior esta constituida por areniscas fracturadas y friables de la Formación Tierna con gran capacidad de infiltración, la parte media y baja de la ladera esta conformada por un deposito coluvial de fragmentos orgánicos y cantos de areniscas angulares, mal dispuestos de hasta 0.30m de diámetro; cubierto por un Paleosuelo y un coluvial más reciente de color gris claro, estos depósitos cubren indistintamente niveles de areniscas y arcillolitas. La infiltración de aguas en la parte superior y las aguas servidas han generado procesos de saturación de los suelos coluviales y el reblandecimiento de los horizontes arcillosos inferiores, se presentan movimientos superficiales de roca y suelo.

**Ladera (Lc2):** Constituida por areniscas cuarzosas friables meteorizadas cubiertas por un deposito Coluvial con gravas y cantos angulares en matriz arcillosa orgánica de 0.8 m, un horizonte de ceniza volcánica oscura con cantos de 0.5 m y 0.2 m de un nivel de Paleosuelo. Se presentan algunos desprendimientos de roca y suelo de pequeña magnitud en algunos cortes de las viviendas y desarrolla pendientes moderadas.

**Laderas de Degradación activa. (Lda):** Laderas de limos arcillosos con gravas que cubren directamente un horizonte de lateritas de color rojo derivadas de la alteración de las arcillolitas. Asociada a los procesos de erosión concentrada en cárcavas con bajas tasas de erosión actuales, con excepción en los sitios en donde se descargan aguas residuales y donde no hay cobertura del suelo.

**Zonas de Flujos (Zf):** Suelos limosos saturados con un nivel freático superficial afectado por los vertimientos de las construcciones vecinas con presencia de basura y escombros; esta área define una condición de inestabilidad alta por el alto grado de saturación y las condiciones sueltas de los materiales.

**Zona de Rellenos (Ar):** Áreas de disposición de Limos y gravas sueltas sin compactación, procedentes de la actividad constructiva que ocupan parte del cauce y laderas del zanjón.

#### 4.4.6. Inventario de procesos

**Fenómenos de remoción en masa:** Los procesos más representativos están relacionados en la **Tabla 4.1**.

**Procesos erosivos:** Los procesos de erosión concentrada son significativos en la zona Sur del área de estudio, y están procesos se relacionan con la zona de Falla La Estrella. También es importante mencionar el avance rápido de los procesos de carcavamiento en el limite Sur, por fuera del área de estudio ya que puede afectar las viviendas de la manzana 45.

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 10
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Figura 4. 3 Geomorfología Local**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 11
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Tabla 4. 1 Resumen del Inventario de Procesos**

Nº	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	ESTADO	AFECTACIÓN	MATERIALES INVOLUCRADOS
1	Mz 23-Lote N	Deslizamiento de roca, suelo y relleno	Activo	Dos (2) viviendas	Ar6 y suelo
2	Mz 3-Lotes 1 y 2	Caída de arcillolita y arenisca	Activo	Dos (2) viviendas	Ac3 y Ar1
3	Parte superior de la ladera coluvial Lc1	Deslizamiento rotacional de roca, coluvión y suelo	Inactivo	Una (1) vivienda y un (1) lote vacío	Ar5, Ar6, Qc y suelo
4	Mz 5-Lotes 1 y 6	Caída de suelo	Activo	Dos (2) viviendas	Qc
5	Mz 7-Lote 4	Deslizamiento rotacional	Activo	Dos (2) viviendas	Qc
6	Mz 7-Lotes 1 a 6	Deslizamiento rotacional	Activo	Dos (2) viviendas	Qc
7	Mz 7-Lote 7	Deslizamiento rotacional	Activo	Una (1) vivienda	Qc
8	Mz 10-Lotes 10 a 20	Flujos	Potencial	Dos (2) viviendas	Qf
	Mz 10	Caída de roca y suelo	Activo	12 viviendas	Ac2, Ar4 y Bf
9	Mz 9-Lote 6	Caída de roca y suelo	Activo	Una (1) vivienda	Ar4
10	Mz 9-Lote 5	Caída de roca y suelo	Activo	Dos (2) viviendas	Ar4
11	Mz 11-Lotes 1 y 2	Caída de roca y suelo	Activo	Una (1) vivienda	Ac2
12	Mz 11-Lotes 8, 10 y 11	Caída de roca y suelo	Activo	Tres (3) viviendas	Ar5
13	Mz 11-Lotes 13 y 14	Deslizamiento rotacional	Activo	Dos (2) viviendas	Ar5
14	Mz 16-Lote 1	Caída de roca y suelo	Activo	Una (1) vivienda	Sr
15	Mz 27-Lotes 6 y 7	Caída de roca y suelo	Activo	Lote vacío	Suelo
16	Mz 28-Casa 16	Caída de roca y suelo	Activo	Una (1) vivienda	Qc, Ar6
17	Mz 23	Reptación	Activo	19 viviendas	Sr
18	Mz 53 y 54	Caída de roca y suelo	Activo	41 viviendas	Bf, Ar1
19	Area del zanjón	Erosión y desprendimientos	Activo		Sr

## 5. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

Se llevó a cabo un levantamiento de discontinuidades, sondeos manuales (para efectuar el ensayo de penetración estándar, SPT y obtener muestras alteradas con cuchara partida o split-spoon), apiques, trincheras y los siguientes ensayos de laboratorio:

- Ensayos básicos de clasificación y propiedades índice de suelos (en los abanicos de detritos) tales como humedad natural, peso unitario, límites de consistencia, y granulometría.
- Ensayos para la determinación de propiedades físicas y mecánicas de rocas y sus discontinuidades, tales como peso unitario y ensayos de carga puntual.
- Ensayos de corte directo consolidados drenados, para la determinación de los parámetros de resistencia de suelos y un ensayo de consolidación para determinar los parámetros de compresibilidad y de consolidación de la capa intermedia de suelo orgánico “paleosuelo”.

## 6. CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo a la caracterización geotécnica llevada a cabo, las zonas homogéneas pueden clasificarse como sigue:

### 6.1. Zona 1: Parte Alta – Barrio Alta Loma

*Sector IA:* Rocas de fácil disgregación cubiertas por suelo volcánico y relleno de poco espesor, sector con alta susceptibilidad a la erosión.

*Sector IB:* Rocas masivas cubiertas por suelo volcánico y rellenos de poco espesor, en terrenos de pendiente moderada a baja.

## 6.2. Zona 2: Parte Alta del Drenaje Principal

*Sector 2A:* Suelos residuales del orden de 0.5 a 1.0 metros de espesor sobre areniscas competentes, cubiertos por una capa delgada de rellenos y suelos orgánicos, en terrenos de pendiente moderada.

*Sector 2B:* Suelos residuales sobre arcillolitas, del orden de 0.5 a 1.0 metros de espesor, cubiertos por rellenos y suelos orgánicos de poco espesor, en terrenos de pendientes moderada.

*Sector 2C:* Suelos residuales del orden de 0.5 metros de espesor, sobre areniscas alteradas y cubiertos por una capa delgada de rellenos y suelos orgánicos, en terrenos de pendientes moderada.

## 6.3. Zona 3: Parte Media-Baja del Barrio Brisas del Volador – Zona Rocosa

*Sector 3A:* Afloramientos de Areniscas duras y fracturadas en terrenos de pendiente alta.

*Sector 3B:* Deposito Areno limoso con gravas de poco espesor que cubre areniscas y arcillolitas poco meteorizadas, en terrenos de pendiente alta.

*Sector 3Ca:* Suelo residual del orden de 2 metros de espesor cubiertos por capas delgadas de relleno y suelo organico, sobre rocas arcillosas meteorizadas, en terrenos de pendiente alta.

*Sector 3Cb:* Suelo residual del orden de 0.5 metros de espesor cubiertos por capas delgadas de relleno y suelo organico, sobre lilitas o areniscas moderadamente meteorizadas, en terrenos de pendiente alta.

## 6.4. Zona 4: Parte Media-Baja del Barrio Brisas del Volador – Zona Coluvi3n

*Sector 4A:* Deposito coluvial espeso cubierto por una capa delgada de suelo orgánico y relleno, que descansa sobre suelos residuales de areniscas y arcillolitas, se incluyen otros sectores aislados del area de estudio, con predominio de suelos coluviales.

*Sector 4B:* Zona de roca altamente fracturada y meteorizada a lo largo de los lineamientos de pendientes, algunas veces cubiertos por una capa delgada de suelo.

## 6.5. Zona 5: Ronda de inundaci3n del drenaje principal

*Sector 5Aa:* Parte alta de la quebrada en terreno de pendiente moderada. Se encuentra un deposito coluvial arcillo arenoso de poco espesor que cubre suelos residuales de areniscas de poco espesor.

*Sector 5Ab:* Parte baja de la quebrada, en terreno de pendiente alta. El cauce de la quebrada se prolonga sobre rocas alteradas o fracturadas susceptibles a socavaci3n.

*Sector 5B:* Rellenos antr3picos poco consolidados sobre suelos residuales.

El Plano de Zonas Geot3cnicas Homog3neas se presenta en la **Figura 6. 1.**

**Figura 6. 1 Zonas Geotécnicas Homogéneas**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 14
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

## 7. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

### 7.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Los drenajes en estudio se encuentran ubicados en la Localidad de Ciudad Bolívar, entre las coordenadas 93850 N y 94550 N; y 91100 E y 91350 E. Corresponden al sistema de drenaje de la Quebrada de Limas y esta a su vez al Río Tunjuelito, en la actualidad las cuencas y microcuencas del sector están altamente intervenidas por el desarrollo urbano de la zona, desde la parte alta del cerro.

El Cerro El Volador es la divisoria de aguas en el sector, el cual define que hacia el occidente de esta; la red de drenaje drena a la Quebrada de Limas y hacia el este de la divisoria la red de drenaje forma parte de la Quebrada La Estrella, perteneciendo finalmente ambos sistemas como se mencionó anteriormente a la cuenca del Río Tunjuelito.

El drenaje desde el Cerro El Volador, en flanco occidental; desciende por laderas de pendiente abrupta, con los desagües de la escorrentía local, de la vía conocida como Avenida Quiba y en algunos sectores con las descargas de las aguas negras del sector. El primer drenaje esta localizado en la parte sur de la zona de estudio y corresponde a una cárcava que atraviesa el barrio Tabor-Alta Loma con dirección de drenaje E-W, el segundo drenaje se localiza en la parte oriental de la zona en estudio y atraviesa el barrio Brisas del Volador Parte Alta en sentido E-NW.

El drenaje en la zona de estudio desde el punto de vista de origen, es natural; de régimen no permanente o corrientes de tipo estacional o intermitentes (i.e. entiéndase invernal); que sirven de receptores de los vertimientos de aguas negras de viviendas aledañas - patrón comprobado en campo.

Los principales drenajes en el sector, denominados para este Estudio como Drenaje Principal, C1 y Antigua Cárcava, C2, nacen en el Cerro El Volador, y algunos de los parámetros morfométricos de sus microcuencas están en la **Tabla 7. 1**.

**Tabla 7. 1 Parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje**

CUENCA	COTA NACIMIENTO (M.S.N.M.)	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	PERÍMETRO (KM)	PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE (%)	LONGITUD TOTAL DE DRENAJE (KM)	DENSIDAD DE DRENAJE (KM/KM <sup>2</sup> )
C1	2910	0.05	1.05	14	0.165	3.3
C2	2907	0.06	1.22	31	0.40	6.6

Las superficies expuestas de las microcuencas (áreas de aporte C1 y C2), se caracterizan por estar altamente intervenidas. Su cubierta actual la conforman las edificaciones, depósitos de suelo residual, coluviones y algunos parches de vegetación primaria y secundaria con dominio especial de los pastos. La influencia antrópica es en especial muy marcada en las márgenes del drenaje C2.

El 18% de las acometidas del servicio de acueducto es oficial; el 81% es comunal por medio de mangueras y el restante 1% corresponde a conexiones clandestinas y ocasionales. Actualmente no se

evidenciaron fugas en las redes y conexiones domiciliarias del acueducto -patrón comprobado en campo-, pero se presume por parte de la comunidad que el tanque de Quiba presente algunas filtraciones que se evidencian en los predios 51-2 y 51-3.

En la actualidad los barrios no cuentan con un diseño de alcantarillado pluvial por parte del Acueducto de Bogotá D.C. Durante el desarrollo de este Estudio, en algunos sectores del Barrio Brisas del Volador Parte Alta se está construyendo un sistema de alcantarillado pluvial; que tributa hacia los drenajes principales del sector.

El proceso de recolección y disposición de aguas residuales domésticas en la mayor parte del área de estudio no es adecuado: el 16% es oficial, el 74% es comunal y el 10% restante se hace en vertimientos libres, como en el caso de las viviendas que se localizan en las laderas que tributan hacia la Quebrada de Limas.

Con el objeto de estimar la capacidad de infiltración de los materiales, pudo efectuarse la zonificación cualitativa de la **Tabla 7. 2**.

**Tabla 7. 2 Zonificación cualitativa de la capacidad de infiltración de las aguas en el subsuelo**

UNIDAD	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN
<b>FORMACIÓN ARENISCA LABOR Ksgl</b>	Ar1	Constituidas por areniscas amarillas masivas, friables de grano medio a grueso, con pequeñas intercalaciones de arcillositas.	Alta
	Ar2	Areniscas en capas delgadas (10 cm) con intercalaciones ocasionales de limolitas silíceas en capas de 2 a 3 cm. Se presentan muy replegadas y fracturadas en algunos sectores como resultado de la actividad tectónica regional y local.	Alta
	Ar3	Areniscas masivas de grano medio a grueso, duras, expuestas en condición fresca solamente sobre la vía que conduce al Barrio Bella Flor.	Baja
	Ac1	Arcillolitas muy meteorizada con algunos niveles de arenisca de grano fino, se encuentra cubierta por un suelo residual y un horizonte de coluvión de 0,7 m de espesor.	Baja
	Ar4	Areniscas Laminadas muy consolidada en capas hasta de 10 cm, meteorizadas.	Media
	Ac2	Arcillolitas y lodolitas silíceas, muy consolidadas.	Baja
	Ar5	Areniscas de grano fino, bien cementadas fracturadas en capas gruesas.	Media
	Ac3	Arcillolitas en capas delgadas.	Baja
<b>FORMACIÓN ARENISCA TIERNA Ksgt</b>	Ar6	Areniscas masivas, de grano grueso a conglomeráticos, cuarzosa, muy friables, en capas gruesas.	Alta
	Ar7	Areniscas masivas, muy fracturada, compactas que suprayace al anterior nivel.	Media
<b>UNIDADES DE SUELOS Y DEPÓSITOS</b>	Bf	Areniscas y arcillolitas muy fracturadas y alteradas por el efecto de las presiones generadas durante el fallamiento.	Muy Alta
	Sr	Suelos residuales que cubren las cimas de las laderas y que tienen como roca originaria las unidades de areniscas y/o arcillolitas.	Alta



	Sr1	Suelos residuales que cubren las cimas de las laderas y que tienen como roca originaria las unidades de areniscas. Presentan cantos y bloques de areniscas embebidos en materiales arenosos y arcillosos	Alta
	Sr2	Suelos residuales que conforman las cárcavas, que cambian en profundidad a una arcillolita altamente meteorizada, de carácter plástico y fisurada por efectos de la falla.	Alta
	Sr3	Suelos desarrollados sobre la Unidad de areniscas Ar1, caracterizados por bloques de areniscas redondeados no transportados de hasta cinco metros de diámetro.	Alta
	Qc	Depósitos de coluviones más antiguos consisten de bloques, cantos y gravas de areniscas embebidos en una matriz limosa.	Alta
	Qf	Depósitos de materiales transportados a lo largo del drenaje principal, constituidos por limos arenosos, muy saturados	Muy Alta
	Qra	Constituidos por escombros, basuras y materiales de excavación	Muy Alta

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación pluviográfica Quiba (2120205 - QBA), ya que es la más cercana a la zona de estudio y pertenece a la cuenca del Río Tunjuelito (de la cual hace parte la Quebrada de Limas). La Estación está ubicada en las coordenadas 92734 N, 90484 E a una elevación de 3.000 m.s.n.m. y es operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B – ESP. La distribución temporal de la precipitación en la zona de estudio es bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de marzo a mayo en el primer semestre del año, y octubre a noviembre en el segundo semestre.

El mes con mayor precipitación es mayo con un promedio mensual multianual de 92.5 mm. La precipitación media multianual en la estación Quiba es del orden de 645.7 mm, registro muy similar a los 600 mm obtenidos espacialmente en 1998 con la Distribución espacial de la Precipitación media Anual en Bogotá.

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá" (IRH – E.A.A.B., E.S.P), de donde el área de trabajo está en la Zona 4, cuya estación representativa de la Ley de Frecuencias es La Granja-San Jorge (2120172).

Las relaciones Lluvia crítica vs. Lluvia anual utilizadas figuran en la **Tabla 7. 3**.

**Tabla 7. 3 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá. (INGEOCIM - UPES, 1998)**

ZONA	LLUVIA CRÍTICA (mm)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	0.3609 <i>Lluvia anual</i> (mm)	3.2829 $LL_{crit}^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 <i>Lluvia anual</i> (mm)	0.04923 $LL_{crit}$

Los barrios Tabor-Alta Loma y Brisas del Volador Parte Alta pertenecen a la zona Suroccidental, de modo que, para los valores de lluvia anual, 600 mm aproximadamente, corresponde una **precipitación acumulada crítica de 217 mm**, con una **duración de 30.7 días** y un **período de retorno de 29 años**.

## 7.2. ESTUDIO HIDRÁULICO

El cálculo de los caudales máximos esperados en los drenajes se valió del *método racional* ( $Q = k \times i \times A \times c$  y cuenca con superficie menor de 1.0 km<sup>2</sup>). Teniendo en cuenta que el tamaño de las microcuencas es inferior a 6 ha, el coeficiente de escorrentía  $c$  ponderado para toda el área en estudio es del orden de 0.79 (recomendación MOPT).

Por tratarse de microcuencas de pendiente media a alta, el tiempo de concentración pudo estimarse con

a la fórmula de Kirpich ( $T_c = 4 \times \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$ ). Los tiempos de concentración calculados para las

10 secciones de control oscilaron entre 2.0 y 4.0 min; sin embargo, para efectos de cálculo del caudal máximo se adoptó para todas las secciones un valor  $T_c = 10$  min. El cálculo de caudales para cada sección de control se muestra en la **Tabla 7. 4**.

**Tabla 7. 4 Estimación de los caudales en las secciones de análisis**

"TR" PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	"I" INTENSIDAD DE LA LLUVIA (MM/H)	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-1	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-2	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-3	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-4	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-5	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-6	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-7	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-8	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-9	CAUDAL (M <sup>3</sup> /S) SEC-10
10	90.41	0,21	0,33	0,45	0,61	0,76	1,00	1,17	0,67	0,83	0,99
50	146.22	0,34	0,54	0,72	0,99	1,24	1,62	1,89	1,09	1,34	1,60
100	163.97	0,38	0,60	0,81	1,11	1,39	1,82	2,12	1,22	1,50	1,79

Para la simulación hidráulica de crecientes se utilizó el modelo matemático HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). La amenaza por inundación puede zonificarse con base en los criterios de la **Tabla 7. 5**.

**Tabla 7. 5 Categorización de la amenaza por inundación**

AMENAZA	PERIODO DE RETORNO, $T_c$	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA, $P$
ALTA	$T_c \leq 10$ años	$P \geq 0.10$
MEDIA	$10 \text{ años} < T_c \leq 100$ años	$0.01 \leq P < 0.10$
BAJA	$T_c > 100$ años	$P < 0.01$

La **Figura 7. 1** muestra la ronda de inundación para un período de retorno  $T_c = 100$  años. Su determinación no tuvo en cuenta que en el Drenaje Principal ya se han canalizado algunos tramos por medio de tuberías de 8", 10" y 12" de diámetro, las cuales son insuficientes para transitar los caudales de periodos de retorno mayores de 10 años, y ésto, sumado a que allí convergen las basuras y escombros que se arrojan desde la parte alta del drenaje, produce la reducción progresiva de las secciones hidráulicas (hasta en un 70%), su obstaculización y colmatación, acrecentando los niveles y el potencial de inundación: se entiende que **es inminente el represamiento y desbordamiento de los caudales transitados** por el cauce y las estructuras de paso.

**Figura 7. 1 Ronda hidráulica para  $T_r = 100$  años**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 19
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

## 8. RESPUESTA DINÁMICA DEL SUBSUELO

### 8.1. AMENAZA SÍSMICA

El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS – INGEOMINAS, 1996) ubica a Bogotá D.C. dentro de la Región 5, en el nivel de Amenaza Intermedia, con aceleración máxima a nivel de roca de 0.20g, con un período de retorno de 475 años. La **Tabla 8. 1** presenta los aportes a la amenaza sísmica de la ciudad de las fallas activas circundantes.

**Tabla 8. 1 Aporte de las fuentes sismogénicas a la amenaza sísmica de la ciudad**

FUENTE ACTIVA	CARÁCTER DEL EVENTO	APORTE A LA AMENAZA
Frontal Cordillera Oriental	Intraplaca	67.6%
Salinas	Intraplaca	27.7%
Otras fallas	Intraplaca e interplaca	4.7%

De otra parte, la Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá (AIS – INGEOMINAS – UNIANDES, 1997) permite localizar el sitio de la Zona 1 – Cerros, con una aceleración máxima a nivel de superficie de 0.24g.

Previo definición de los aportes de las fuentes activas (Frontal Cordillera Oriental, Salinas y otras) a la amenaza sísmica, de los tres sistemas sismogénicos principales (local, intermedio o regional y lejano) y de 10 acelerogramas representativos, se empleó un modelo numérico de análisis basado en el software QUAD4M (University of California, Berkeley) y el programa tipo CAD denominado GID, Versión 7.2 (Palacios y Vargas, 2002) para la fase de preproceso y postproceso.

Para el análisis se utilizaron dos secciones regionales, A-A' y B-B', y de cada una de ellas se desarrolló un modelo en elementos finitos bidimensionales para efectuar el cálculo de las isoaceleraciones máximas para cada uno de los 10 eventos referidos. En la **Figura 4. 1**, y de la **Figura 8. 1** a la **Figura 8. 4** se muestran los dichos perfiles.

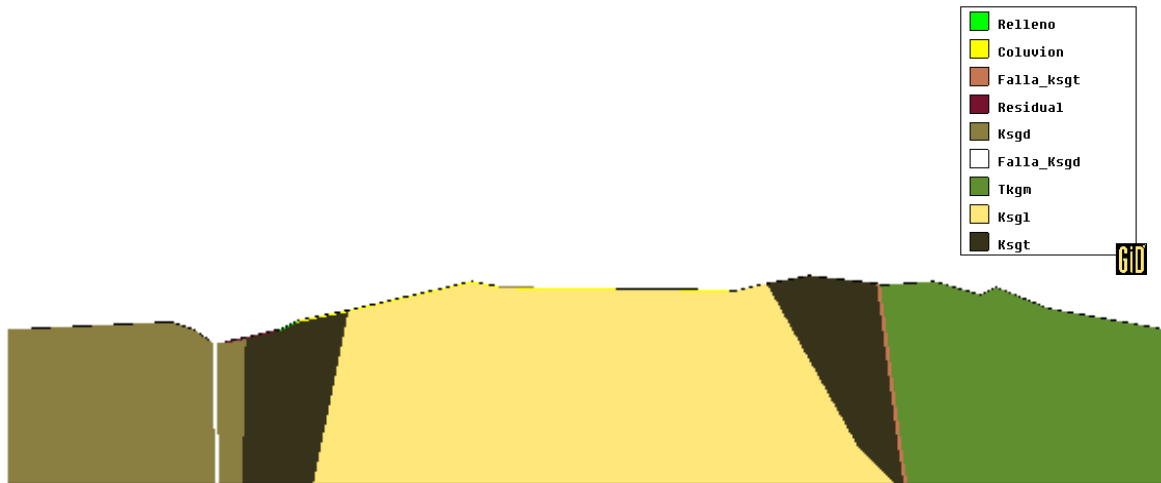
Para el perfil A-A' se observó que debido a la geometría que siguen los materiales, en la cual el buzamiento coincide con la orientación de la sección, las aceleraciones buscan mantenerse en los estratos y generan un esparcimiento horizontal delimitado por los cambios de rigidez del material. No obstante las aceleraciones son amplificadas hasta la superficie.

Para la sección B-B', se encontraron amplificaciones en los estratos de coluvión. Efectos de borde en la cantera no fueron considerados como representativos.

La amplificación de las aceleraciones a nivel superficie alcanzan en su mayoría valores de 0.30g para un nivel de amenaza de 0.20g en la Fuente Local e Intermedia y de 0.05g para un nivel de amenaza de 0.04g en la Fuente Lejana.

Se recomendó, entonces, emplear en los análisis de estabilidad, un valor de **aceleración horizontal  $\alpha = 0.30g$** .

**Figura 8. 1 Sección de análisis de amenaza sísmica A-A'**



**Figura 8. 2 Comportamiento de la aceleración en superficie - Sección A-A'**

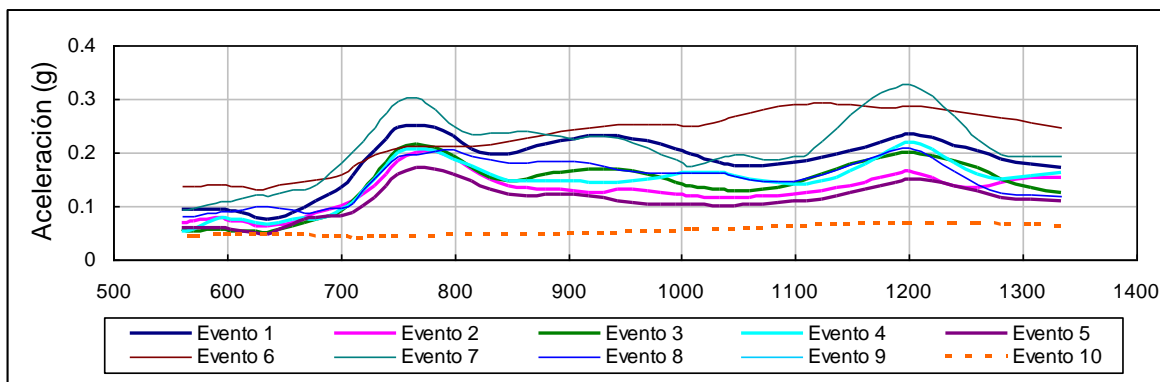


Figura 8. 3 Sección de análisis de amenaza sísmica B-B'

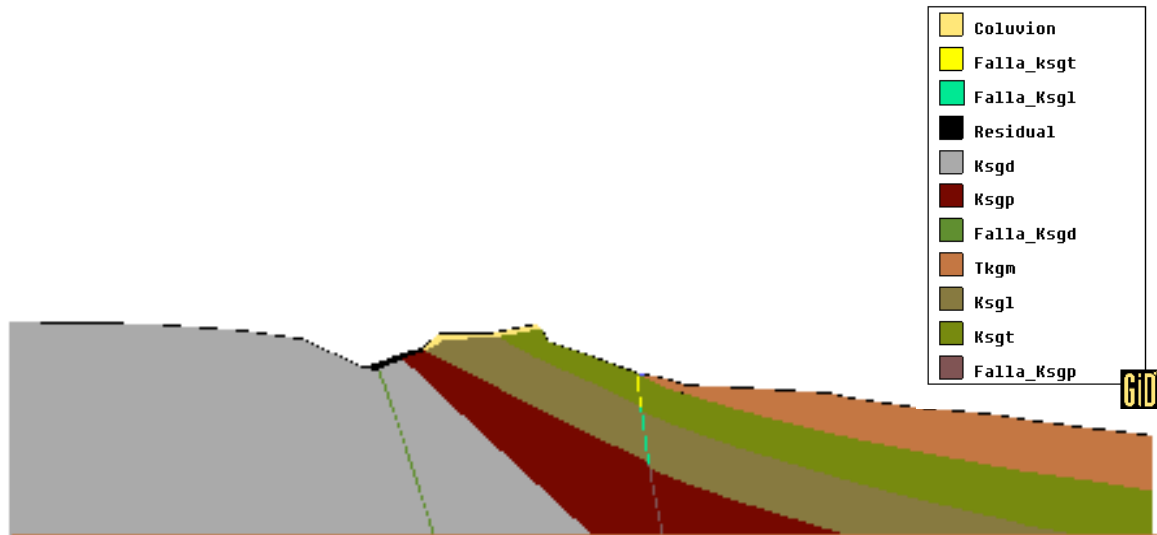
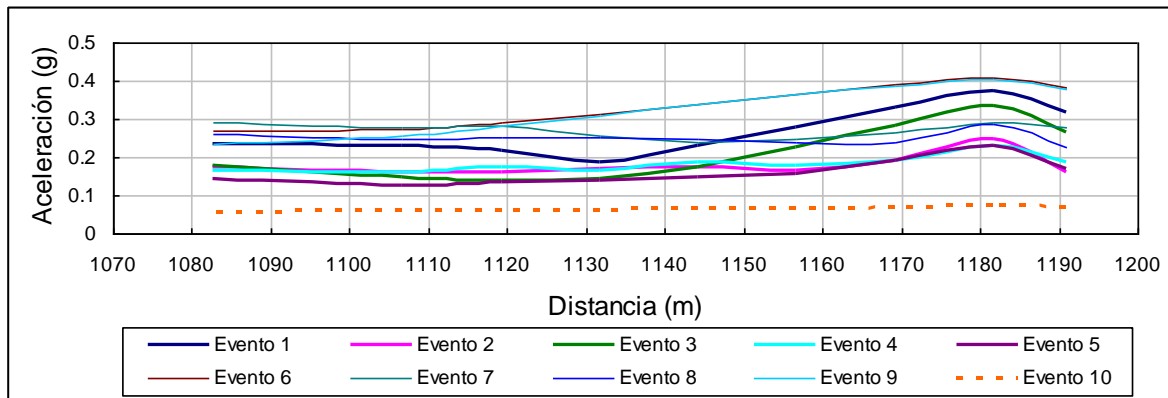


Figura 8. 4 Comportamiento de la aceleración en superficie - Sección B-B'



## 9. INFLUENCIA DE LOS FACTORES DETONANTES IDENTIFICADOS

Como se ha explicado, el área corresponde a una pendientes moderadas a altas, con presencia de rocas de las unidades Arenisca Labor y Tierna, y arcillolitas de la Formación Guadalupe Inferior, las cuales generan han generado horizontes de suelo residual con un espesores que oscilan entre 0.5 y 2.5 m, el cual se encuentra cubierto en algunas zonas por suelo orgánico (paleosuelo) y coluvión, menos resistentes y más susceptibles a la inestabilidad. Así mismo, en algunos sectores la ladera natural se encuentra cubierta por rellenos de basura y escombros.

Prácticamente todos los tipos de inestabilidad potencial o activa del sitio son **superficiales** y están relacionadas con la presencia de capas débiles de suelo residual y depósitos antrópicos, susceptibles a movilizarse y deslizarse ante la influencia de diversos factores detonantes.

La excepción está en los problemas de erosión superficial de los taludes de corte y en la cantera del sector Nororiental, por fuera de los límites del área de estudio, en los cuales se han desarrollado surcos profundos que definen columnas de roca de mas de 3.00 m de altura con posibilidad de ocasionar desprendimientos locales de roca, caída de bloques o volcamiento de columnas de roca (**toppling**), amenazando la vía de acceso en la parte baja.

En la parte alta los surcos pueden seguir progresando, hasta comprometer las viviendas que se encuentran cerca de la corona del talud.

### **9.1. FACTORES CONTRIBUYENTES**

El proceso normal de meteorización de la roca permite que se presente una pérdida progresiva de resistencia del suelo, aumentando la susceptibilidad a la inestabilidad; debido al proceso morfológico normal de la ladera es probable que ya se haya alcanzado una condición de equilibrio, al menos de poca variación en una escala de tiempo comparable a la vida útil de un proyecto de Ingeniería; sin embargo, este proceso puede ser alterado o degenerado por la influencia antrópica a través de la modificación de las formas actuales del terreno y la alteración de las condiciones de drenaje con el vertimiento de aguas servidas al terreno; en particular, la calidad del suelo de fundación de las viviendas (sumada a la baja calidad de la cimentación) puede deteriorarse afectando la estabilidad de la ladera.

En el costado sur se detectó una capa de ceniza volcánica (*neme*), la cual cubre la mayor parte de la superficie de la ladera y genera una protección natural de la roca subyacente contra la erosión. La pérdida de esta cobertura bien sea por el proceso natural de erosión o por factores antrópicos, como la concentración de aguas servidas ha permitido que se desarrollen carcavamientos locales en rocas limo arcillosas de color rojizo, disgregables; sin embargo esta erosión es controlada también por capas intermedias de areniscas masivas no disgregables.

### **9.2. FACTORES DETONANTES**

La infiltración del agua lluvia puede generar saturación parcial o total de la capa de suelo superficial, generando, en condiciones críticas, problemas de estabilidad. Como se vio atrás, la precipitación acumulada crítica esperada es de 217 mm, con una duración de 30.7 días y un período de retorno de 29 años.

Se destaca la presencia de aguas subterráneas provenientes de las capas permeables de arenisca en la parte media, alta y baja del barrio, y a lo largo de brechas de falla, que saturan el suelo superficial en época de invierno; esta saturación puede generar reptamiento de suelos arcillosos u orgánicos superficiales o también puede desencadenar fallas locales de la capa superficial de suelo, en donde están cimentadas las viviendas.

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 23
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

Existe evidencia de que se están presentando en la actualidad fugas de agua en el Tanque de Quiba, agua que se infiltra en la roca y que posteriormente emerge en la vecindad, generando saturación de la capa de suelo superficial, y reptamiento de la misma, que puede generar una falla del talud. De acuerdo con información suministrada por el Presidente de la Junta de Acción Comunal del Barrio Alta Loma, se han llevado a cabo anteriormente pruebas con trazadores que han arrojado resultado positivo a esta hipótesis.

Es clara la capacidad de socavación que presenta el Drenaje Principal en la parte baja, en donde la pendiente longitudinal del cauce es alta y puede erodar las márgenes induciendo fallas superficiales sobre la capa de suelo residual de la ladera.

El sismo es otro factor detonante destacable, habiéndose obtenido un valor de aceleración horizontal en superficie de  $\alpha = 0.30g$ .

Cuando se generan vertimientos descontrolados de aguas servidas al suelo portante, llegando a desencadenar fallas locales de taludes de corte y de muros de contención, el factor antrópico puede ser detonante de problemas locales de estabilidad.

## 10. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La determinación de los parámetros de resistencia al corte siguió los lineamientos de la **Tabla 10. 1**.

**Tabla 10. 1 Métodos de determinación de parámetros de resistencia al corte**

MATERIAL	MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
Coluvión y suelos superficiales	Corte directo
	Correlaciones con IP
Suelo residual	Método de Hoek y Brown
	Corte directo
Roca	Método de Hoek y Brown

Los parámetros adoptados figuran en la **Tabla 10. 2**.

**Tabla 10. 2 Parámetros de resistencia al corte**

MATERIAL	Peso Unitario Total (KN/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Saturado (KN/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN, $c'$ (KN/m <sup>2</sup> )			ANGULO DE FRICCIÓN, $\phi'$ (°)		
			MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.
Relleno no seleccionado	18.3	19.9	5.0	5.0	5.0	25.0	30.0	35.0
Relleno seleccionado	18.2	19.0	2.5	2.5	2.5	20	22.5	25
Limo arenoso	17.7	18.7	5.0	5.0	5.0	28	30	32
Arcilla blanda	18.9	20.5	1.0	1.0	1.0	26	28	30

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 0	PÁGINA N° 24
--------------------------------------	---------------------------	----------------------	----------------------	------------------	-----------------



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

Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa para los Asentamientos Brisas del Volador Parte Alta y Tabor – Alta Loma, de la Localidad de Ciudad Bolívar, en la Ciudad de Bogotá

Arcilla Volcánica	18.2	20.1	50	100	150	20	22.5	25
Coluvión orgánico	20.0	21.4	11	14	17	37	38.5	40
Coluvión	19.0	20.8	11	14	17	37	38.5	40
Suelos residual arcilloso	17.2	18.8	8	9	10	22	25	28
Suelo residual arenoso	19.6	20.8	10	13	14	29	33	35
Arcillolitas	21.5	22.1	18	24	29	38	42	44
Areniscas	22.0	22.5	37	46	54	50	52	54

De acuerdo a las condiciones de posibilidad de falla de la capa superficial de suelo residual y de depósito, se analizó un **mecanismo de falla planar** de esta capa de suelo a través de un modelo de falla de talud infinito, y en los casos en donde se encuentran cortes cercanos, se efectuó un refinamiento de los análisis mediante el uso de un **modelo de bloque deslizando**, representados los dos casos por las siguientes expresiones:

Para evaluar el efecto de lluvias se aplicó el criterio propuesto por LUMB, el cual se basa en determinar un volumen de agua infiltrada en el talud, que se transforma en el parámetro de presión de poros ( $Ru$ ). Para determinar la cantidad de agua infiltrada se utilizó el método SCS-CN del USDA (Chow y otros, 1988 y Waniesla, 1990).

Para contemplar el efecto de sismo, se modificó el campo de fuerzas gravitacionales cambiando el ángulo de inclinación del terreno, en función de la aceleración sísmica horizontal de diseño; la pendiente del terreno equivalente en condición de sismo  $\beta_{equiv}$ , se obtiene a partir de la expresión  $\beta_{equiv} = \beta + \tan^{-1}(\alpha)$ , siendo  $\alpha$  el coeficiente de aceleración sísmica horizontal. Los dos escenarios de sismo correspondieron a  $\alpha = 0.0g$  y a  $\alpha = 0.3g$ .

Para casos muy especiales se efectuaron modelos bidimensionales de estabilidad, entre los cuales se destacan:

- El coluvión en la parte baja del Barrio Brisas del Volador, Zona 4A
- La estabilidad de las márgenes del Drenaje Principal en la parte baja
- La influencia por socavación lateral y de fondo del Drenaje Principal
- Análisis conceptual sobre la estabilidad de la margen derecha de la Quebrada de Limas y su posible influencia en la zona del Proyecto

Los análisis de estabilidad se valieron de perfiles promedio de las diferentes zonas geotécnicas homogéneas y de un mapa de pendientes.

Se analizaron combinaciones de los diferentes escenarios de sismo y lluvia utilizando los parámetros mínimos, promedios y máximos de la resistencia del macizo rocoso. En total se obtuvieron 12 combinaciones de escenarios de estabilidad.

Con respecto al modelo de falla traslacional infinita, pudieron encontrarse los siguientes resultados:

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 25
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

- La zona sur, correspondiente al Barrio Alta Loma presenta, en términos generales, condiciones de estabilidad favorables, exceptuando algunos sitios muy puntuales con pendientes mayores a 30° en el borde suroccidental de la Zona 1A en donde las condiciones de estabilidad son marginales.
- La zona nororiental correspondiente a la parte alta del Barrio Brisas del Volador, presenta condiciones de estabilidad favorables, debido a la poca inclinación del terreno y la presencia de suelos residuales competentes.
- La parte alta de la cuenca del Drenaje Principal en general presenta condiciones de estabilidad marginales: la ocurrencia de lluvias recurrentes pueden saturar la capa superficial de suelo residual y generar problemas de deformación o fallas del terreno; es importante destacar evidencias de reptamiento en algunos sitios en donde se concentra agua subterránea, entre ellos, una franja de terreno localizada al norte del Tanque de Quiba.
- La cuchilla nororiental del Barrio Brisas del Volador, presenta condiciones de estabilidad favorables.
- La parte baja del Barrio Brisas del Volador, presenta condiciones de estabilidad precarias debido a la presencia de suelos residuales, depósitos coluviales y rellenos poco competentes, susceptibles a deslizarse por influencia del agua o por la ocurrencia de sismos. Esta situación se ve agravada por la retención de agua proveniente de las capas permeables de areniscas, que saturan el depósito coluvial y el suelo residual, y que en el evento de un periodo lluvioso extremo puede desencadenar una falla general del talud abarcando el espesor total de coluvión (Zona 4A) y de suelos residuales blandos (Zona 3Ca).

En el modelo de bloque deslizante se destacan los siguientes resultados:

- Para los sectores adyacentes a los taludes de corte, tales como la vía de acceso del costado norte y oriental, la zona de la cantera nororiental y el corredor de la cárcava antigua del Barrio Tabor, y un corte ideal por socavación en la parte baja del Drenaje Principal, se han refinado los modelos teniendo en cuenta el efecto de borde en los modelos de estabilidad; para estas situaciones muy particulares se acogieron los resultados de modelo de cuña deslizante mencionado.
- Debido al gran volumen de información que genera estos resultados, puede mencionarse que para cada zona las condiciones de estabilidad para diferentes franjas de afectación en donde los factores de seguridad se ven reducidos por el efecto de borde ya mencionado. En todos los casos en donde se encuentran suelos residuales, la franja de afectación desde el borde del talud oscila entre 3.00 y 6.00 m; para el caso de corte en el coluvión localizado en la parte baja del barrio Brisas del Volador, la zona de afectación por el corte oscila entre 9.00 y 10.00 m, y para el caso de la margen derecha de Drenaje Principal, debido a la alta pendiente del terreno, el horizonte de suelo superficial de la ladera es prácticamente inestable en toda su longitud por influencia de socavación de la quebrada en la base.

Con el objeto de evaluar la estabilidad de la ladera del sector occidental del proyecto, correspondiente a la margen izquierda de la Quebrada de Limas, se analizaron tres (3) secciones de referencia desde la parte alta de ladera, hasta el Cauce de la quebrada. La zona se caracteriza por tener una pendiente pronunciada, en donde se encuentran algunos coluviones recargados en la parte baja norte y un

horizonte de suelos residuales en el resto de la ladera, compuestos por suelos arcilloarenosos poco competentes; se estima un espesor de suelos residuales variable entre 2.0 y 3.0 m; la superficie de la ladera en la parte baja presenta evidencias de cicatrices de antiguos deslizamientos superficiales, las cuales se encuentran actualmente cubiertos por vegetación, situación que refleja una condición de estabilidad marginal de la zona. Los análisis se efectuaron contemplando una posible falla de la capa superficial de suelo residual. En estos modelos se analizó la estabilidad del talud en estado seco y en estado de saturación. En estado seco se obtienen factores de seguridad del orden de 1.5 y en estado de saturación los factores de seguridad se reducen a valores del orden de  $FS=1.0$ .

Estos análisis corroboran las condiciones precarias de estabilidad de la zona, donde la saturación del talud puede llegar a reactivar deslizamientos en la zona. Es importante destacar, que esta zona se encuentra aun sin urbanizar y los cortes generados por construcción de casas y un manejo irregular de las aguas servidas, pueden afectar la estabilidad de estas zonas, en consecuencia se considera que todo este corredor no es apto para la construcción de viviendas.

## 11. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Bajo la hipótesis de que las variables que intervienen en el problema de la estabilidad de taludes 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,  $f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)$ . Además:  $FS = \varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$ . Entonces, la probabilidad de falla se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

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

Para estimar la anterior probabilidad de falla  $P_f$  se utilizó el Método PEM (Point Estimate Method, Rosenbleuth, 1975) y el cálculo de probabilidad total siguiente, para el *corto plazo* (González, 1992):

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

En donde,

- $S_1$  : Probabilidad de ocurrencia del sismo.
- $S_0 = 1 - S_1$  : Complemento de la probabilidad de ocurrencia del sismo.
- $L_1$  : Probabilidad de ocurrencia de la lluvia.
- $L_0 = 1 - L_1$  : Complemento de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia.

Además, como la lluvia y el sismo se pueden considerar eventos independientes, se tiene que  $P(S_i \cap L_j) = P(S_i) \cdot P(L_j)$ . Para el *largo plazo*, la probabilidad de ocurrencia para un año de exposición ( $P(Dz)$ ) está dada por la probabilidad total. Para un período de exposición dado, se toma la probabilidad de ocurrencia de por lo menos una vez en ese período de exposición, es decir:

$$P(Dz)_{Td} = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{Td} ; Tr = \frac{1}{P(Dz)_1}$$

La categorización de la amenaza pudo efectuarse como lo indican la **Tabla 11. 1** y la **Tabla 11. 2**.

**Tabla 11. 1 Categorización de la Amenaza con base en el Factor de Seguridad**

Categoría de la amenaza	Criterio
Muy Alta	FS menor a 0.8
Alta	0.8 < FS ≤ 1.2
Media	1.2 < FS ≤ 1.9
Baja	1.9 < FS ≤ 2.4
Muy Baja	FS mayor a 2.4

**Tabla 11. 2 Categorización de la Amenaza con base en la Probabilidad de Falla**

Categoría de la amenaza	Criterio
Muy Alta	P <sub>f</sub> mayor a 0.9
Alta	0.9 > P <sub>f</sub> ≥ 0.4
Media	0.4 > P <sub>f</sub> ≥ 0.1
Baja	0.1 > P <sub>f</sub> ≥ 0.05
Muy Baja	P <sub>f</sub> menor a 0.05

Las relaciones Probabilidad de Falla a Factor de Seguridad fueron establecidas en cada caso (zona geotécnica homogénea) con la mejor correlación entre las tres siguientes:

$$P_f = \frac{1}{1 + e^{\lambda \cdot \text{Log}(FS)}} \quad P_f = \frac{1}{1 + \zeta \cdot FS^\kappa} \quad P_f = \alpha^{FS^\beta}$$

La **Figura 11. 1** muestra el mapa de zonificación de amenaza obtenido.

## 12. ESTABILIDAD DE LAS CIMENTACIONES

Se llevó a cabo una clasificación de los tipos de estructuras de retención de tierras que sirven como soporte de la cimentación, obteniéndose las tipologías de la **Tabla 12. 1**.

**Figura 11. 1 Mapa de zonificación de Amenaza Natural**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 29
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Tabla 12. 1 Clasificación de las estructuras de retención de tierras**

CLASIFICACIÓN	TIPO DE ESTRUCTURA	CAPACIDAD ESTRUCTURAL	DRENAJE
CO	Sin estructura	Su exposición directa impone condiciones que acentúan los procesos de degradación del suelo y los desprendimientos de suelo., por erosión o pérdida de resistencia.	La ausencia de estructura facilita el drenaje pero deja expuesto el suelo a su deterioro, que se puede manifestar por erosión o desprendimientos de suelo.
C1	Sacos de polietileno rellenos de tierra	Presenta una capacidad estructural baja a nula , por la baja resistencia al desgarre y a la tracción de los sacos y la ausencia de ligantes entre sacos.	Su estructura permeable facilita el drenaje del suelo adyacente pero permite que se presenten fenómenos de erosión interna.
	Sacos de polietileno rellenos de tierra, con postes verticales		
	Muros de Piedra sin pega de mortero	Presente una capacidad estructural baja a nula por la ausencia de cementante entre bloques.	Su estructura permeable facilita el drenaje del suelo adyacente.
C2	Muros de Piedra pegada con mortero	Presenta una capacidad estructural moderada por la resistencia de los bloques y la presencia de pega entre bloques.	Su estructura poco permeable no permite el drenaje eficiente del agua detrás del muro, afectando su estabilidad.
C3	Muros de Piedra pegada con mortero y confinada con vigas y columnas de concreto.	Presenta una capacidad estructural aceptable por influencia de la estructura de concreto	Su estructura poco permeable no permite el drenaje eficiente del agua detrás del muro, afectando su estabilidad.
C4	Postes empotrados en el suelo, con tabloncillos de madera, latas o similares.	Presenta una limitada capacidad estructural debido a la poca resistencia y esbeltez de su estructura en madera	Su estructura es susceptible al deterioro estructural por procesos de humedecimiento y secado generados por variaciones climáticas.

Se contempló una quinta categoría de cimentaciones que corresponde a postes verticales que soportan plataformas de madera que se han analizado por separado, teniendo en cuenta dos criterios, tomando como referencia una fuerza horizontal generada por sismo en la plataforma de concreto: un primer criterio es el de capacidad lateral del suelo, que se basa en la Teoría de Broms para pilotes, fundamentada en el empuje pasivo que desarrolla el suelo alrededor del pilote; un segundo criterio de falla por flexión, teniendo en cuenta la gran esbeltez de estos elementos de apoyo y en función de la magnitud de las fuerzas horizontales.

Para la evaluación de la estabilidad de estas estructuras se aplicaron los criterios básicos de diseño de muros de gravedad o semigravedad, teniendo en cuenta que algunas de estas estructuras, aunque tienen una capacidad estructural limitada, pueden resistir esfuerzos de tracción. Para los análisis de estabilidad se contemplaron criterios de estabilidad interna y externa:

*Estabilidad Externa:* Estabilidad al deslizamiento y al volteo, representada por factores de seguridad definidos como la relación de fuerzas o momentos resistentes y las fuerzas o momentos actuantes en la base del muro. En este caso la calidad del suelo que contiene el muro incide de manera apreciable en su estabilidad.

Con respecto a la capacidad portante por carga vertical, se considera que este no es un parámetro relevante teniendo en cuenta la poca altura de los muros de la zona, las cuales son soportadas en todos los casos con suficiente amplitud por el suelo portante aún para suelos de baja calidad.

*Estabilidad Interna:* **Los factores** de seguridad por estabilidad interna consideraron la calidad estructural del muro; para su valoración se determinaron valores medios de resistencia a la tensión, a la compresión y al cortante que conforma el muro, parámetros que gobiernan su comportamiento estructural.

Los análisis contemplaron la evaluación de estabilidad interna del muro en una sección de control definida a la altura del punto inferior del escalón, en donde se desarrollan aproximadamente las fuerzas máximas de cortante y momento en el muro. Para valorar su capacidad estructural se determinó el factor de seguridad contra fuerzas de corte y momentos flectores definido también como la relación entre fuerzas resistentes y actuantes.

Los resultados indican lo siguiente:

- Los sistemas de contención con sacos de tierra son muy limitados para contener suelos debido a su baja capacidad estructural; la altura máxima que puede contener el suelo o relleno no es superior a 1m; este resultado es coherente con los principios básicos de diseño de muros de gravedad en donde el ancho de la base debe ser del orden de  $1/3$  a  $1/2$  la altura libre del muro.
- Los sistemas de contención con piedra pegada con mortero pueden soportar alturas variables entre 1.1 y 4.0 m dependiendo de la calidad de suelo o relleno que contenga; para suelos de muy baja calidad la altura permisible es de 1.1 m y para suelos residuales competentes puede alcanzar a soportar alturas libres hasta de 4.0m; la bondad de este sistema se debe a su mayor capacidad de resistencia interna a la tracción.
- El caso de estructuras de contención con palafitos pueden llegar a ser tan eficientes como el sistema de piedra pegada, siempre y cuando se cuente con un empotramiento generoso en la base, tal como se consideró en los análisis con empotramiento mínimo de 1.5 m, por otra parte se debe contar con separaciones entre postes no menor a 1.0 m.
- El sistema de palafitos como soporte de plataformas aéreas son limitados y no ofrecen la suficiente seguridad de estabilidad en condición de carga sísmica; las alturas de seguridad son menores de 1m por la baja capacidad lateral del suelo con valor máximo 2.0 m, en donde se puede generar la rotura de su sección.
- En el caso de estructuras sin ningún tipo de contención, la altura de falla del talud puede variar entre 0.5 y 1.0 m dependiendo de la calidad del suelo lateral; para los perfiles con predominio de suelos muy competentes o roca la altura de falla es superior a 4.0 m.

Empleando una categorización de la amenaza como la que corresponde a la de deslizamiento, se pudo establecer el mapa de la **Figura 13. 2**, el cual muestra la evaluación del modelo de estabilidad de las

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 31
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Figura 13. 2 Mapa de Amenaza por calidad de las cimentaciones**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 32
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------



cimentaciones, predio a predio. El inventario de viviendas y una verificación posterior en campo permitieron establecer la precisión del modelo y calibrarlo para reducir su incertidumbre.

### 13. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA AMENAZA

Con base en las cinco categorías en las cuales se discriminó la amenaza, se presentan a continuación las obras de mitigación o las medidas que se deben acometer para cada caso, en función de las características de los problemas geotécnicos y el grado de afectación que éstos generan en la zona de estudio.

#### 13.1. ZONA 1: PARTE ALTA

Aunque las zonas de cárcavas se encuentran localizadas por fuera del perímetro de la zona de estudio, es necesario acometer sobre ellas medidas correctivas que permitan frenar el proceso de erosión que allí se está presentando. Las obras correctivas que se deben adelantar son las siguientes:

- 1) Conformación de terreno mediante la construcción de trinchos de madera distanciados cada 10.0 m desde la corona de las cárcavas existentes, incluyendo filtros de drenaje en la base de la cárcava. Para la construcción de estos trinchos, se pueden aplicar tratamientos biotécnicos, mediante la utilización de especies arbustivas de la región, combinadas con los trinchos.
- 2) Colocación de un subdrén o una red de subdrenes en forma de espina de pescado en la parte baja de la cárcava, con el objeto de interceptar el agua subsuperficial y drenarla rápidamente hacia la parte inferior de la cárcava en una zona donde no genere afectaciones.
- 3) Relleno de la parte superior de las cárcavas con suelo granular y cubrimiento de su superficie con una capa de sello arcilloso y cobertura vegetal.
- 4) Recuperación de la cobertura vegetal en las superficies afectadas por la erosión.
- 5) Como medidas complementarias se deben efectuar las correcciones de los vertimientos de aguas residuales que provienen de las casas aledañas a las cárcavas (Zona 1A).

#### 13.2. ZONA 2: PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL DRENAJE PRINCIPAL EN EL LADO NORTE

En este sector durante el desarrollo del presente estudio, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá efectuó obras de conducción de aguas negras en la zona; por medio de estas obras se esta controlando en buena medida uno de los factores que pueden generar problemas de estabilidad de taludes y cortes. Sin embargo, es necesario completar estas obras y complementar esta acción con el desarrollo de campañas de revisión y corrección de las instalaciones hidráulicas de aguas potables y residuales en las casas.

En la zona sur, parte mas alta de la cuenca de la Quebrada, se presenta un problema local de saturación del suelo, por la presencia de agua que mana de la ladera natural; por la conformación general de la zona es poco probable que esta agua provenga de acuíferos naturales y existe una alta probabilidad que el agua provenga del tanque de agua potable que se encuentra en el lomo del cerro.

Para reducir la amenaza por deslizamientos de la capa superficial de suelo se recomienda acometer las siguientes obras:

- 1) Revisión del estado estructural del tanque y reparaciones del mismo en el caso de encontrar anomalías en su estructura.
- 2) Conformación de unas tres trincheras drenantes con gravilla y geotextil, del orden de 70 m de largo y 2 m de profundidad, siguiendo la pendiente de la ladera natural, de tal manera que intercepte el sustrato de roca saturado que se encuentra a unos 2 m de profundidad de la superficie.
- 3) Revisión y corrección de las redes de agua potable y de los vertimientos de aguas residuales en las casas del sector.

### **13.3. ZONA 3: PARTE BAJA DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA ROCOSA)**

Sector 3A: Zona de alta pendiente con un recubrimiento bajo a nulo de suelo, sobre roca competente; debido a la alta pendiente del terreno esta zona se considera de amenaza alta.

- 1) En esta zona se encuentran en superficie algunos bloques sueltos de tamaño considerable que deben ser demolidos para prevenir posibles daños en las casas de la parte baja de la Zona 4A.
- 2) Se debe prohibir la construcción de viviendas, ya que estas pueden deteriorar la calidad del sustrato de roca y generar desprendimientos de materiales en los taludes de corte.

Zona 3B: Zona de pendiente moderada con un recubrimiento bajo de suelo, sobre roca medianamente competente, de amenaza geotécnica media a baja. Las medidas preventivas y correctivas que deben considerarse son las siguientes:

- 1) Las casas que se encuentren en el corredor adyacente a la corona del talud de corte de la vía o de la cantera del costado nor-oriental deben ser reubicadas, ya que el talud presenta problemas de erosión que pueden generar problemas locales de estabilidad del talud y afectar las casas aledañas.
- 2) Se deben implementar normas de construcción limitando las alturas de corte de los taludes y retirando totalmente la capa de suelo superficial; los rellenos deben ser contenidos por estructuras estables de buena calidad estructural y los rellenos se deben cimentar sobre el sustrato de roca, previamente escalonado.

Zona 3C: Zona de pendiente moderada a alta con la presencia de depósitos y suelos residuales poco competentes, presencia de agua abundante por aguas superficiales y agua que mana de la roca; se presentan problemas de estabilidad activos. La amenaza geotécnica por deslizamientos es muy alta. Las medidas de mitigación en esta zona son las siguientes:

- 1) Evacuación de las viviendas que se encuentran localizadas en estos corredores.
- 2) Prohibir la construcción de casas.
- 3) Recuperación de las zonas con obras de reconformación de las terrazas o plataformas de las casas existentes, drenaje subsuperficial y cobertura vegetal, para evitar el deterioro progresivo de estas zonas y que se detonen problemas de estabilidad de mayor magnitud.

#### 13.4. ZONA 4: PARTE BAJA DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (COLUVIÓN)

En esta zona las condiciones de estabilidad son marginales y se genera amenaza alta por inestabilidad, debido a la baja calidad del suelo, al aporte de aguas servidas en las casas y por la posible presencia de acuíferos en los mantos permeables de areniscas que se encuentran bajo el coluvión. Para mitigar los problemas de estabilidad en estas zonas se proponen las siguientes medidas preventivas y correctivas:

- 1) Se debe mejorar la infraestructura de servicios públicos en las casas del sector: La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá está construyendo redes de alcantarillado a lo largo de los callejones que se prolongan entre las casas, situación que favorece a la estabilidad del sector.
- 2) Es necesario implementar obras adicionales de drenaje subsuperficial mediante la construcción de trincheras drenantes con gravilla y geotextil, con el objeto de interceptar y evacuar con rapidez el agua que queda infiltrada en el cuerpo del coluvión después de las lluvias.
- 3) Instalación de drenes subhorizontales en la parte media baja de la ladera, con el fin de interceptar posibles acuíferos y liberar las presiones de poros que estos pueden generar contra el coluvión.
- 4) Se deben corregir los sistemas de cimentación de las casas reemplazando las cimentaciones deficientes por estructuras de contención estables y durables como sistemas de muros de piedra pegada y muros de piedra pegada confinadas con elementos de concreto.
- 5) Se deben hacer cumplir normas básicas de calidad de cimentación, construcción y sistemas básicos de impermeabilización y drenajes para las casas que se construyan en el futuro.

En la parte alta de esta zona, la pendiente del terreno se incrementa, y la plataforma en donde se encuentran cimentadas las casas corresponden a rellenos de muy baja calidad y presentan evidencias de deformación, que se evidencian por pérdida de verticalidad de los muros de las casas. Esta zona en consecuencia se considera de amenaza muy alta, por lo tanto, las casas de este corredor, deben ser reubicadas.

#### 13.5. ZONA 5 : RONDA DE INUNDACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL Y RELLENOS

Estas zonas se consideran de amenaza muy alta por inundación y por la baja calidad de los materiales. Las medidas que deben considerarse en esta zona son las siguientes:

- 1) Reubicación de casas localizadas en la ronda de inundación del cauce principal.
- 2) Recuperación del cauce mediante la canalización del agua de escorrentía y subsuperficial con un sistema mixto de un colector de aguas negras y un interceptor de aguas lluvias con sus sumideros.
- 4) Evacuación de las casas que se encuentran localizadas en estos corredores.
- 5) Prohibir la construcción de casas en estos corredores.

#### 13.6. OTRAS ACCIONES

Dentro de las zonas que no queden clasificadas como de alto riesgo, se deben implementar obras de infraestructura mediante la construcción de accesos peatonales y vehiculares, y redes de drenaje superficial y subsuperficial. De esta manera se puede reducir el deterioro progresivo de las capas superficiales de suelo en el tiempo.

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 35
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

En la zona de la cárcava antigua, el Acueducto de Bogotá D.C., tiene proyectada la construcción de un colector de aguas lluvias en la base de la cárcava, el cual quedará cubierto por un relleno. Esta solución se puede integrar a las obras de mitigación propuestas para el proyecto.

La **Figura 13. 3** y la **Figura 13. 4** muestran las alternativas de mitigación propuestas. La **Tabla 13. 1** muestra los porcentajes de viviendas a intervenir en el área de estudio, y la **Tabla 13. 2** contiene la lista de predios a intervenir.

**Tabla 13. 1 Distribución de la intervención sobre predios construidos**

TIPO DE INTERVENCIÓN	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL CONSTRUIDO
Viviendas a reubicar	144	20.9%
Viviendas cuya cimentación requiere adecuación total	64	9.3%
Viviendas cuyos sistemas internos de drenaje e impermeabilización requieren mejoras	8	1.2%
Viviendas cuya cimentación requiere mejoras en infraestructura	199	28.8%
Viviendas que no es necesario intervenir	275	39.9%

**Figura 13. 3 Medidas de mitigación propuestas**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 37
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Figura 13. 4 Cortes esquemáticos de las medidas de mitigación propuestas**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 38
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Tabla 13. 2 Listado de predios a intervenir**

<b>APROBÓ:</b> ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	<b>ELABORÓ:</b> GEOCING LTDA.	<b>INFORME N°</b> GE-100	<b>FECHA:</b> 20/02/2004	<b>REVISIÓN N°</b> 0	<b>PÁGINA N°</b> 39
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------