

**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**

**TOMO I
INFORME FINAL**

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 283 DE 2003

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

En cumplimiento del Contrato de Consultoría N° 283/03, suscrito entre el **FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS – FOPAE** y **GEOCING LTDA.**, cuyo objeto es el de realizar el “Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa en los Asentamientos Brisas del Volador Parte Alta y Tabor-Alta Loma de la Localidad de Ciudad Bolívar, en la Ciudad de Bogotá”, se presenta el Informe Final con el resumen de los trabajos realizados y las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se relaciona a continuación la información secundaria disponible útil recopilada para el Estudio:

- Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH INGENIERÍA Y RECURSOS HÍDRICOS LTDA. – EAAB. 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.
- Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa para los Barrios Cordillera, Tierra Linda y Los Alpes, de la Localidad de Ciudad Bolívar en la Ciudad de Bogotá D.C. UNIÓN TEMPORAL GIA – IGR. FOPAE. 2003

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

- Geología y Aspectos Geotécnicos de la Parte Central del sector denominado “Ciudad Bolívar” en el Distrito Especial de Bogotá, 1987. GUTIÉRREZ G Y COLEGIAL, J.
- Zonificación por remoción en masa en los barrios Villas de Diamante de la Localidad de Ciudad Bolívar, 2003.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El presente Informe Final está compuesto por los siguientes capítulos:

- Capítulo 1.** Generalidades
- Capítulo 2.** Levantamiento Topográfico
- Capítulo 3.** Geología y Geomorfología
- Capítulo 4.** Investigación del Subsuelo
- Capítulo 5.** Caracterización Geotécnica
- Capítulo 6.** Hidrología e Hidráulica
- Capítulo 7.** Respuesta Dinámica del Subsuelo
- Capítulo 8.** Análisis de la Influencia de los Factores Detonantes Identificados
- Capítulo 9.** Análisis Probabilístico de Estabilidad
- Capítulo 10.** Evaluación de Amenaza
- Capítulo 11.** Alternativas para la Reducción de la Amenaza

1.4. DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR

La zona de estudio tiene un área aproximada de 14.0 ha y comprende los asentamientos de origen ilegal identificados como “Brisas del Volador Parte Alta y Tabor – Alta Loma” de la Localidad Ciudad Bolívar. Abarca una gran franja de terreno de forma alargada, del orden de 100.0 a 250.0 m de ancho y de unos 950.0 m de largo correspondiente a la parte alta del cerro.

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

En el **Plano GE100-PL-01** se presenta el esquema de localización aproximada en Bogotá D.C.

La mitad del corredor del lado Sur limita por el norte con los tanques de agua potable (punto más alto del cerro); este corredor presenta una topografía ondulada en donde hay construidas casas de uno y dos pisos. En la parte media se encuentra una cárcava antigua, que atraviesa el corredor en sentido este-oeste; esta cárcava se encuentra cubierta con vegetación en la parte baja, mientras que en la parte alta, se encuentra cubierta con rellenos e invadida por algunas casas. Geotécnicamente, este sector se caracteriza por la presencia de una capa delgada de suelo arenolimoso y cenizas volcánicas, seguido por rocas limoarenosas.

La mitad del corredor del lado Norte se caracteriza por tener una topografía escarpada, y a lo largo de éste se observan depósitos coluviales de espesor variable entre 1.0 y 3.0 m, que descansan sobre areniscas y arcillolitas. A lo largo del corredor se encuentra un cauce natural por donde se vierten las aguas residuales de las casas del sector, que denominaremos en este Informe el “Drenaje Principal”; en

épocas de lluvia fuerte se presentan inundaciones locales que alcanzan a afectar las casas que se encuentran muy cerca de su cauce.

En este sector se han desarrollado asentamientos de origen ilegal, sin condiciones técnicas, de construcción ni de urbanismo, factor que degrada hacia condiciones muy deficientes de corte y relleno para el emplazamiento de viviendas, la intervención de rondas de Quebradas tanto por cortes, rellenos o disposición de aguas negras y lluvias, el inadecuado manejo de aguas lluvias y servidas, etc.

En la visita de reconocimiento se pudieron establecer los siguientes problemas de estabilidad:

- Problemas de erosión y socavación en los drenajes naturales afluentes de la Quebrada Limas, tanto por la acción natural de las lluvias como por la acción antrópica causada por la disposición de aguas servidas y el taponamiento del cauce por rellenos y cortes para construcción de viviendas.
- Los taludes de los drenajes naturales tienen una alta pendiente que sumada a la acción de socavación de la pata del talud, puede ocasionar pequeños deslizamientos a lo largo de dichos drenajes. Algunas viviendas, localizadas sobre este talud o muy cerca de él pueden verse afectadas por los movimientos.
- La margen derecha de la Quebrada Limas presenta una pendiente mayor a 45° en donde la urbanización indiscriminada y antitécnica ha llevado a la realización de cortes y rellenos a media ladera, sin ningún tipo de diseño o medidas de control.
- El anterior problema también se detecta aisladamente en la parte superior de la ladera (lomos) aunque de manera menos evidente gracias a la menor pendiente. En este sector de los lomos, a excepción de los sectores cercanos a los drenajes afluentes de la Quebrada Limas, el mayor problema evidenciado corresponde a la erosión superficial debido a la aridez del terreno y el poco o nulo manejo de las aguas lluvias y servidas en el sector.

Estos problemas pueden acrecentarse con la ocurrencia de eventos extremos de sismo o lluvia, así como con la urbanización indiscriminada de los sectores despoblados y el mal manejo de aguas servidas.

1.5. MODELOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para el análisis de riesgo por fenómenos de remoción en masa (FRM) se seguirá la metodología sugerida por Omar Darío Cardona: "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

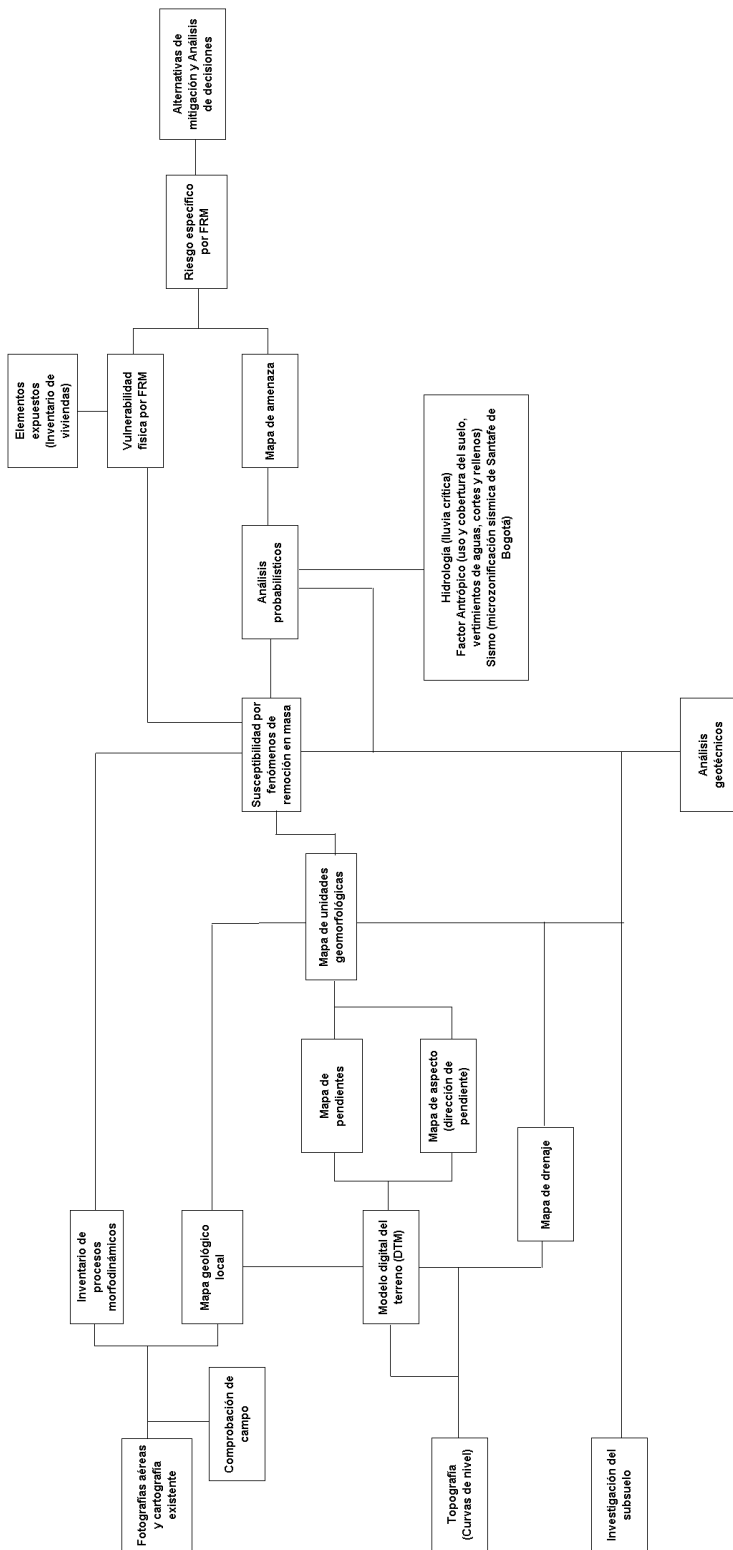
Para obtener los tres componentes anteriores, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se seguirá la metodología de la **Figura 1. 1**, resumida como sigue:

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.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 3
--------------------------------------	---------------------------	----------------------	----------------------	------------------	----------------

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo realizados.
- Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia, especialmente). Para determinar y caracterizar el sismo se llevará a cabo un análisis de respuesta sísmica local. Entre tanto, 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 la estabilidad de sus estructuras de contención.
- Determinación de los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) necesarios para realización de los análisis de estabilidad, con base en los resultados de los análisis de laboratorio.
- Desarrollo de los análisis de estabilidad, determinando los factores de seguridad para diferentes hipótesis por medio de la teoría del equilibrio límite. Posteriormente, se hallará la probabilidad de falla utilizando el método PEM.
- Planteamiento conceptual de obras de mitigación adecuadas y sostenibles.

Figura 1. 1 Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM



2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

La obtención de una base cartográfica para el Estudio comprendió la ejecución de la planimetría y la altimetría de la zona, la delimitación y ubicación de las vías, drenajes, postes, redes de alcantarillado y demás aspectos relevantes.

2.1. ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación se describen las actividades realizadas para la obtención de la información cartográfica:

- En la semana del 20 al 24 de Octubre de 2003 se realizó una visita de campo de reconocimiento de los límites del levantamiento topográfico, así: al Este, la vía de acceso al Barrio Los Alpes; al Oeste, la vía de acceso al Barrio Paraíso, siguiendo la divisoria de aguas de la elevación que se dirige al Sur hasta la mitad de ésta, y de allí por otra línea imaginaria que divide en dos partes iguales la pendiente hasta diez metros debajo de la última casa, de bloque y bases de piedra, ubicada en el parte Sur occidental de la zona urbanizada, y de allí en sentido Sur-oriental hasta encontrar la vía de acceso al Barrio Los Alpes.
- El trabajo se desarrolló en tres frentes: el primero iniciando desde la zona norte, de mayor pendiente, la cual presenta mayor desorden en sus líneas de paramento y en la definición de cada uno de los lotes (Barrio Brisas del Volador); el segundo inició en la zona Sur hacia el norte, zona que presenta mayor delimitación de vías y paramentos y que posee construcciones en su mayoría de bloque y ladrillo (Barrio Los Alpes); una tercera inició labores en la zona circundante del tanque, que es la parte de mayores elevaciones.
- La toma de datos de campo se realizó entre el 27 de octubre y el 1 de noviembre y entre el 4 y el 8 de noviembre, con un total de 7194 puntos radiados, de los cuales, menos del 15% fueron tomados exclusivamente para determinar curvas de nivel y los restantes para información planimétrica de cada uno de los diferentes elementos que se encontraron en la zona tales como lotes, construcciones, drenajes, Quebradas, postes de alumbrado, postes de energía, postes de teléfono, pilares de contador de luz, vías, escaleras, pozos, alcantarillas, cámaras de teléfonos y piedras, entre otros.
- Debido a la alta densidad de puntos en la zona norte, los dibujos realizados durante el levantamiento topográfico no resolvían la totalidad de los detalles encontrados, por lo tanto fue necesario realizar visitas diarias adicionales para despejar las dudas que se presentaban a la hora de realizar el dibujo definitivo (a medida que se realizaba el dibujo en oficina se imprimía una copia de este y se llevaba a campo con el fin de verificar lo realizado y actualizarlo con la existente en campo). Se detectó inclusive la construcción de nuevas edificaciones y el desmonte de otras, lo cual no se encontraba en el levantamiento, actualizándolo cada vez.

- El amarre se realizó con los Vértices CD 616 con azimut a la Cruz de la Iglesia de Monserrate (certificación del IGAC 022646 del 2 de diciembre de 2003 a nombre de Edwin Gaitán; recibo número SB277863 del 1 de Diciembre de 2003), que se encuentra en cercanías a otro tanque del acueducto en la siguiente elevación al norte de la zona de trabajo, en los alrededores del Barrio Jerusalén.
- Los cálculos requeridos se realizaron en el programa TRANSIT y en la manipulación de las carteras electrónicas para la modificación de las coordenadas iniciales y el azimut inicial para determinar la real posición de todos y cada uno de los puntos radiados. El dibujo se realizó en AutoCAD R14 y las curvas de nivel en SURFER 8.0, obteniéndose finalmente el **Plano GE100-PL-01**.
- Adicionalmente se materializaron tres mojones en campo (ver **Plano GE100-PL-01**) 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

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

El **Anexo A2.1** contiene las certificaciones IGAC de los vértices geodésicos utilizados para el amarre a coordenadas reales, así como la cartera de campo y la nube de puntos.

2.2. RESULTADOS

Como resultado de esta actividad es el **Plano GE100-PL-01**, a escala 1:1000 con curvas de nivel cada 0.5 m. El área levantada fue de 15,43 Ha, en un terreno de pendientes altas donde las cotas de nivel varían entre los 2781 y 2943 msnm. Se delimitaron 710 viviendas, 43 de ellas localizadas en la ladera occidental por fuera del área del estudio.

2.3. INVENTARIO DE VIVIENDAS

Como trabajo complementario útil para las demás actividades del Estudio, se llevó a cabo un Inventario de Viviendas, el cual permitió definir, entre otras, las siguientes variables:

- Índice de daño actual: con base en la **Tabla 2. 2**
- Tipo de vivienda: con base en la **Tabla 2. 3**
- Características de los servicios públicos
- Suelo de fundación
- Geometría de las estructuras de cimentación y contención
- Eventos de remoción en masa acontecidos

Los formularios de Inventario de Viviendas recolectados en campo aparecen en el **Tomo II** del presente Estudio. El compendio de sus resultados está en el **Anexo A2.2**.

Tabla 2. 2 Tipos de daño en edificaciones según el Délégation aux Risques Majeurs (DRM)

Índice de daño	Tipo de daño	Porcentaje de daño
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 a 10.0
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	20.0 a 30.0
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	40.0 a 50.0
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	70.0 a 80.0
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	90.0 a 100.0

Tabla 2. 3 Tipificación de las viviendas (Leone, 1996)

Tipo	DESCRIPCIÓN
B1	Construcciones de muy mala calidad, sin fundación ni ligazón estructural, denominadas generalmente <i>de recuperación</i> , <i>tugurios</i> o <i>ranchos</i> .
B2	Construcciones de calidad regular a mala. No tienen refuerzo estructural ni fundación adecuados.
B3	Construcciones de buena calidad, realizadas con materiales tradicionales (concreto, mampostería, hierro, etc.), de hasta dos niveles.
B4	Construcciones de muy buena calidad, con refuerzo estructural y adecuada cimentación, de más de dos niveles.

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.1. GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1. Introducción

El área de estudio 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 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.

En este numeral se describen las condiciones geológicas regionales del sector, con una evaluación de los diferentes factores litológicos, tectónicos y estructurales que controlan la estabilidad natural de las laderas. Adicionalmente, se describen las condiciones geomorfológicas en el contexto regional, orientadas a explicar los diferentes procesos que han modelado el paisaje y su evaluación como factores de amenaza.

3.1.2. Metodología

La elaboración del Mapa Geológico Regional utilizó inicialmente la información existente en INGEOMINAS y en los estudios anteriores de DPAE relacionados; posteriormente se realizaron una serie de visitas de campo para ajustar inconsistencias de la información recopilada y finalmente se actualizó con el trabajo de campo para la geología local.

Los estudios consultados para la primera fase de recopilación de información fueron:

- Geología y Aspectos Geotécnicos de la parte central del sector denominado “Ciudad Bolívar” en el Distrito Especial de Bogotá, 1987. Gutiérrez G y Colegial, J.
- Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, D.C, INGEOCIM LTDA-UPES-FOPAE, 1998.
- Zonificación de Amenaza por remoción en masa en los barrios Cordillera Sur, Tierra Linda y Los Alpes de la Localidad de Ciudad Bolívar, UT IGR – GIA, 2003.
- Zonificación por remoción en masa en los barrios Villas de Diamante de la Localidad de Ciudad Bolívar, 2003.

Las visitas de campo 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. Durante las actividades de campo se pudo establecer la existencia de otra falla no cartografiada; además en las cartografías anteriores se registraba 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. En el **Plano GE100-PL-02** se ubican los aspectos más relevantes de la Geología y Geomorfología Regionales, a escala 1:5000 del polígono delimitado por las coordenadas 93000 N a 95000 N y 90500 E a 92000 E.

A continuación se exponen, de manera resumida, los aspectos generales y relevantes de las características estratigráficas, estructurales y geomorfológicas regionales para el presente estudio.

3.1.3. 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 Guadalupe 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.

Las unidades estratigráficas expuestas en el área que sirve de contexto geológico y geomorfológico para la zona de estudio son las más antiguas (Cretáceo) que hacen presencia en la zona urbana del Distrito Capital y se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos de origen coluvial, suelos de origen aluvial y rellenos antrópicos. Estas unidades litológicas, en su mayor parte se encuentran altamente meteorizadas dando lugar a suelos residuales de espesores importantes, en donde en ocasiones es imposible identificar la textura de la roca original; este proceso es el resultado del intenso fallamiento que ha generado un alto grado de fracturamiento, exponiendo áreas importantes de brecha de falla.

Para la descripción de estas unidades en la localidad de Ciudad Bolívar, se tiene en cuenta la información del estudio de Gutierrez, G. y Colegial, J. (1987) que describen las columnas estratigráficas de las diferentes unidades del cretáceo y terciario, expuestas en el contexto regional de la zona de estudio.

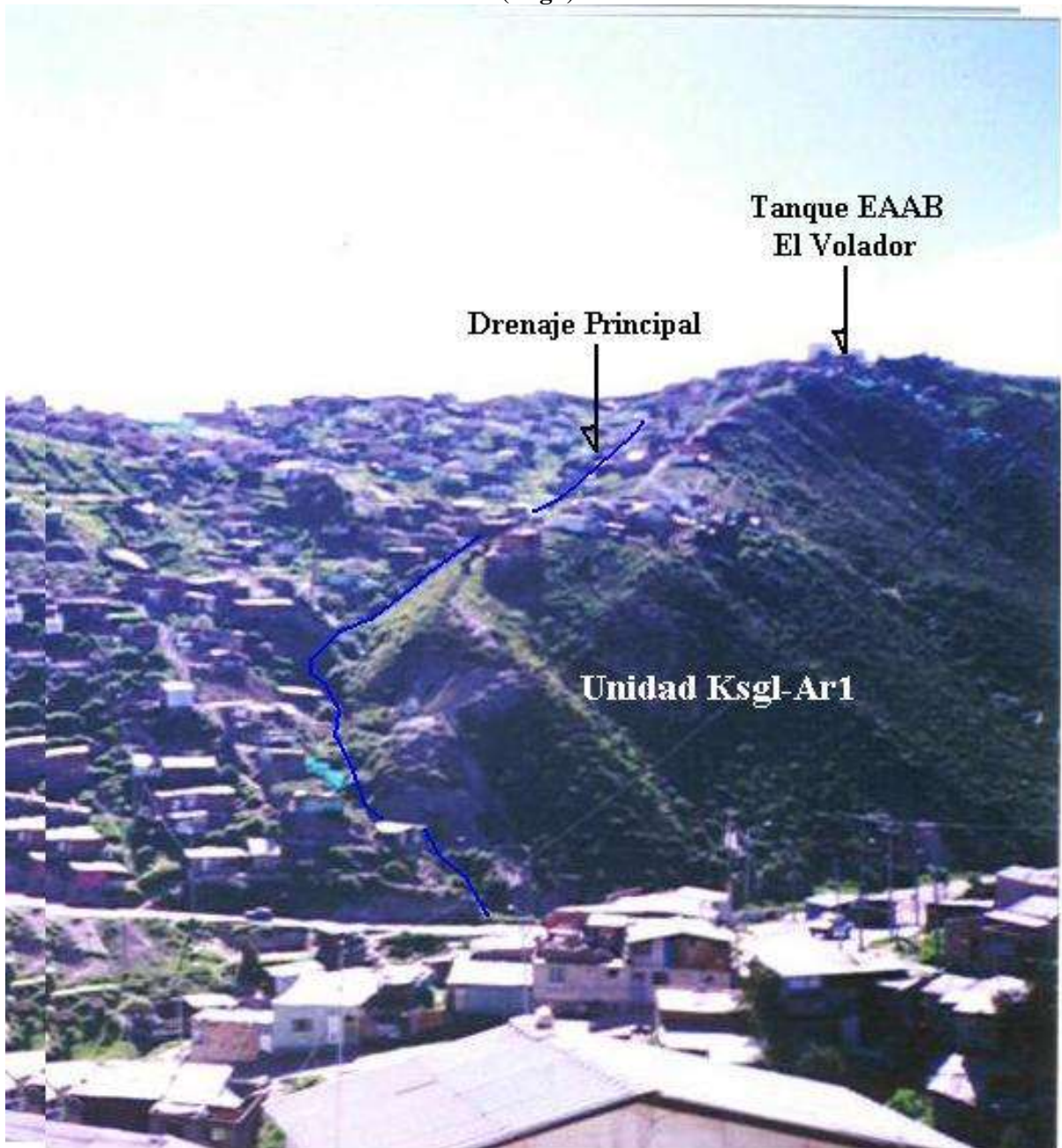
3.1.3.1. Unidades de Roca del Cretáceo Superior (Ksg)

Las rocas del cretáceo se encuentran conformadas por las areniscas y arcillolitas de Grupo Guadalupe ampliamente descritas por los geólogos HUBACH (1957), BURGL (1959-1961), UJUETA (1961), JULIVERT (1968), RENZONI (1962) y PEREZ SALAZAR (1971). El grupo Guadalupe se encuentra dividido en cuatro formaciones: Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna.

Formación Arenisca Dura (Ksgd). Esta unidad representa la base del Grupo Guadalupe y aflora en la parte occidental del área de estudio. Constituida por una sucesión de areniscas de grano fino a medio, blancas a gris amarillento, cuarzosas, cemento siliceo, duras y bien seleccionadas con algunos niveles de limolitas silíceas. La mayor exposición se observa, sobre la vertiente occidental de la cuenca de la Quebrada de Limas (Véase **Plano GE100-PL-02**), formando parte del núcleo de una estructura anticlinal muy deformada por efectos tectónicos. En superficie se presenta cubierta por suelos coluviales, y una unidad residual de

grandes bloques expuestos en superficie. En la **Fotografía 3. 1** se aprecian las unidades de roca de la Formación Arenisca Dura.

Fotografía 3. 1 Cantera del Barrio Bella Flor, Localidad de Ciudad Bolívar. Exposición de unidades de roca de la Formación Arenisca Dura (Ksgd)



Formación Plaeners (Ksgp). Suprayace a la unidad “Arenisca Dura”, aflora en la parte media de la zona, conformado las laderas de mayor pendiente que delimitan el valle de la Quebrada de Limas; está constituido 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. Estas unidades se localizan entre el límite occidental de la zona de estudio y la Quebrada de Limas (Véase **Plano GE100-PL-02** y **Fotografía 3. 2**), en general se presentan muy replegadas y alteradas en superficie.

Formación Arenisca Labor (Ksgl). Esta unidad suprayace a la Formación Plaeners, y se expone ampliamente en el área de estudio y sectores adyacentes; esta compuesta por areniscas de grano fino a conglomerática, de color blanco a gris, con intercalaciones delgadas de lodolitas silíceas. Se caracteriza por la presencia de areniscas en mantos gruesos a muy gruesas, con espesores hasta de 5.0m. Por las condiciones estructurales y tectónicas de ese sector de la Sabana, las unidades de esta formación en general se presentan muy fracturadas (Véase **Plano GE100-PL-02**).

Formación Arenisca Tierna (Ksgt). Es la unidad superior del Grupo Guadalupe, conformada por capas de areniscas de grano grueso y conglomeráticas, en mantos arenosos masivos con delgadas intercalaciones de arcillolitas, hacia la parte superior de la unidad las capas de areniscas se vuelven masivas, de color gris claro, cuarzosa y muy friable. En el área de estudio se expone sobre las laderas del costado oriental, con una buena exposición sobre la cantera El Volador (Véase **Plano GE100-PL-02**).

3.1.3.2. 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 esta subdividida en tres unidades: inferior, media y superior y en términos generales esta constituida por una secuencia de arcillolitas grises interestratificadas con areniscas de grano fino a medio, ocasionalmente conglomeráticas, con arcillolitas y mantos de carbón (Véase **Plano GE100-PL-02**).

Formación Guaduas - Conjunto Inferior (Tkgi)

El conjunto inferior de la Formación Guaduas suprayace concordantemente sobre las areniscas conglomeráticas de la Formación Arenisca Tierna y están constituidas por 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 35 cm de espesor (Véase **Plano GE100-PL-02**).

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 (Véase **Plano GE100-PL-02**).

3.1.3.3. Suelos y Depósitos de Cuaternario

En este sector de la ciudad, 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. Son depósitos originados por los procesos de denudación combinados de glaciares y ríos caracterizados por presentar bloques de arenisca de hasta 5 metros de diámetro con una matriz de gravas y limos bien cementada. Se encuentran cubriendo las rocas de la Formación Arenisca Dura (Ksgd) hacia la parte Sur occidental de la zona occidental en cercanías de la Quebrada de Limas (Véase **Plano GE100-PL-02** y **Fotografía 3. 2**).

Depósitos Aluviales (Qal). Estos depósitos se observan sobre ambos márgenes de la Quebrada de Limas, conformando un nivel de terraza, constituidos por cantos de areniscas redondeados bien cementados en una matriz arenosa y de poco espesor (0.6-0.8 m). Al oriente de la zona de estudio estas unidades presentan una mayor extensión y se asocian a los procesos de sedimentación de los diferentes drenajes (Véase **Plano GE100-PL-02**).

Depósito Coluvial (Qc). Son depósitos ubicados en la parte media e inferior de las laderas como resultado de los procesos de erosión y sedimentación local de las rocas sedimentarias del cretáceo y terciario y de antiguos movimientos en masa. Se encuentran cubriendo localmente las rocas del Grupo Guadalupe y están constituidos por cantos y gravas angulares dentro de una matriz limo-arcillosa (Véase **Plano GE100-PL-02**).

3.1.4. Geología Estructural

Las condiciones estructurales de este sector de la ciudad corresponde a un bloque tectónico, levantado por un sistema de fallas inversas, que delimita por este sector el sinclinal de Usme. Las condiciones estructurales se describen a continuación:

- 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. (Véase **Plano GE100-PL-02**).
- 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 (Véase **Fotografía 3. 2** y **Plano GE100-PL-02**).
- 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 (Véase **Fotografía 3. 2** y **Plano GE100-PL-02**).

- 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 (Véase **Plano GE100-PL-02**).
- 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 (Véase **Plano GE100-PL-02**).

**Fotografía 3. 2 Quebrada de Limas, parte Sur del área de estudio.
Unidades geológicas y fallas de carácter regional**



3.2. 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 denudativas. 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 urbanística 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.

3.3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

3.3.1. Introducción

Los barrios Brisas del Volador, Alta Loma y Tabor se encuentran ubicadas en un área que históricamente ha sido utilizada para la extracción de arenas y arcillas y en menor intensidad en actividades agrícolas, caracterizada geológicamente por la presencia de las areniscas de las Formaciones Labor y Tierna y por la intensidad de fallas de carácter regional y local. Las rocas se encuentran muy meteorizadas y generalmente cubiertas por suelos residuales de hasta dos metros, depósitos coluviales, cenizas volcánicas y rellenos antrópicos.

Con el objetivo de determinar las unidades geológicas superficiales, definir el modelo geológico, tectónico y clasificar las laderas según sus características geomorfológicas se recopiló información regional y de estudios detallados cercanos a la zona de estudio

3.3.2. Estratigrafía

Las unidades de roca en la zona pertenecen a las Formaciones Labor y Tierna cubiertas por suelos residuales; a excepción de los afloramientos presentes en los cortes de las vías que conducen a los Barrios Bella Flor y Paraíso (parte norte en la zona de estudio) y la zona de estudio. Las rocas se encuentran con diferentes grados de meteorización observables solamente en algunos cortes de las viviendas en construcción.

Teniendo en cuenta el objetivo del estudio y la necesidad de cartografiar las unidades superficiales del suelo se determinó las unidades de roca que afloran y subyacen los depósitos y suelos, como se puede observar en el **Plano GE100-PL-03**, Geología Local y en las secciones geológicas del **Plano GE100-PL-04**.

Para mayor claridad de la estratigrafía se describen primero las unidades de roca y después los depósitos y suelos, en el **Plano GE100-PL-03** y el **Plano GE100-PL-04**, Geología Local y Secciones Geológicas se definen áreas combinadas de unidades de roca y suelo según la importancia e interés de las unidades superficiales.

La descripción de las unidades se hace de base a techo y la sigla que se asignó a cada unidad fue definida por su litología (Ar para unidades de arenisca y Ac para las arcillolitas y

lodolitas) y por su antigüedad, para ello se le asignó un número que aumenta hacia el techo y disminuye hacia la base de la columna estratigráfica local.

3.3.2.1. 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 (Véanse **Plano GE100-PL-02** y **Plano GE100-PL-03**). Se diferenciaron las siguientes unidades de roca de esta Formación:

Unidad Ar1. Constituidas por areniscas de color amarilla, friables de grano medio a grueso, masivas con pequeñas intercalaciones de arcillolitas amarillas, rojas y blancas en posición casi horizontal. Sobre esta unidad se desarrolla un perfil de meteorización caracterizado por un horizonte de areniscas muy meteorizada de color amarillo y con presencia de bloques superficiales de hasta cinco metros de diámetro.

En general las viviendas de este sector están cimentadas sobre el horizonte arenoso de meteorización, por debajo de este, la arenisca conserva los rasgos estructurales de estratificación. Esta unidad se expone en el límite Sur de la zona de estudio entre la Falla La Estrella y la Falla Quebrada Sur, (Véanse **Plano GE100-PL-02**, **Plano GE100-PL-03**, **Fotografía 3. 3** y **Fotografía 3. 4**); en el Plano de Geología Local se denomina con la sigla Sr3/Ar1, para resaltar la unidad superficial de bloques.

Unidad Ar2. Areniscas de color amarillo y blanco, estratificadas en capas delgadas (10 cm) con intercalaciones ocasionales de limolitas silíceas en capas de dos a tres cm. Se presentan muy replegadas y fracturadas en la zona del Tanque de Quiba como resultado de la actividad tectónica regional y local.

Hacia la ladera occidental esta unidad desarrolla un perfil de meteorización caracterizado por bloques embebidos en una matriz arcillosa que puede confundirse con un coluvión, en el Plano Geológico se denomina como Sr1/Ar2. En el área cercana a la falla que atraviesa la unidad, la roca esta muy alterada conformando una brecha de falla, véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 5**.

Unidad Ar3. Areniscas masivas de grano medio a grueso, amarillas, duras, expuestas en condición fresca solamente sobre la vía que conduce al Barrio Bella Flor. En las zonas donde estas areniscas conforman la parte superior del drenaje desarrolla un perfil de bloques de arenisca embebidos en una matriz arenosa sobre la arenisca meteorizada; en cercanía al Tanque de Quiba, desarrollan un perfil de suelos residuales arenosos sobre la roca meteorizada de fácil disgregación, en el plano se designan con la sigla Sr1/Ar3, véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 6**.

Unidad Ac1. Arcillolitas grises muy meteorizadas 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, se exponen en el costado Sur del drenaje principal en contacto fallado con los niveles de arenisca. En el **Plano GE100-PL-03** se designa esta unidad como Sr/Ac1

Fotografía 3. 3 Sector Sur de la zona de estudio. Bloques de arenisca sobre la ladera producto de la meteorización de las rocas de la Formación Labor



Fotografía 3. 4 Zanjón Quebrada Sur. Se aprecia el horizonte de meteorización de la unidad de areniscas Ar1 y la unidad de bloques sobre ésta.



Fotografía 3. 5 Corte en la vía principal del Barrio Brisas del Volador, entre las Calles 74 y 75 Sur. Se observa el replegamiento de las Areniscas Laminadas Ar3, en la parte baja del Tanque de Quiba



Fotografía 3. 6 Corte sobre la Vía que conduce al Barrio El Paraíso con Calle 74 Sur.



Unidad Ar4. Areniscas Laminadas de color blanco y amarilla muy consolidada en capas hasta de 10 cm, meteorizadas, aún conservan sus características estructurales y estratigráficas originales; Se exponen sobre la vía al Barrio El Paraíso y afloran en la parte baja de la ladera, su contacto es fallado con las areniscas masivas inferiores y concordante con los otros niveles que la subyacen. Sobre la vía se midieron cuatro metros de espesor de esta unidad. Véase **Plano GE100-PL-03, Fotografía 3. 7 y Fotografía 3. 8.**

Fotografía 3. 7 Vía Al Barrio Paraíso. Areniscas Laminadas de la Formación Labor, Unidad Ar4



Unidad Ac2. Arcillolitas y lodolitas silíceas de colores blanco y gris, muy consolidadas, con espesor observable de seis metros sobre la vía que conduce a los barrios Bella Flor y El Paraíso. Suprayace la anterior unidad y se encuentra aflorando solamente en la ladera norte del drenaje principal, igual que la anterior unidad se encuentra cubierta en su parte media por un depósito coluvial. Véase **Plano GE100-PL-03 y Fotografía 3. 9.**

Unidad Ar5. Areniscas blancas de grano fino, bien cementadas fracturadas en capas gruesas con un espesor observable de ocho metros. Su contacto superior se observa fallado en la cantera abandonada, por fuera del área de estudio, cubierta en la zona por depósitos coluviales de espesores variables, identificable en la mayor parte por su morfología abrupta. Véase **Plano GE100-PL-03.**

Unidad Ac3. Arcillolitas grises en capas delgadas, aflora en la parte alta de las manzanas 3 y 5 delimitando el depósito coluvial, su contacto superior con la Arenisca Tierna es fallado y se observó en terreno dos metros de espesor, véase **Plano GE100-PL-03.**

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 21
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Fotografía 3. 8 Viviendas de la Manzana 10. Barrio Brisas del Volador.
Obsérvese la morfología de las laderas constituídas por la Unidad de Areniscas Ar4**



Fotografía 3. 9 Casa 2 de la Manzana 11. Caída de arcillolitas meteorizadas Ac2 y capa vegetal en la parte posterior de la vivienda



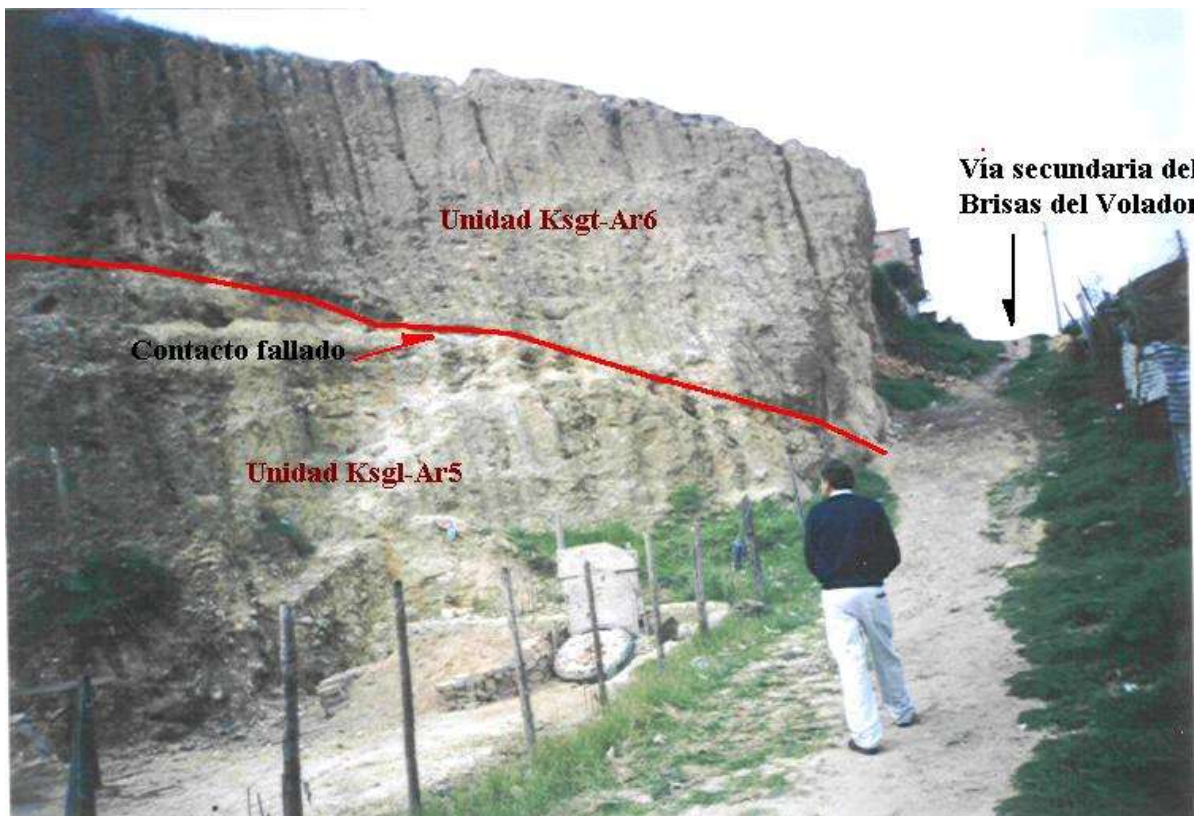
3.3.2.2. Rocas de la Formación Tierna

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.

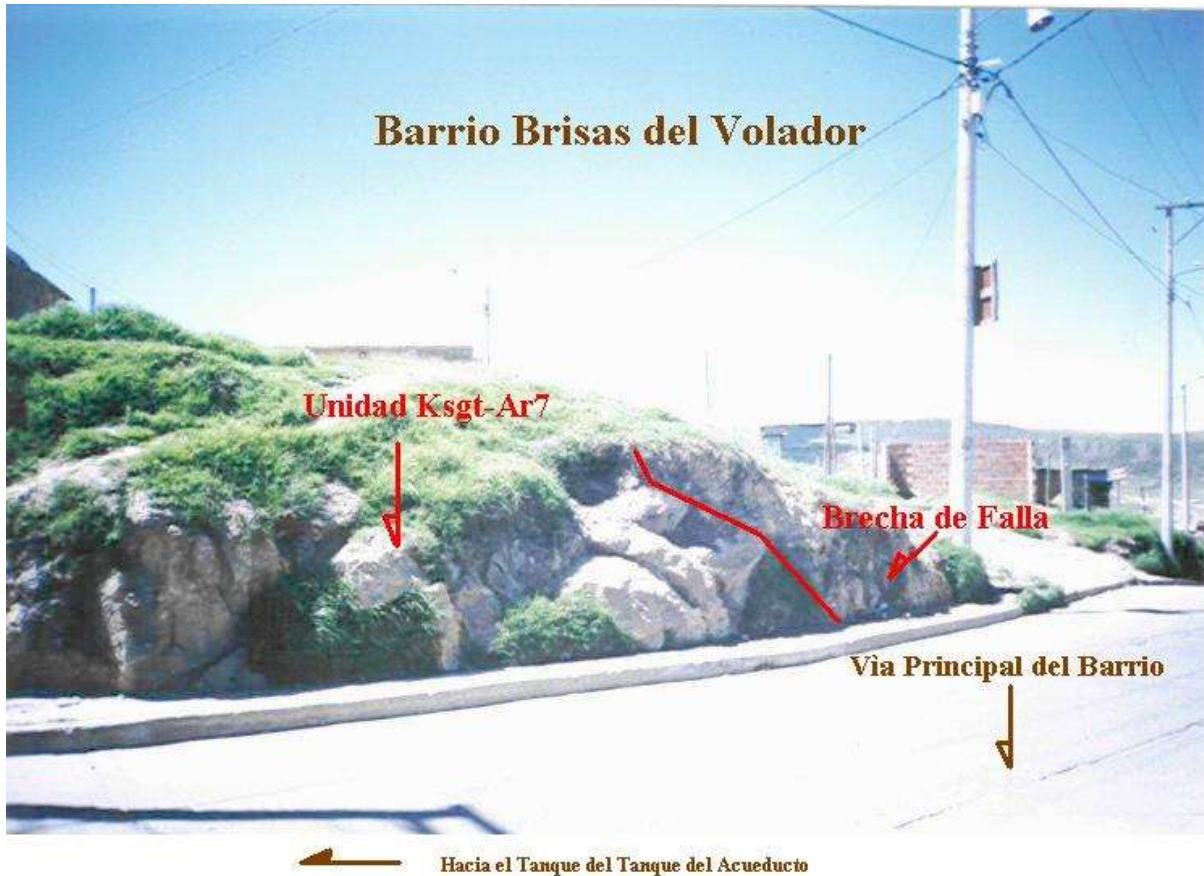
Unidad Ar6. Areniscas amarillas, masivas, de grano grueso a conglomeráticos, cuarzosas, muy friables en capas gruesas, conforman la parte alta de la ladera más oriental de la zona de estudio. En las trincheras levantadas sobre esta unidad se identificó un suelo residual de hasta 1.2 m. Su contacto es fallado con las areniscas de la Formación Labor, el espesor medido fue de cinco metros de espesor. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 10**.

Unidad Ar7. Areniscas amarillas, masivas, muy fracturadas, compactas que suprayace al anterior nivel, con un contacto fallado (se observó brechas de falla) y que correlacionando con la columna estratigráfica levantada por GUTIERREZ-COLEGIAL, correspondería a un nivel inferior localizada estratigráficamente a cuatro metros por debajo del nivel anterior. Aflora en cercanías al Tanque de Quiba. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 11**.

**Fotografía 3. 10 Cantera Abandonada en la parte norte del área de estudio.
Se observa el contacto fallado entre las formaciones Arenisca Labor y Tierna.
Hacia la parte alta del talud se observan procesos de erosión sobre la Unidad Ar6**



Fotografía 3. 11 Sobre la vía principal del Barrio Brisas del Volador entre las calles 75 A y 75 B. Se pueden observar las areniscas masivas denominadas Ar7 y la brecha de falla



3.3.2.3. Unidades de suelo y depósitos

Como se ha mencionado antes, 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 cartografiables en el Plano de Geología local. Además se incluyen en este numeral las zonas de brechas de falla.

Brecha de falla (Bf).

A lo largo de las principales fallas se observan zonas de areniscas y arcillolitas muy fracturadas y alteradas por el efecto de las presiones generadas durante el fallamiento, en la

margen derecha del drenaje principal, los taludes de corte hechos sobre estos materiales son inestables y con presencia de flujos de agua.

Además se observan Brechas de falla a lo largo de la Falla localizada cerca del Tanque de Quiba y en la ladera occidental que limita el área de estudio. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 12**.

**Fotografía 3. 12 Talud sobre la vía principal entre las Calles 74 y 75 Sur.
Areniscas de la Unidad Ar1 brechadas por efectos del fallamiento**



Suelos residuales (Sr).

Son suelos no transportados que tienen como origen la descomposición de la roca en suelo, por procesos intensos de meteorización. Se desarrollan sobre la totalidad de la unidad Ac1, parcialmente sobre la unidad Ar3, la totalidad de las Areniscas Ar1 y conforman la zona de cárcavas.

Sr1. Suelos residuales que cubren las cimas de las laderas y tienen como roca originaria las unidades de areniscas pueden confundirse con depósitos coluviales, por la presencia de cantos y bloques de areniscas embebidos en materiales arenosos y arcillosos. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 13**.

**Fotografía 3. 13 Corte para construcción de una vivienda en la Manzana 16.
Se observa un suelo residual conformado por bloque dentro de matriz arenosa y limosa**



Sr2. Suelos residuales que conforma las cárcavas, se caracteriza por ser de color rojizo, laterítico, que cambia en profundidad a una arcillolita altamente meteorizada, de carácter plástico y fisurada por efectos de la falla. En superficie se encuentra cubierta por un suelo coluvial arcilloso con presencia de gravas y un horizonte de paleosuelo (arcilla gris de alta consolidación). Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 14.**

Sr3. Suelos desarrollados sobre la Unidad de areniscas Ar1, caracterizados por bloques redondeados no transportados, con areniscas de hasta cinco metros 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. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 15.**

Deposito Aluvial (Qal).

Conformado por cantos y gravas redondeadas de areniscas, consolidados en una matriz arenosa, bien cementadas con espesor de 0.5 a 1 m y conforman la base de los depósitos del cuaternario en las laderas de orientación SW, es una unidad no cartografiable. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 16.**

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 27
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

**Fotografía 3. 14 Cárcava al Sur del área de estudio.
Presencia de suelos residuales rojos lateríticos**



Fotografía 3. 15 Parte Sur de la zona de estudio. Bloques de arenisca no trasportados sobre ladera producto de la meteorización de las areniscas de la Formación Labor



**Fotografía 3. 16 Vía al Barrio El Paraíso con Calle 73 Sur, Casa 1 de la Manzana 8.
Se observa un Depósito Aluvial (Qal) en la base del Deposito Coluvial Qc**



Depósitos Coluviales (Qc).

Son depósitos de materiales transportados a lo largo de las laderas que delimitan la Quebrada de Limas y la zona de cárcavas, asociados a los procesos denudativos de estas. Los coluviones más antiguos consisten de 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. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 17**.

Los coluviones recientes están constituidos por cantos y gravas de hasta 5 cm embebidos en una matriz limoarcillosa con espesores hasta de 1.5 m, se localizan en las partes medias y altas de esta ladera. En superficie estos depósitos se encuentran cubiertos por un paleosuelo limoso con cantos angulares.

Flujos (Qf). Depósitos de materiales transportados a lo largo del drenaje principal y sobre las laderas, constituidos por limos arenosos, de color café, muy saturados. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 18**.

Fotografía 3. 17 Parte central de la zona de estudio Manzana 7. Desprendimientos en los cortes del Depósito Coluvial (Qc), se observan las areniscas de la Unidad Ar5 en la base del Talud



Fotografía 3. 18 Drenaje Principal. Flujos de material saturado a lo largo del drenaje



Rellenos antropicos (Qra). En general se localizan en el cauce o en las laderas de los drenajes constituidos por escombros, basuras y materiales de excavación. No se cartografiaron los rellenos asociados a las construcciones. Véase **Plano GE100-PL-03** y **Fotografía 3. 19**.

**Fotografía 3. 19 Manzana 11. Brisas del Volador.
Relleno de vertimiento libre sobre la margen del drenaje principal**



3.3.3. Aspectos Estructurales Locales

3.3.3.1. Fallas

La zona se caracteriza por una alta presencia de fallas regionales y locales, la cuales producen un alto fracturamiento de las areniscas ubicadas en la parte superior de las laderas. Este fisuramiento favorece la alteración del macizo, la caída de bloques (en los cortes de excavación de la cantera abandonada) y la infiltración de agua en las laderas del área de estudio.

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. En el plano de Geología Local 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. Véase **Plano GE100-PL-03**.

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 como se puede observar en la Fotografía 19 y en el **Plano GE100-PL-03**.

3.3.3.2. Planos de estratificación

La disposición estructural de las unidades de rocas determinan la pendiente de las laderas y definen áreas de mayor susceptibilidad a deslizarse. Las laderas de pendiente estructural desarrollan pendientes altas, se encuentran menos fracturadas y meteorizadas. Contrariamente las laderas de contrapendiente, con menor inclinación que las anteriores presentan mayores problemas por los efectos de la erosión diferencial de los diferentes niveles de roca, además por la presencia de suelos residuales y depósitos coluviales.

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, véase **Plano GE100-PL-02** y **Plano GE100-PL-03**.

3.3.4. Geomorfología Local

3.3.4.1. Introducción

En este numeral se describen los diferentes segmentos de ladera algunos de ellos afectados por el desarrollo urbano, cada unidad fue delimitada en función de sus características morfométricas, composición litológica, régimen de agua y procesos presentes y potenciales, estas unidades cartografiadas se observan en el **Plano GE100-PL-05** y en la **Fotografía 3. 20**. y Los procesos en el **Plano GE100-PL-06**.

Fotografía 3. 20 Panorámica de la parte Sur y centro de la zona de estudio donde se aprecian las laderas coluviales, residuales y estructurales



3.3.4.2. Unidades Geomorfológicas

Laderas Estructurales (Le).

En general estos segmentos de ladera se asocian a las unidades de areniscas de las Formaciones Labor y Tierna expuestas en los límites oriental y occidental del área de estudio, formando las divisorias de los drenajes naturales, por su composición y alta permeabilidad primaria y secundaria representan en general zonas de infiltración. Esta unidad se subdividió según el grado de meteorización y fracturamiento del macizo en las siguientes:

- Laderas Estructurales Le1. Son laderas de pendientes altas, constituidas por unidades de 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 embebidos en una matriz arenosa. Estas laderas se ubican en el límite occidental del área

de estudio, la disposición estructural es favorable a excepción de un segmento de ladera ubicada en parte más noroccidental del área de estudio.

La ladera en contrapendiente estructural donde se expone la brecha de falla, presenta desprendimientos de suelo en la mayoría de los cortes de las viviendas y flujos de agua subsuperficiales a la mitad de los taludes. En el resto de la zona su condición actual es estable.

- Laderas Estructurales Le2. Son laderas conformadas por capas de arenisca muy fracturada y replegada por efecto de las fallas, originan formas de relieve ondulado con laderas simétricas. Conforman los sectores que delimitan el Tanque del Acueducto, donde se presentan algunos desprendimientos de roca y suelo cercanas a los cortes de las viviendas sobre la vía principal.
- Ladera Estructural Le3. Ladera en 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 orgánico. Este segmento solamente se aprecia en el límite norte del área de estudio cercana a la cantera abandonada. Se presentan 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 y constituye una zona de infiltración importante, esta constituida por areniscas de la Formación Tierna. Hacia el norte se desarrollan suelos residuales de hasta 2 metros sobre una arenisca muy friable y hacia el Sur de la ladera las areniscas están muy fracturadas. No se observaron procesos de inestabilidad

Laderas Residuales. Lr

Son segmentos de laderas que se han configurado sobre los niveles de areniscas y arcillolitas, con el desarrollo de un horizonte de suelos residuales que cubre a la vez un horizonte de roca muy meteorizada, se diferenciaron cuatro unidades de ladera de acuerdo a la composición de los suelos residuales y el régimen de agua.

- 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. Se expone en la margen derecha del drenaje que cruza el área de estudio, corresponde a un segmento de ladera conformado hacia la parte superior por un horizonte de arenisca muy meteorizada, que define una zona de recarga y aporte de agua de infiltración a la parte media y baja del perfil que esta conformada por un nivel de arcillolitas meteorizadas a suelos residuales.
- Ladera residual Lr3. Al norte del Tanque del Acueducto, el nivel superior de segmento de ladera desarrolla un horizonte 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. El perfil estratigráfico en esta ladera es:

- 0.20 m de limo arenoso
 - 0.25 m de un horizonte de arcilla negra de origen volcánico (Neme)
 - 0.30 m de Ceniza volcánica de color café
 - Suelo residual sobre areniscas y arcillas
- Ladera residual Lr4. Localizada en el límite Sur del área de estudio 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 los márgenes del zanjón donde cruza la línea de transmisión. Las construcciones en este sector se apoyan directamente sobre el horizonte de roca meteorizada.

Laderas Coluviales (Lc).

Estos segmentos presentan una morfología ligeramente cóncava donde se han acumulado depósitos coluviales producto de los procesos de erosión de los sectores adyacentes.

- Ladera (Lc1). Se expone en el límite norte del área de estudio donde se ubica la mayor cantidad de viviendas del barrio, en este sector los suelos coluviales se localizan en la parte central de la ladera y cubren indistintamente niveles de areniscas y arcillolitas afectados por las aguas de infiltración de las unidades de areniscas expuestas en la parte superior del perfil. Este régimen de agua ha generado un proceso de saturación de los suelos coluviales y el reblandecimiento de los horizontes arcillosos inferiores, con evidencias de movimientos superficiales.

El depósito coluvial está constituido por fragmentos orgánicos y cantos angulares, mal dispuestos de hasta 0.30 m de diámetro, un Paleosuelo con matriz limosa de cantos angulares de consistencia blanda de 1.1 m y finalmente un depósito coluvial gris claro reciente con bloques de hasta 0.15 m en matriz limo arcillosa.

- Ladera (Lc2). Limitada en su parte norte por el trazo de falla con la ladera Lr1. Constituida por areniscas cuarzosas friables meteorizadas cubiertas por un depósito 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 0.20 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.

Ladera de degradación activa (Lda).

Esta unidad corresponde a la zona de la antigua cárcava, localizada en el sector Sur del área de estudio donde cruza la línea de transmisión de alta tensión, presenta una composición de limos arcillosos con gravas que cubren directamente un horizonte de lateritas de color rojo

derivadas de la alteración de las arcillolitas. Esta unidad esta asociada a los procesos de erosión concentrada en cárcavas con baja tasa de erosión actuales, con excepción en los sitios donde se descargan aguas residuales y donde no hay cobertura del suelo.

La formación de cárcavas esta determinada por la litología y por los flujos de aguas subsuperficiales de las laderas adyacentes. Esta zona se ha convertido en el canal colector de aguas servidas y el vertimiento de basuras que incrementan los procesos de saturación de los suelos y la erosión

El perfil elaborado en campo en esta unidad fue:

0.60 m: Capa vegetal: arenosa con gravas

0.8 a 1.0 m: Deposito Coluvial de grandes bloques y gravas angulares de arenisca en matriz arcillosa, producto de un antiguo deslizamiento.

Arcillolita muy meteorizada con un horizonte residual.

Zona de Flujos Zf.

Sobre el drenaje principal que cruza el área de estudio se delimitó una zona de flujos recientes (Qf1) en una amplitud aproximada de 10 a 15 metros, donde se expone un horizonte de suelos saturados con un nivel freático superficial afectado por los vertimientos de las construcciones vecinos 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.

Zonas de Rellenos Qar.

Las zonas de relleno son producto de la disposición no tecnificada de escombros y tierra proveniente de la actividad constructiva, se encuentran localizadas sobre las laderas y los márgenes y cauce del drenaje principal y el zanjón. Se definió como una unidad geomorfológica solamente el relleno localizado en la parte Sur del zanjón y los otros se incluyeron como parte de las unidades de ladera que ocupan.

3.4. INVENTARIO DE PROCESOS

A continuación se describe de una manera resumida las características de los procesos existentes que fueron cartografiados y hacen parte del **Plano GE100-PL-06**, Inventario de Procesos para una mayor información se anexan las fichas de los inventarios levantadas para cada uno de los procesos o áreas estudiadas en el **Anexo A3.1**.

3.4.1. Fenómenos de Remoción en Masa

En campo se identificaron 19 áreas en los cuales se desarrollan procesos activos, potenciales e inactivos que se resumen en la **Tabla 3. 1**. La mayoría de los procesos activos se desarrollaron en el pasado periodo invernal (Julio-Diciembre 2003) y aún se encuentran en estado incipiente. En términos generales, las áreas afectadas y el volumen de la masa deslizada en cada uno de estos procesos son pequeñas.

Los tipos de movimientos de masa que se desarrollan son deslizamientos rotacionales, caídas de roca y suelo y flujos producidos por la actividad constructiva no tecnificada en pendientes fuertes y materiales meteorizados o de baja condición geotécnica.

Teniendo en cuenta las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas se puede agrupar de acuerdo a las laderas del **Plano GE100-PL-06**, Inventario de Procesos, donde se ubican los procesos cartografiados y se describen a continuación:

- En la Ladera Estructural Le3, se presentan caídas de roca y suelo en los cortes de las viviendas reduciendo el área de la construcción afectando patios y muros de dos viviendas. En la parte superior del corte de la cantera abandonada se cartografió un deslizamiento rotacional de materiales sueltos y un depósito coluvial que afecta la parte posterior de la casa 2 de la manzana 3, también se observan grietas sobre el relleno que conforma el patio de la misma. Ver **Plano GE100-PL-06, Fotografía 3. 21** y Procesos 1, 2 y 3 en el **Anexo A3.1**.
- Las viviendas ubicadas en la ladera Le1 en la zona de contrapendiente se encuentran afectadas por caídas de suelo y roca meteorizada en los cortes, además hay presencia de agua subsuperficial en algunos de ellos. La fuerte pendiente de la zona, las condiciones litológicas y la actividad constructiva son las causas principales para la generación de los procesos. La mayoría de las viviendas se encuentran afectadas (Mz 53), una de ellas fue destruida (casa 18 – Mz 53). Ver área 18 en el **Plano GE100-PL-06**; además véase **Anexo A3.1, Fotografía 3. 22** y **Fotografía 3. 23**.
- En la Ladera Coluvial Lc1 se concentra la mayor cantidad de viviendas del barrio se presentan deslizamientos rotacionales y caídas que involucran principalmente al depósito coluvial y a los rellenos de las viviendas, actualmente solo afecta a 5 viviendas y un área verde. Sin embargo por las condiciones del terreno, los cortes para la construcción y el constante flujo de agua negra y potable sobre la ladera es una zona potencialmente inestable. Ver los Formatos de Inventarios No.4, 5,6,7,9 y 10 del **Anexo A3.1**, el **Plano GE100-PL-06** y la **Fotografía 3. 23**. La localización de los predios afectados se puede apreciar en la **Tabla 3. 1**.
- En la parte norte del Tanque del Acueducto. Ladera Residual Lr3, hay saturación de los suelos residuales y reptación; no se aprecian daños importantes en las viviendas, en tiempos secos se mantiene la humedad y en periodos invernales se presentan chorros y materiales a mitad de los taludes de corte, afecta 19 viviendas. Ver el Formato de Inventario 19 del **Anexo A3.1**, el **Plano GE100-PL-06** y la **Fotografía 3. 25**.
- La Ladera Residual Lr1, se caracteriza por presentar caídas de suelos residuales de arenisca y arcillolita en los cortes y el área donde cruza la falla que delimita la ladera, afecta 20 viviendas, dos de las cuales ya han sufrido daños en sus muros. Ver Formatos 8, 8^a, 12 y 13 en la **Tabla 3. 1** y en el **Anexo A3.1**, el **Plano GE100-PL-06** y la **Fotografía 3. 26**.

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

Tabla 3. 1 Resumen del inventario de procesos en los barrios Brisas del Volador y Alta Loma

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	Área del zanjón	Erosión y desprendimientos	Activo		Sr

Fotografía 3. 21 Manzana 3 entre Calles 69 y 70 Sur. Ladera Estructural en areniscas y arcillolitas de la Formación Labor y Tierna



Fotografía 3. 22 Manzana 54: Viviendas ubicadas en la ladera de contrapendiente



Fotografía 3. 23 Vivienda de la Manzana 55 destruida por falla en los taludes de corte en la ladera de contrapendiente



**Fotografía 3. 24 Corte posterior de la vivienda 7 – Manzana.
Desprendimientos del deposito Coluvial y roca meteorizada**



Fotografía 3. 25 Filtros en la cimentación de la vivienda 4 de la Manzana 51 para drenar aguas de infiltración en los taludes y terreno. Obsérvese las grietas en la cimentación



**Fotografía 3. 26 Viviendas 8,10 y 11 de la Manzana 11.
Taludes con desprendimientos de roca y suelo**



3.4.2. 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. Actualmente no se manifiesta un fuerte avance de la erosión en la zona debido a que la mayor parte de esta se encuentra cubierta de pastos y rastrojos, y también porque, por ahora, los procesos constructivos se han detenido en esta área. Se observan dos sitios donde hay erosión retrogresiva relacionada a la pérdida de soporte por intervención humana y un sitio saturado de vertimiento de aguas servidas. Ver **Plano GE100-PL-06** y la **Fotografía 3. 27**.

También es importante mencionar el avance rápido de los procesos de carcavamiento en el límite Sur, por fuera del área de estudio ya que puede afectar las viviendas de la manzana 45. El avance rápido de este proceso está relacionado a la poca protección que le brinda la baja cobertura del suelo a la unidad meteorizada.

En cuanto a procesos de erosión menos concentrados como los Surcos y la erosión superficial se encuentran muy activos en las vías sin pavimentar (que son la mayoría) y en las zonas donde se ha quitado la cobertura del suelo para construir las viviendas.

Fotografía 3. 27 Cárcava al Sur del área de estudio



4. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

4.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para determinar las características geotécnicas del suelo en las diferentes zonas de trabajo, se hicieron las siguientes actividades:

4.1.1. Levantamiento de discontinuidades

En varios sitios de afloramientos rocosos, se efectuó un levantamiento de discontinuidades identificando en cada estación las familias de diaclasas más importantes y determinando sus características básicas para ingeniería tales como, orientación (rumbo y buzamiento), separación abertura, continuidad, rugosidad y tipo de relleno; esta información se complementa con una descripción del tipo de rocas y el estado del macizo rocoso en general.

4.1.2. Ejecución de apiques y trincheras

Con el fin de establecer la profundidad el perfil de suelos y el tipo de roca presentes en las diferentes zonas del proyecto, se efectuaron apiques en las zonas planas y trincheras en las zonas de alta pendiente y en afloramientos de roca.

En cada una de ellos se determinó el perfil estratigráfico y se reportó la presencia de agua; adicionalmente se tomaron muestras alteradas en bolsa e inalteradas en bloque para la ejecución de un programa de ensayos de laboratorio.

4.1.3. Perforaciones

En las zonas donde había presencia de depósitos coluviales y rellenos, se efectuaron perforaciones cortas mediante el uso de un equipo manual de perforación. En cada una de ellas se determinó el perfil estratigráfico y las condiciones del agua libre. Se efectuaron ensayos de penetración estándar y se tomaron muestras alteradas con el sistema de tubo partido split-spoon.

Los resultados de la exploración del subsuelo (registros de perforación y de apiques y trincheras) figuran en el **Anexo A4.1**.

4.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se efectuó en el laboratorio una caracterización física y mecánica de suelos (coluviones y suelos residuales) y de la roca que comprendió los siguientes ensayos:

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 48
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

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

- 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”.

Los resultados de los ensayos de laboratorio están en el **Anexo A4.2**.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 49
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se presenta un diagnóstico general de los diferentes problemas geotécnicos de la zona y los resultados de la investigación geotécnica del subsuelo. A partir de los resultados de este programa de investigación, acoplado con los resultados del levantamiento geológico detallado del área de estudio, se hace un planteamiento de zonificación geotécnica del lote, indicando para cada zona, el perfil estratigráfico del subsuelo, los procesos activos y potenciales, y la calidad de cimentación de las viviendas.

Los resultados de este producto son la base para el análisis de los diferentes problemas geotécnicos de la zona y el planteamiento de recomendaciones generales para su mitigación.

5.1. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Con base en el reconocimiento de campo y los resultados de la Investigación del subsuelo se elaboró el **Plano GE100-PL-07**, Zonas Geotécnicas Homogéneas donde se aprecian cinco grandes zonas geotécnicas con las siguientes características:

5.1.1. Zona 1: Parte alta

5.1.1.1. Localización

Corresponde a la parte mas alta de la zona de estudio y abarca todo el corredor de la parte sur, y una pequeña franja de terreno por el costado nor-oriental adyacente a la vía que conduce al Barrio Bella Flor.

En función de las variaciones de la geología local se ha subdividido esta gran zona en dos sectores denominados de sur a norte como Sectores 1A y 1B, Véase **Plano GE100-PL-07**, Zonas Geotécnicas Homogéneas

5.1.1.2. Problemas geotécnicos

Sector 1A: Parte alta sur:

En esta zona se encuentran localmente rellenos seguidos por una capa de arcilla negra de origen volcánico del orden de 0.5 m de espesor, que descansan sobre un horizonte de suelo residual arcillo limoso del orden de 1 m de espesor y luego por rocas erodables que forman parte de la Unidad Ksgl, que corresponde a areniscas amarillas y friables con intercalaciones de arcillolitas limosas de color rojo y blanco, de fácil disgregación. Localmente se encuentran rellenos y algunos remanentes de coluvión de poco espesor.

La topografía de todo este corredor se caracteriza por ser de pendientes suaves a moderadas; en este sector del barrio Alta Loma, el suelo es susceptible a presentar erosión, tal como se ha manifestado en algunas zonas localizadas por fuera del perímetro del proyecto; allí se han generado cárcavas que afectan la capa superficial de suelo y las unidades de rocas.

La erosión del suelo es controlada por la capa vegetal superficial y por la presencia de una capa delgada de arcilla orgánica que genera una barrera impermeable impidiendo el paso del agua al sustrato rocoso erodable. La concentración local del agua de escorrentía y de las aguas residuales arrojadas directamente al suelo, genera fisuramiento por desecación e incrementa la permeabilidad secundaria del manto de arcillas, permitiendo así la infiltración del agua y generando el proceso de erosión progresiva en el sustrato de roca.

Es importante destacar la existencia de varias cárcavas que se encuentran en el costado sur, por fuera de la zona de estudio, la de mayor dimensión tiene unos 10 m de ancho en la base y del orden de 2.5 m de profundidad; ésta cárcava se encuentra activa y esta progresando en sus flancos generando cárcavamiento satelital los cuales pueden llegar a comprometer el área de estudio. Existen otras dos cárcavas de menor dimensión y en estado incipiente, las cuales se encuentran localizadas en la parte baja, al costado sur-occidental de la zona de estudio, que requieren de un tratamiento oportuno.

En la zona central se encuentra una gran cárcava que atraviesa el corredor de estudio en sentido este-oeste y luego se desvía hacia el sur. Esta cárcava esta relacionada con la Falla La Estrella, que atraviesa el área de estudio en sentido este-oeste; en la actualidad las paredes y el fondo de la cárcava se encuentran parcialmente recuperadas, pues se cuenta con una cobertura vegetal (pasto) que se ha encargado de frenar el proceso de erosión; sin embargo en zonas puntuales se han formado socavones para la extracción de material y se están arrojando aguas negras de las casas a la cárcava lo cual deteriora la calidad del suelo en la base de la misma.

Sector 1B : Parte alta centro-oriente:

En la parte nor-oriental de esta zona se encuentra una capa delgada de relleno o limo arenoso de poco espesor, seguido por la capa de arcilla negra de origen volcánico con un espesor de 0.2 m, que descansa sobre suelos residuales arenosos de 0.5m de espesor y finalmente se encuentra el sustrato rocoso de areniscas friables pero competentes de la unidad Ksgt.

En la zona central del sector se encuentra la misma capa de relleno y arcilla negra de origen volcánico, que descansa sobre suelo residual y el sustrato de arenisca masiva competente con intercalaciones ocasionales de limolitas silíceas de la unidad Ksgl.

En este corredor no se detectaron problemas geotécnicos, dada la baja pendiente del terreno y las condiciones favorables del suelo de fundación.

5.1.1.3. Calidad de cimentaciones

En este sector se encuentran casas de uno y dos pisos que descansan en cimentaciones superficiales de diferentes tipos; la mayoría de ellas son en mampostería común y por lo general se encuentran apoyadas sobre cimientos continuos superficiales conformados en piedra pegada, los cuales reciben los muros principales de las casas. Los cimientos son del orden de 0.5 a 1.0 m de profundidad y con base en el perfil estratigráfico del sector, las casas pueden estar cimentadas sobre la capa de arcilla de origen volcánico. En las zonas con cambios de pendiente se encuentran algunas casas apoyadas sobre rellenos y muros de poca altura; en algunos casos los cimientos están reforzados con vigas y columnas de concreto. A pesar de que muchas de las casas están cimentadas sobre suelos arcillosos potencialmente expansivos, no se observaron daños en las viviendas asociados a este problema.

Las casas más humildes hechas con latas o en madera, los palos y muros que le dan estructura, están cimentadas prácticamente sobre la superficie existente, sin ningún tipo de confinamiento dentro del suelo.

5.1.2. Zona 2: Parte alta de la cuenca del Drenaje Principal

5.1.2.1. Localización

Esta zona corresponde a la parte alta del Drenaje Principal; en el sector se presentan pendientes moderadas del terreno y se caracteriza por la presencia de una capa delgada de relleno de unos 0.4 m de espesor, seguido por un estrato de arcilla limosa café oscura y negra del orden de 0.3 a 0.5 m de espesor, y luego por una capa de suelo residual del orden de 0.5 m, y finalmente por el sustrato rocoso, compuestos en la margen derecha por areniscas de la Formación Tierna Ksgt (zona 2A) y en la margen izquierda por arcillolitas limosas en la parte baja (Zona 2B) y areniscas (Zona 2C), de la Formación Labor Ksgl, en la parte alta.

5.1.2.2. Problemas geotécnicos

A lo largo de este corredor no se manifiestan problemas masivos de estabilidad debido a las características favorables del macizo rocoso, al poco espesor de la capa de suelo y a la baja pendiente del terreno. Se presenta reptamiento lento de la capa superficial arcillosa, por la presencia de agua en el talud.

En la parte alta correspondiente al nacimiento del Drenaje Principal, se encuentra el talud cubierto por una capa de relleno de poco espesor; en esta zona el talud está saturado posiblemente asociado a fugas de agua en el tanque de la parte alta; en este sector es necesario plantear obras geotécnicas de control del agua que mana del talud.

5.1.2.3. Calidad de las cimentaciones

Para la cimentación de las casas se conforman escalones por medio de cortes y rellenos de poca altura, quedando la mayor parte de ellas dentro de la zona de corte. Los escalones están conformados normalmente por rellenos de unos pocos centímetros de espesor seguido por el depósito de arcillas y suelo residual; estos escalones están confinados lateralmente por empalizadas, sacos de tierra, muros de piedra pegada y muros de piedra pegada confinada con vigas y columnas de concreto, conteniendo gran parte de su altura.

Debido a la poca altura de los escalones de corte y relleno, del orden de 1.0 m o menos, no se generan amenazas importantes exceptuando la posibilidad de desprendimientos locales del suelo por el manejo inadecuado de las aguas servidas que se vierten directamente sobre el terreno.

El manejo inadecuado del agua superficial y la ejecución de excavaciones a cielo abierto puede generar erosión y pérdida de la capa superficial de suelo, la cual puede ocasionar problemas geotécnicos de mayor trascendencia a largo plazo.

5.1.3. Zona 3: Parte baja y occidental del Barrio Brisas del Volador (Zona rocosa)

5.1.3.1. Localización

Esta zona abarca toda la franja de alta pendiente de la zona norte del área de estudio en donde se encuentran afloramientos de areniscas y arcillolitas de las Formaciones Tierna y Labor, la ladera occidental de contrapendiente donde se ubican una serie de casas cimentadas sobre roca o suelo residual competente y parte de la Ladera Residual Lr1, donde afloran las areniscas de la unidad Ar5 y Ac2 cubiertas por suelos residuales.

Esta zona se ha subdividido en 3 sectores en función de las variaciones locales del perfil superficial de suelos así:

El sector 3A, corresponde a afloramientos de areniscas muy fracturadas y duras, de la Formación Tierna, al costado sur del lineamiento de una falla de cabalgamiento que atraviesa la zona de estudio en sentido norte-sur. Debido a la naturaleza de la roca y la alta pendiente del terreno, en esta zona no se encuentra el horizonte de suelo residual. Aunque el macizo rocoso se encuentra muy fracturado, no se presentan problemas geotécnicos que comprometan la estabilidad de la ladera.

El sector 3B, se localiza en el costado nor-occidental, en rocas arenosas de la Formación Labor, cubiertas por una capa delgada de depósito limo arenoso con gravas de unos 0.8 m de espesor y la cobertura vegetal; en este sector el horizonte de suelo residual es escaso a nulo, y se desarrolla predominantemente en rocas arcillosas.

El sector 3C, corresponde a la Ladera Residual Lr1 (Ver **Plano GE100-PL-05**) costado nor-occidental de la zona de estudio, y allí se encuentran areniscas y arcillolitas alteradas de la Formación Arenisca Labor (Ksgl), que define un horizonte de suelo residual del orden de 2.0 m de espesor. Allí el suelo residual está cubierto por una capa de coluvión orgánico (paleosuelo) del orden de 0.5 m de espesor y por rellenos de espesor variable entre 0.2 y 1.5 m

5.1.3.2. Problemas geotécnicos

Sector 3A:

Por las características estructurales del macizo rocoso, la conformación de cortes verticales, se puede generar la posibilidad de desprendimientos de bloques de menor tamaño, pero que en la práctica no generan una incidencia importante sobre las casas, debido a que estos cortes son de poca altura.

En la zona alta de la ladera por el costado norte, se encuentran afloramientos de grandes bloques de arenisca de mas de 1 m de diámetro, que están descubiertos producto del proceso normal de erosión de la superficie de la ladera; algunos de estos bloques presentan una superficie de apoyo escasa y están en condición inminente de caída o deslizamiento, ante la ocurrencia de sismos. Los movimientos de estos bloques pueden generar daños importantes en las casas que se encuentran en la parte baja. La cantidad de bloques que deben ser removidos es baja.

Sector 3B:

En este sector se encuentran algunas casas cerca de la corona del talud de corte adyacente, la cual presenta erosión en surcos; éstas casas se encuentran en riesgo ante la posibilidad de desprendimientos locales del talud en la parte alta.

Sector 3C:

En este sector se presentan arcillolitas y limolitas muy alteradas y fracturadas, con presencia de agua. La capa superficial de suelo residual es susceptible a presentar reptamiento lento que puede generar afectaciones menores de las viviendas allí construidas. Por otra parte las casas que se encuentran localizadas sobre la margen derecha del Drenaje Principal pueden verse afectadas por deslizamientos locales de la capa de suelo residual o de roca, debido a los efectos de la socavación lateral y de fondo del Drenaje principal.

5.1.3.3. Calidad de las cimentaciones

Curiosamente en la zona 3A, por el alto grado de dificultad que genera la ejecución de excavaciones manuales, se encuentra una baja densidad de casas. Las pocas casas que se encuentran en este corredor se caracterizan por presentar cortes de poca altura y una zona de rellenos confinados con sacos de tierra, muros en piedra pegada entre otros, que debido a su mayor altura y a la baja calidad del relleno que contiene, se encuentran en condiciones precarias de estabilidad. Existen algunas casas en estructura de concreto que presentan condiciones de estabilidad más favorables.

Las casas del sector 3B se construyeron mediante escalonamientos, una parte de ellos se conformaron por cortes en suelos residuales y la otra mitad (de mayor proporción) en rellenos de baja calidad, confinados por muros de piedra y sacos de suelo-cemento.

En el sector 3C, debido a la presencia de un horizonte de suelos residuales y roca alterada de considerable espesor, las casas se encuentran cimentadas en zonas de corte; sin embargo debido a la

baja calidad de la roca y la presencia de agua, las condiciones de estabilidad de estas cimentaciones se consideran precarias.

5.1.4. Zona 4: Parte baja del Barrio Brisas del Volador (Coluvión)

5.1.4.1. Localización

Esta zona comprende dos sectores así:

El sector 4A corresponde a la parte baja de la cuenca del Drenaje Principal e incluye toda la franja de alta pendiente de la zona norte en donde se encuentra el depósito coluvial.

La zona 4B corresponde a zonas de brecha de falla en sitios de alta pendiente; se distingue un pequeño corredor en la zona norte, cerca del cauce del Drenaje Principal y un segundo corredor al costado occidental en la Ladera de contrapendiente. Ver **Plano GE100-PL-05**.

5.1.4.2. Problemas Geotécnicos

Sector 4A:

Se encuentra un depósito coluvial de espesor variable entre 1 y 3 m compuestos por una capa superficial de arena arcillosa, seguido por una capa de arcilla negra orgánica con gravas denominada geológicamente como “paleosuelo”, sobre esta capa se encuentra cimentada la mayor parte de las casas de esta zona; en periodos de lluvia, y ante la ausencia de un sistema de drenaje superficial en la zona, se presenta infiltración de agua de escorrentía y agua que mana de las rocas permeables de la parte alta, que satura el cuerpo del coluvión generando ablandamiento temporal de la capa intermedia de suelo orgánico. En estas condiciones se presenta reptamiento lento de esta capa de arcilla orgánica afectando las casas del sector. En la parte alta ya se ha generado un escarpe producto del movimiento diferencial del coluvión con respecto a la roca, acentuados localmente por agua que sale de la roca.

Teniendo en cuenta la pendiente alta del terreno y la presencia de suelos susceptibles a deformaciones, no se descarta la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa que comprometan la estabilidad de la capa superficial de coluvión y la integridad de las casas del sector; sin embargo, con la implementación de obras eficientes de drenaje, se puede mejorar sustancialmente la estabilidad de este sector.

Sector 4B:

Corresponde a franjas de roca altamente fracturada y alterada a lo largo de los lineamientos de falla; estos materiales son de muy mala calidad estructural y normalmente mana de ellos, abundante agua por la baja permeabilidad del material, generando condiciones muy desfavorables de estabilidad.

Se destaca la parte baja norte muy cerca del Drenaje Principal y un segundo corredor al costado occidental en la Ladera de contrapendiente.

5.1.4.3. Calidad de las cimentaciones

Es importante destacar la baja calidad de cimentación de las casas del sector las cuales se encuentran en las zonas de alta pendiente; la cimentación consiste en escalonamientos del terreno que están compuestos por una zona de corte y otra de relleno que genera escalones de altura variable entre 1.0 y 3.0 m. En el borde externo de los escalones se ha construido una gran variedad de sistemas de retención de tierras que varían desde muros en piedra pegada confinadas con vigas y columnas de concreto reforzado, hasta sacos rellenos con material del sector. Estas estructuras se encargan de contener lateralmente rellenos o el suelo natural por lo general de muy baja calidad estructural.

En condiciones de lluvia se genera la saturación del suelo y del relleno, que a su vez induce problemas de desprendimientos locales, que pueden afectar las viviendas adyacentes. Durante las visitas de reconocimiento efectuadas en el mes de noviembre de lluvias persistentes, se detectaron varios casos de fallas locales de estas estructuras y se encontró el coluvión saturado (zona 4A).

5.1.5. Zona 5: Ronda de inundación del Drenaje Principal

5.1.5.1. Localización

Corresponde a la ronda de inundación del Drenaje principal, la cual se prolonga desde la zona media del área de estudio hacia el norte, hasta la vía de acceso al Barrio El Paraíso.

En la parte alta de la quebrada la pendiente del cauce es baja y genera una zona de inundación del orden de 10 m a ambos costados del Cauce.

En la parte baja de la quebrada, la pendiente longitudinal del cauce es moderada y ésta se prolonga a lo largo de un valle estrecho, hasta interceptar la vía de acceso.

5.1.5.2. Problemas geotécnicos

En la parte alta el cauce de la quebrada se prolonga sobre un depósito coluvial del orden de un metro de espesor; debido a su proximidad al cauce, el suelo se encuentra totalmente saturado y reblandecido. A lo largo de este corredor las casas que se encuentran pegadas al cauce son vulnerables a inundaciones.

En la parte baja el drenaje principal se prolonga en una zona de brecha de falla dejando las márgenes con taludes de alta pendiente en donde se encuentran cimentadas algunas casas clasificadas dentro del sector 3C; teniendo en cuenta la pendiente del cauce y la baja calidad del material, se pueden generar problemas locales de socavación que pueden afectar las casas localizadas en las partes altas de esta zona. Algunas viviendas se encuentran en el cauce y la ronda del Drenaje Principal.

5.2. INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

Para determinar las características geotécnicas del suelo en las diferentes zonas de trabajo, se hizo: levantamiento de discontinuidades, Ejecución de apiques y trincheras, perforaciones y ensayos de laboratorio. A continuación se describen cada una de ellas.

5.2.1. Levantamiento de discontinuidades

En varios sitios de afloramientos rocosos, se efectuó un levantamiento de discontinuidades identificando en cada estación las familias de diaclasas más importantes y determinando sus características básicas para ingeniería tales como, orientación (rumbo y buzamiento), separación abertura, continuidad, rugosidad y tipo de relleno; ésta información se complementa con una descripción del tipo de rocas y el estado del macizo rocoso en general.

5.2.2. Ejecución de apiques y trincheras

Con el fin de establecer la profundidad del perfil de suelos y el tipo de roca presentes en las diferentes zonas del proyecto, se efectuaron apiques en las zonas planas y trincheras en las zonas de alta pendiente y en afloramientos de roca.

En cada una de ellos se determinó el perfil estratigráfico y se reportó la presencia de agua; adicionalmente se tomaron muestras alteradas en bolsa e inalteradas en bloque para la ejecución de un programa de ensayos de laboratorio.

5.2.3. Perforaciones

En las zonas de depósitos coluviales y rellenos, se efectuaron perforaciones cortas mediante el uso de un equipo manual de perforación. En cada una de ellas se determinó el perfil estratigráfico y las condiciones del agua libre. Se efectuaron ensayos de penetración estándar y se tomaron muestras alteradas con el sistema de tubo partido split-spoon.

5.2.4. Ensayos de Laboratorio

Se efectuó en el laboratorio una caracterización física y mecánica de suelos (coluviones y suelos residuales) y de la roca que comprendió los siguientes ensayos:

- 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”.
- Ensayos de carga puntual sobre bloques representativos de roca.

5.2.5. Perfiles Estratigráficos

A continuación se describen los perfiles estratigráficos para cada una de las zonas descritas en el numeral anterior.

Zona 1: Parte alta de la zona de estudio:

Sector 1A - Zona Sur:

Se encuentra una capa delgada de suelo coluvial y suelo de origen volcánico, seguido por el sustrato rocoso de limolitas arcillosas. El perfil estratigráfico es el siguiente:

- 1) Cobertura vegetal de poco espesor.
- 2) Arcilla arenosa con gravilla, seca y porosa, de color gris claro, en la parte inferior del estrato el suelo se encuentra un poco más húmedo y adquiere una tonalidad café. En la zona de cárcavas, esta capa se encuentra con fisuras abiertas verticales con señales de erosión, las cuales están asociadas con procesos contracto- expansivos de la capa inferior de arcillas. Su espesor es variable entre 0 y 70 cm.
- 3) Arcilla de color gris oscuro a negro, de consistencia dura y fisurada, de origen volcánico, de alta plasticidad y consistencia dura; su espesor es del orden de 0.50 m.
- 4) Localmente aparece una capa de limo arcilloso gris claro, poroso y seco, de baja densidad (ceniza volcánica).
- 5) Suelo residual compuesto por arcilla limosa color pardo y amarillo de plasticidad alta y consistencia dura.
- 6) Sustrato rocoso compuesto por intercalaciones de arenas de color amarillo quemado con arcillolitas limosas de color gris y rojo, de fácil disgregación.

En condiciones normales, el suelo se encuentra seco, pero después de lluvias se satura; en las zonas donde se vierte aguas de las casas, el suelo se encuentra saturado y muy blando.

Sector 1B - Zona Nororiental y centro:

Se presenta una capa delgada de relleno y limo arenoso, seguido por una capa de arcilla orgánica (neme); continúa una capa delgada de suelo residual y finalmente se encuentra el sustrato rocoso de areniscas. El perfil estratigráfico es el siguiente:

- 1) Capa vegetal de menos de 10 cm en algunos sectores.
- 2) Relleno limo arenoso con gravas de color amarillo y de baja plasticidad, su espesor es variable entre 0 y 20 cm.
- 3) Arcilla limosa de color café oscuro en estado húmedo y negro en estado seco, de alta plasticidad y consistencia media. Esta arcilla es de origen volcánico y su espesor es del orden de 20 a 50 cm.
- 4) Suelo residual compuesto por arcilla arenosa de color café claro, de plasticidad media y comportamiento frágil. Su espesor es variable de 20 cm a 1 m.
- 5) Sustrato rocoso compuesto por arenisca de la Formación Tierna, de color amarillo con vetas rojizas.

En algunos puntos afloran grandes bloques de arenisca que reposan sobre el sustrato de roca.

En condiciones normales el suelo se encuentra en estado semi-seco pero se satura con facilidad después de la ocurrencia de lluvias.

Zona 2: Parte alta de la cuenca del Drenaje principal:

Zona 2A - Margen derecha:

Se encuentra una capa delgada de relleno y coluvión orgánico (paleosuelo) del orden de 1.0 m de espesor; por debajo se encuentra el suelo residual y la roca parental. El perfil estratigráfico es el siguiente:

- 1) Capa vegetal
- 2) Limo arenoso del orden de 20 a 60 cm de espesor.
- 3) Arcilla de color café oscuro a negro, “paleosuelo”, de plasticidad media y consistencia dura. Su espesor es del orden de 10 a 50 cm.
- 4) Suelo residual compuesto por arcilla arenosa de color amarillo, con vetas habanas y plasticidad media a alta. Su espesor es del orden de 50 a 120 cm.
- 5) Sustrato rocoso compuesto en la parte alta por arenisca de color amarillo y en la parte baja por arcillolita gris con vetas amarillas.

En condiciones normales el suelo se encuentra en estado semiseco.

Zona 2B - Margen izquierda – parte baja:

Se encuentra una capa delgada de relleno y suelo orgánico seguido por el sustrato rocoso; las propiedades geotécnicas son las siguientes:

- 1) Relleno heterogéneo, de 0.20 a 0.60 m de espesor.
- 2) Arcilla de color café oscuro a negro “paleosuelo”, de plasticidad media. Su espesor es del orden de 40 cm.
- 3) Suelo residual compuesto por arcilla arenosa de color amarillo y gris, de plasticidad media a alta. Su espesor es del orden de 40 cm.
- 4) Sustrato rocoso compuesto por arcillolita gris y arenisca en la parte baja.

Zona 2C - Margen izquierda – parte alta:

Se encuentra una capa delgada de relleno y suelo orgánico seguido por el sustrato rocoso; las propiedades geotécnicas son las siguientes:

- 1) Relleno heterogéneo del orden de 20 cm de espesor.
- 2) Arcilla de color café oscuro a negro, “paleosuelo”, de plasticidad media. Su espesor es del orden de 60 a 140 cm.
- 3) Suelo residual compuesto por arcilla y arena de color amarillo y gris, de plasticidad media. Su espesor varía entre 0.60 a 1.10 m.
- 4) Sustrato rocoso compuesto por arenisca meteorizada.

Zona 3: Parte baja del Barrio Brisas del Volador (Zona rocosa):**Sector 3A – Parte alta:**

Sustrato rocoso compuesto en la parte alta por arenisca de color amarillo y en la parte baja por arcillolita gris con vetas amarillas. Las características del macizo rocoso son las siguientes:

- 1) Arenita dura algo deleznable en vetas de 30 cm de espesor, intercaladas, con capas delgadas de arcillolita del orden de 2 cm de espesor. El macizo rocoso se encuentra fracturado con orientación de los estratos en posición favorable a la estabilidad del talud; tomando como referencia las familias de discontinuidades medidas en la trinchera seis se obtiene lo siguiente:
- 2) Estratificación N7°E/15° SE
- 3) Diaclasa 1 N8°/78°SW : Diaclasa continua, a separaciones variables entre 10 y 40 cm, superficies rugosa escalonada, con aberturas de 5 a 10 mm y rellenas de arcilla arenosa.
- 4) Diaclasa 2 N14°E/69°SE : Diaclasa es discontinua no persistente, a separaciones variables entre 30 y >100 cm, con superficie rugosa escalonada, cerrada y sin relleno.

Zona 3B:

En este sector se encuentra una capa delgada de suelo que cubre el macizo rocoso; el perfil estratigráfico es el siguiente:

- 1) Capa vegetal del orden de 20 cm de espesor.
- 2) Arena fina arcillosa gris con gravilla, seca . Su espesor es del orden de 60 cm.
- 3) Sustrato rocoso compuesto por areniscas, liditas y arcillolitas de la Unidad Ksgl. La roca es moderadamente fracturada con estratos que buzanan al oriente, en posición favorable a la estabilidad. Se puede generar un horizonte de suelos residuales en los estratos de liditas y arcillolitas.

Zona 3C:

En este sector se encuentra una capa delgada de relleno y paleosuelo, que cubre suelos residuales y rocas alteradas de la formación Arenisca Labor (Ksgl); el perfil estratigráfico es el siguiente:

- 1) Relleno heterogéneo de 0.2 a 1.5 m de espesor.
- 2) Limo café oscura a negra, con raicillas (paleosuelo) de espesor variable entre 0.5 y 0.7 m.
- 3) Suelo residual compuesto por arcilla arenosa o viceversa, de color gris claro, de consistencia firme.
- 4) Sustrato rocoso compuesto por areniscas, liditas y arcillolitas alteradas de la Formación Labor. En las capas de liditas, el macizo rocoso se encuentra fracturado con orientación de los estratos en posición favorable a la estabilidad del talud; las familias de discontinuidades medidas en la trinchera 3 son las siguientes:
 - Estratificación N89°E/43° SE
 - Diaclasa 1 N88°E/51°NW : Diaclasa continua, con separaciones típicas de 2cm, superficie ondulada, cerrada y sin relleno.
 - Diaclasa 2 N7°W/63°SW : continua, con separaciones típicas de 4cm, superficie rugosa, cerrada y sin relleno.

Zona 4: Parte baja de la cuenca del Drenaje Principal (Coluvión):**Zona 4A**

En este sector se encuentra un depósito coluvial de espesor variable entre 1.0 y 2.5 m, que incluye una capa intermedia de paleosuelo de 0.20 a 0.50 m de espesor. En la proximidad del drenaje Principal, aparece una capa delgada de suelo aluvial muy competente. El perfil estratigráfico en la parte baja es el siguiente:

- 1) Relleno arcillo arenoso café de baja plasticidad, de 0.40 a 0.70 m de espesor.
- 2) Arcilla de color café oscuro, gris y negro de plasticidad media y consistencia dura (paleosuelo). Su espesor es del orden de 0.40 a 1.0 m.
- 3) Coluvión compuesto por arena limosa gris, seco y dura, del orden de 0.9 a 1.5 m de espesor.
- 4) En la proximidad de la quebrada se encuentra un depósito aluvial compuesto por cantos y gravas redondeadas, en una matriz areno-limosa. Su espesor es del orden de 0.7 m.
- 5) Suelo residual areno arcilloso del orden de 1.4 m de espesor.
- 6) Sustrato rocoso compuesto por arenita de color gris quemado.

En el contacto de la capa superficial de suelo areno limoso y el paleosuelo, fluye agua abundante, después de la ocurrencia de lluvias.

Zona 5 : Ronda de inundación del Drenaje Principal :

En la parte alta de este sector se encuentra un depósito coluvial arcilloso, el cual descansa sobre el sustrato de roca. El perfil estratigráfico y sus propiedades geotécnicas son:

- 1) Relleno heterogéneo, predominantemente orgánico de espesor hasta de un metro.
- 2) Limo arcilloso algo orgánico de color café oscuro, gris y negro, de plasticidad media y consistencia media. Su espesor es del orden de 0.5 a 1.0 m
- 3) Suelo residual compuesto por arcilla o arcilla arenosa de color amarillo, de plasticidad media y consistencia firme. Su espesor es variable entre 0.40 y 0.60 m.
- 4) Sustrato rocoso compuesto en la parte alta por arcillolita de color gris y arenita de color amarillo.

6. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

6.1. INTRODUCCIÓN

Las microcuencas reseñadas en la zona de estudio están ubicadas al Suroccidente de Bogotá, en el flanco occidental del Cerro El Volador (vía a Quiba). Durante los últimos años han sido objeto de una creciente intervención urbana, debido al desarrollo de barrios de invasión en sus laderas y rondas, sin ningún control de las aguas lluvias y negras. Esto ha dado lugar a un aumento tanto en la escorrentía superficial como en la energía erosiva de la lluvia y por ende en la generación de procesos de erosión superficial, estos últimos acrecentados por la alteración de la red de drenaje natural existente y por la falta de un sistema de drenaje adecuado y acorde al comportamiento hidrológico del sector.

6.2. OBJETIVOS

El estudio hidrológico e hidráulico en los barrios Tabor-Alta Loma y Brisas del Volador Parte Alta, de la localidad de Ciudad Bolívar; esta basado en los términos de referencia y tiene como objetivos principales:

Levantamiento y descripción del drenaje natural como artificial, donde se incluyen las redes de acueducto y alcantarillado.

Caracterización de la lluvia en la zona, teniendo en cuenta el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual. Determinación de los aguaceros de corta duración para calcular los caudales y niveles máximos esperados para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años; donde se establecerá las áreas de inundación por desbordamientos a lo largo de los drenajes.

Zonificación de acuerdo con un análisis cualitativo de la capacidad de infiltración de las aguas en el subsuelo.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico de precipitación, ya que es el principal agente detonante de la erosión hídrica y uno de los factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa.

6.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El análisis hidrológico se fundamentó en la recopilación y análisis de información procedente de varias fuentes, como se indica a continuación en las siguientes actividades:

En primer termino se adquirieron y analizaron las planchas topográficas del IGAC L-55 y L-65 (Escala 1:2000). Posteriormente sobre las planchas se determinaron las cuencas naturales (áreas que naturalmente drenan hacia el cauce principal), como se puede apreciar en la **Figura 6. 1**

- La información cartográfica se complementó con visitas de campo y con el análisis de los levantamientos topográficos de los sitios críticos en los drenajes.
- Consulta en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, E.A.A.B, de la información hidrológica e hidráulica existente; incluyendo los planos de redes tanto de alcantarillado sanitario y pluvial como de acueducto, en la zona de influencia del presente estudio; donde se definieron las áreas de drenaje adicional inducidas por efecto de las redes de alcantarillado Pluvial (proyectadas o construidas en los barrios situados en la zona de influencia); así como el desarrollo de proyectos por parte de la E.A.A.B, en la zona de estudio.
- Consulta de los planos de incorporación urbanística del DAPD en escala 1:1000 para la zona aledaña con base en los cuales se identificaron los desarrollos urbanos existentes en la ladera y en las vecindades de estas.

6.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS VERTIENTES Y RED DE DRENAJE DEL SECTOR EN ESTUDIO

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.

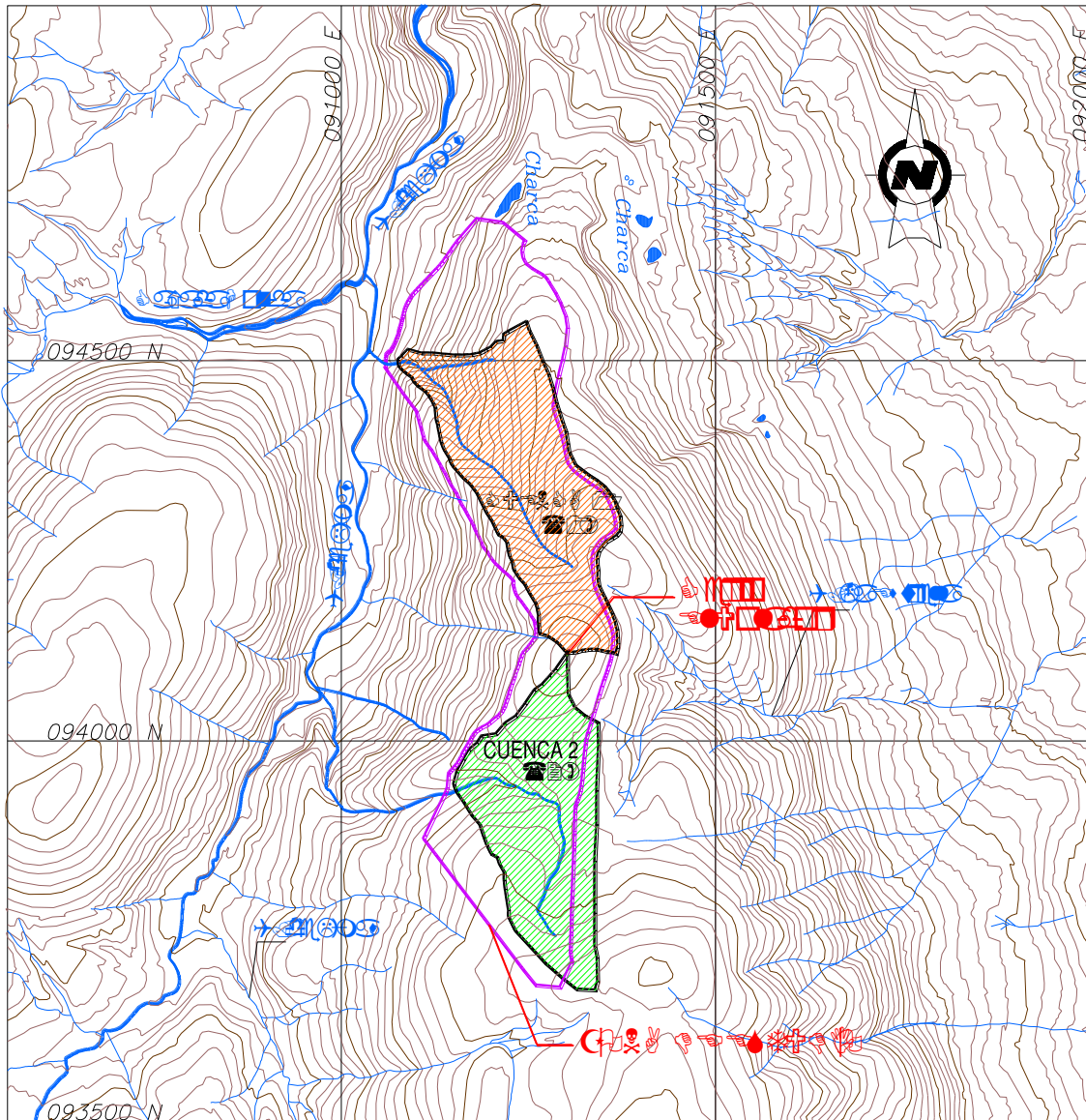
El Cerro El Volador es la divisoria de aguas en el sector, el cual define que hacia el occidente de esta; la red de drenaje drena a la Quebrada de Limas y hacia el este de la divisoria la red de drenaje forma parte de la Quebrada La Estrella, perteneciendo finalmente ambos sistemas como se mencionó anteriormente a la cuenca del Río Tunjuelito. Véase **Figura 6. 1**.

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 nacen en el Cerro El Volador, el primero aproximadamente en la cota 2910 m.s.n.m. Drena con dirección al oeste, tiene una longitud aproximada de 0.165 km desde su nacimiento hasta su paso por la zona de estudio en la cota 2887 m.s.n.m. El área de cuenca aferente (C1, véase **Figura 6. 1**) es del orden de 0.05 km² y la pendiente longitudinal promedio del drenaje es del 14%.

Figura 6. 1. Red de drenaje y cuencas vertientes en la zona de estudio



El segundo drenaje en importancia nace aproximadamente en la cota 2907 m.s.n.m. Drena con dirección al noroccidente, con una longitud de drenaje aproximada de 0.40 km desde su nacimiento hasta su paso por la zona de estudio en la cota 2783 m.s.n.m. El área de cuenca aferente (C2, véase **Figura 6. 1**) es del orden de 0.06 km² y la pendiente longitudinal promedio del drenaje es del 31%

La **Tabla 6. 1** relaciona algunos de los parámetros morfométricos de las microcuencas presentes en la zona de estudio, entre ellos: área drenante, pendiente media, y longitud del curso de agua.

Tabla 6. 1. Parámetros morfométricos de las cuencas de drenaje en la zona de estudio.

CUENCA	COTA NACIMIENTO (M.S.N.M.)	ÁREA (KM ²)	PERÍMETRO (KM)	PENDIENTE MEDIA DEL DRENAJE (%)	LONGITUD TOTAL DE DRENAJE (KM)	DENSIDAD DE DRENAJE (KM/KM ²)
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.

6.5. DIAGNÓSTICO DEL DRENAJE ARTIFICIAL

A continuación se hace un diagnóstico del drenaje artificial del sector, el cual se ha fundamentado en el análisis de los proyectos de alcantarillado sanitario y de aguas lluvias aprobados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

6.5.1. Acueducto

En la zona de estudio el abastecimiento de agua potable se realiza a través de la red de acueducto de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, E.A.A.B, por medio del tanque de Quiba localizado en el Cerro El Volador y las planchas L-55 y L-56.

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 en la zona de estudio 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 presenta algunas filtraciones que se evidencian en los predios 51-2 y 51-3. En la **Fotografía 6. 1** se puede apreciar el sistema de drenaje realizado en los predios anteriormente mencionados; allí también se puede observar las grietas y asentamientos que se presentan en el predio 51-2.

Fotografía 6. 1. Sistema de drenaje realizados en los predios 51-2 y 51-3



6.5.2. Aguas Lluvias

En la actualidad los barrios que conforman la zona en estudio no cuentan con un diseño de alcantarillado pluvial por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, E.A.A.B. En algunos sectores del barrio Brisas del Volador Parte Alta; se esta construyendo un sistema de alcantarillado pluvial; que tributa hacia los drenajes principales del sector (Véase **Fotografía 6. 2**), este sistema de alcantarillado pluvial actualmente no esta en servicio; puesto que aun no se han pavimentado las vías del sector, de manera que el agua drena superficialmente por las vías hacia los drenajes. En el futuro, con la construcción de la totalidad de la red pluvial y la pavimentación de las vías se logrará tener un sistema de redes pluviales que asegure el vertimiento de la escorrentía directamente hacia los cauces o drenajes existentes.

Fotografía 6. 2. Descargas del alcantarillado pluvial al drenaje principal.



6.5.3. Aguas Negras

El proceso de recolección y disposición de aguas negras; en la mayor parte del área de estudio no es adecuado, el 16% es oficial, el 74% es de tipo comunal y el 10% restante se hace en vertimientos libres, como es el caso de las viviendas que se localizan en las laderas que tributan hacia la quebrada de Limas (Véase **Fotografía 6. 3**), sin embargo es de aclarar que en la mayor parte de la zona de estudio el alcantarillado comunal se presenta en las zonas aledañas a las viviendas; pero las descargas se conducen hacia los drenajes en forma libre; por medio de zanjas, situación que se evidencia en cercanías de los drenajes principales de la zona en estudio (Véase **Fotografía 6. 4**).

Fotografía 6. 3. Vertimientos libres de aguas negras por medio de zanjas en las viviendas localizadas en las laderas que drenan hacia la quebrada de Limas.



Las descargas de aguas negras en vertimientos libres se presentan con mayor frecuencia en las viviendas aledañas a los drenajes; debido a la dificultad topográfica de evacuar esta agua por medio de las vías principales de la zona en estudio.

En la actualidad se está construyendo el alcantarillado sanitario oficial, en el barrio Brisas del Volador (sector antiguo) en inmediaciones de las manzanas 19 y 22; estas aguas negras se pretenden recolectar con el sistema de alcantarillado en construcción; las cuales son dirigidas hacia el drenaje principal de la zona en estudio donde se han construido una serie de colectores a lo largo de este drenaje.

Fotografía 6. 4. Entrega del alcantarillado comunal a los drenajes de la zona en estudio.



6.6. ZONIFICACIÓN CUALITATIVA DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS AGUAS EN EL SUBSUELO

La capacidad de infiltración en el subsuelo depende de varias características físicas, tales como el tipo de material expuesto (rocas o suelos); para el caso de las rocas (areniscas y arcillolitas) se tienen en cuenta características adicionales como las fracturas o porosidades de las mismas.

El fracturamiento o fisuración facilita la existencia de canales de comunicación para el agua; entre tanto, la porosidad permite al agua penetrar, empapar y circular por su interior. Dependiendo de la capacidad de las rocas para permitir la infiltración en el subsuelo, se distinguen rocas permeables e impermeables. Las permeables son aquellas del tipo de las arenas, areniscas (granos de menos de 2 mm. de diámetro), rocas fisuradas (rocas rígidas fracturadas por efecto de fuerzas laterales). Por su parte, las rocas impermeables son las del tipo de las arcillas.

Del total de agua de las precipitaciones, una parte circula por la superficie, otra se evapora y una tercera se infiltra en el subsuelo.

Las anteriores consideraciones fueron tenidas en cuenta, para realizar la zonificación cualitativa de la capacidad de infiltración de las aguas en el subsuelo de la zona en estudio; además de la zonificación geológica y exploración del subsuelo.

En la **Tabla 6. 2** se presenta la zonificación cualitativa de la capacidad de infiltración de las aguas en el subsuelo.

Tabla 6. 2. Zonificación cualitativa de la capacidad de infiltración de las aguas en el subsuelo.

UNIDAD	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN
FORMACIÓN ARENISCA LABOR Ksgl	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
FORMACIÓN ARENISCA TIERNA Ksqt	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
UNIDADES DE SUELOS Y DEPÓSITOS	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

6.7. MARCO HIDROLÓGICO GENERAL: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Los barrios Tabor-Alta Loma y Brisas del Volador Parte Alta están cimentados en una porción de la parte alta occidental de la cuenca del Río Tunjuelito. Estos barrios están sometidos a bajos niveles de precipitación (< 600 mm anuales). Gracias a las fuertes pendientes (>20°) (Véase **Plano GE100-PL-09**, “Mapa de pendientes”) y al alto nivel de fallamiento, casi toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial, con tiempos de concentración bajos (<10 minutos) para las microcuencas presentes en la zona de estudio.

Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están asociados con los períodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales agentes detonantes. Por esta razón, es necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial, es decir, identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación se hace un resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

6.7.1. Precipitación

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, 90.484 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 como se observa en la **Figura 6. 2**.

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 (Véase **Figura 6. 4**).

6.7.2. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para precipitaciones de corta duración

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", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió la ciudad de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y a cada una se le asignó una curva IDF característica. Con base en el Estudio reseñado, el sector de análisis está ubicado en la Zona 4, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es La Granja-San Jorge (2120172), operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B - ESP; la curva IDF para esta zona se transcribe en la **Figura 6. 3**.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 71
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

Figura 6. 2. Histograma de precipitaciones medias mensuales multianuales Estación Quiba (1990 - 2002)

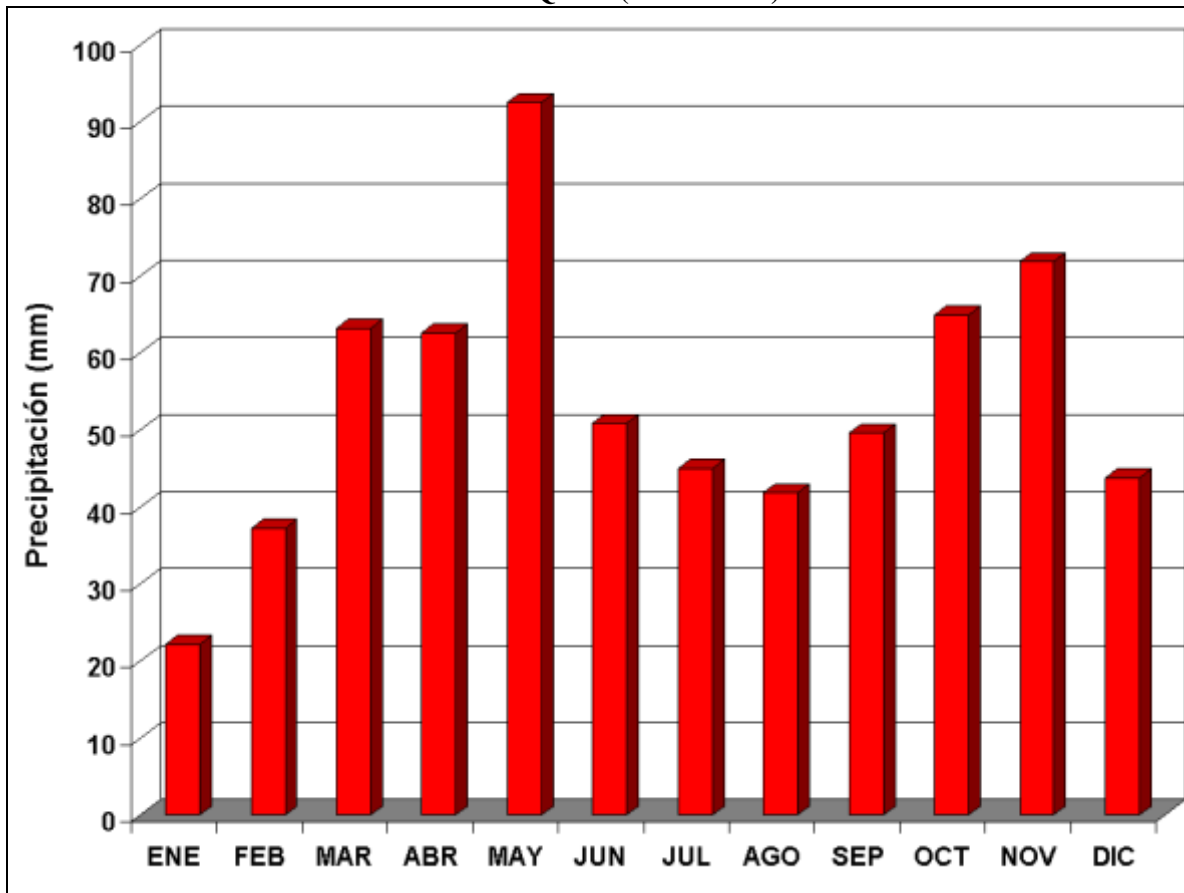
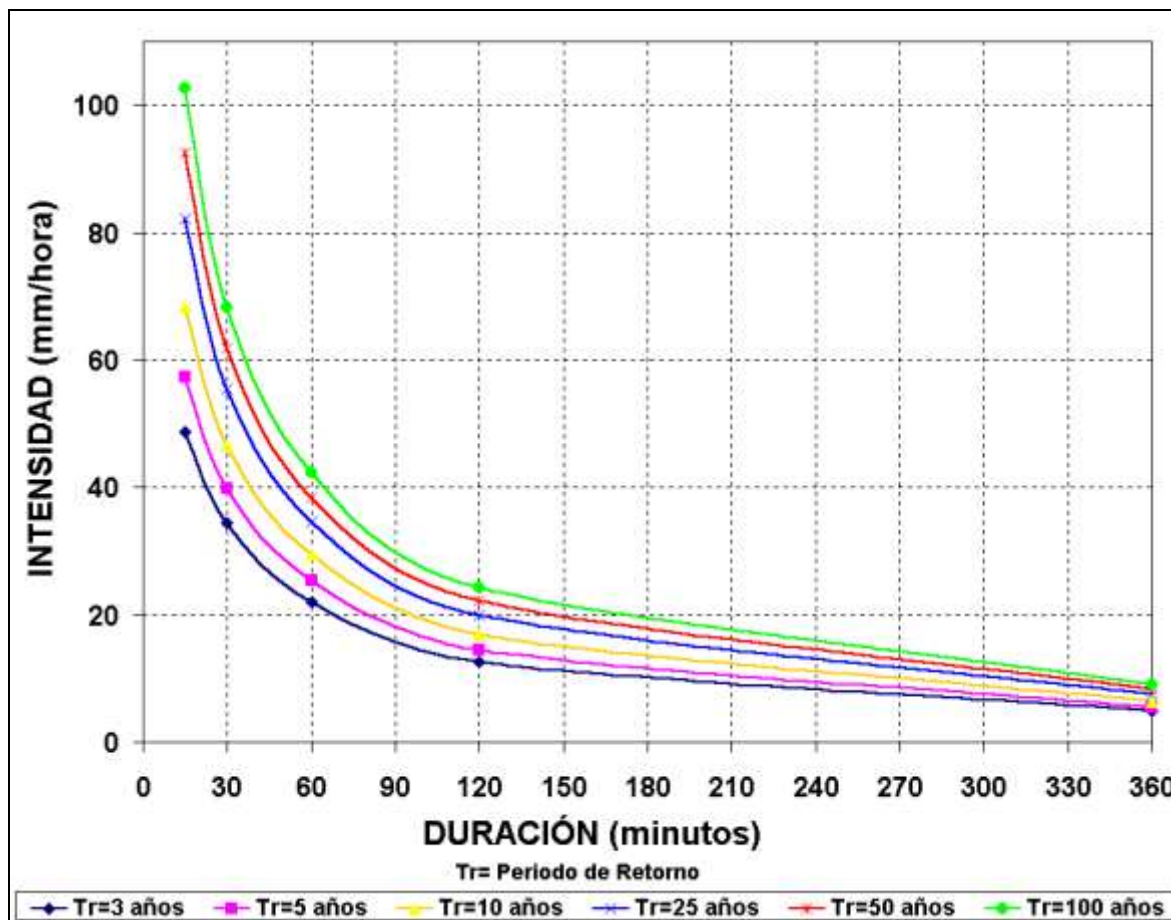


Figura 6. 3. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) - Estación La Granja-San Jorge (2120172)²



Con las curvas presentadas en la **Figura 6. 3** se obtienen las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno, con una duración dada (tiempo de concentración); estos valores son fundamentales para la generación de caudales y niveles máximos, con el fin de establecer las áreas de inundación por desbordamientos a lo largo de los cursos de agua.

6.8. LLUVIA CRÍTICA³ (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

² Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH - E.A.A.B. - E.S.P.

³ 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.

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:

- 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 se encontró que la ciudad de Bogotá se puede dividir en dos zonas a partir de la lluvia crítica y de su duración, mediante las ecuaciones ilustradas en la **Tabla 6. 3**. Este estudio estuvo basado en un inventario histórico de deslizamientos (en Bogotá) detonados por lluvias y en registros históricos de precipitaciones diarias de estaciones ubicadas en Bogotá.

Tabla 6. 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	$0.3609 \text{ Lluvia anual (mm)}$	$3.2829 LL_{crit}^{0.4157}$
Cerros orientales	$12.6325 + 0.1814 \text{ Lluvia anual (mm)}$	$0.04923 LL_{crit}$

Los barrios Tabor-Alta Loma y Brisas del Volador Parte Alta pertenecen a la zona Suroccidental; lo que traduce para los valores de lluvia anual (600 mm aproximadamente), corresponde una precipitación acumulada crítica de 216.5 mm, con una duración de 30.7 días y un período de retorno de 29 años (Véase **Figura 6. 4**, **Figura 6. 5** y **Figura 6. 6**).

De acuerdo con estos resultados se puede concluir que los fenómenos de remoción en masa no tienen como detonante principal a la precipitación, ya que la probabilidad de ocurrencia es muy baja. El papel del agua, entonces como agente disparador para períodos de exposición cortos (5, 10 años), sólo podría explicarse por la conjugación de más de una fuente, lluvias y aguas servidas.

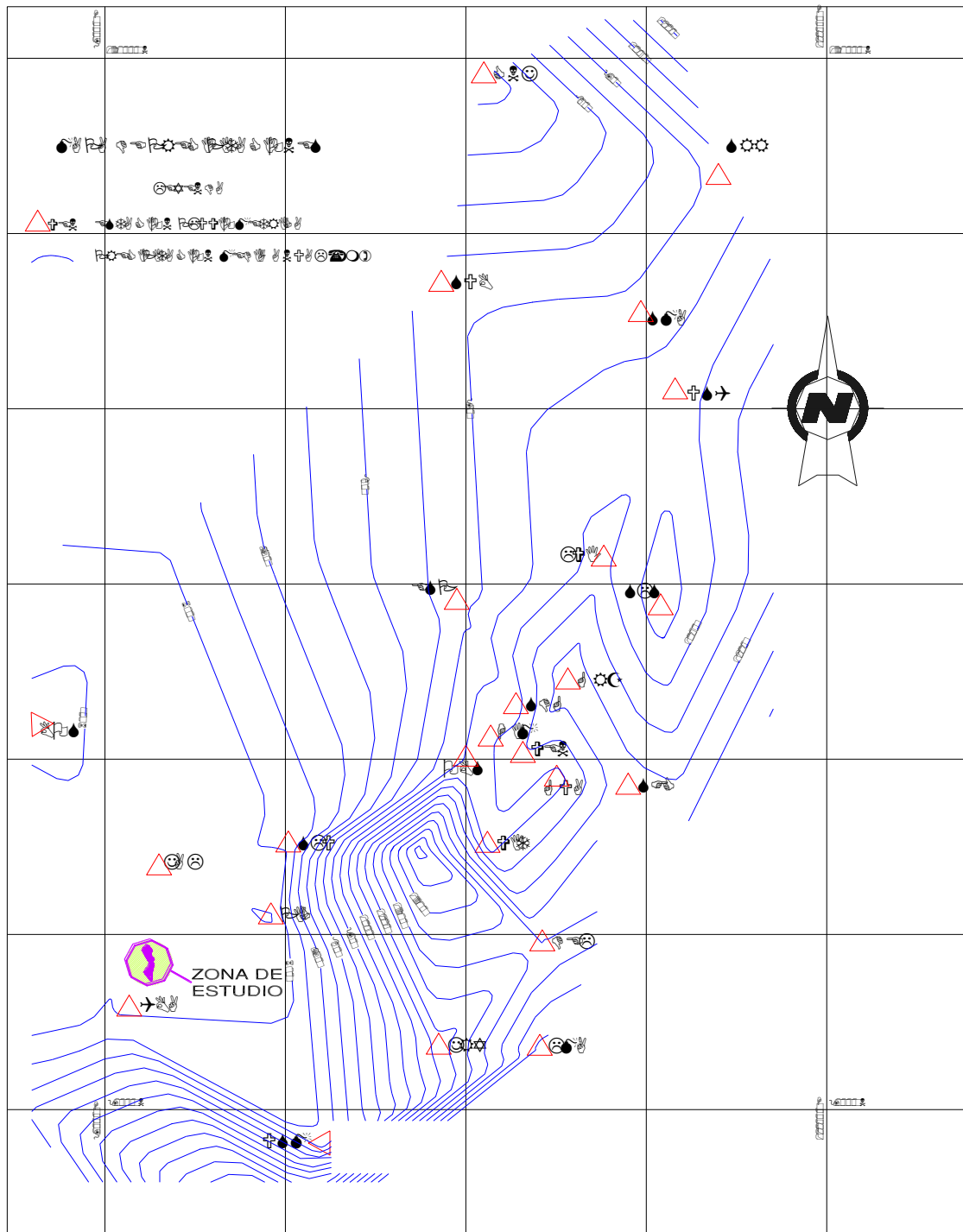
6.9. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

Los estudios hidráulicos se desarrollaron para determinar los caudales de las crecientes extraordinarias esperadas para diferentes periodos de retorno (10, 50 y 100 años); con estos resultados se transitaron y analizaron los respectivos niveles.

Primero se realizó un recorrido por los dos drenajes; en los cuales se observó la situación actual de los mismos, su grado de contaminación, los sitios de vertimientos y afluentes. Luego en la oficina se calculo el área de drenaje tanto de los drenajes como de sus tributarios.

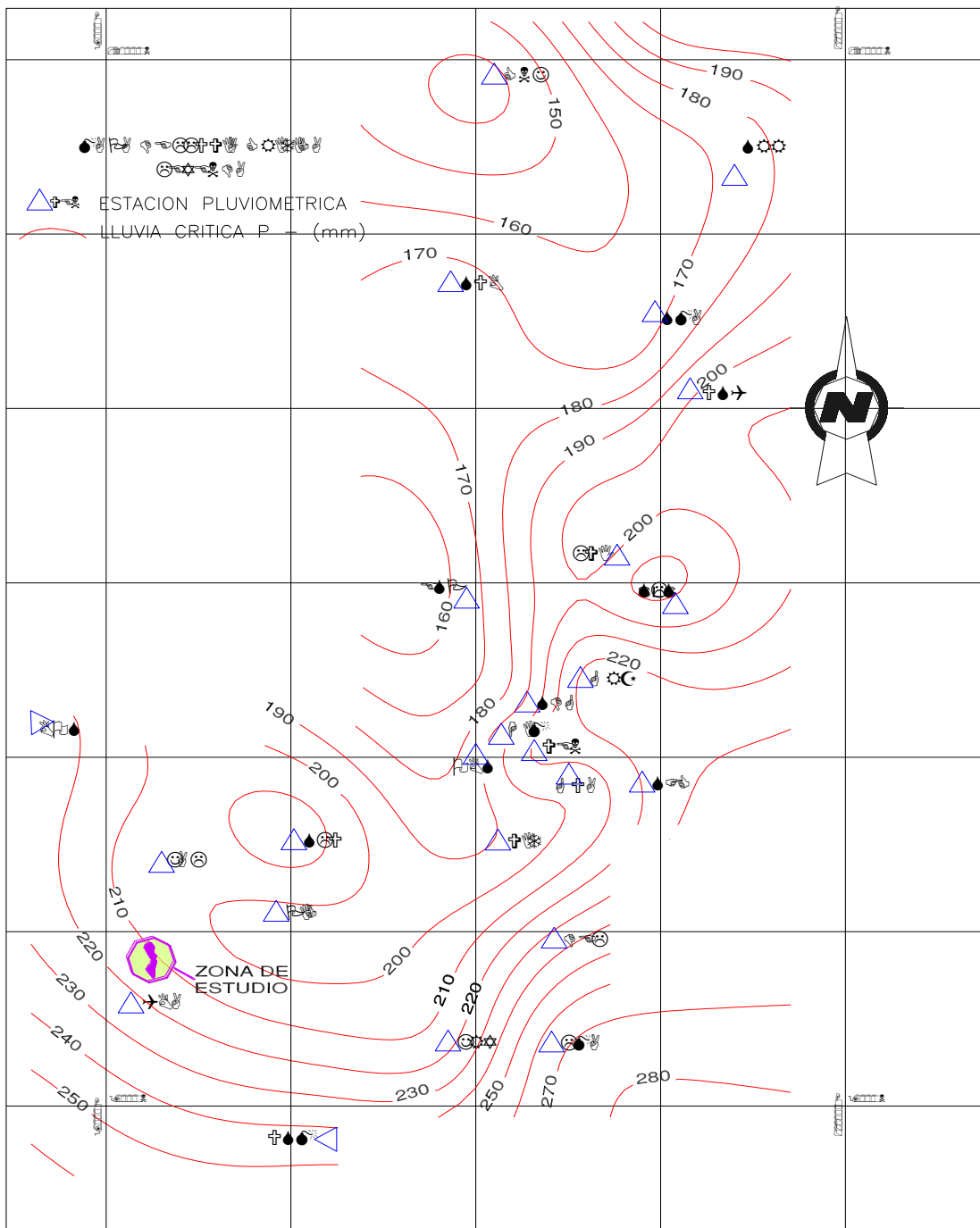
A continuación se hace mención del método de calculo de los caudales extraordinarios y la simulación hidráulica de las crecientes (transito de los niveles).

Figura 6. 4. Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá y localización de la zona de estudio.⁴



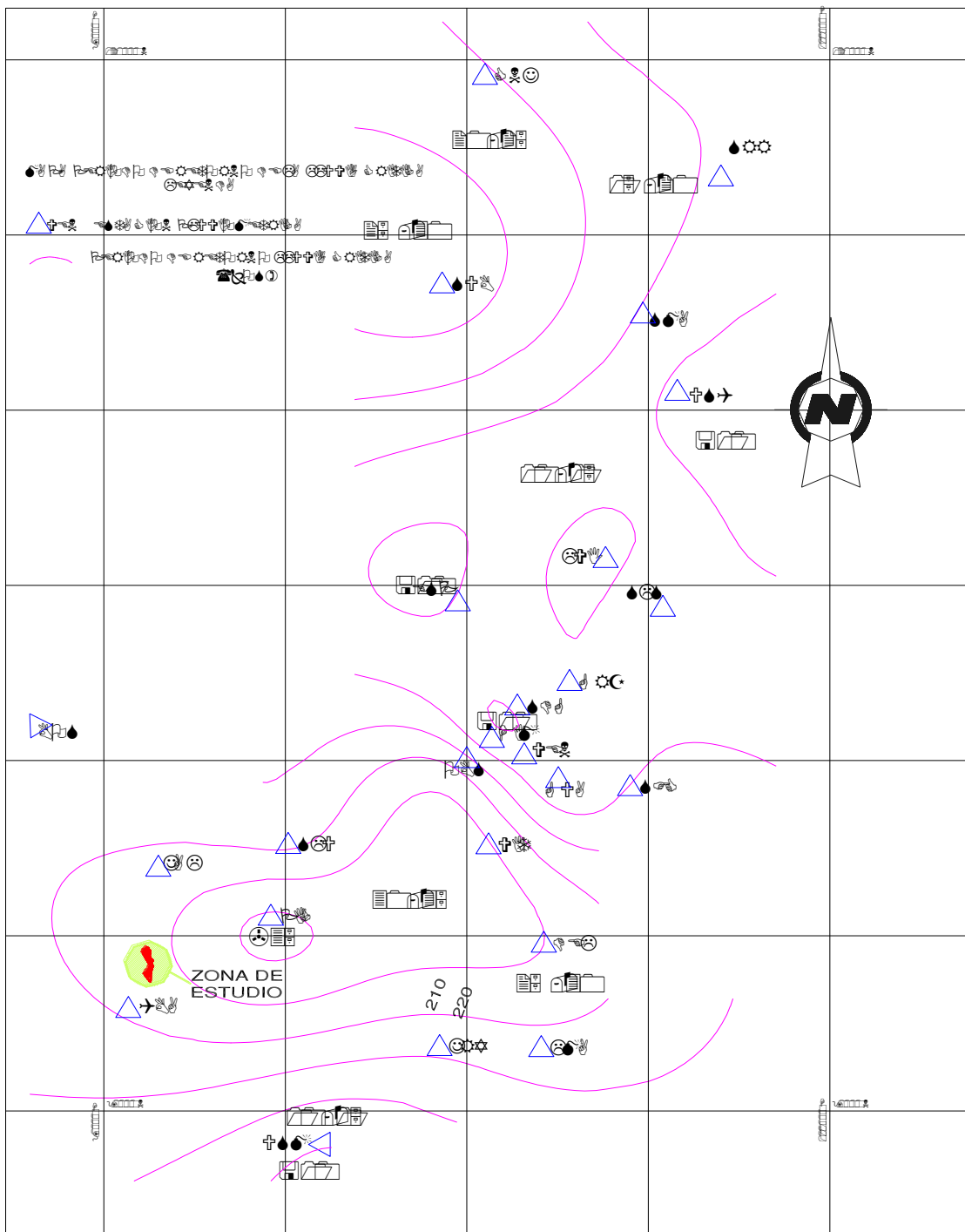
⁴ Tomado de “Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá” (INGEOCIM - UPES, 1998)

Figura 6. 5. Distribución espacial de la precipitación crítica en Bogotá y localización de la zona de estudio.⁵



⁵ Tomado de “Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá” (INGEOCIM - UPES, 1998)

Figura 6. 6. Distribución espacial de periodos de retorno de la precipitación crítica en Bogotá y localización de la zona de estudio.⁶



⁶ Tomado de “Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá” (INGEOCIM - UPES, 1998)

6.9.1. Caudales máximos por escorrentía en los drenajes de la zona en estudio

Para el cálculo de los caudales máximos esperados en los drenajes de la zona en estudio, se utilizó la fórmula racional, aceptada para cuencas con superficies menores de 1 Km². Este planteamiento se identifica con la ecuación:

$$Q = k \times i \times A \times c$$

Donde Q es el caudal pico de la creciente (m³/s); k un factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.00278 (m³/s/Ha mm/hr); i la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr); A el área de la cuenca (Ha); c el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 1, que depende de las características fisiográficas de la cuenca y la cobertura del suelo.

a) Determinación de áreas de drenaje

En primer lugar se definieron las áreas de drenaje a tener en cuenta para la evaluación de los caudales de aguas lluvias que circulan por los cauce de los drenajes, para este efecto; también se utilizaron los diseños de las redes de alcantarillado pluvial de los barrios aferentes, y los puntos de descarga previstos en los respectivos proyectos de diseños pluviales.

b) Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es de difícil determinación, si se emplea la información observada. Por tal motivo se optó por estimar el coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta el uso del suelo; es decir para zonas urbanizadas el coeficiente de escorrentía será de 0.85 y para zonas no urbanizadas se tendrá en cuenta las recomendaciones del MOPT (relieve, permeabilidad, vegetación y la capacidad de almacenaje en las microcuencas) tal como se pueden apreciar en la **Tabla 6. 4**.

Tabla 6. 4. Parámetros recomendados por el MOPT para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.

	40	30	20	10
RELIEVE DEL TERRENO	muy accidentado	accidentado	ondulado	llano
	m>30%	10%<m<30%	5%<m<10%	M<5%
PERMEABILIDAD DEL SUELO	20	15	10	5
	muy Impermeable	bastante Impermeable	bastante Permeable	muy Permeable
	roca	arcilla	normal	arenas
VEGETACIÓN	20	15	10	5
	ninguna	poca	bastante	mucha
		del 10% de la superficie	hasta el 50% de la superficie	hasta el 50% de la superficie
CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA	20	15	10	5
	ninguna	poca	bastante	mucha

VALOR DE K	75 - 100	50 - 75	30 - 50	25 - 30
VALOR DE C	0.65 - 0.80	0.50 - 0.65	0.35 - 0.50	0.20 - 0.35

Con esta gama de valores de los coeficientes de escorrentía; para las zonas urbanizadas y no urbanizadas, además de la distribución de áreas por uso en la zona de estudio y teniendo en cuenta el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en las zonas no urbanizadas; por medio del SIG (Sistema de Información Geográfica) se estimó un valor ponderado del coeficiente de escorrentía para todo el sector en estudio.

El coeficiente de escorrentía ponderado para toda el área en estudio es del orden de 0.79; teniendo en cuenta que el tamaño de dichas microcuencas es inferior a 6 Ha, las cuales son relativamente pequeñas.

c) Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, o tiempo requerido para que el agua caída en el punto más alejado de la cuenca hidrográfica fluya a una sección específica de análisis en el drenaje, es función de las características topográficas de la cuenca. En este caso, por tratarse de microcuencas de pendiente media a alta, el tiempo de concentración puede evaluarse gracias a la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 4 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

En donde:

T_c : tiempo de concentración en minutos

L : Longitud en kilómetros

S : la pendiente en m/m

Bajo el marco reseñado, los tiempos de concentración calculados para las 10 secciones de control oscilan entre 2 y 4 minutos aproximadamente; siendo indudablemente inferiores a 10 minutos; pero para efectos de cálculo del caudal máximo se adoptó de manera conservadora en todas las secciones como tiempo de concentración, 10 minutos (Véase **Tabla 6. 5**). Así mismo, los caudales máximos obtenidos al aplicar el método racional se listan en la **Tabla 6. 6**.

Tabla 6. 5. Cálculo de los Tiempos de Concentración en las secciones de análisis.

SECCIÓN HIDRAULICA	"C" COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	"A" ÁREA DE DRENAJE (HA)	"L" LONGITUD DE DRENAJE (KM)	"S" PENDIENTE DE DRENAJE (M/M)	"TC" TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (MIN)	"TC" TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ADOPTADO (MIN)	"K" FACTOR DE CONVERSIÓN
SEC-1	0.79	1,06	0,14	0,23	1,54	10	0.00278
SEC-2	0.79	1,67	0,18	0,24	1,88		
SEC-3	0.79	2,25	0,22	0,24	2,12		
SEC-4	0.79	3,10	0,28	0,25	2,53		
SEC-5	0.79	3,86	0,34	0,25	2,96		
SEC-6	0.79	5,06	0,41	0,25	3,42		
SEC-7	0.79	5,91	0,44	0,27	3,55		
SEC-8	0.79	3,40	0,29	0,13	3,37		
SEC-9	0.79	4,18	0,30	0,15	3,33		
SEC-10	0.79	4,98	0,32	0,15	3,45		

Tabla 6. 6. Estimación de los Caudales en las secciones de análisis.

"TR" PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	"I" INTENSIDAD DE LA LLUVIA (MM/H)	CAUDAL (M ³ /S) SEC-1	CAUDAL (M ³ /S) SEC-2	CAUDAL (M ³ /S) SEC-3	CAUDAL (M ³ /S) SEC-4	CAUDAL (M ³ /S) SEC-5	CAUDAL (M ³ /S) SEC-6	CAUDAL (M ³ /S) SEC-7	CAUDAL (M ³ /S) SEC-8	CAUDAL (M ³ /S) SEC-9	CAUDAL (M ³ /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

Con los resultados obtenidos de las diez secciones topográficas (geometría de los drenajes en estudio) y el caudal se procedió a utilizar un modelo matemático que calcula perfiles para flujo gradualmente variado, y de esta forma obtener la lamina de agua y todas las características hidráulicas para los caudales con periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

6.9.2. Simulación hidráulica de crecientes (tránsito de niveles)

Para la simulación hidráulica de crecientes se utilizó el modelo matemático HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), el cual es un paquete integrado de programas de análisis hidráulico desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que efectúa los cálculos de perfiles de la superficie de agua para flujos gradualmente variados y permanentes.

Para el manejo del modelo matemático es necesario ingresar al programa los datos de geometría y los datos de flujo del sistema. Para los datos geométricos del sistema se introdujeron al programa los datos de las secciones transversales tomadas topográficamente y debidamente procesadas, para el drenaje localizado más al Norte (secciones 1 a 7) y el drenaje localizado mas al sur (secciones 8 a 10).

Para todas las secciones se definieron los coeficientes de rugosidad de Manning, las orillas del cauce y las distancias entre las secciones tanto por el eje del canal principal como por las orillas.

Una vez definidos los datos de entrada se procedió a calcular los perfiles de flujo para los diferentes periodos de retorno teniendo en cuenta los caudales estimados en los dos drenajes objeto de estudio

El escenario analizado considera los caudales esperados por escorrentía y la rugosidad promedio en cada sección (Véase **Plano GE100-PL-10**). El cálculo de la cota de la lámina de agua para cada periodo de retorno se estimó con el HEC-RAS; para posteriormente localizarlas en planta, en cada una de las respectivas secciones de análisis, como se observa en el **Plano GE100-PL-10** con el fin de definir las áreas de afectación del drenaje para diferentes periodos de retorno.

El nivel máximo de inundación se calculó para un caudal de período de retorno de 100 años y se determinó a partir de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales. De esta forma se delimitó la zona de inundación ($Tr = 100$ años), para ambos drenajes.

De acuerdo con los resultados anteriores, se concluye que en su mayoría, la pendiente longitudinal de los drenajes es muy elevada y la sección de drenaje es amplia y está bien definida.

6.10. AMENAZA POR INUNDACIONES

La zonificación de la amenaza por inundaciones se sustenta en la simulación hidráulica de las crecientes para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, teniendo en cuenta el escenario mencionado en dicho numeral.

La categorización de la amenaza se realizó teniendo en cuenta los tres periodos de retorno de las crecientes extraordinarias solicitadas en los Términos de Referencia y que a continuación se ilustran en la **Tabla 6. 7.**

Tabla 6. 7. Categorización de la amenaza por inundaciones.

AMENAZA	PERIODO DE RETORNO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
ALTA	TR \leq 10 años	P \geq 0.10
MEDIA	10 años < TR \leq 100 años	0.01 \leq P < 0.10
BAJA	TR > 100 años	TR < 0.01

Como resultado del análisis de las áreas de afectación por inundaciones o desbordamientos en los drenajes de la zona en estudio (Véase **Plano GE100-PL-10**); se aprecian predios afectados por crecientes extraordinarias en el drenaje principal, para periodos de retorno superiores a 50 años, indicando que dichas viviendas se localizan dentro de la ronda hidráulica del drenaje. Este análisis se realizó sin tener en cuenta que en el drenaje principal se han canalizado algunos tramos; por medio de tuberías de diámetros insuficientes (8", 10" y 12" en algunos casos), estas canalizaciones las han realizado los habitantes del sector; con el fin de obtener accesos viales o peatonales hacia la margen izquierda del drenaje.

Dichas estructuras son insuficientes para transitar los caudales de periodos de retorno mayores a 10 años; además en estas estructuras, convergen las basuras y escombros que se arrojan desde la parte alta del drenaje, disminuyéndose así; cada vez más la sección de las estructuras y el drenaje, de tal forma que se obstaculizan y colmatan las secciones hidráulicas, lo anterior acrecienta los niveles y desbordamientos en algunas ocasiones.

En este orden de ideas se hace inminente para este sector el represamiento y posterior desbordamiento de los caudales transitados por el cauce y las estructuras de paso localizadas sobre el drenaje principal. Sumado a lo anterior, debido a la ausencia de un programa de manejo y recolección de basuras para las zonas aledañas al drenaje, se generan colmataciones y obstrucciones en las estructuras de paso; llegando a reducir la sección hidráulica hasta en un 70%.

6.11. RECOMENDACIONES

- Desarrollar con la comunidad del sector en estudio, un Plan maestro de manejo y recolección de basuras en los sectores aledaños a los drenajes y posteriormente realizar brigadas o campañas de aseo (antes de iniciar los periodos de lluvias), en las rondas de los drenajes; con el fin de evitar la obstrucción y colmatación por ende la reducción de las secciones hidráulicas del drenaje o cauce principal de los drenajes presentes en la zona de estudio.

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

- Evitar los vertimientos de las aguas negras en los drenajes del sector, a fin de evitar los malos olores. Esto se evitará realizando las obras de Alcantarillado Local de Aguas Iluvias y Negras de los barrios presentes en la zona de estudio. Estas obras civiles consisten en la construcción de interceptores principales uno en cada drenaje, que reciban en ruta cada vertimiento existente de aguas negras.
- Reemplazar o ampliar las estructuras de paso existentes en el drenaje principal, por estructuras de mayor capacidad o sección; que puedan transportar caudales con periodos de retorno mayores, con el fin de evitar los represamientos y desbordamientos de los caudales en las estructuras existentes.
- Prohibir la invasión de las rondas de los cauces de los drenajes.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 83
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	------------------------

7. RESPUESTA DINÁMICA DEL SUBSUELO

7.1. GENERALIDADES

7.1.1. Introducción

Evaluar la respuesta dinámica del subsuelo tiene como objetivo estimar el sismo en los efectos de amplificación local de las aceleraciones.

7.1.2. Metodología

La secuencia metodológica del estudio contempla los siguientes pasos:

Recopilación y análisis de información:

Recopilación de la información de los estudios de suelos realizados para este proyecto, concernientes a la exploración y los ensayos de campo y laboratorio. Adicionalmente, recopilación de la información geológica de columnas y perfiles geológicos. Esto con el fin de determinar la secuencia estratigráfica hasta un cierto nivel dentro de las formaciones rocosas, definiendo para cada estrato parámetros geomecánicos estáticos.

Geología y Tectónica:

Consideración de la incidencia de las diferentes fallas locales y regionales en la posible generación de eventos sísmicos futuros, cubierta por el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá. Actualmente no se tienen nuevas investigaciones en este campo.

Sismología y Amenaza sísmica:

Revisión de los diferentes criterios y resultados existentes en el “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia” y la “Microzonificación Sísmica de Bogotá”. Definición del grado de amenaza representado como fuentes sísmicas que pueden generar eventos críticos en la ciudad, expresados como aceleración máxima horizontal a nivel de roca.

Acelerogramas de diseño:

Determinación de familias de acelerogramas que puedan representar cada una de las fuentes sísmicas críticas para la ciudad, a partir de registros disponibles escalados al nivel de amenaza correspondiente.

Caracterización dinámica del subsuelo en cada perfil:

Definición de un modelo geotécnico del subsuelo, véase **Capítulo 5**, el cual incluye una sección geotécnica a lo largo del área de estudio y una sección transversal. Extensión de estos modelos desde la superficie hasta un amplio nivel de roca para lograr evaluar la forma como incide todo el subsuelo en la respuesta sísmica del sitio. Definición de los parámetros geotécnicos (estáticos y dinámicos) representativos de cada material.

Evaluación de respuesta dinámica del subsuelo:

Empleo de modelos bidimensionales de elementos finitos con la herramienta computacional QUAD4M, para la evaluación de los niveles de aceleración máxima en superficie en las zonas de interés objeto del estudio, especialmente en taludes propensos a sufrir los fenómenos de remoción en masa.

7.2. AMENAZA SÍSMICA**7.2.1. Fuentes Sismogénicas**

En busca de identificar las fuentes sismogénicas que afectan el sitio de estudio se consideró información existente en estudios regionales y locales. Entre estos el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS – INGEOMINAS, 1996), en el cual se ubica a Bogotá dentro de la Región 5, para la cual el nivel de amenaza es Intermedia, la aceleración máxima a nivel de roca es de 0.20g y el periodo de retorno es de 475 años. En la **Tabla 7. 1** se presenta el aporte a la amenaza sísmica de la ciudad de las fallas activas circundantes según se muestra en el mismo estudio.

Tabla 7. 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 Bogotá (AIS – INGEOMINAS – UNIANDES, 1997), permite localizar el sitio de estudio dentro de la Zona 1 - Cerros, para la cual la aceleración máxima a nivel de superficie alcanza 0.24g.

7.2.2. Cuantificación de la Amenaza

Con base en los estudios mencionados para la ciudad de Bogotá se tienen tres sistemas sismogénicos principales:

7.2.2.1. Fuente Local

Eventos en el dominio del Campo Cercano provenientes de fallas hacia el sur de la ciudad, tales como La Cajita, Mochuelo o Tunjuelito, localizadas a distancias entre 15 y 25Km de la zona de estudio, con foco de poca profundidad y magnitud máxima probable de Ms entre 6.0 y 6.5. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca es de 0.20g. Los acelerogramas representativos de esta fuente son de corta duración y de período fundamental pequeño ($T < 0.30\text{seg}$).

7.2.2.2. Fuente Intermedia o Regional

Eventos generados en el sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental o sistema Guaicaramo, a una distancia media de 60Km. al oriente de la ciudad, de profundidad variable entre superficial e intermedia de 15Km y 60Km respectivamente. Esta fuente contribuye con un 67.6% de la amenaza sísmica para eventos de Campo Lejano y los eventos generados pueden alcanzar una magnitud máxima probable de Ms entre 7.0 y 7.5. Pueden esperarse aceleraciones horizontales máximas a nivel de roca por esta fuente del orden de 0.20g.

7.2.2.3. Fuente Lejana

Evento generado en la Zona de Subducción del Pacífico, a una distancia del orden de 350 a 400 Km. de la ciudad, con una aceleración máxima horizontal en roca de 0.04g.

7.3. ACELEROGRAMAS REPRESENTATIVOS

A partir de los diferentes escenarios sísmicos presentados anteriormente, se buscó en la base de datos de sismos presentados en el país y en otros países, registros en roca compatibles en magnitud y distancia con las características de cada fuente.

En primer lugar se consideraron los acelerogramas requeridos por la Microzonificación Sísmica de Bogotá según Decreto 074 correspondientes a los sismos de Lomapieta – Corralitos, Frontal – Rivera y México. Adicionalmente se consideraron algunos acelerogramas compatibles con el sistema escogido, presentados también en la **Tabla 7. 2**.

Tabla 7. 2 Acelerogramas de diseño

EVENTO	FUENTE	EVENTO (ESTACIÓN) FECHA	a_{\max} (g)	T (seg.)	Δt (seg.)	# PUNTOS	DURACIÓN (seg.)
1	Local	Loma Prieta (Corralitos) 17/10/89	0.63	0.29	0.02	2000	40
2	Local	Coyote Lake (Gilroy-1) 06/08/1979	0.132	0.202	0.01	2680	26.8
3	Local	Umbría - Marche (Borgocerreto) 26/09/97	0.291	0.11	0.01	2536	25.36

EVENTO	FUENTE	EVENTO (ESTACIÓN) FECHA	a_{max} (g)	T (seg.)	Δt (seg.)	# PUNTOS	DURACIÓN (seg.)
4	Local	Turquía (Gebze) 17/08/99	0.20	0.106	0.01	2800	28
5	Local	Anza 25/02/90	0.131	0.12	0.005	2064	10.32
6	Frontal	Frontal (Sismo de Rivera)	0.148	1.09	0.015	3800	57
7	Frontal	Campano Lucano (Arienzo) 11/23/80	0.032	0.177	0.018	1390	25.02
8	Frontal	Guayabetal (Sintético)	0.640	0.31	0.015	3800	56
9	Frontal	Lomapieta (Presidio)	0.19	0.48	0.015	2682	40.23
10	Lejana	México 1985	0.038	0.92	0.03	3800	114

7.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO

7.4.1. Perfil Geotécnico

Se consideró una sección longitudinal a lo largo del área del proyecto, estableciendo perfiles geotécnicos del subsuelo a partir de la información geotécnica y geológica, véase **Capítulo 5** y **Plano GE100-PL-02**.

La topografía empleada para las secciones corresponde a la proporcionada por las planchas L-55 y L-65 del IGAC, prolongando la longitud de las secciones en la zona del proyecto con el fin de tener en cuenta las formas topográficas locales y evitar interferencia de las fronteras laterales e inferiores. De esta forma se alejaron las fronteras laterales a distancias del orden de 4 a 6 veces la longitud abarcada por el proyecto. En las **Figura 7. 1** y **Figura 7. 2** se presentan los perfiles topográficos de trabajo.

Figura 7. 1 Perfil topográfico de la sección longitudinal A-A’.

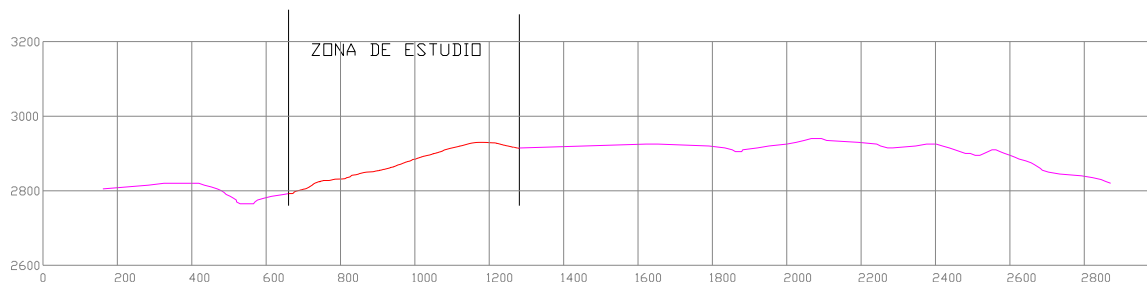
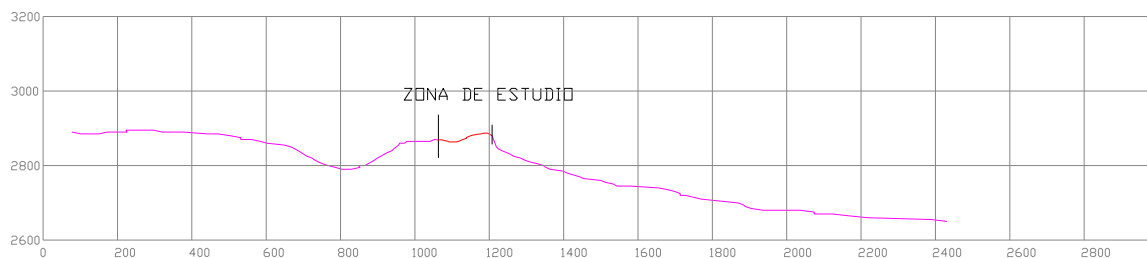


Figura 7. 2. Perfil topográfico de la sección transversal B-B’.



La sección longitudinal considerada, tiene una amplitud total de 2600m y una altura variable entre 2600 y 2869m.s.n.m. De otro lado, la sección transversal tiene una longitud de 2200m y una altura variable entre 2600 y 2800m.s.n.m.

Las capas de subsuelo empleadas corresponden a suelo residual, coluvión, rellenos y roca (Ksgd, Ksgp, Ksgl, Ksgt y Tkgm), descritas en los **Capítulos 3 y 5**.

En las **Figura 7. 3** y **Figura 7. 4** se presenta la distribución estratigráfica de las secciones longitudinal y transversal empleadas en el modelo.

Figura 7. 3 Perfil geotécnico y geológico de la sección longitudinal A-A’

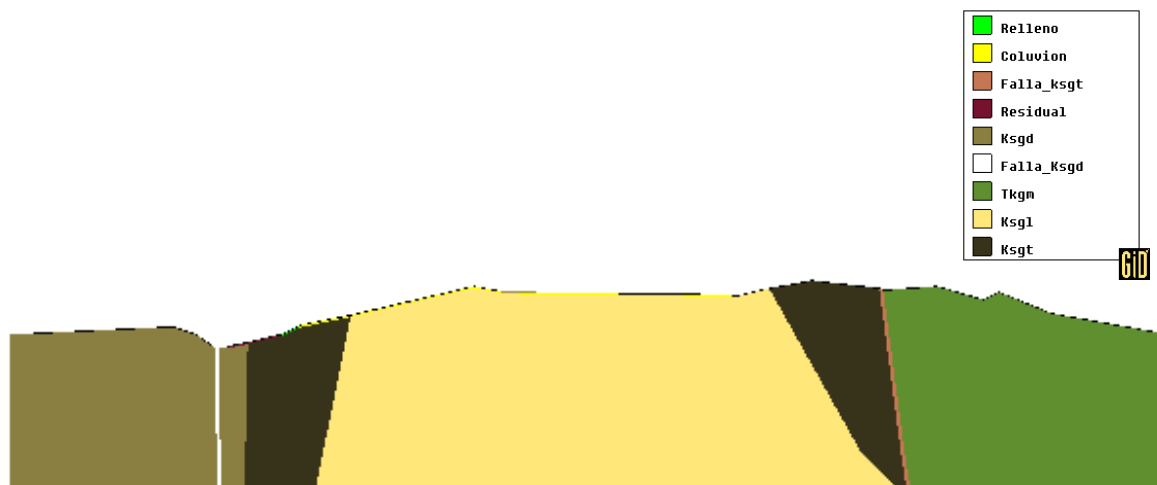
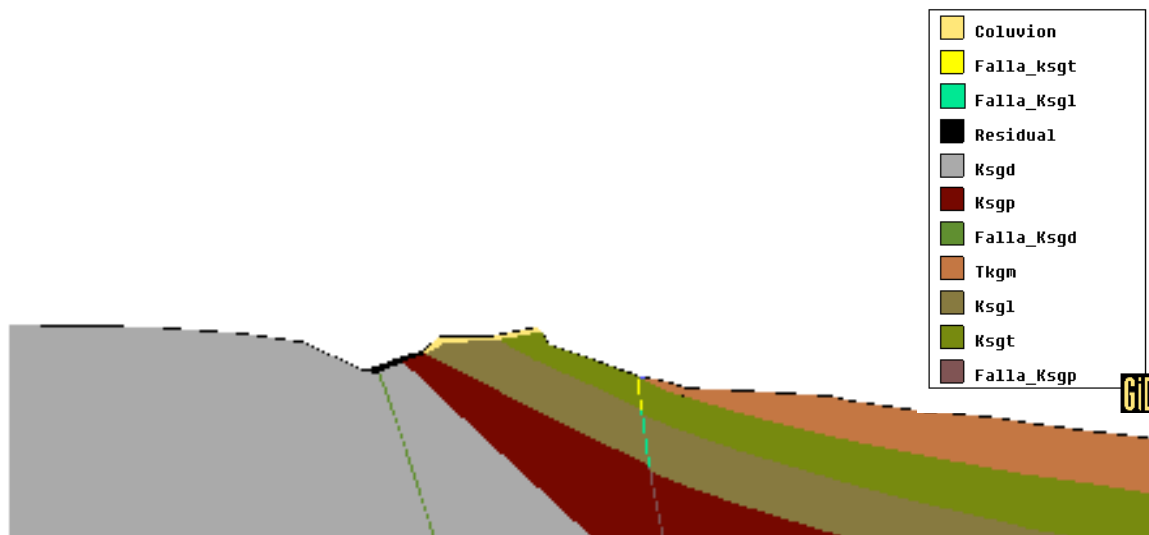


Figura 7. 4 Perfil geotécnico y geológico de la sección transversal B-B'



Se observa que en la sección longitudinal, las capas de suelo tienen un espesor bastante pequeño en comparación con la dimensión del modelo. De otro lado, la orientación del trazado de la sección coincide con la dirección del buzamiento de las formaciones rocosas.

La sección longitudinal presenta una mayor participación de los estratos de suelo dentro del modelo y pueden observarse con claridad los buzamientos de las formaciones rocosas. En ambas secciones se representan fallas geológicas, que son modeladas con un ancho máximo de 10m de material fracturado.

7.4.2. Parámetros Geomecánicos Estáticos

Con base en la caracterización realizada en el Estudio Geotécnico, se estimaron los parámetros geomecánicos estáticos necesarios para la modelación del subsuelo como se muestra en la **Tabla 7. 3**.

Tabla 7. 3 Parámetros geomecánicos de los materiales

Material	γ_t (t/m ³)	ν
Relleno	1.80	0.35
Suelo Residual	1.88	0.35
Coluvión	1.85	0.35
Roca	2.3	0.25
Material en las fallas	2.1	0.225

7.4.3. Parámetros Geomecánicos Dinámicos

En busca de establecer en forma aproximada las variaciones del estado de esfuerzos y deformaciones que se generan en el suelo al ser sometido a la acción de un sismo, es necesario definir propiedades de

comportamiento dinámico de los diferentes materiales que conforman la estructura de las secciones consideradas. A continuación se describen los parámetros dinámicos utilizados para la modelación dinámica del subsuelo:

Módulo de Corte Máximo, G_{max}

Los valores de G_{max} de cada material se determinan con la ecuación:

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2$$

Donde:

ρ : densidad, $\rho = \gamma/g$

γ : peso unitario

g : aceleración de la gravedad

V_s : velocidad de propagación de la onda de corte

En la **Tabla 7. 4** muestran los valores de velocidad de onda de corte y módulo de corte máximo, definidos a partir de la información de la Microzonificación Sísmica de Bogotá y de valores que pueden ser representativos de los materiales de la zona sur de la ciudad de Bogotá, debido a que no se conoce información mas detallada al respecto.

Tabla 7. 4 Velocidades de onda de corte y G_{max} en las capas del subsuelo

CAPA	V_s (m/s)	G_{max} (kN/m ²)
Relleno	300	162000
Suelo residual	300	169200
Coluvión	350	226625
Roca		
Ksgd	1200	3312000
Ksgp	1100	2783000
Ksgl	1000	2300000
Ksgt	900	1863000
Tkmg	1200	3456000
Material en la falla		
Ksgd	840	1481760
Ksgp	770	1245090
Ksgl	700	1029000
Ksgt	630	833490

Variación del módulo de corte y el amortiguamiento con la deformación por corte

La determinación de las curvas a emplear en los diferentes materiales del subsuelo se realizó mediante las disposiciones siguientes:

Para el suelo residual se emplearon las curvas de la Microzonificación Sísmica de Bogotá definidas para Índices de Plasticidad (IP) inferiores a 20%, de acuerdo con el valor de IP definido por los ensayos de laboratorio realizados para muestras de sondeos en materiales de esta zona. Para el coluvión y el material en la falla se emplearon las curvas establecidas por Seed (1971) para arenas, gravas, cantos y algo de arcilla, que pueden representar un material fracturado. Para la arenisca se emplearon curvas típicas de roca, en las cuales no se presenta degradación ni amortiguamiento considerablemente variable con el nivel de deformación por corte.

En las **Figura 7. 5** y **Figura 7. 6** se presentan las curvas de Degradación del módulo vs. Deformación por corte y las curvas de Amortiguamiento vs. Deformación por corte empleadas en este estudio.

Figura 7. 5 Curvas de degradación del Módulo vs. Deformación por corte para los materiales del subsuelo

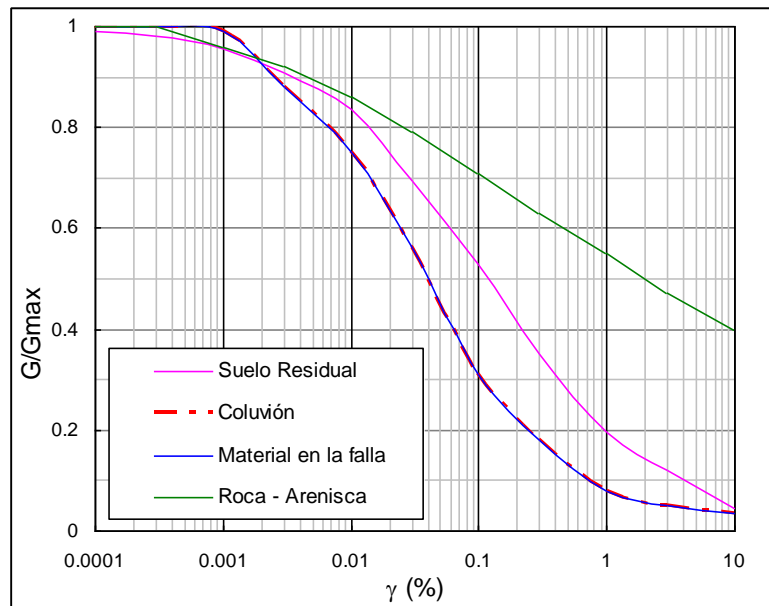
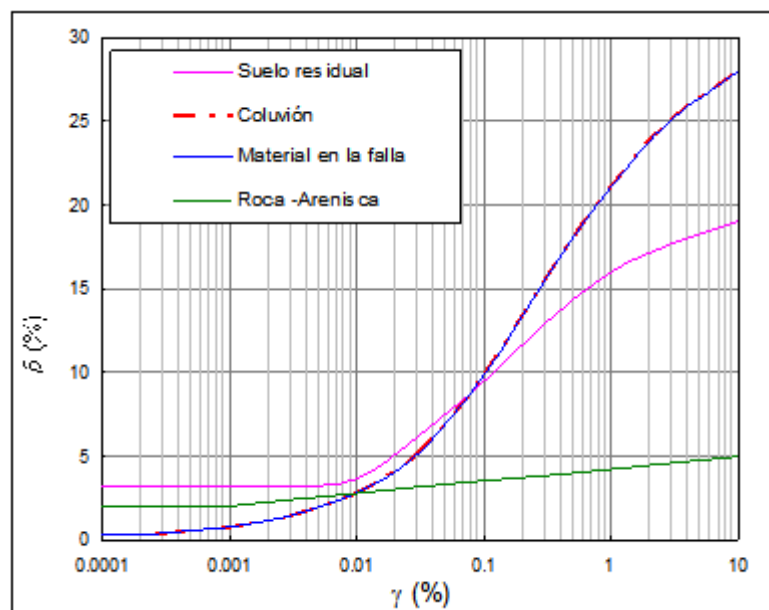


Figura 7. 6 Curvas de Amortiguamiento vs. Deformación por corte para los materiales del subsuelo



7.5. MODELO NUMÉRICO DE ANÁLISIS

7.5.1. Programas de Computador

Para realizar la modelación numérica y la evaluación de la respuesta dinámica local del subsuelo se empleó para el análisis el programa QUAD4M (Universidad de Berkeley) y para la fase de preproceso y postproceso, el programa tipo CAD denominado GID versión 7.2.

7.5.2. Geometría de la sección bidimensional

Aproximando la valoración de la incidencia de las formas topográficas en la respuesta dinámica del subsuelo, se modelará el problema en elementos finitos bidimensionales (2D) donde se consideren convenientemente las fronteras y las formas topográficas locales.

La malla de elementos finitos empleada para la sección longitudinal A-A' tiene una longitud total de 3000m y consta de 3539 elementos y 3711 nodos. La malla empleada para la sección B-B' tiene una longitud de 2600m y consta de 4573 elementos y 4736 nodos. Esta última malla es más densa debido a la complejidad de la geometría de la sección tal como se puede observar en las **Figura 7. 7** y **Figura 7. 8**.

Figura 7. 7 Malla de elementos finitos empleada para la sección longitudinal A-A'

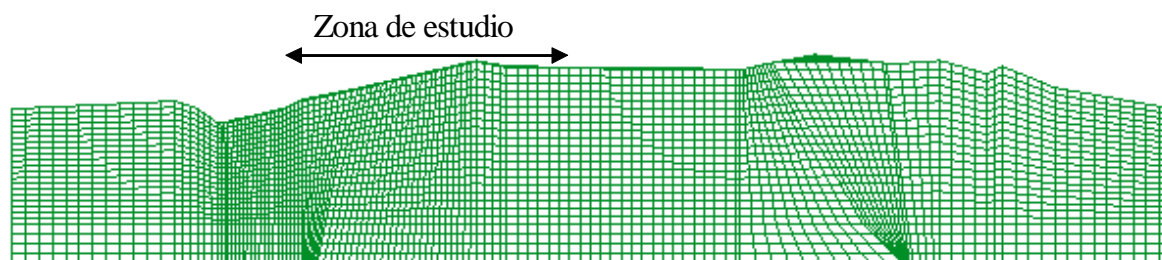
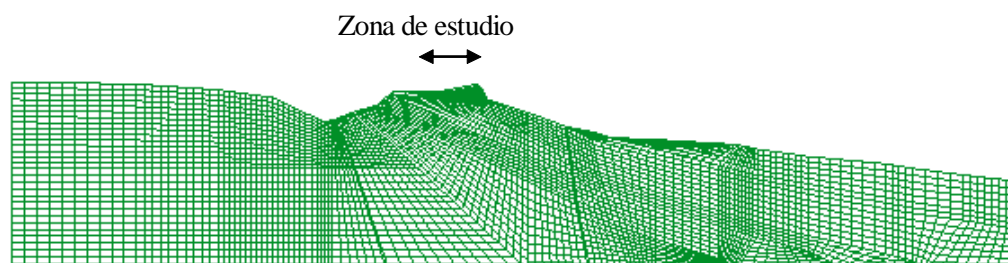


Figura 7. 8 Malla de elementos finitos empleada para la sección transversal B-B'



7.6. RESPUESTA DINÁMICA

7.6.1. Isoaceleraciones máximas del subsuelo

7.6.1.1. Isoaceleraciones máximas para la sección longitudinal A-A'

La variación de las aceleraciones máximas en la sección longitudinal estudiada es presentada como un perfil de isoaceleraciones horizontales máximas para cada uno de los eventos representativos seleccionados (Tabla 7. 2).

Figura 7. 9 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 1

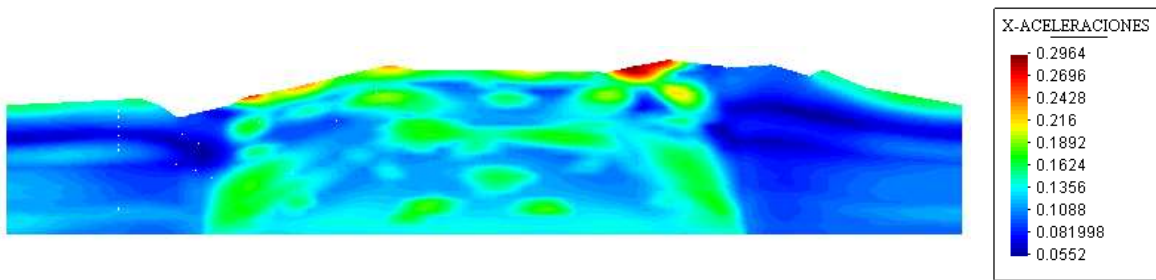


Figura 7. 10 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 2

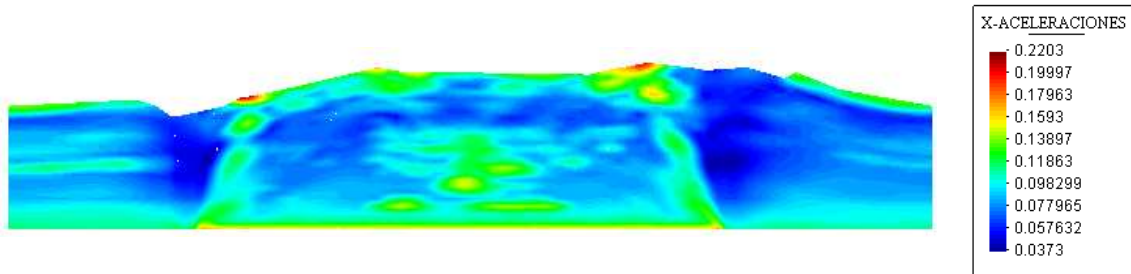


Figura 7. 11 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 3

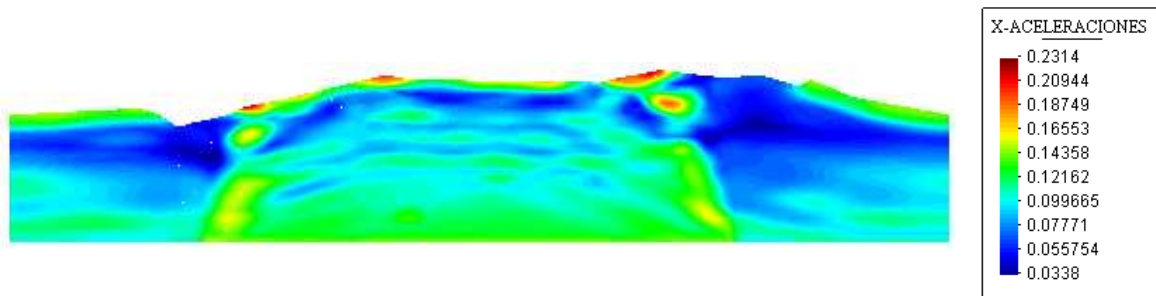


Figura 7. 12 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 4

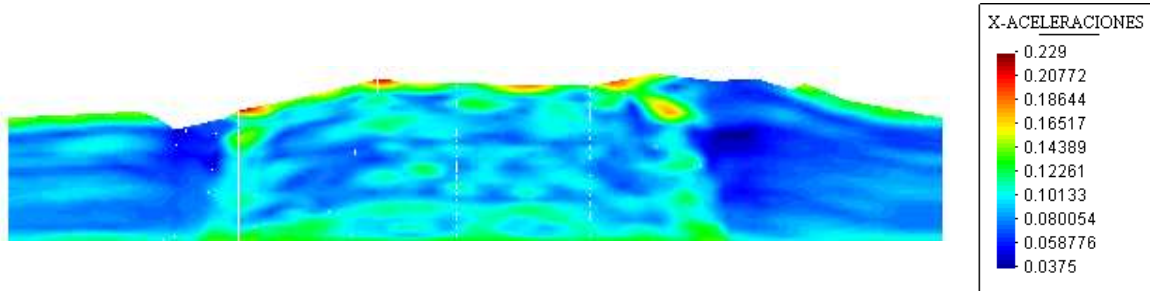


Figura 7. 13 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 5

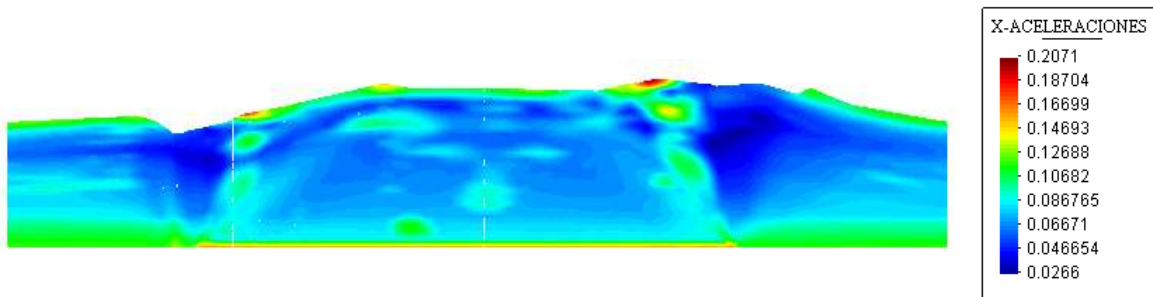


Figura 7. 14 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 6

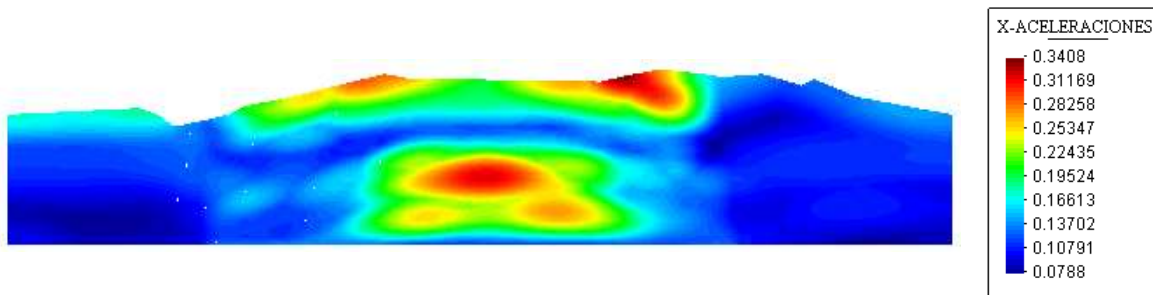


Figura 7. 15 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 7

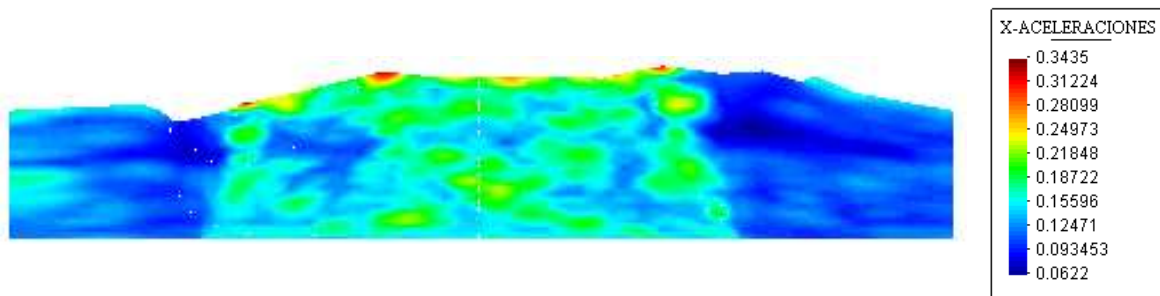


Figura 7. 16 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 8

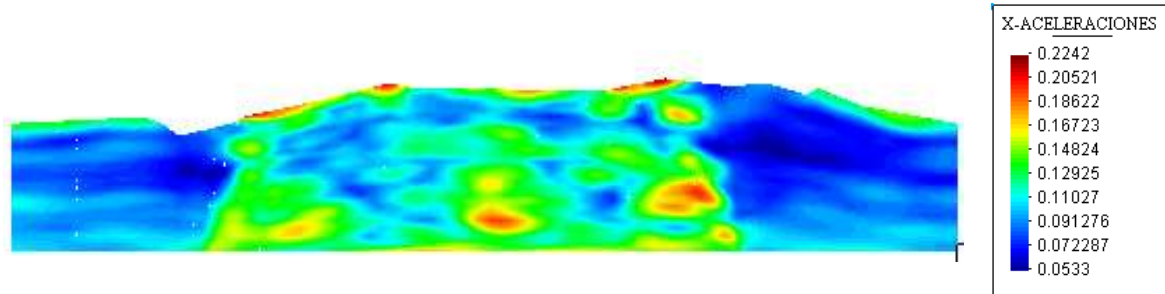


Figura 7. 17 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 9

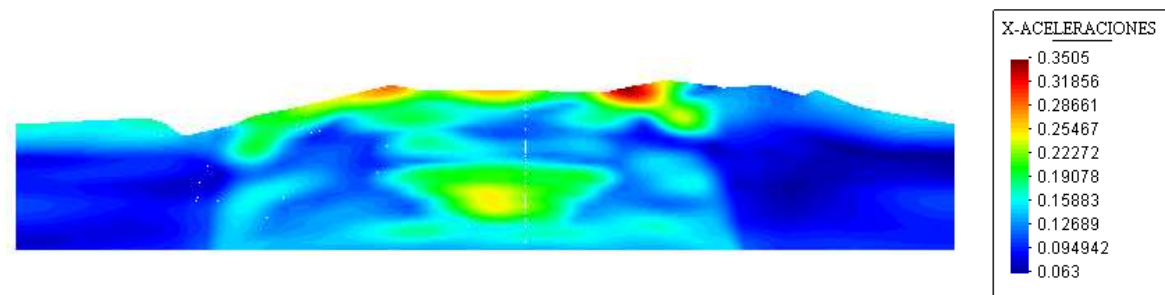
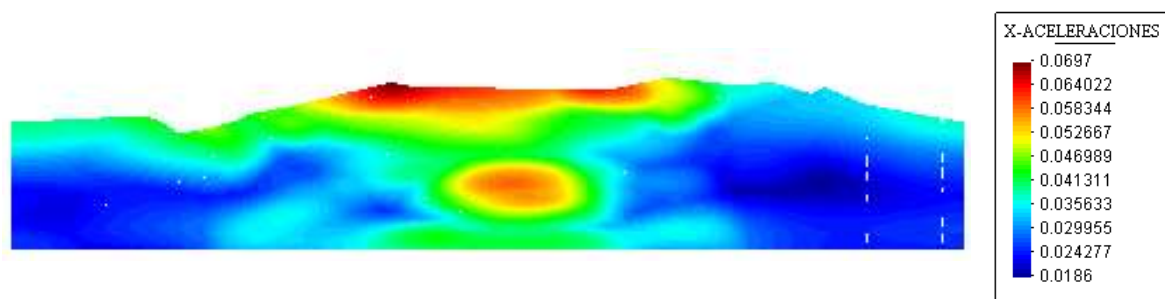


Figura 7. 18 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 10



En forma general se observa 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 a lo largo de la zona de estudio.

Debido a la colocación en el modelo de una frontera absorbente en la parte inferior, la señal es reducida en la entrada desde el nivel de la amenaza hasta valores cercanos al 25% de la misma.

7.6.1.2. Isoaceleraciones máximas para la sección transversal B-B'

La variación de las aceleraciones máximas en la sección transversal estudiada, son presentadas como isoaceleraciones horizontales máximas para cada uno de los eventos representativos seleccionados (Tabla 7. 2).

Figura 7. 19 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 1

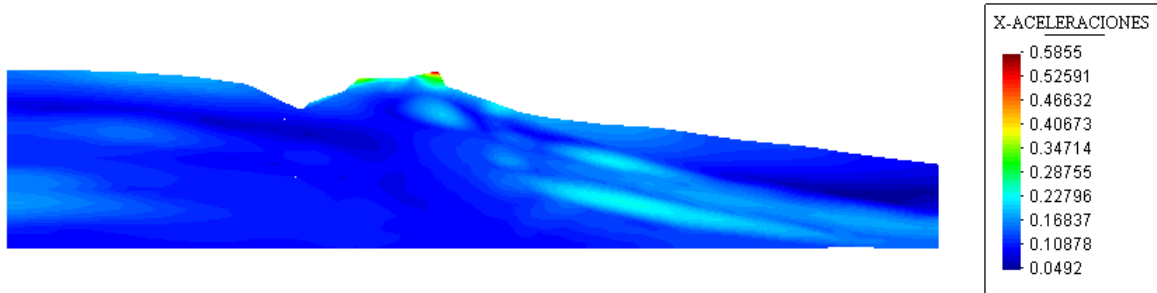


Figura 7. 20 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 2

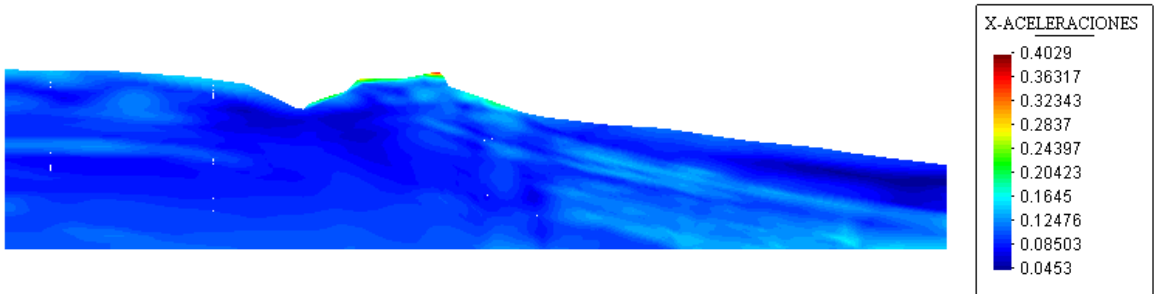


Figura 7. 21 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 3

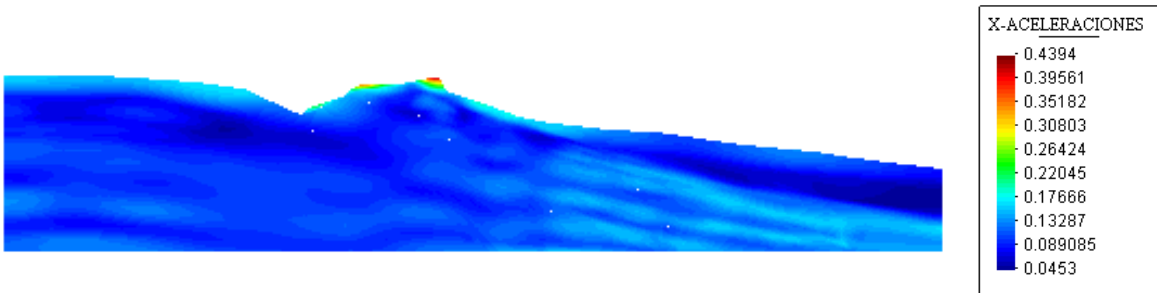


Figura 7. 22 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 4

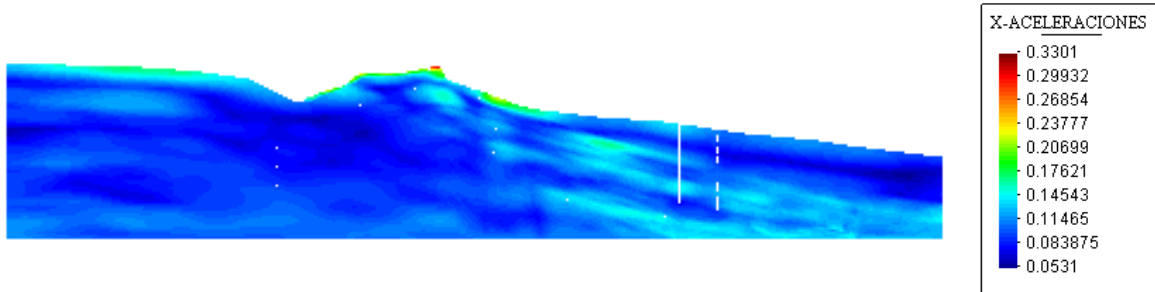


Figura 7. 23 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 5

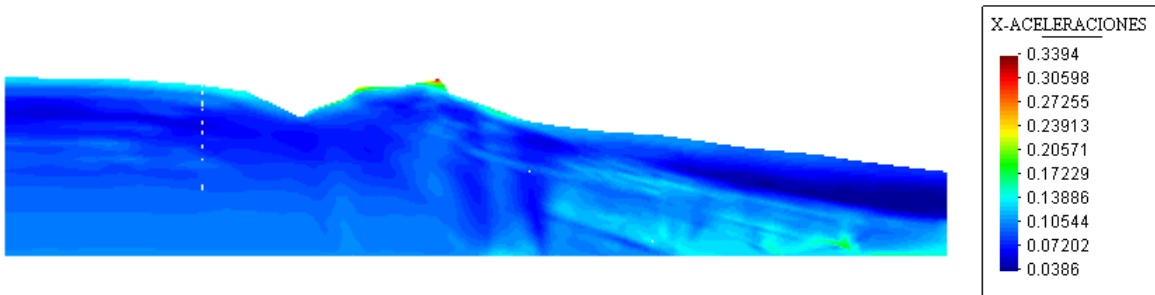


Figura 7. 24 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 6

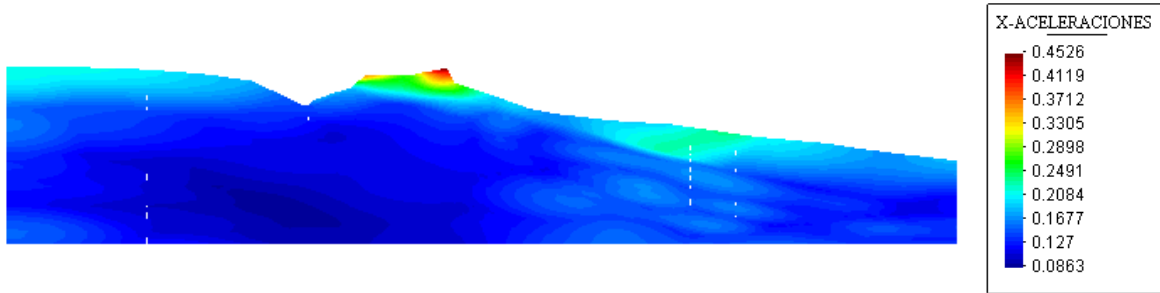


Figura 7. 25 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 7

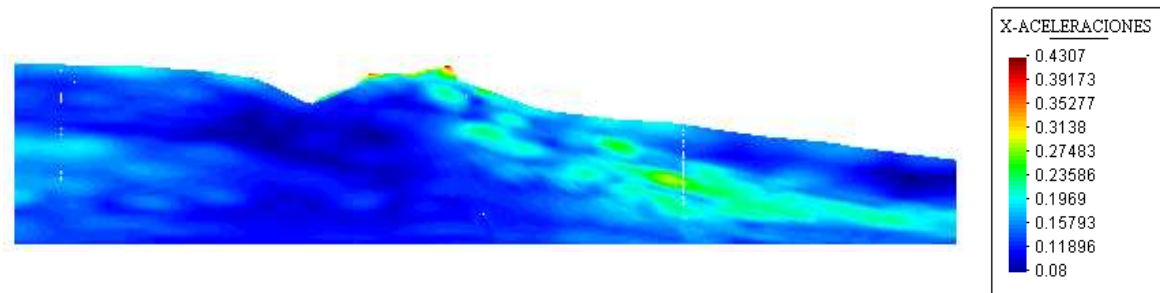


Figura 7. 26 Isoaceleraciones en la sección longitudinal - Evento 8

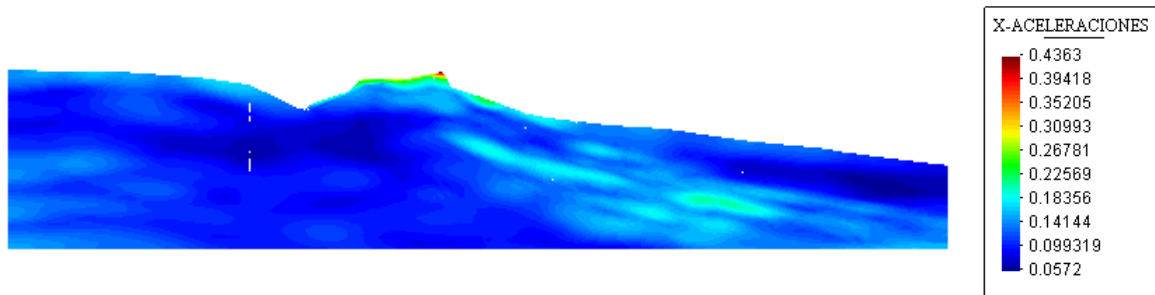


Figura 7. 27 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 9

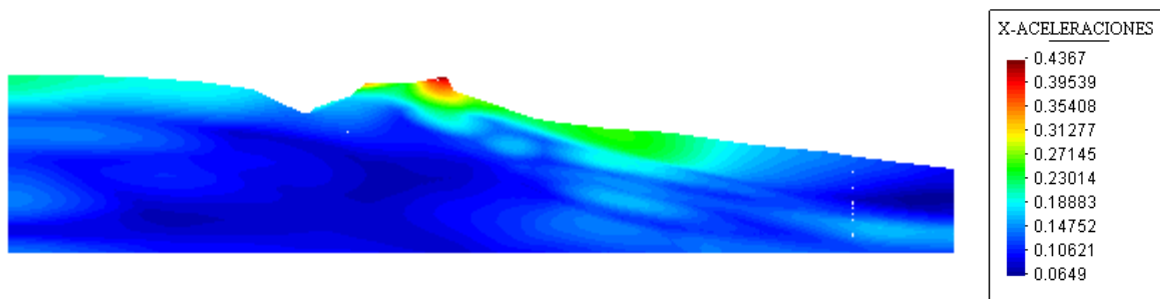
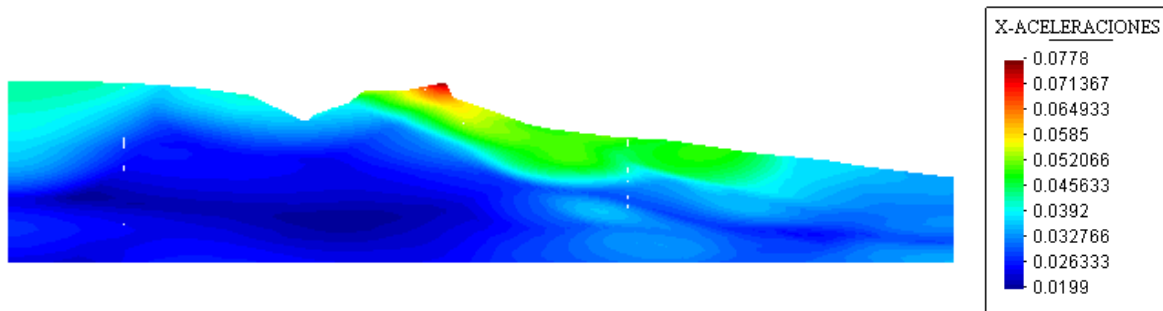


Figura 7. 28 Isoaceleraciones en la sección transversal - Evento 10



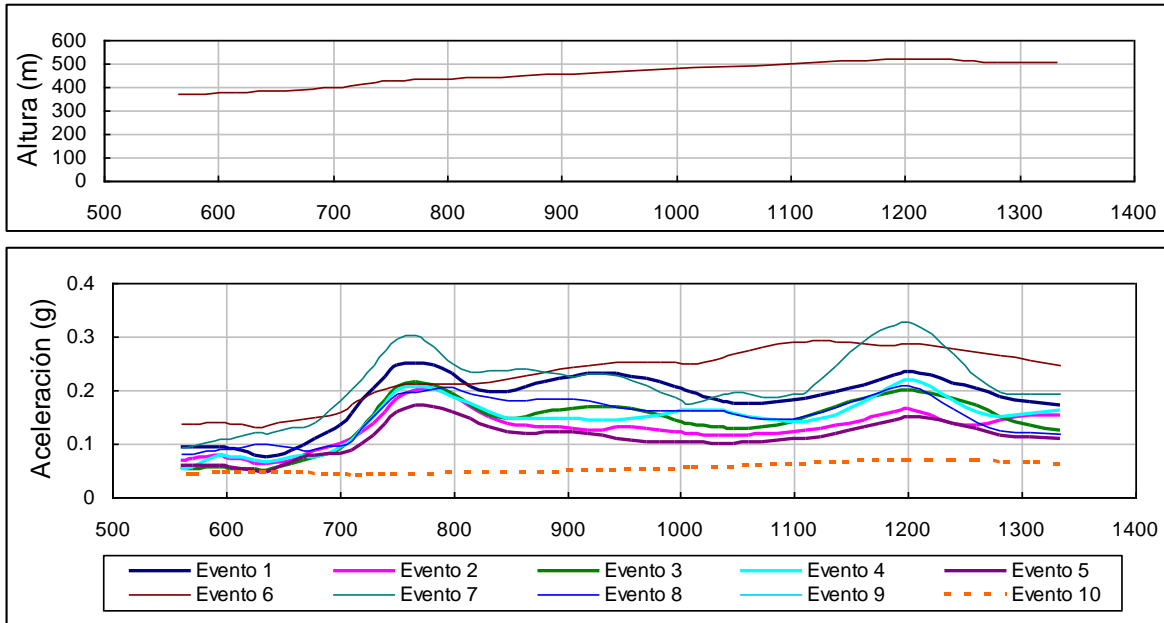
En forma general se observa que la sección presenta amplificaciones en los estratos de coluvión, obedeciendo a un importante aporte de los estratos superficiales a la respuesta dinámica. Algunos efectos de borde, como el presentado en la zona del talud, donde se encuentra ubicada una cantera, no pueden considerarse como valores representativos.

7.6.2. Aceleraciones máximas en superficie

Se analizó en la zona de estudio, la variación de las aceleraciones máximas a una profundidad de 3.0 m, con el fin de recomendar un valor de aceleración horizontal máxima para la evaluación de la estabilidad de taludes del proyecto.

7.6.2.1. Aceleraciones máximas para la sección longitudinal A-A'

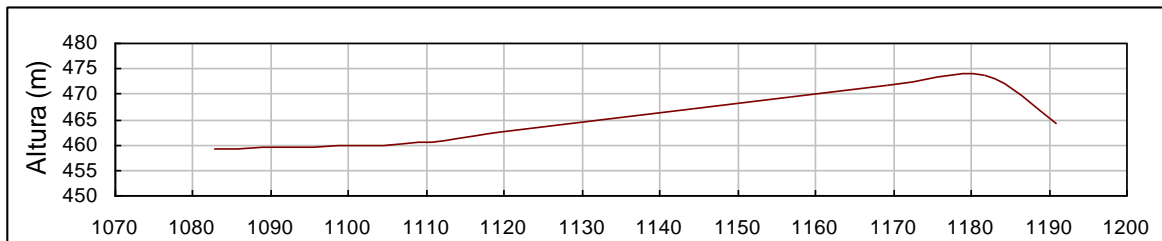
Figura 7. 29 Variación de la aceleración en superficie a lo largo de la zona de estudio para la sección longitudinal A-A'

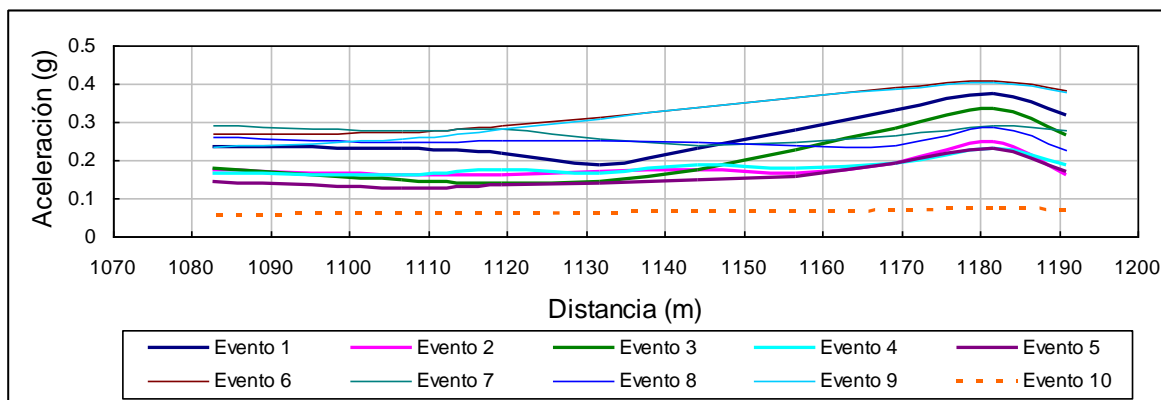


En forma general se observa que las aceleraciones a 3.0 m de profundidad a lo largo de la sección longitudinal, tratan de conservar la forma del perfil, oscilando entre 0.05g y 0.32g, siendo este valor de 0.32g, un valor máximo puntual que no puede adoptarse como representativo. En este caso se recomienda para los posibles análisis en esta dirección, emplear una aceleración máxima horizontal de 0.30g, que alcanza a cubrir las aceleraciones máximas en la mayoría de los eventos representativos analizados.

7.6.2.2. Aceleraciones máximas para la sección transversal B-B

Figura 7. 30 Variación de la aceleración en superficie a lo largo de la zona de estudio para la sección transversal B-B'





De igual forma las aceleraciones a 3.0m de profundidad a lo largo de la sección transversal, tratan de conservar la forma del perfil, oscilando entre 0.05g y 0.40g, siendo este valor de 0.40g, un valor máximo puntual en el límite del talud, donde se localiza una cantera, que no puede adoptarse como representativo. En este caso se recomienda para los posibles análisis en esta dirección, emplear una aceleración máxima horizontal de 0.30g.

7.7. CONCLUSIONES

- Para la evaluación de la respuesta dinámica del subsuelo del proyecto se analizaron dos secciones; una longitudinal que cubre la dimensión más larga de la zona de estudio y que atraviesa los estratos rocosos en la misma dirección del buzamiento y una transversal que representa el comportamiento en una diferente orientación, atravesando los estratos rocosos en dirección perpendicular para una mejor caracterización del problema.
- De los análisis realizados se obtuvieron aceleraciones máximas a lo largo de las secciones estudiadas y nivel de superficie, provenientes de eventos representativos de las fuentes sísmicas que afectan el escenario de la ciudad de Bogotá.
- Estos resultados obtenidos muestran una amplificación de las aceleraciones a nivel de superficie que 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.
- Los niveles máximos de aceleración se presentan en las zonas donde coluviones y suelos residuales presentan sus máximos espesores.
- Se recomienda entonces, emplear en los análisis de estabilidad, un valor de aceleración horizontal de 0.30g.

7.8. BIBLIOGRAFÍA

- AIS, INGEOMINAS, UNIANDES (1996), “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia”, Comité AIS 300 – Amenaza Sísmica, Bogotá.
- INGEOMINAS (1999), “Terremoto del Quindío – Informe Técnico-Científico, Volumen II: Zonificación Sismogeotécnica Indicativa para la Reconstrucción de Armenia”, Bogotá.
- Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente

- Hudson, Idriss, Beikae (1994), “QUAD4M: A computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite procedures and incorporating a compliant base”, University of California, Berkeley.
- Palacios Carlos, Vargas Carlos, (2002), “Diseño e Implementación de una Interfase GID para problemas geotécnicos modelados mediante elementos finitos, Módulos DSUN y PLANUN”, Universidad Nacional de Colombia, Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería, Pregrado en Ingeniería Civil, Bogotá, Febrero.
- <http://db.cosmos.eq.org/scripts/search.plx>, (archivos de datos de los sismos)

8. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES DETONANTES IDENTIFICADOS

Los análisis de estabilidad de laderas tienen como objetivo evaluar la influencia de los factores contribuyentes y detonantes sobre las condiciones de estabilidad general y local de los asentamientos urbanos yacentes, en este caso en los Barrios Brisas del Volador Parte Alta y Tabor-Alta Loma, de la Localidad de Ciudad Bolívar, al suroccidente de Bogotá D.C.

Para el desarrollo de ésta etapa del Estudio, se contó con la siguiente información:

- Levantamiento topográfico detallado del sector
- Levantamiento geológico regional y local del área de estudio y sus alrededores
- Reconocimiento geotécnico detallado
- Resultados del Programa de Investigación Geotécnica del Subsuelo, llevado a cabo con perforaciones, apiques, trincheras y ensayos de laboratorio.

8.1. FACTORES CONTRIBUYENTES Y DETONANTES

El área en la cual se encuentran emplazados los Barrios Brisas del Volador y Tabor-Alta Loma, corresponde a una zona de pendiente moderada a alta, con presencia de rocas blandas compuestas por las unidades Arenisca Labor y Tierna, y arcillolitas de la Formación Guadalupe Inferior; estas rocas generan un horizonte de suelo residual con un espesor que oscila entre 0.5 y 2.5 m. Esta capa de suelo residual se encuentra cubierta en algunas zonas por suelos orgánicos o paleosuelos y coluviones, los cuales son menos resistentes y más susceptibles a la inestabilidad.

En algunos sectores la ladera natural se encuentra cubierta por rellenos de basuras y desechos de construcción de baja calidad estructural y alta susceptibilidad a la inestabilidad.

Con base en las observaciones de campo se puede encontrar que prácticamente todos los tipos de inestabilidad potencial o activa del área de estudio y sus alrededores son superficiales y están relacionadas con la presencia de las capas débiles de suelo residual y depósitos antrópicos y naturales, susceptibles éstos a moverse y a deslizarse ante la influencia de los diversos factores detonantes.

La excepción al caso anterior está constituida por los problemas de erosión superficial de los taludes de corte y la cantera del sector Nororiental, por fuera de los límites del área de estudio, en los cuales el proceso erosivo gradual ha generado surcos profundos que definen columnas de roca de más de 3.00 m de altura que pueden generar desprendimientos locales de roca, caída de bloques o volcamiento de columnas de roca (**toppling**) y que pueden afectar 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.

8.1.1. Factores contribuyentes

- El proceso normal de meteorización de la roca permite que se presente una pérdida progresiva de resistencia de los suelos, convirtiéndose estos en más susceptibles 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 del hombre a través de la modificación de las formas actuales del terreno y la alteración de las condiciones de drenaje.
- Como ya se mencionó, otro factor contribuyente es el antrópico, en donde la variación de las condiciones geométricas de la superficie de terreno y el vertimiento de aguas servidas al terreno, pueden deteriorar la calidad del suelo de fundación de las casas y afectar la estabilidad de la ladera en general.
- La baja calidad de cimentación se considera también como un factor antrópico contribuyente a problemas de estabilidad local de las casas.
- En el costado sur del proyecto se encuentra 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 cárcavamientos locales en rocas limo arcillosas de color rojizo, disgregables; sin embargo esta erosión es controlada también por capas intermedias de areniscas masivas no disgregables.

8.1.2. Factores Detonantes

- La infiltración del agua lluvia puede generar la saturación parcial o total de la capa de suelo superficial, generando en condiciones críticas, problemas de estabilidad.
- Basados en el Estudio de Lluvia Crítica, presentado en el Estudio Regional efectuado por INGEOCIM, para este trabajo se adoptó una lluvia crítica de 217 mm, con 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.
- 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.
- Otro factor detonante de movimientos en masa está relacionado con la sismicidad de la zona: la generación de movimientos telúricos puede detonar zonas potencialmente inestables. Basados en el Estudio del **Capítulo 7** los valores de aceleración para análisis se acercan a 0.30g.
- En algunos casos, el factor antrópico puede ser detonante de problemas locales de estabilidad, como 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.

9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Con el objeto de evaluar las condiciones de estabilidad de los asentamientos urbanos de los Barrios Alta Loma y Brisas de Volador, se analizaron las condiciones de estabilidad general y local con base en los siguientes criterios.

9.1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Para la selección de los parámetros definitivos de resistencia al corte del macizo rocoso se contemplaron los siguientes criterios:

- **COLUVIÓN Y SUELOS SUPERFICIALES:** los parámetros de resistencia se determinaron a partir de los ensayos de corte directo y a partir de correlaciones empíricas con el Índice de Plasticidad.
- **ROCA:** Se determinaron a partir del método propuesto por Hoek y Brown, para macizos rocosos fracturados, en función de la clasificación del macizo rocoso y de la resistencia a la compresión del macizo rocoso.
- **SUELO RESIDUAL:** Se determinaron con los mismos criterios del caso anterior, pero adoptando valores de resistencia a la compresión característicos de los suelos residuales. Se compararon estos parámetros con los obtenidos mediante ensayos de corte directo.

Los parámetros geotécnicos obtenidos para cada una de las unidades estratigráficas aparecen en la **Tabla 9. 1.**

9.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

9.2.1. Mecanismos de falla y modelos de falla

Dadas las condiciones geotécnicas generales de la zona, en donde existe la probabilidad de falla de la capa superficial de suelo residual y de depósito, se analizó un mecanismo de falla planar de esta capa de suelo; para estos análisis se aplicó 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 deslizante, representados los dos casos por las siguientes expresiones:

$$\text{Talud Infinito: } FS = \left(1 - \frac{r_u}{\cos^2 \beta}\right) \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + \frac{c}{\gamma H \sin \beta \cos \beta}$$

$$\text{Bloque deslizante : } FS = (\cos^2 \beta - r_u) \frac{\gamma H \cos^2 \alpha \tan \alpha + c}{\gamma H \sin \beta \cos \beta + \frac{1}{2} K_o \frac{H^2}{B} \cos \beta}$$

En donde:

c', ϕ' : parámetros drenados de resistencia al corte del suelo

K_o : coeficiente de presión de tierras

r_u : parámetro de presión de poros; $r_u = \gamma_w h_w / \gamma H$

H : profundidad de la superficie de falla potencial (contacto suelo-roca)

B : ancho de la cuña (bloque deslizante)

β : inclinación de la superficie del talud

Tabla 9. 1 Parámetros de resistencia al corte adoptados para cada unidad estratigráfica

MATERIAL	Peso Unitario Total (KN/m ³)	Peso Unitario Saturado (KN/m ³)	COHESIÓN, c' (KN/m ²)			ANGULO DE FRICCIÓN, ϕ' (°)		
			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
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

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 β_{equiv} , se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\beta_{equiv} = \beta + \tan^{-1}(\alpha)$$

Siendo α el coeficiente de aceleración sísmica horizontal.

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

Para los análisis se adoptaron los perfiles promedio de las diferentes zonas geotécnicas definidas en el Capítulo correspondiente a Zonificación Geotécnica, y con la ayuda del mapa de isopendientes (**Plano GE100-PL-09**), se determinaron las pendientes características de cada zona y se efectuaron los correspondientes análisis de estabilidad de laderas para cada intervalo de pendientes obtenido. Los resultados de estos análisis se presentan en el **Anexo A9.1**.

9.2.2. Escenarios de Falla

Se evaluaron las condiciones de estabilidad teniendo en cuenta la incidencia del sismo y la lluvia.

9.2.2.1. Condición de Sismo

Las condiciones de sismo fueron contempladas en los modelos de estabilidad, incluyendo una componente de carga horizontal que representa la aceleración horizontal pseudoestática que se genera en el evento; basados en el Estudio de Microzonificación sísmica de Bogotá, se contemplaron dos escenarios de sismo:

- Escenario 1:* Estático, con aceleración horizontal $a = 0.0g$
Escenario 2: Sismo con T_r de 475 años, con aceleración horizontal $a = 0.3g$

9.2.2.2. Condición de Lluvia

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 (R_u).

Para determinar la cantidad de agua infiltrada se utilizó el método SCS-CN del USDA (Chow y otros, 1988 y Waniesla, 1990), el cual se basa en el tipo de cobertura y en el tipo de material que compone el cuerpo del talud; en función de estos dos parámetros se le asigna un valor CN denominado “Numero de Curva”, que varía entre 0 y 100 en función de la permeabilidad del suelo. Los valores de CN en función del tipo de material y el uso del suelo se presentan en la **Tabla 9. 2**.

Tabla 9. 2 Número de Curva en función de la categoría del suelo y el uso del suelo

UNIDAD GEOLÓGICA	CATEGORÍA DE SUELO	USO DEL SUELO	
		C1 (Urbano)	P1b/C1 (pastos)
Ksgt	B	85	68.2
Ksgl	C	90	78.8
Col	B	85	68.2
Qrelleno	C	90	78.8

La condición más representativa es la P1b, ya que los asentamientos urbanos de la zona no cuentan con calles pavimentadas y zonas libres, situación que favorece la infiltración; por ésto, y quedando del lado de la seguridad se adopta para todo el proyecto la condición P1b.

Para determinar la lluvia de diseño, se adopta la lluvia crítica obtenida en el estudio de Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Bogotá de INGEOCIM, Octubre de 1998. Para el sitio de estudio la lluvia crítica es de 217 mm.

A partir de la infiltración se analiza un modelo de equilibrio hidrológico con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{Abstracción: } S' \text{ (mm)} &= 25400/CN - 254 \\ \text{Escorrentía: } R \text{ (mm)} &= (P - 0.2 S')^2 / (P + 0.8 S'), & \text{ si } P > 0.2 S' \\ &= 0 & \text{ si } P < 0.2 S' \\ \text{Infiltración: } I \text{ (mm)} &= P - R \end{aligned}$$

La presión de poros inicial se representa como:

$$ru_o = \frac{\bar{\omega}_n \gamma_w / \gamma}{1/G_s \gamma_w + \eta / \gamma_d}$$

El incremento de presión de poros por lluvia se calcula como:

$$\Delta ru = \frac{I * A_{aferente} / A_{talud} \bar{\omega} * \gamma_w}{\eta_{fect} * \gamma_{roca} * H_{talud}}$$

Y el parámetro de presión de poros con lluvia resulta :

$$ru = ru_o + \Delta ru \leq \gamma_w / \gamma$$

Para todos los casos se consideró una relación de áreas aferentes/área de talud de 3.0.

9.2.2.3. Combinaciones de casos

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.

9.2.3. Resultados del modelo de estabilidad

9.2.3.1. Talud infinito

Para cada una de las zonas geotécnicas se efectuaron modelos de estabilidad superficial mediante modelos de talud infinito, obteniendo los resultados que se resumen en la **Tabla 9.3**.

Los análisis muestran los siguientes resultados:

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 108
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------

- 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).

9.2.3.2. *Bloque deslizante*

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 en un numeral anterior.

Debido al gran volumen de información que genera estos resultados, nos limitamos a mencionar 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.

Los resultados de los análisis se presentan en la **Tabla 9. 4**.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 1	PÁGINA N° 109
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------

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

Tabla 9. 3 Resultados de los modelos de estabilidad de taludes modelo de talud infinito

LOCALIZACIÓN	ESCENARIOS		INCLINACIÓN DEL TALUD (°)					OBSERVACIONES
	Lluvia Crítica	Sismo (a/g)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	
ZONA 1A	No	0.00	3.6-4.7	1.8-2.3	1.2-1.6	0.9-1.2	--	Ladera estable en general pero marginal en zonas con inclinaciones mayores a 30°, la lluvia o la combinación lluvia-sismo puede detonar deslizamientos superficiales.
	Sí		2.4-3.0	1.2-1.5	0.7-0.9	0.5-0.6	--	
	No	0.24	1.6-2.0	1.1-1.4	0.9-1.1	0.8-0.9	--	
	Sí		1.0-1.2	0.6-0.8	0.5-0.6	0.3-0.4	--	
ZONA 1B	No	0.00	5.2-6.9	2.6-3.5	1.8-2.4	1.4-1.8	--	Ladera Estable
	Sí		3.5-4.6	1.7-2.3	1.1-1.5	0.8-1.1	--	
	No	0.24	2.2-3.0	1.6-2.1	1.3-1.7	1.2-1.6	--	
	Sí		1.4-1.9	1.0-1.3	0.7-1.0	0.5-0.8	--	
ZONA 2A	No	0.00	--	2.3-3.0	1.6-2.0	1.2-1.6	--	Ladera estable en general pero marginal en zonas con inclinaciones mayores a 30°, la lluvia o la combinación lluvia-sismo puede detonar deslizamientos superficiales.
	Sí		--	1.4-1.9	0.9-1.2	0.6-0.8	--	
	No	0.24	--	1.4-1.8	1.1-1.5	0.9-1.3	--	
	Sí		--	0.8-1.1	0.5-0.7	0.4-0.5	--	
ZONA 2B	No	0.00	--	1.9-2.5	1.3-1.7	1.0-1.3	--	Ladera estable en general pero marginal en zonas con inclinaciones mayores a 30°, la lluvia o la combinación lluvia sismo puede detonar deslizamientos superficiales.
	Sí		--	1.3-1.6	0.8-1.0	0.6-0.7	--	
	No	0.24	--	1.2-1.5	1.0-1.2	0.9-1.1	--	
	Sí		--	0.7-0.9	0.5-0.6	0.4-0.5	--	
ZONA 2C	No	0.00	13.2-17.2	6.7-8.8	4.6-6.1	3.7-4.9	--	Ladera estable.
	Sí		9.5-12.5	4.7-6.4	3.1-4.4	2.4-3.8	--	
	No	0.24	5.8-7.5	4.2-5.6	3.5-4.7	3.2-4.4	--	
	Sí		4.0-5.5	2.8-3.9	2.2-3.2	1.9-2.8	--	
ZONA 3A	No	0.00	--	--	4.0-5.2	3.1-4.3	2.7-3.7	Ladera Estable.
	Sí		--	--	2.7-3.7	2.0-2.8	1.6-2.4	
	No	0.24	--	--	2.9-3.9	2.6-3.6	2.7-3.8	
	Sí		--	--	1.8-2.6	1.5-2.3	1.3-2.2	
ZONA 3B	No	0.00	--	--	1.7-1.9	1.3-1.5	1.1-1.2	Ladera con estabilidad Marginal; se pueden detonar fallas superficiales por sismos o lluvias.
	Sí		--	--	1.0-1.1	0.7-0.7	0.5-0.5	
	No	0.24	--	--	1.3-1.4	1.1-1.2	1.1-1.2	
	Sí		--	--	0.6-0.6	0.5-0.5	0.3-0.4	
ZONA 3C-a	No	0.00	--	--	1.2-1.5	0.9-1.1	0.7-0.9	Ladera potencialmente inestable, se pueden presentar deslizamientos
	Sí		--	--	0.7-0.9	0.5-0.6	0.3-0.4	

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

LOCALIZACIÓN	ESCENARIOS		INCLINACIÓN DEL TALUD (°)					OBSERVACIONES
	Lluvia Crítica	Sismo (a/g)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	
	No	0.24	--	--	0.8-1.0	0.7-0.9	0.7-0.9	superficiales por sismos o lluvias.
	Sí		--	--	0.4-0.5	0.3-0.4	0.2-0.2	
ZONA 3C-b	No	0.00	--	--	1.9-2.5	1.5-1.9	1.3-1.6	Ladera estable a marginal; se pueden detonar fallas superficiales por lluvias. O combinación de lluvia y sismo.
	Sí		--	--	1.2-1.6	0.9-1.2	0.7-1.0	
	No	0.24	--	--	1.4-1.8	1.2-1.6	1.3-1.7	
	Sí		--	--	0.8-1.1	0.6-0.9	0.5-0.8	
ZONA 4A	No	0.00	--	2.0-2.6	1.3-1.7	1.0-1.3	--	Laderas con estabilidad precaria, para inclinaciones mayores a 25°. susceptible a deslizamiento por sismo o lluvia,
	Sí		--	1.2-1.5	0.7-0.9	0.4-0.7	--	
	No	0.24	--	1.2-1.5	0.9-1.2	0.7-1.0	--	
	Sí		--	0.6-0.9	0.4-0.5	0.2-0.3	--	
ZONA 4B	No	0.00	3.6-4.7	1.8-2.3	1.2-1.6	0.9-1.2	--	Laderas con estabilidad precaria, para inclinaciones mayores a 30°. susceptible a deslizamiento por sismo o lluvia,
	Sí		2.3-2.9	1.1-1.4	0.7-0.9	0.5-0.6	--	
	No	0.24	1.5-2.0	1.1-1.4	0.9-1.1	0.8-1.0	--	
	Sí		0.9-1.2	0.6-0.8	0.4-0.5	0.3-0.4	--	
ZONA 5A	No	0.00	3.0-3.5	1.5-1.7	1.0-1.1	0.7-0.8	--	Laderas con estabilidad precaria, para inclinaciones mayores a 20°. susceptible a deslizamiento por sismo o lluvia.
	Sí		1.6-1.8	0.7-0.8	0.3-0.4	0.1-0.2	--	
	No	0.24	1.2-1.5	0.8-1.0	0.6-0.7	0.4-0.5	--	
	Sí		0.5-0.6	0.3-0.3	0.1-0.1	0.0-0.0	--	
ZONA 5B	No	0.00	2.4-2.9	1.2-1.5	0.8-0.9	0.5-0.7	--	Laderas con estabilidad precaria, para inclinaciones mayores a 20°, susceptible a deslizamiento por sismo o lluvia.
	Sí		1.4-1.7	0.6-0.8	0.4-0.5	0.2-0.2	--	
	No	0.24	1.0-1.2	0.7-0.8	0.5-0.6	0.4-0.5	--	
	Sí		0.5-0.6	0.3-0.4	0.2-0.2	0.0-0.0	--	

Tabla 9. 4 Resultados de los modelos de estabilidad de taludes. Modelo de bloque deslizante

LOCALIZACIÓN	ESCENARIOS		DISTANCIA DEL BORDE DEL TALUD (m)				OBSERVACIONES
	Lluvia Crítica	Sismo (a/g)	3.00	6.00	12.00	>48.00	
ZONA 1A Cárcava Hsuelo=3.5 m 20°	No	0.00	1.2-1.6	1.4-1.9	1.6-2.1	3.4-4.4	Ladera potencialmente entre 0 y 6 m del borde de la cárcava.
	Sí		0.7-1.0	0.9-1.2	1.0-1.3	2.2-2.9	
	No	0.24	0.8-1.1	0.9-1.2	1.0-1.3	1.5-2.0	
	Sí		0.5-0.6	0.5-0.7	0.6-0.8	0.9-1.2	
ZONA 1B Cárcava Hsuelo=1.5 m 20°	No	0.00	2.0-2.7	2.3-3.1	2.4-3.3	2.6-3.4	Ladera estable excepto por la combinación de sismo y lluvia.
	Sí		1.3-1.8	1.5-2.0	1.6-2.1	1.7-2.2	
	No	0.24	1.3-1.8	1.4-2.0	1.5-2.0	1.6-2.1	
	Sí		0.8-1.1	0.9-1.2	0.9-1.3	0.9-1.3	
ZONA 1B Vía oriental Hsuelo=1.5 m 30°	No	0.00	1.5-2.0	1.6-2.2	1.7-2.3	1.8-2.3	Ladera potencialmente inestable entre 0 y 3 m del borde del talud de corte.
	Sí		0.9-1.3	1.0-1.4	1.0-1.4	1.1-1.5	
	No	0.24	1.1-1.5	1.2-1.6	1.2-1.7	1.3-1.7	
	Sí		0.6-0.8	0.6-0.9	0.7-0.9	0.7-1.0	
ZONA 3B Cantera Hsuelo=2.0 m 30°	No	0.00	1.5-1.7	1.6-1.8	1.7-1.9	1.7-1.9	Ladera potencialmente inestable entre 0 y 3 m del borde del talud de corte.
	Sí		0.9-1.0	1.0-1.0	1.0-1.1	1.0-1.1	
	No	0.24	1.0-1.2	1.2-1.3	1.2-1.3	1.2-1.3	
	Sí		0.5-0.5	0.6-0.6	0.6-0.6	0.6-0.6	
ZONA 3C Socavación Quebrada Hsuelo=2.0 m 40°	No	0.00	0.7-0.8	0.7-1.0	0.8-1.1	0.9-1.1	Ladera inestable en toda su longitud.
	Sí		0.4-0.5	0.4-0.5	0.4-0.6	0.5-0.6	
	No	0.24	0.5-0.7	0.6-0.8	0.6-0.8	0.7-0.9	
	Sí		0.2-0.3	0.2-0.3	0.3-0.3	0.3-0.4	
ZONA 4A Vía Norte Hsuelo=3.5 m	No	0.00	1.1-1.6	1.4-2.0	1.8-2.4	1.9-2.5	Ladera potencialmente Entre 0 y 10 m del borde del talud.
	Sí		0.7-1.0	0.8-1.2	1.1-1.4	1.1-1.5	
	No	0.24	0.8-1.1	0.9-1.2	1.1-1.5	1.1-1.5	
	Sí		0.4-0.6	0.5-0.7	0.6-0.8	0.6-0.8	

9.2.4. Estabilidad de taludes del sector Oriental de la Zona de Estudio

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 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 y 3 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, como se indica al final del **Anexo A9.1**. 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

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

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.

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 0	PÁGINA N° 113
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------

10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

10.1. VARIABLES ALEATORIAS

En general, y como se explicó atrás, 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 al corte de los materiales, es decir ángulo de fricción ϕ' y cohesión c' , la aceleración producida por el sismo α , el peso unitario γ y la geometría del talud; las fuerzas actuantes son función del peso unitario γ , la sobrecarga q , la geometría del talud, la presión de poros Ru y la aceleración producida por el sismo α . 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 ($P(Dz)$) determinando la probabilidad de que el FS sea menor o igual a la unidad.

Para simplificar el modelo, se consideraron como constantes el peso unitario y la geometría del talud.

10.2. MÉTODO DE ANÁLISIS

10.2.1. Generalidades

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:

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

Además, se tiene que:

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

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

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

Donde S es el conjunto de todo (ϕ, c, α, Ru) tal que $\varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$ es menor o igual a 1.0, es decir cuando el FS es menor a la unidad (o sea, falla el talud).

Para resolver la integral planteada, existen métodos de análisis numérico complejos tal como el método de Montecarlo en el cual se deben conocer las distribuciones de probabilidad de las variables

aleatorias. Adicionalmente, se deben conocer exactamente las relaciones entre los eventos detonantes (lluvia y sismo) con las variables de la ecuación (R_u y α , respectivamente).

De otra parte, para determinar la probabilidad de falla de un talud existen métodos aproximados como el de Taylor, el del punto medio (PEM, por sus siglas en inglés) o la lógica difusa; a continuación se explican el método PEM que fue el utilizado en el presente estudio para determinar la probabilidad de falla de los taludes en suelo.

10.2.2. Método PEM

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:

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

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

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,

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

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

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 $FS > 1.0$) ajustándola a una función de probabilidad determinada (normal, lognormal. etc.)

10.2.3. Probabilidad de falla a corto plazo (anual)

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.
- $S_0 = 1 - S_1$: 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:

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

10.2.4. Probabilidad de falla a 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:

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

Donde Tr es el período de retorno del deslizamiento que se puede aproximar a:

$$Tr = \frac{1}{P(Dz)_1}$$

Con base en el factor de seguridad promedio y la categorización de la amenaza con base en el mismo, véase la **Tabla 10. 1**, pudo generarse el **Plano GE100-PL-11**.

Tabla 10. 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	$0.8 < FS \leq 1.2$
Media	$1.2 < FS \leq 1.9$
Baja	$1.9 < FS \leq 2.4$
Muy Baja	FS mayor a 2.4

10.2.5. Relaciones entre el factor de seguridad y la probabilidad de falla

Utilizando el método de Rosenblueth (1975), se determinó la probabilidad de falla a corto plazo tomando los resultados de los análisis condicionales, hallando la probabilidad total a nivel anual (teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia anual de los factores detonantes sismo y lluvia). Las probabilidades de falla se ajustaron a distribuciones normales y lognormales, obteniéndose un ajuste de los casos extremos a una función que relaciona la probabilidad del deslizamiento ($P(Dz)$) y el factor de seguridad (FS) de la siguiente forma:

$$P_f = \frac{1}{1 + e^{\lambda \text{Log}(FS)}} \quad (1)$$

$$P_f = \frac{1}{1 + \zeta \cdot FS^\kappa} \quad (2)$$

$$P_f = \alpha^{FS^\beta} \quad (3)$$

La **Tabla 10. 2** presenta los resultados obtenidos para cada una de las zonas geotécnicas homogéneas. Así mismo, el **Anexo A10.1** presenta las curvas de ajuste de probabilidad de falla versus factor de seguridad y de este último versus la pendiente.

Tabla 10. 2 Parámetros de las ecuaciones de ajuste para las curvas Probabilidad de Falla vs. Factor de Seguridad

ZONA GEOTÉCNICA	ECUACIÓN DE AJUSTE	PARÁMETROS				
		λ	ζ	κ	α	β
Z1A	2		1.511	20.193		
Z1B	2		0.000	51.633		
Z5B	2		1.156	18.767		
Z2A	2		0.020	41.494		
Z2B	1	87.169				
Z3B	2		0.009	41.461		
Z3C	1	310.540				
Z4A	2		6.256	36.205		
Z4B	3				0.671	7.198
Z5A	1	216.310				

10.2.6. Categorización de la amenaza

Para la zonificación de amenaza se utilizaron los factores de seguridad hallados por medio de la probabilidad total a nivel anual siguiendo los criterios presentados en la **Tabla 10. 3**.

Tabla 10. 3 Categorización de la amenaza con base en la Probabilidad de Falla

Categoría de la amenaza	Criterio
Muy Alta	P_f mayor a 0.9
Alta	$0.9 > P_f \geq 0.4$
Media	$0.4 > P_f \geq 0.1$
Baja	$0.1 > P_f \geq 0.05$
Muy Baja	P_f menor a 0.05

Los resultados están plasmados en el **Plano GE100-PL-12**, plano de amenaza.

10.3. ESTABILIDAD DE LAS CIMENTACIONES

10.3.1. Clasificación de cimentaciones

Un segundo elemento que fue analizado y que se considera quizás tan importante como los otros factores geotécnicos está relacionado con la baja calidad de las cimentaciones sobre las cuales se encuentran construidas la mayoría de las casas del sector.

Este problema se ve reflejado principalmente en aquellas zonas de alta pendiente en donde se han conformado una serie de terrazas escalonadas que soportan rellenos y suelos naturales. Como sistema

de contención y de soporte lateral se cuenta con una amplia gama de estructuras, que en la mayoría de los casos son de baja calidad y presentan un alto grado de susceptibilidad al deterioro o falla; estas estructuras son susceptibles a inestabilizarse por el manejo inadecuado de las aguas servidas y del agua lluvia, y en otros casos ante la ocurrencia de eventos telúricos. Con base en las observaciones de campo las cimentaciones se han clasificado en los grupos indicados en la **Tabla 10. 4**.

Tabla 10. 4 Clasificación de estructuras de retención

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	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 sin pega de 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 tablonces 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 contempla 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.

10.3.2. Análisis de estabilidad

Para la evaluación de la estabilidad de estas estructuras se aplicaron los criterios básicos de diseño de muros de gravedad o de 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 los siguientes criterios:

10.3.2.1. Estabilidad Externa

Se determinó la estabilidad al deslizamiento y al volcamiento, representadas por un factor de seguridad definido 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.

10.3.2.2. Estabilidad Interna

El factor de seguridad por estabilidad interna considera 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, tal y como se ilustra en la **Tabla 10. 5**.

Tabla 10. 5 Parámetros de resistencia de materiales adoptados para las diferentes alternativas de muro de retención

CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA DE RETENCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm ²)	RESISTENCIA AL CORTANTE (kg/cm ²)
C1	13	0	COULOMB
C2	100	20	5.3
C3	154	24.8	6.6
C4	100	75	8.0

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.

10.3.3. Resultados de los análisis

Los resultados de los modelos de estabilidad externa e interna de muros de retención se han efectuado para cada zona geotécnica y se presentan en el **Anexo A10.2**.

Allí se presentan los factores de seguridad obtenidos para muros de altura variable entre 0.5 y 4.0m; para fines de una interpretación de los mismos de una manera más sencilla, en la **Tabla 10. 6** se presentan los resultados de estabilidad en términos de la altura máxima posible para la condición más crítica de sismo considerando en todos los casos el muro autodrenante.

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.

Tabla 10. 6 Resumen de los resultados de los análisis de estabilidad de muros de retención presentados en términos de altura libre máxima de falla – Condición de sismo

CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA DE RETENCIÓN	C1 (DRENADO)	C2 (DRENADO)	C3 (DRENADO)	C4 (DRENADO)	C5
Z1A	1.0 m Flexión	1.1 m Volc	1.1 m Volc	1.6 m Volc	1.0 m Cap lateral
Z1B	1.1 m Flexión	1.6 m Volc.	1.6 m Volc.	2.4 m Volc	2.0 m Flexión
Z2A	1.0 m Flexión	1.6 m Volc.	1.6 m Volc	2.4 m Volc.	2.0 m Flexión
Z2B	1.0 m Flexión	1.1 m Volc.	1.1 m Volc	1.6 m Volc.	1.1m Cap.lateral
Z2C	1.0 m Flexión	4.0 m Volc-flex	4.0 m Volc-flex	>4.0 m Volc.	2.0m Flexión
Z3A	1.1 m Flexión	4.0m (Volc-flex)	4.0 m Volc-flex	3.1 m Volc	2.0 m Flexión
Z3B	1.0 m Flexión	1.0 m Volc	1.1m Volc	1.8 m Volc	1.4 m Cap. lateral
Z3CA	1.1 m Flexión	1.1 m Volc	1.1m Volc	1.6 m Volc	0.9 m Cap. lateral
Z3CB	1.1 m Flexión	2.7m Volc	2.8 m Volc	2.9 m Flexión	2.0 m Flexión
Z4A	1.0 m Flexión	1.6 m Volc.	1.7 m Volc.	2.3 m Flex	2.0 m Flexión
Z4B	1.1 m Flexión	1.1 m Volc.	1.4 m Volc.	1.6 m Flex.	1.0 m Cap. Lateral
Z5A	1.0 m Flexión	0.8 m Volc	0.8 m Volc.	1.3 m Volc.	0.5 m Cap. Lateral
Z5B	1.0 m Flexión	0.6 m Volc	0.6 Volc.	0.9 m Volc	0.3 m Cap. lateral

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 2m, 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. Véase la **Tabla 10. 7**.

Tabla 10. 7 Resumen de los resultados de los análisis de estabilidad de escalonamientos sin muros de contención (altura de falla en m para diferentes escenarios de sismo y lluvia)

CLASIFICACION DEL SISTEMA DE RETENCION	Talud Seco (F.S.)	Talud Saturado (F.S.)	Talud seco con sismo (F.S.)	Talud saturado con sismo (F.S.)
Z1A	>4.0	>4.0	>4.0	>4.0
Z1B	>4.0	>4.0	>4.0	>4.0
Z2A	>4.0	1.5	>4.0	1.1
Z2B	>4.0	1.3	2.8	1.0
Z2C	>4.0	1.5	>4.0	1.1
Z3A	>4.0	>4.0	>4.0	>4.0
Z3B	>4.0	>4.0	>4.0	>4.0
Z3CA	1.5	1.3	1.2	1.1
Z3CB	>4.0	>4.0	>4.0	1.1
Z4A	3.5	1.5	2.4	1.1
Z4B	2.6	1.3	1.8	1.1
Z5A	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Z5B	>4.0	1.0	1.5	0.5

11. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA AMENAZA

11.1. INTRODUCCIÓN

Para proponer acciones de mitigación de la amenaza se tomaron como base los resultados de la evaluación de los factores contribuyentes y detonantes de los problemas de estabilidad general, los cuales fueron analizados y discutidos en las fases previas.

11.2. ACCIONES DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA GEOTÉCNICA

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.

11.2.1. 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 10m 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).

11.2.2. 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 Bogota 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.

11.2.3. 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:

APROBÓ: ING. GUSTAVO LARA – FOPAE	ELABORÓ: GEOCING LTDA.	INFORME N° GE-100	FECHA: 20/02/2004	REVISIÓN N° 0	PÁGINA N° 124
---	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------	-------------------------

- 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 reconfiguración 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.

11.2.4. 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.

11.2.5. 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.

11.3. 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.

En la zona de la cárcava antigua, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 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.

El **Anexo A11.1** presenta los cortes esquemáticos de las obras de mitigación propuestas.

El **Anexo A11.2** lista los predios (manzana-lote) que se recomienda sean intervenidos mediante reubicación, mejoramiento de estructura de contención y/o cimentación y sistema de drenaje.

De los 788 predios que tiene la zona de estudio, 690 son construcciones (existentes a noviembre de 2003). Con base en este dato y en los listados del **Anexo A11.2**, pueden calcularse las estadísticas de la **Tabla 11. 1** y la **Figura 11. 1**, las cuales corresponden al **Plano GE100-PL-14**. De la misma manera se obtuvo una estadística según tipo de vivienda intervenida, la cual aparece en la **Tabla 11. 2**, de la **Tabla 11. 3** a la **Tabla 11. 6** y en la **Figura 11. 2**.

Tabla 11. 1 Distribución porcentual de las viviendas sobre las cuales se recomienda algún tipo de intervención

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 11. 1 Distribución porcentual de las viviendas sobre las cuales se recomienda algún tipo de intervención

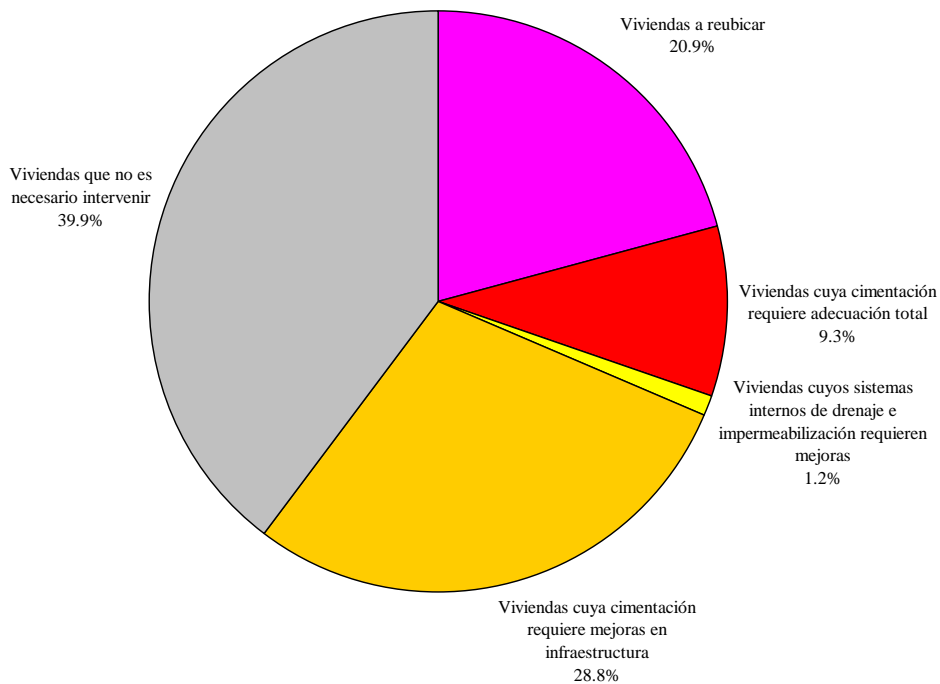


Tabla 11. 2 Distribución porcentual de las viviendas sobre las cuales se recomienda algún tipo de intervención, según tipo de vivienda

TIPO DE VIVIENDA	NÚMERO DE PREDIOS	PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL CONSTRUIDO
B1	288	41.7%
B2mamp	54	7.8%
B2prefab	25	3.6%
B3	42	6.1%
B4	6	0.9%
Viviendas que no es necesario intervenir	275	39.9%

Figura 11. 2 Distribución porcentual de las viviendas sobre las cuales se recomienda algún tipo de intervención, según tipo de vivienda

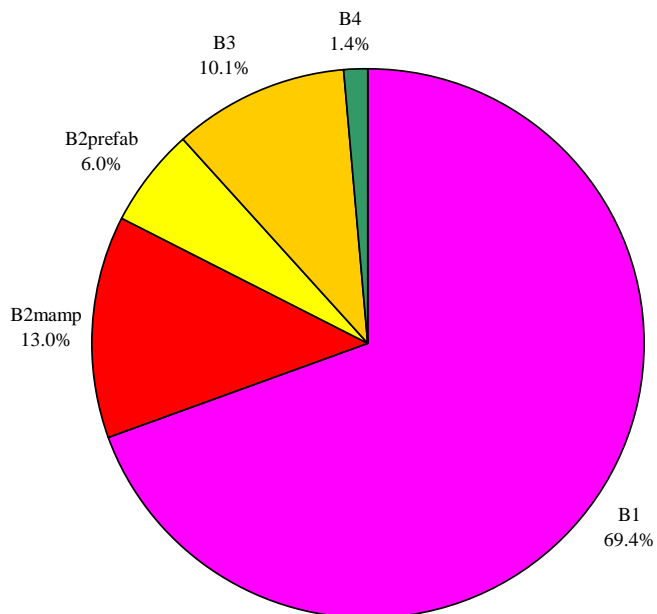


Tabla 11. 3 Distribución porcentual, según tipo, de las viviendas a ser reubicadas

Tipo de vivienda	Porcentaje con respecto a las viviendas a reubicar		Porcentaje con respecto al TOTAL
B1	133	92.4%	19.3%
B2mamp	3	2.1%	0.4%
B2prefab	2	1.4%	0.3%
B3	6	4.2%	0.9%
B4	0	0.0%	0.0%

Tabla 11. 4 Distribución porcentual, según tipo, de las viviendas a recibir adecuación total de cimentación

Tipo de vivienda	Porcentaje con respecto a las viviendas cuya cimentación requiere adecuación total		Porcentaje con respecto al TOTAL
B1	40	62.5%	5.8%
B2mamp	10	15.6%	1.4%
B2prefab	6	9.4%	0.9%
B3	8	12.5%	1.2%
B4	0	0.0%	0.0%

Tabla 11. 5 Distribución porcentual, según tipo, de las viviendas con sistemas de drenaje que deben ser mejoradas

Tipo de vivienda	Porcentaje con respecto a las viviendas cuyos sistemas internos de drenaje e impermeabilización requieren mejoras		Porcentaje con respecto al TOTAL
B1	4	50.0%	0.6%
B2mamp	3	37.5%	0.4%
B2prefab	0	0.0%	0.0%
B3	1	12.5%	0.1%
B4	0	0.0%	0.0%

Tabla 11. 6 Distribución porcentual, según tipo, de las viviendas que requieren mejoras en su cimentación

Tipo de vivienda	Porcentaje con respecto a las viviendas cuya cimentación requiere mejoras en infraestructura		Porcentaje con respecto al TOTAL
B1	111	55.8%	16.1%
B2mamp	38	19.1%	5.5%
B2prefab	17	8.5%	2.5%
B3	27	13.6%	3.9%
B4	6	3.0%	0.9%

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	1
1.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME	2
1.4. DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL DE LA PROBLEMÁTICA DEL SECTOR	2
1.5. MODELOS Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	3
2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	6
2.1. ACTIVIDADES REALIZADAS	6
2.2. RESULTADOS	7
2.3. INVENTARIO DE VIVIENDAS	7
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	9
3.1. GEOLOGÍA REGIONAL	9
3.1.1. INTRODUCCIÓN	9
3.1.2. METODOLOGÍA	9
3.1.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	10
3.1.3.1. Unidades de Roca del Cretáceo Superior (Ksg)	10
3.1.3.2. Unidades de roca del Terciario (TKg)	12
3.1.3.3. Suelos y Depósitos de Cuaternario	13
3.1.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	13
3.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	14
3.3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL	15
3.3.1. INTRODUCCIÓN	15
3.3.2. ESTRATIGRAFÍA	15
3.3.2.1. Rocas de la Formación Labor (Ksgl)	16
3.3.2.2. Rocas de la Formación Tierna	23
3.3.2.3. Unidades de suelo y depósitos	25
3.3.3. ASPECTOS ESTRUCTURALES LOCALES	34
3.3.3.1. Fallas	34
3.3.3.2. Planos de estratificación	34
3.3.4. GEOMORFOLOGÍA LOCAL	35
3.3.4.1. Introducción	35
3.3.4.2. Unidades Geomorfológicas	35
3.4. INVENTARIO DE PROCESOS	38
3.4.1. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	38
3.4.2. PROCESOS EROSIVOS	46

4.	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	48
4.1.	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	48
4.1.1.	LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	48
4.1.2.	EJECUCIÓN DE APIQUES Y TRINCHERAS	48
4.1.3.	PERFORACIONES	48
4.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO	48
5.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	50
5.1.	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	50
5.1.1.	ZONA 1: PARTE ALTA	50
5.1.1.1.	Localización	50
5.1.1.2.	Problemas geotécnicos	50
5.1.1.3.	Calidad de cimentaciones	52
5.1.2.	ZONA 2: PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL DRENAJE PRINCIPAL	52
5.1.2.1.	Localización	52
5.1.2.2.	Problemas geotécnicos	52
5.1.2.3.	Calidad de las cimentaciones	53
5.1.3.	ZONA 3: PARTE BAJA Y OCCIDENTAL DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA ROCOSA)	53
5.1.3.1.	Localización	53
5.1.3.2.	Problemas geotécnicos	54
5.1.3.3.	Calidad de las cimentaciones	54
5.1.4.	ZONA 4: PARTE BAJA DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (COLUVIÓN)	55
5.1.4.1.	Localización	55
5.1.4.2.	Problemas Geotécnicos	55
5.1.4.3.	Calidad de las cimentaciones	56
5.1.5.	ZONA 5: RONDA DE INUNDACIÓN DEL DRENAJE PRINCIPAL	56
5.1.5.1.	Localización	56
5.1.5.2.	Problemas geotécnicos	56
5.2.	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	57
5.2.1.	LEVANTAMIENTO DE DISCONTINUIDADES	57
5.2.2.	EJECUCIÓN DE APIQUES Y TRINCHERAS	57
5.2.3.	PERFORACIONES	57
5.2.4.	ENSAYOS DE LABORATORIO	57
5.2.5.	PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	58
6.	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	62
6.1.	INTRODUCCIÓN	62
6.2.	OBJETIVOS	62
6.3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	62
6.4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS VERTIENTES Y RED DE DRENAJE DEL SECTOR EN ESTUDIO	63
6.5.	DIAGNÓSTICO DEL DRENAJE ARTIFICIAL	65
6.5.1.	ACUEDUCTO	65

6.5.2.	AGUAS LLUVIAS	66
6.5.3.	AGUAS NEGRAS	68
6.6.	ZONIFICACIÓN CUALITATIVA DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE LAS AGUAS EN EL SUBSUELO	69
6.7.	MARCO HIDROLÓGICO GENERAL: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	71
6.7.1.	PRECIPITACIÓN	71
6.7.2.	CURVAS DE INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (IDF) PARA PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN	71
6.8.	LLUVIA CRÍTICA (RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO)	73
6.9.	ESTUDIOS HIDRÁULICOS	75
6.9.1.	CAUDALES MÁXIMOS POR ESCORRENTÍA EN LOS DRENAJES DE LA ZONA EN ESTUDIO	79
6.9.2.	SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE CRECIENTES (TRÁNSITO DE NIVELES)	81
6.10.	AMENAZA POR INUNDACIONES	82
6.11.	RECOMENDACIONES	82
7.	RESPUESTA DINÁMICA DEL SUBSUELO	84
7.1.	GENERALIDADES	84
7.1.1.	INTRODUCCIÓN	84
7.1.2.	METODOLOGÍA	84
7.2.	AMENAZA SÍSMICA	85
7.2.1.	FUENTES SISMOGÉNICAS	85
7.2.2.	CUANTIFICACIÓN DE LA AMENAZA	85
7.2.2.1.	Fuente Local	86
7.2.2.2.	Fuente Intermedia o Regional	86
7.2.2.3.	Fuente Lejana	86
7.3.	ACELEROGRAMAS REPRESENTATIVOS	86
7.4.	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DEL SUBSUELO	87
7.4.1.	PERFIL GEOTÉCNICO	87
7.4.2.	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS ESTÁTICOS	89
7.4.3.	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DINÁMICOS	89
7.5.	MODELO NUMÉRICO DE ANÁLISIS	92
7.5.1.	PROGRAMAS DE COMPUTADOR	92
7.5.2.	GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN BIDIMENSIONAL	92
7.6.	RESPUESTA DINÁMICA	93
7.6.1.	ISOACELERACIONES MÁXIMAS DEL SUBSUELO	93
7.6.1.1.	Isoaceleraciones máximas para la sección longitudinal A-A'	93
7.6.1.2.	Isoaceleraciones máximas para la sección transversal B-B'	96
7.6.2.	ACELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE	98
7.6.2.1.	Aceleraciones máximas para la sección longitudinal A-A'	99
7.6.2.2.	Aceleraciones máximas para la sección transversal B-B	99
7.7.	CONCLUSIONES	100
7.8.	BIBLIOGRAFÍA	100
8.	ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS FACTORES DETONANTES IDENTIFICADOS	102

8.1. FACTORES CONTRIBUYENTES Y DETONANTES	102
8.1.1. FACTORES CONTRIBUYENTES	103
8.1.2. FACTORES DETONANTES	103
<u>9. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD</u>	105
9.1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA	105
9.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	105
9.2.1. MECANISMOS DE FALLA Y MODELOS DE FALLA	105
9.2.2. ESCENARIOS DE FALLA	107
9.2.2.1. Condición de Sismo	107
9.2.2.2. Condición de Lluvia	107
9.2.2.3. Combinaciones de casos	108
9.2.3. RESULTADOS DEL MODELO DE ESTABILIDAD	108
9.2.3.1. Talud infinito	108
9.2.3.2. Bloque deslizante	109
9.2.4. ESTABILIDAD DE TALUDES DEL SECTOR ORIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	112
<u>10. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA</u>	114
10.1. VARIABLES ALEATORIAS	114
10.2. MÉTODO DE ANÁLISIS	114
10.2.1. GENERALIDADES	114
10.2.2. MÉTODO PEM	115
10.2.3. PROBABILIDAD DE FALLA A CORTO PLAZO (ANUAL)	116
10.2.4. PROBABILIDAD DE FALLA A LARGO PLAZO	116
10.2.5. RELACIONES ENTRE EL FACTOR DE SEGURIDAD Y LA PROBABILIDAD DE FALLA	117
10.2.6. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	118
10.3. ESTABILIDAD DE LAS CIMENTACIONES	118
10.3.1. CLASIFICACIÓN DE CIMENTACIONES	118
10.3.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	120
10.3.2.1. Estabilidad Externa	120
10.3.2.2. Estabilidad Interna	120
10.3.3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS	120
<u>11. ACCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA AMENAZA</u>	123
11.1. INTRODUCCIÓN	123
11.2. ACCIONES DE MITIGACIÓN DE LA AMENAZA GEOTÉCNICA	123
11.2.1. ZONA 1: PARTE ALTA	123
11.2.2. ZONA 2: PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL DRENAJE PRINCIPAL EN EL LADO NORTE	123
11.2.3. ZONA 3: PARTE BAJA DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (ZONA ROCOSA)	124
11.2.4. ZONA 4: PARTE BAJA DEL BARRIO BRISAS DEL VOLADOR (COLUVIÓN)	125
11.2.5. ZONA 5 : RONDA DE INUNDACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL Y RELLENOS	125
11.3. OTRAS ACCIONES	126

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A2.1** Topografía
- Anexo A2.2** Resultados del Inventario de Viviendas
- Anexo A3.1** Inventario de Procesos
- Anexo A4.1** Exploración del Subsuelo
- Anexo A4.2** Resultados de los Ensayos de Laboratorio
- Anexo A9.1** Análisis de Estabilidad
- Anexo A10.1** Curvas de ajuste de Probabilidad de falla vs. Factor de seguridad y de Factor de seguridad vs. Pendiente
- Anexo A10.2** Análisis de estabilidad de sistemas de retención de tierras
- Anexo A11.1** Cortes esquemáticos de las Alternativas de Mitigación propuestas
- Anexo A11.2** Listado de predios a intervenir

LISTA DE PLANOS

- Plano GE100-PL-01.** Levantamiento Topográfico y Exploración del Subsuelo
- Plano GE100-PL-02.** Geología Regional
- Plano GE100-PL-03.** Geología Local
- Plano GE100-PL-04.** Secciones Geológicas
- Plano GE100-PL-05.** Geomorfología Local
- Plano GE100-PL-06.** Inventario de Procesos
- Plano GE100-PL-07.** Zonas Geotécnicas Homogéneas
- Plano GE100-PL-08.** Inventario de Predios
- Plano GE100-PL-09.** Pendientes
- Plano GE100-PL-10.** Secciones Hidráulicas
- Plano GE100-PL-11.** Amenaza para condiciones naturales con base en el Factor de Seguridad
- Plano GE100-PL-12.** Zonificación de Amenaza
- Plano GE100-PL-13.** Amenaza por estabilidad de la cimentación
- Plano GE100-PL-14.** Acciones de Mitigación