

CAPÍTULO 1.0

GENERALIDADES

ANTECEDENTES

De acuerdo con las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. –Decreto 619 del 28 de Julio de 2000-, la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE, contrató a través de la Invitación Pública FOPAE No 7302 – 31 - 2003 y el Contrato de Consultoría No. 239-2003a la UNIÓN TEMPORAL GIA CONSULTORES LTDA – ATG LTDA, cuyo objeto es la elaboración de estudio de riesgo, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las obras recomendadas para estabilizar y/o rehabilitar las viviendas de un sector del Barrio Pijaos - Jorge E. Cavellier de la Localidad de Rafael Uribe de Bogotá D.C.

La necesidad de este estudio surgió en razón de los daños recurrentes presentados en algunas viviendas del sector, y que en un futuro podrían comprometer su estabilidad. Estos son atribuidos de forma a priori a la ubicación a media ladera de las unidades residenciales -lo que implica un grado de exposición de fenómenos de remoción en masa-, al deficiente manejo de las aguas de escorrentía, a la posibilidad de infiltración de agua al terreno, a las bajas especificaciones, a la antigüedad de las construcciones, a la ausencia de alcantarillado pluvial, al deficiente confinamiento de los cortes, y a los efectos nocivos que conlleva la presencia de árboles en términos de presión de poros en el suelo y en los cimientos de las casas. Este capítulo condensa la delimitación geométrica del área de interés, la descripción del problema, los alcances del estudio, las estrategias empleadas para su ejecución, y la organización del informe.

1.1 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE INTERÉS

El área pertenece a un sector del barrio Barrio Pijaos - Jorge E. Cavellier de la Localidad Rafael Uribe de Bogotá D.C., y forma parte de la cuenca del Río Fucha. Colinda al sur en la calle 36B Sur, al norte en la Diagonal 35 Sur y las Calles 36 y 36 A Sur, al occidente en la carrera 12 Bis y al oriente en la carrera 10C. Tiene un área de 4.26 Ha y está comprendida en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas, N: 96600.000 m E: 96750.000 m en el extremo suroccidental y N: 96850.000 m E: 97050.000 m en el extremo nororiental, con elevaciones entre 2604 y 2643 m.s.n.m. Involucra en su interior unidades residenciales de 2 y 3 pisos, de Estrato 3, zonas verdes y un área de uso público empleada para el estacionamiento de vehículos de transporte urbano y privado. Véase Figura 1.1

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La estructura urbana del Barrio Pijaos y Jorge E Cavellier descansa sobre materiales constituidos por depósitos recientes denominados Terrazas Bajas o Altas (Qtb y Qta) y llenos antrópicos (Qra); los primeros son acumulaciones de sedimentos finos provenientes del río Tunjuelo (INGEOCIM LTDA - UPES - FOPAE.

1998), y los segundos son los residuos sólidos bien de la construcción misma del barrio o bien de otras de estructuras algunas propias del mismo barrio, están constituidos por escombros, desechos, guijos y gravas de líticos en una matriz arenosa, poseen compactación media y están cubiertos por vegetación corta, abundante, que refleja por su color, alta humedad.

Los sedimentos fluviales y antrópicos descansan al sur del cuadrángulo, en una secuencia de areniscas con algunas intercalaciones de arcillolitas y suelos residuales (en la parte superior), pertenecientes a las Formaciones Regadera y Bogotá y su disposición es en contrapendiente estructural de alta persistencia (INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE, 1998). La mayor parte de las viviendas (aproximadamente un 80%) exteriormente poseen buenos acabados tanto estéticos como estructurales. Las viviendas se ubican por “manzanas” en terrazas es decir a diferentes niveles topográficos. No obstante, algunas de ellas (12.5%), en sus muros exteriores, vías y escaleras de acceso evidencian agrietamientos y fisuras en sus elementos. La vegetación corta (pastos) en algunos parches del barrio presenta un color verde “vivo” que se asocia a la permanente humedad del suelo.

En una inspección preliminar las viviendas afectadas en su estructura se localizan irregularmente sin tener aparentemente una relación directa entre ellas en cuanto a tipo de construcción, estructura, etc. así: a) Algunas de ellas ocupan la Transversal 10D al frente del talud ubicado al S-SW, están cimentadas en una secuencia constituida (de base a tope) por areniscas y arcillolitas meteorizadas de la Formación Regadera y limos rojos de origen volcánico probablemente expansivos. En la carrera 12, la casa esquinera exhibe fisuras longitudinales en la pared frontal hacia la vía (transversal 10D) y reducción de la sección de la cuneta perimetral recolectora por empuje tanto en uno como en otro caso. El tipo y forma de los agrietamientos sugieren deformaciones en la vertical (asentamientos) explicados por los cambios volumétricos del horizonte de fundación que lo integra: los limos rojo, y en la horizontal (desplazamiento). En este sentido, los habitantes de las viviendas afectadas argumentan que los problemas en sus propiedades comenzaron al activarse el paso de toda clase de vehículos por la vía Transversal 10D y a lo largo de la Avenida Décima.

b) Hacia el oriente pero en la misma Transversal 10D, las viviendas no muestran afectación evidente. Es de anotar que el talud al otro lado de la vía está compuesto casi exclusivamente por areniscas de la Formación Regadera, los rellenos antrópicos, están ausentes. c) En el sector de la calle 36A BIS S, otras unidades con fisuras y agrietamientos. Básicamente son tres las unidades más averiadas y las adyacentes no exhiben este tipo de problema. Lo que puede estar relacionado con daños locales en la cimentación de las estructuras.

Algunos habitantes de las viviendas más afectadas han optado por realizar arreglos de reforzamiento de las cimentaciones y de esta manera disminuir o mitigar el problema; empero esto provoca cambios de rigidez en la estructura y obviamente respuestas diferenciales ante las solicitudes, lo anterior se refleja en las grietas longitudinales o transversales. Otros han elevado quejas a varias Entidades Distritales como la DPAE, con el ánimo de que se realice un estudio técnico detallado para investigar el origen de los agrietamientos y fisuras.

Lo anterior evidencia una diversidad de problemas, procesos de remoción en masa sobre rellenos antrópicos o en las interfases suelo-roca ó roca-roca (arcillolita–arcillolita), deficiencias en la cimentación de algunas viviendas sobres materiales colapsables o expansivos (limos rojos), deficiencias estructurales, cambios de rigidez. De esta gama el de mayor trascendencia reside en un deslizamiento compuesto que cubre las manzanas ubicadas entre las carreras 10D y 11; específicamente en las manzanas 5, 6 y 7 (véase **Plano 1**); el mecanismo de falla parece responder a un proceso de reblandecimiento en los niveles arcillosos por aporte de agua de infiltración; su forma es elongada y la superficie de despegue parece residir a 3.0 metros de pro -

fundidad bajo la superficie del terreno. Las primeras manifestaciones del movimiento datan de finales de la década de los 90's, y por ende, se cree es progresivo y sencillo. El conjunto de viviendas afectadas es de 12 unidades; las deformaciones en ellas son: grietas de corte en muros, grietas longitudinales en pisos y paredes, y daños locales en elementos estructurales.

1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

Las siguientes son las actividades mínimas que precisa el estudio y que constituyen sus eslabones:

- Recopilación y análisis de información secundaria disponible: fotografías aéreas, cartografía, planchas geológicas, estudios geotécnicos anteriores, plano catastral aprobado por DAPD, registros pluviométricos, y todo tipo de información que aporte al proyecto.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona objeto: altimetría y planimetría a escala 1:500 amarrados a las placas IGAC, que registren la morfometría de la ladera y los signos de inestabilidad, así como los elementos del componente urbanístico.
- Recopilación de información primaria: levantamiento geológico a nivel de unidad de roca, Inventario de los procesos morfodinámicos, inventario de viviendas, investigación del subsuelo, programa de ensayos de laboratorio, reconocimiento de las condiciones de fundación de las viviendas con mayor grado de deterioro estructural (mínimo 5 viviendas),
- Análisis geotécnico; identificación de sitios inestables; análisis de estabilidad global y local para condiciones estáticas y dinámicas, tanto en estado actual como con las obras recomendadas.
- Evaluación de amenaza para los escenarios actual y con la implementación de las obras de mitigación
- Análisis de vulnerabilidad y riesgo para cada una de las unidades residenciales
- Evaluación de mitigabilidad en términos de riesgo con base en la evaluación económica y la eficiencia de las obras.
- Diseño de las obras requeridas para estabilizar la zona y las viviendas afectadas.

1.4 LIMITACIONES

Es importante reseñar que se asumirán características geotécnicas similares de acuerdo con los resultados de campo y laboratorio y condiciones de homogeneidad para los diferentes materiales presentes en el área de interés.

1.5 METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

El estudio se estructura con base en un procedimiento metodológico evolutivo que inicia en la consulta de la información secundaria y en la recopilación de la primaria. Éstas se examinan, procesan y evalúan, con el fin de establecer similitudes y discrepancias entre sí, de tal forma faciliten el diagnóstico del problema y



conduzcan a la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, con el objeto de plantear las medidas de mitigación óptimas dentro de los marcos técnico, social, ambiental y económico.

Para tal fin, la Unión Temporal: GIA Consultores Ltda – ATG Ltda., dispone de un equipo multidisciplinario de profesionales, quienes a lo largo del proyecto establecen coordinadamente con la interventoría los lineamientos metodológicos, conceptuales y técnicos para el cumplimiento de los objetivos y el logro de las metas propuestas de acuerdo con los términos de referencia exigidos por la DPAAE. Bajo esta perspectiva, el contenido técnico, se estructura lógica y consecuentemente, y se enmarcan sus alcances dentro de las directrices de la institución y las políticas distritales. Los pasos que conciernen la realización del estudio se exponen a continuación:

1.5.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se refiere a la obtención de información primaria: fotografías aéreas y ortofotomapas, así como cartografía y estudios previos de topografía, geología, geomorfología, geotecnia, hidrología, climatología, usos del suelo, sismología etc, disponibles en entidades como el IGAC, el INGEOMINAS, el IDEAM, el ACUEDUCTO, el DAPD, la JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL, la ALCALDÍA DE LA LOCALIDAD y la DPAAE. Es importante reseñar que de ésta última, se extrajeron datos de geología regional e inventario de procesos, del "ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO EN DIFERENTES LOCALIDADES DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ", adelantado por esta institución en 1998.

Esta etapa permitió en primer lugar, la asimilación de las características de la morfología del terreno, la disposición predial, la geología, y la geomorfología regional, y un acercamiento a la comprensión de los fenómenos existentes en el área. En segundo lugar, fue la base de la programación de las labores requeridas para la complementación y profundización de la información y del ajuste de las fases de desarrollo del proyecto.

1.5.2 VISITA DE RECONOCIMIENTO

Una vez examinada la información disponible, se efectuó una visita al sitio del estudio que persiguió, como primera medida corroborar las acepciones inferidas en la etapa inmediatamente anterior, formular a priori un modelo hipotético de los problemas y de la secuencia estratigráfica, organizar el inventario de viviendas, proponer los puntos de exploración del subsuelo, identificar los agentes detonantes de los procesos morfodinámicos y plantear de forma preliminar alternativas de mitigación de la amenaza.

1.5.3 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍAS BASE Y TEMÁTICA

1.5.3.1 Levantamiento topográfico

Con el objeto de conseguir el mapa base de las diferentes etapas del proyecto; contrastar el levantamiento catastral de que dispone el distrito; registrar la morfometría de la ladera, los signos de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pozos de inspección etc; se realizó el levantamiento topográfico del sector a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 metros. Éste fue amarrado a placas del IGAC que sirvieron de soporte para la definición de la poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó con la ayuda de una estación total, mediante un procedimiento mixto, que involucró tanto la toma de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

La interpretación cartográfica se efectuó con el empleo del software Eagle point vrs No.14.1 bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Es decir, se definieron y respetaron las barreras físicas actuales y se condicionó la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del Software a su libre esquema de triangulación.

1.5.3.2 Estudios Geológico y Geomorfológico

A partir de la información existente, de la interpretación de las fotografías aéreas anteriores, del levantamiento topográfico, y del levantamiento en campo; se establecieron los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo tanto locales como regionales con su ubicación espacial; se identificaron los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y lineamientos fotogeológicos; se establecieron la red de drenaje existente, las formas estructurales, la morfodinámica, etc. De igual forma, se determinó la geología estructural del macizo rocoso (específicamente orientación de la estratificación o influencia de los planos de discontinuidad o falla), los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, y la potencialidad de movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológico y geomorfológico local, a escala 1:1000, en los que se incluyen los cortes y secciones más relevantes.

1.5.4 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO

1.5.4.1 Inventario de procesos de inestabilidad

Se identificaron y delimitaron los diferentes procesos de inestabilidad, activos o potenciales. Cada proceso se registra en una ficha técnica y cartográfica, en la cual se consigna toda la información concerniente al mismo (clasificación del proceso, magnitud, eventos detonantes y contribuyentes, frecuencia de movimiento, actividad, tendencia a la propagación, daños producidos, geología estructural, morfometría del talud, etc.). Esta información junto con el plano geomorfológico, constituyen el producto final del Inventario de procesos de inestabilidad y son la base para evaluar la amenaza a corto y mediano plazo y para calibrar el plano de zonificación.

1.5.4.2 Programación de la exploración del subsuelo

Este tópico se abordó en dos etapas: la primera mediante apiques, trincheras, columnas estratigráficas y sondeos manuales; con los cuales se detallaron los contactos litológicos, se barrió longitudinal y transversalmente la zona, específicamente las áreas de depositación de los rellenos antrópicos y de la Formación Sabana. En ellas se establecieron sus espesores y características principales. La segunda correspondió a la ejecución de sondeos adicionales, apiques y prospección geofísica mediante SEV's y Tomografías, distribuidos en el cuadrángulo y en el sentido probable de movilización de las masas. La conjugación de todos los métodos permitió una buena aproximación al modelo geológico y geotécnico de la zona, apoyado en la realización de 2 trincheras, a apiques, 2 columnas estratigráficas, 11 sondeos con barreno, 11 SEV's y 10 tomografías.

En cuanto al programa de ensayos de laboratorio, esta se dirigió a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos, tanto de los niveles de limos rojos, arenisca y a la clasificación del macizo (implementación de la teoría del GSI). Las muestras se sometieron a pruebas índice como: humedad natural, peso unitario, límites de Atterberg, granulometría, entre otras; y de comportamiento esfuerzo deformación, acordes con el nivel de esfuerzos existente en campo, como corte directo.

Los ítems restantes de esta etapa y los concernientes a las demás fases del proyecto, se incluirán en el transcurso del mismo.

1.6 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El documento que se constituye en la herramienta de implementación en el sector para mejorar la calidad de vida de los pobladores desde la perspectiva de la prevención de riesgos del sistema distrital, está conformado por 9 Capítulos, 7 Anexos, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y 11 Planos. En las Tablas 1.1, 1.2 y 1.3 se desglosan los temas de los capítulos, los contenidos de los anexos y los planos, respectivamente. El informe se compone de un volumen que contiene el documento técnico junto con la cartografía y un volumen de anexos.

Tabla 1.1 Temas de los capítulos

Capítulo 1	Generalidades
Capítulo 2	Topografía
Capítulo 3	Geología y Geomorfología
Capítulo 4	Estudio geotécnico
Capítulo 5	Hidrología
Capítulo 6	Evaluación de amenaza
Capítulo 7	Evaluación de vulnerabilidad y riesgo
Capítulo 8	Medidas de mitigación
Capítulo 9	Diseño de obras

Tabla 1.2 Contenidos de los anexos

Anexo A	Topografía
Anexo B	Geología
Anexo C	Geotecnia
Anexo D	Afectación predial
Anexo E	Amenaza actual
Anexo F	Amenaza con obras
Anexo G	Diseño de obras

Tabla 1.3 Contenidos de los planos

Plano 1	Mapa base
Plano 2	Geología Regional
Plano 3	Geología Local
Plano 4	Secciones geológicas
Plano 5	Geomorfología
Plano 6	Zonas Homogéneas
Plano 7	Secciones Geotécnicas
Plano 8	Secciones Geotécnicas
Plano 9	Secciones Geotécnicas
Plano 10	Secciones Geotécnicas
Plano 11	Secciones Geotécnicas
Plano 12	Secciones Geotécnicas
Plano 13	Zonificación de amenaza – escenario actual
Plano 14	Zonificación de amenaza futura



Plano 15	Zonificación de vulnerabilidad – escenario actual
Plano 16	Zonificación de riesgo – escenario actual
Plano 17	Localización de obras de estabilización y/o rehabilitación
Plano 18	Plano de Diseños

CAPITULO 2.0

TOPOGRAFÍA

Como insumo esencial dentro de la elaboración de las cartografías geológica, geomorfológica, geotécnica, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y de localización de obras de estabilización o rehabilitación; se realizó un levantamiento topográfico detallado, a escala 1:500 en el área designada para el estudio. Éste identificó y registró: la morfometría de las laderas, los rastros de inestabilidad, las unidades de viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pasos peatonales, pozos de inspección y escaleras, entre otras. En este capítulo se describen las labores comprendidas para tal fin, y se presentan los resultados.

2.1 MÉTODOLÓGÍA DE TRABAJO

En primer lugar se efectuó la interpretación del Ortofotomapa de los años 2000 y 2001 y se realizó el análisis de confiabilidad, a través de un chequeo visual en campo y de la toma de secciones transversales las cuales además fueron elementos imprescindibles en el trabajo topográfico. Una vez se evaluó la información secundaria disponible, se procedió hacer el levantamiento topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 metros (véase **Plano 1**), mediante la aplicación de un procedimiento mixto que incluyó tanto la obtención de secciones transversales como la captura de una nube de puntos, aunque con énfasis en esta última.

2.1.1. TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento topográfico debido a la magnitud del área de trabajo se realizó en una única etapa. Involucró la captura de 2151 puntos (referidos en el **Anexo A3**) y tuvo una duración de 4 días. Comprendió la toma de información exclusivamente del área despejada mediante secciones transversales y la colocación de los prismas en los cambios de gradiente hasta obtener un cubrimiento total –nube de puntos-; los intervalos entre las secciones variaron entre 3 y 5 m de distancia de acuerdo con las condiciones del terreno. Así mismo el barrido con nube de puntos tuvo como objeto la definición de elementos urbanísticos como: manzanas, paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, vías y caminos peatonales, etc.

2.1.1.1. Localización Cartográfica

El Barrio Pijaos - Jorge E. Cavellier está comprendido en el cuadrángulo que tiene como coordenadas planas, N: 96600.000 m E: 96750.000 m en el extremo suroccidental y N: 96850.000 m E: 97050.000 m en el extremo nororiental, con elevaciones entre 2604 y 2643 m.s.n.m, y una magnitud aproximada de 4.26 Ha. Los datos están referenciados a las coordenadas cartesianas con origen en el punto de coordenadas geográficas 04° 41' 00.00" de Latitud Norte y 74° 09' 00.00" de Longitud Oeste de Greenwich al cual se le asignaron las coordenadas planas 109320.965 metros al Norte y 92334.879 metros al Este, respectivamente. Datum Observatorio Astronómico de Bogotá con el plano de proyección de 2550.000 m.s.n.m, véase Figura 1.1.

2.1.1.2. Descripción de la Poligonal de Amarre

El levantamiento fue amarrado al sistema de posicionamiento del IGAC con punto de partida en las placas del IGAC **CD829A** y **CD831A** y tomó como azimut verdadero la dirección de la primera de ellas. Mediante una poligonal abierta, se trasladaron las coordenadas y la elevación a los diferentes puntos fáciles de acceder a tomar la información de las manzanas. La placa topográfica **CD829A** se halla en el separador de la carrera décima -diagonal a la calle 31 sur hacia el norte a 45 m-, y tiene como coordenadas planas N: 97009.733 y E: 97456.487 m, y una elevación calculada por el IGAC de 2584.432 m.s.n.m. sobre el plano de referencia de 2550.000 m.s.n.m. La placa topográfica **CD831A**, se localiza en el separador de la carrera décima con calle 27 sur, distanciada de la primera placa 405.64 m., tiene como coordenadas N: 97313.702 m y E: 97725.088 m, y a una elevación media calculada trigonométricamente de 2585.564 m.s.n.m. sobre el plano de referencia de 2550.000 m.s.n.m. La **Figura 2.1** exhibe la poligonal y el **Anexo A1** contiene copias de las certificaciones IGAC.

2.1.1.3. Descripción de la poligonal de cierre

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procedió al cierre y ajuste de la poligonal la cual incluye 13 estaciones de referencia, desde las cuales se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos, la **Figura 2.2** enseña un esquema de la poligonal levantada.

2.1.1.4. Ajuste del levantamiento

Una vez surtidas las etapas anteriores, se efectuó el trabajo de ajuste y cierre del levantamiento topográfico, que arrojó los siguientes resultados:

- Error de cierre en coordenadas Norte = -0.0360 m.
- Error de cierre en coordenadas E = - 0.0230 m.
- Error de cierre en ángulo = 3"
- Error Vertical = 0.0180 m
- Precisión = 1:65.000

2.1.1.5. Mojonamiento de Referencia

Se materializaron con tres puntillas fijadas en los andenes sobre la carrera 11 A con la calle 36 sur, en el costado sur del parqueadero del Barrio, y se identificaron con las letras R1, R2 y R3. Existe vista entre ellas, sus datos de coordenadas y elevación se relacionan en la **Tabla 2.1** y se representan en el **Plano 1 "Mapa Base"**.

Tabla 2. 1 Mojonamiento de Referencia

No.	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	96844.294	96929.900	2605.811	R1
2	96821.831	96918.088	2607.610	R2
3	96803.085	96895.854	2610.204	R3

2.1.1.6. Condensación de la información de campo

La información tomada en la estación total se consignó, a través de un colector de datos serial **RS-232** y el uso del programa de computadora Transit Vrs No. 2.11 propio de los fabricantes de la estación total.



2.1.2. TRABAJO DE OFICINA

Residió en georeferenciar los puntos topográficos tomados en campo con el uso del programa Transit versión No. 2.11. el procesamiento cartográfico del levantamiento se ejecutó con el módulo surface modeling del programa de computadora eaglepoint versión no.14.1, bajo un modelo de interpolación dirigida con uno en las tres dimensiones, lo que conllevó a definir y respetar las barreras físicas actuales y a condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales. como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del plano topográfico escala 1: 500 con curvas de nivel cada 0.5 metro, con el propósito de visualizar las curvas de nivel.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, pues inicialmente se elaboraron las diferentes capas de información y posteriormente, se hizo la interpolación. De esta manera, se seleccionaron los postes de alumbrado y los pozos de inspección y demás elementos de amoblamiento urbano y se delinearon las manzanas. Para una mejor aplicación del programa se procesaron parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados; de esta forma, se consiguió mayor precisión y calibración en los límites y contornos. Con base en lo anterior y en aras de finalizar la generación del mapa base, se realizó la integración e interpretación final de todo el conjunto. El **Plano 1** contiene el levantamiento topográfico del Barrio Pijaos a escala 1:500, con curvas de nivel cada 0.50 metros; y los **Anexo A2 y A3** las carteras: de campo y electrónica respectivamente.

2.2 EQUIPO

El equipo utilizado fue una Estación Total Nikon DTM-410 de precisión angular a los 5 segundos y alcances de lectura con prisma sencillo de 1800 m de distancia, capacidad para almacenar hasta 2000 puntos topográficos y lectura vertical cenital ,y aunado a dos prismas para la lectura de los puntos.

CAPITULO 3.0

GEOLOGÍA

Este capítulo contiene una descripción detallada de los aspectos geológicos y geomorfológicos a tener en cuenta el contexto regional y local como insumo para la determinación de la estabilidad geotécnica en el barrio Pijaos - Jorge E. Cavelier.

3.1. MÉTODO DE TRABAJO

El levantamiento y la elaboración de la cartografía geológica consistió en primera instancia en la recopilación, procesamiento y evaluación de la información secundaria disponible tal como: informes anteriores, bases cartográficas del IGAC, fotografías aéreas, y planos geológicos regionales, entre otras. En segunda medida, se adelantó un trabajo de reconocimiento de campo a nivel regional y local que involucró la exploración superficial mediante trincheras y apiques, el levantamiento de datos estructurales, el levantamiento de columnas estratigráficas, y la comprobación de la fotointerpretación realizada previamente. Por último, se complementó el estudio con la exploración del subsuelo programada para fines geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos mediante la realización de sondeos manuales, sondeos eléctricos verticales y sondeos wenner, unos y otros proveyeron información útil para la evaluación de amenaza.

A continuación se relacionan paso a paso las actividades ejecutadas en el desarrollo del componente geosférico:

3.1.1. METODOLOGÍA

El procedimiento implementado para llevar a cabo este estudio de una manera secuencial y sistemática se resume en dos fases a saber.

a) Fase preliminar

- Recopilación bibliográfica de información geotécnica, geológica, climatológica, hidrológica, hidrogeológica, etc. del área de estudio, existente en las diferentes entidades públicas y en algunas privadas.
- Obtención de fotografías aéreas en las escalas disponibles.
- Adquisición de planos topográficos a escala 1:10.000, y 1:2000, disponibles en el IGAC.
- Reconocimiento general del terreno e identificación de los potenciales procesos de inestabilidad y de sus mecanismos de falla.
- Levantamiento, cálculo, edición y digitalización del plano topográfico a escala 1:1.000.

b) Fase de campo

- Levantamiento de datos estructurales y de columnas estratigráficas detalladas de las litologías aflorantes, tanto a nivel regional como local.
- Interpretación de las fotografías aéreas. En esta labor se hizo hincapié en los rasgos geológicos y geomorfológicos y en la delimitación multitemporal de los procesos morfodinámicos.
- Toma de fotografías convencionales que ilustran las características de importancia.
- Elaboración de los planos geológico regional y detallado. La cartografía geológica se concentró en la delimitación de los depósitos recientes – antrópicos y de ladera – así como de las unidades líticas aflorantes; para tal fin, se aprovecharon los cortes hechos para las unidades residenciales y las vías, y los escarpes de roca.
- Realización del mapa geomorfológico detallado, en donde se destaca la morfometría, los modelados (morfogénesis), geoformas (morfología) y procesos tanto erosivos como morfodinámicos presentes en el área.

3.1.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Involucró la revisión y contrastación de las siguientes referencias:

- INGEOMINAS (1997). "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C." Bogotá D.C.
- INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. (1998). "Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C." Bogotá D.C.
- INDESA LTDA. – (1998). "Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Barrio Luis López de Mesa."
- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA LTDA. – (1998) Identificación y Evaluación de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados para Estabilizar el Antiguo Escarpe de Explotación Barrio La Carolina – Mirador de Morocos." Bogotá D.C.

De los estudios consultados que incluyen zonas muy próximas a la de interés o la involucran, permite entre otras realizar las siguientes apreciaciones sobre el componente geológico:

a.) El plano geológico de INGEOMINAS (1997), escala 1: 50.000, destaca que el barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier se asienta sobre rocas de la Formación Bogotá, cuyo contacto con la Formación Regadera (infrayacente) es muy cercano, y discurre al SW. Estas formaciones conforman un monoclinal hacia el NE y poseen rumbos NW-SE, con bajas inclinaciones, entre 10 y 35 grados.

b.) En la cartografía de INGEOCIM LTDA – UPES – FOPAE. (1998), elaborada a escala 1:10.000, el barrio está cimentado sobre materiales propios de la unidad Terraza Alta (Qta). El contacto entre ella y el miembro inferior de la Formación Regadera, compuesto esencialmente por areniscas cuarzosas friables, se demarca al sur, en el piedemonte.

Al sur del barrio discurre una falla de rumbo con dirección NE-SW, y de movimiento dextral. Esta estructura provoca una leve traslocación de las estructuras y de los contactos litológicos de los miembros superior e inferior de la Formación Regadera, pero no así de los planos de estratificación de la formación que conservan

rumbo NW-SE, con dirección de buzamiento hacia el SW. La información consignada en los estudios de referencia fue contrastada con la adquirida en la etapa de fotointerpretación y en campo, una y otra permitió concluir que las cartografías de Ingeominas e Ingeocim son consistentes entre sí y no muestran marcadas diferencias que restrinjan o limiten su uso. Por lo tanto el trabajo en este proyecto consistió en una actualización y complementación de la información existente.

3.1.3. FOTOINTERPRETACIÓN

Esta labor se adelantó sobre las fotografías relacionadas en la Tabla 3. 1, su objetivo consistió en preparar sobre ellas la cartografía geológica preliminar, es decir, fijar los rasgos estructurales, litológicos y geomorfológicos más relevantes a nivel regional y local. (véanse Figuras 3.1 y 3.2).

Tabla 3. 1 Fotografías aéreas de referencia

VUELO No.	SOBRE	FOTO No.	ESCALA	FECHA
C 2265	S 33685	60 a 62	1:21.000	1986
M-46	S-151	4525 a 4527	1:60.000	1955

Así, por ejemplo, las fotografías aéreas de los años 1955 y 1986, facilitaron la definición de los principales elementos estructurales; específicamente lineamientos de falla con rumbo NNE-SSW y E-W y la marcada polaridad de los estratos hacia el NW, las más claras expresiones de éste último comportamiento redundan en la ladera sur aledaña al barrio Pijaos - Jorge E. Cavellier. El contraste geomorfológico entre esta ladera y su alrededor es también muy notorio. La primera es de inclinación y conformación abrupta y el segundo es peneplanizado en el pie de la ladera hacia el norte. Las estructuras trazadas son acordes no sólo con algunos planos geológicos regionales sino con la información tomada en campo.

Las fotografías del año 1986, a diferencia de las de 1955 destacan la superpoblación y el asentamiento de un sin número de barrios, entre los que se encuentra el Pijaos-Jorge E. Cavellier. Este panorama dificulta el trazo de estructuras y contactos fotogeológicos y por ende resta capacidad de uso a tales pares estereoscópicos. Sin embargo a pesar de sus limitaciones fueron útiles para trazar lineamientos evidentes, también definidos en las fotos de 1955; conocer la evolución morfodinámica: definir cicatrices de deslizamiento, básicamente en la ladera sur aledaña al barrio, y frentes erosivos, y deducir su proceso de consolidación urbanística.

El proceso de colonización y desarrollo urbanístico en el barrio parece datar de finales de los 60's o comienzo de los 70's según lo afirman sus pobladores. Esta hipótesis parece corroborarse de las fuentes secundarias. Las fotografías del año 1955, muestran baldíos los predios en donde se construirá el barrio Pijaos; las únicas viviendas se levantan al oriente, en lo que hoy se conoce como los barrios San Isidro, Managua, y el Encanto. La Urbanización aparece en su totalidad y en el par estereoscópico de 1985 y en la plancha IGAC (Escala 1:2000) de 1977, pues es el año del vuelo del cual fue restituida. Los más importantes cambios urbanísticos en los últimos años involucran el relineamiento de la calle 36B Sur, y la prolongación de la carrera 10; éstos provienen de la última década, pues tanto en el plano 246-II-B-2, escala 1:10.000 (basado en la restitución de fotografías del año de 1985), como en las fotografías aéreas de 1986 no aparece.

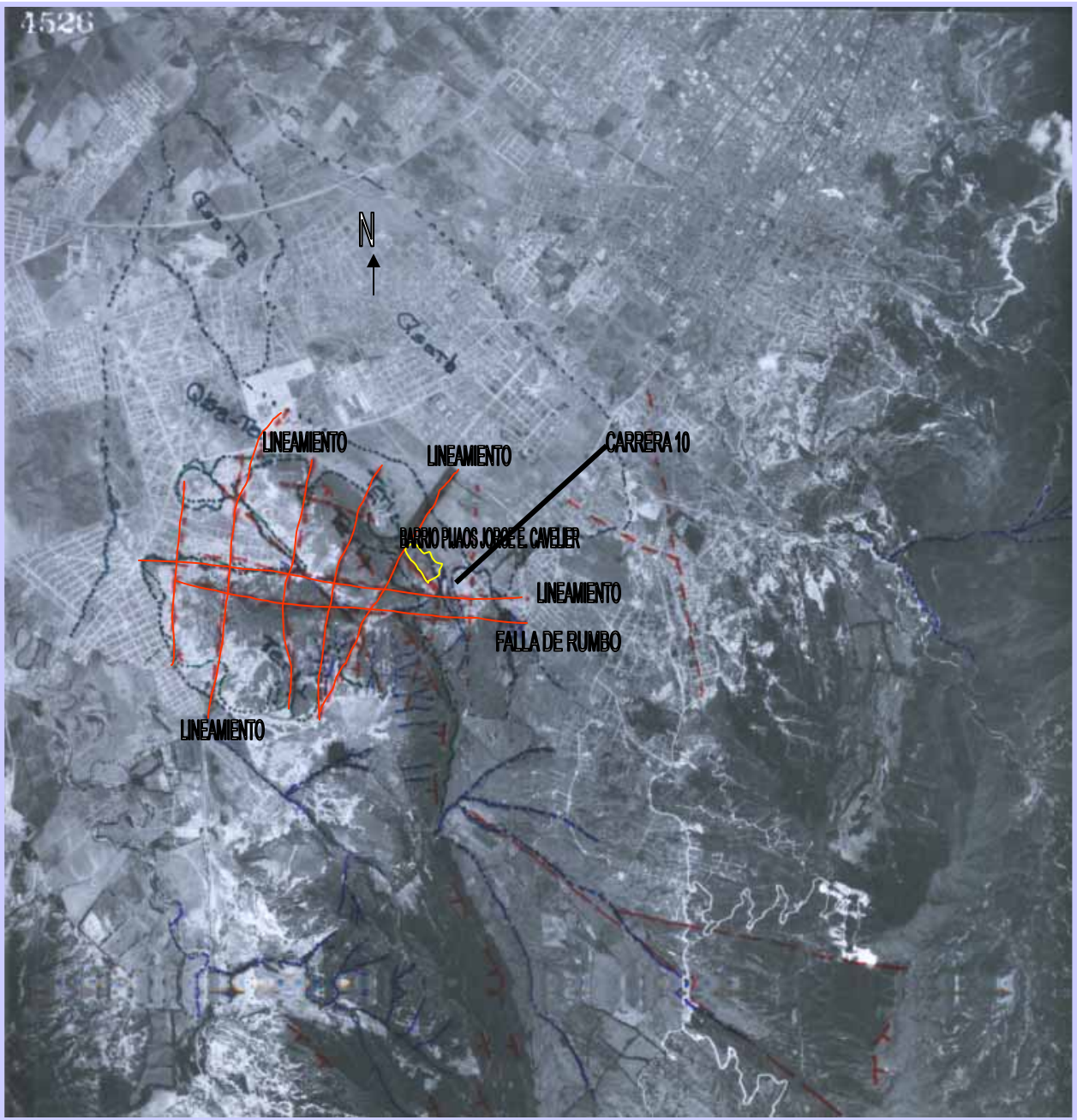


Figura 3.1 Fotografía aérea # 4526, vuelo M 46, escala 1:60.000, año 1955

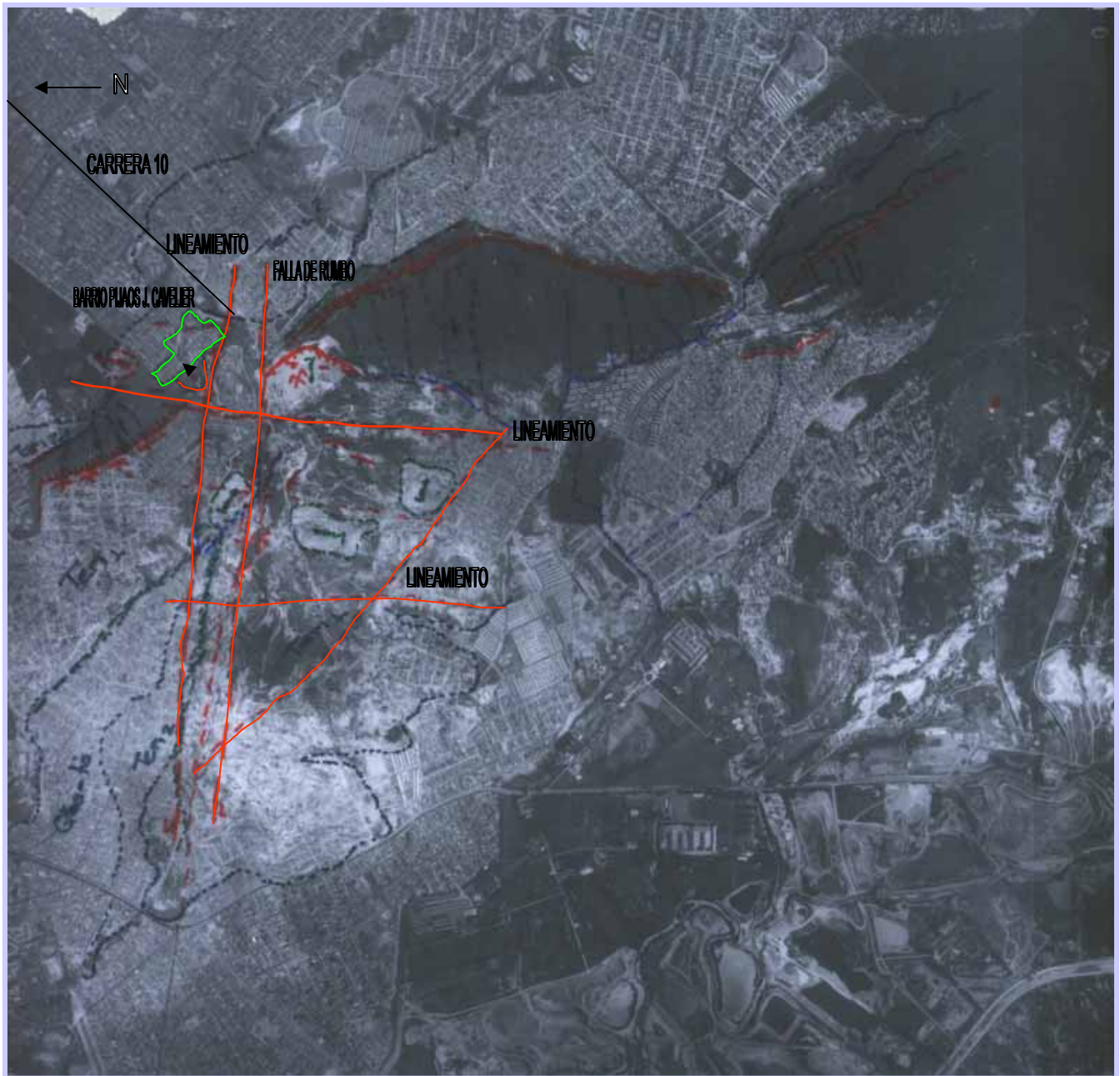


Figura 3.2 Fotografía aérea # 61, vuelo C 2265, escala aprox. 1:21.000, año 1986.

3.1.4. TRABAJO DE CAMPO

Las labores de campo se adelantaron durante tres semanas, ya que en la medida que avanzaban las actividades de revisión cartográfica, comprobación de la fotointerpretación y exploración superficial, las condiciones geológicas planteadas en el modelo inicial fueron cambiando y se hicieron más complejas; todo esto es en virtud de la heterogeneidad de los materiales involucrados (areniscas, arcillolitas, suelos residuales, limos rojos y cenizas propias todas ellas de tres formaciones) y de la disposición urbanística del sector.

La comprobación se efectuó mediante el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes sin asociarlas en primera instancia a las unidades descritas en informes o planos geológicos seleccionados en la recopilación de información y con la exploración del subsuelo para la cual se ejecutaron (4) cuatro apiques, (2) dos trincheras, (2) columnas estratigráficas, (10) diez sondeos eléctricos verticales (SEV's), (11) once sondeos wenner y (11) once sondeos manuales. La cartografía geológica local se concentró en la delimitación geométrica de los depósitos recientes, de las unidades litológicas, la descripción de su composición, textura y origen de las estructuras locales.

Los sondeos geoelectrónicos verticales (SEV) y los wenner se realizaron para definir, mediante los valores de resistividad, los contactos litológicos en profundidad, y la continuidad horizontal de los materiales, respectivamente. Además fueron empleados para generar planos borradores de isoresistividad a diferentes profundidades, a fin de mejorar y complementar el modelo geológico y contribuir en la formación del mapa de zonas homogéneas.

3.2. GEOLOGÍA

3.2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Como base para la definición y reconocimiento de la geología regional, se tomaron como fuentes el plano geológico elaborado por INGEOMINAS (1997), a escala 1:50.000 y el plano geológico, escala 1:10.000 del estudio INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. (1998). De ellas, la base cartográfica de INGEOCIM LTDA fue tomada como plataforma para la geología regional del presente estudio. Este plano se modificó en su escala, al pasar de 1:10.000 a 1:5000, en los contactos y en el marco estructural. Tales cambios fueron fruto de los aportes de fuentes secundarias, i.e. de la geología de INGEOMINAS (1997), de la fotointerpretación y de la exploración geológica local y del subsuelo.

Como principales elementos se introdujeron: la traza de un lineamiento de dirección NNE-SSW, que atraviesa el occidente del barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier; un lineamiento paralelo a una falla de rumbo de movimiento dextral cartografiado al norte de ésta, y una traza de rumbo N75W-S75E, que surca al sur del cuadrángulo (aprox. 50 a 100 m.). También se ensancho el miembro arenoso de la Formación Regadera, pues parte del barrio Pijaos – Jorge E. Cavelier y la urbanización Bosques de San Carlos, se asienta sobre materiales rocosos de esta formación, limite noroeste del barrio y se destaca la presencia de un afloramiento de areniscas cuarzosas friables ubicado en la pista de patinaje, en limite sur del sector en estudio.

3.2.1.1. Estratigrafía

La zona se ubica estructuralmente sobre un monoclinado constituido por materiales rocosos de las Formaciones Regadera (Eoceno) y Bogotá (Paleoceno), pertenecientes cronoestratigráficamente al Terciario, y depósitos de Terrazas Altas y Bajas propias del Cuaternario. Las unidades litoestratigráficas identificadas con propósitos cartográficos en la geología regional se describen a continuación de la más antigua a la más joven, con base en la propuesta de INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE, (1998).

Terrazas Altas (Qta)

Están constituidas predominantemente por arcillas, con especial dominio hacia la periferia de granulometrías más gruesas, y de intercalaciones de los diversos niveles de arcillas arenosas y arenas arcillosas, y parches de guijarros y bloques. Cubren una buena porción del costado oriental del cuadrángulo de estudio, y sobre ellas descansan los barrios Sosiego Sur y San Isidro (véase Plano 2. Geología Regional); aunque se aprecian puntos distales no cartografiados (pues su espesor es inferior a 1.5m) de una secuencia de grano más fino de limos arcillosos rojos, con esporádicos bloques, que se extiende en dirección E-W, ellos reposan solo en la parte alta del barrio Pijaos, y cubren parcialmente la Formación Regadera.

Terrazas Bajas (Qtb)

Originadas principalmente por el Río Tunjuelo, describen sobre las llanuras aluviales actuales superficies planas a ligeramente onduladas, poco disectadas, con elevaciones cercanas a los 5m. Su composición es predominantemente limo-arcillosa, su ambiente de depositación es de tipo fluvial y su contacto con el complejo de conos es neto y se enmarca por la presencia de pequeños escarpes. El contacto con las llanuras aluviales modela ligeros escarpes en los valles afluentes del Río Tunjuelo. Las mejores exposiciones de la unidad entallan parches de la cuenca del San Cristóbal. La fraguita, Calvo Sur, y Modelo Sur, son algunos de los barrios cimentados en estos depósitos

Formación Tilatá (TQt)

Está conformada por gravas, arenas y arcillas arenosas de origen fluvial - lacustre, de color gris o verde, con locales intercalaciones de turbas, gravas y arcillas diatomíticas blancas o abigarradas. Está surcada por una serie de lineamientos con dirección SW-NE y N-S, pero que carecen de influencia en el comportamiento mecánico de la unidad. Se encuentran en los barrios Puerto Rico, Los Molinos, Marruecos, Los Molinos Sur y San Agustín, entre otros.

Formación Regadera (Ter)

Se define así a una secuencia de areniscas gruesas, conglomerados no muy consolidados y lodolitas moradas o rojizas, blandas, plásticas y en bancos de 0.10 a 0.30m que en ningún momento le quitan a esta formación su carácter arenoso. Las areniscas son de color gris claro a blanco, y violáceas por meteorización, están compuestas por cuarzo y fragmentos líticos en matriz arcillosa, el tamaño del grano varía entre fino a conglomerático, subangular a subredondeado, esfericidad media, pobre a moderadamente sorteadas, en espesores de 0.5 a 15m, con estratificación cruzada y altamente friables.

El ambiente de depositación es continental, de tipo fluvial de ríos trenzados para el nivel inferior (Teri) y de ríos meándricos en el superior (Ters), delinea una morfología de laderas abruptas con pendientes topográficas de moderadas a fuertes. Su contacto superior, con la formación Usme es discordante, mientras que el inferior, con la Formación Bogotá es neto. Esta formación dibuja el cinturón occidental del cuadrángulo de estudio. Esculpe el alto relieve de los cerros de las Guacamayas y de las Lomas. Los barrios La

Resurrección, Las Malvinas, Las Lomas, San Martín de Loba, Luis López de Mesa, Bosques de San Carlos y Pijaos son algunos de los ejemplos más representativos de los asentamientos dispuestos en esta formación (véase Plano 2); cabe anotar que la diferencia altimétrica entre estos dos últimos sitios – a pesar de ser muy cercanos – es producto de procesos diferenciales de meteorización.

Formación Bogotá (Tpb)

Ocupa sectores del piedemonte oriental de la ciudad, y parte del flanco occidental del anticlinal de Bogotá, y los flancos oriental y occidental del Sinclinal de Usme – Tunjuelito. Sin embargo, la muestra más representativa se encuentra en la franja oriental del sinclinal, en donde se ubican los barrios Pijaos – Jorge E. Cavelier, Barcelona Sur, Las Lomas y San Carlos, entre otros (véase Plano 2). La morfología descrita es ondulada y en forma localizada escarpada con pendientes topográficas moderadas, entre 15 y 30°.

En esta formación se diferencian claramente dos conjuntos. El inferior está constituido por una alternancia de areniscas y arcillolitas; las areniscas son gris claras, a gris verdosas cuarzo feldespáticas, de grano fino hacia la base y conglomerática hacia el tope, sudredondeado, de esfericidad media, moderadamente sorteada y altamente friables en estratos de 0.5 a 4.0 m. Las arcillolitas son de color gris oscuro a negro y violáceo-amarillas, blandas y plásticas. El conjunto superior es de predominio arcilloso, con esporádicas intercalaciones de areniscas, el espesor puede sobrepasar los 1000 m., suele observarse en afloramientos aislados pues en su contexto se encuentra enmascarado por depósitos Cuaternarios. El contacto inferior con la Formación Cacho es normal y el superior con la Formación Regadera es discordante (Julivert 1963, Hoorn 1987). Estudios palinológicos sugieren una edad Paleoceno Superior – Eoceno Inferior, depositado en un ambiente de llanuras aluviales y ríos meándricos.

3.2.1.2. Geología Estructural

Tectónicamente la zona de estudio, hace parte del flanco oriental del Sinclinal Usme – Tunjuelito, que es una estructura amplia y asimétrica con orientación aproximada N-S, y frecuentes inversiones en los flancos, limitada hacia el oriente y occidente por los anticlinales de Bogotá y Cheba, respectivamente. Está controlada por las fallas de Bogotá, en el oriente, y Mochuelo, al occidente. El flanco oriental del citado Sinclinal se puede dividir en tres bloques: el oriental afectado por la Falla de Bogotá, que es una estructura regional de cabalgamiento, con orientación NE-SW y buzamiento al SE, el central intervenido por el Sinclinal de Usme – Tunjuelito, que a su vez recibe el trabajo de las fallas de La Fiscalía, Juan Rey y Hierbabuena; y el bloque occidental, limitado al flanco oriental del Anticlinal de Cheba, está modelado por las fallas de Mochuelo, Limas, Primavera, Calderón y Terreros.

El barrio Pijaos, hace parte del bloque central, el cual localmente se encuentra controlado por una serie de lineamientos que no afectan la secuencia estratigráfica (normal) pero que si provocan un cambio en la polaridad de los estratos, aunque estos mantiene su dominio hacia el sur. Los planos de ruptura identificados tanto en la fotointerpretación como en el reconocimiento de campo, definen tres grandes grupos. El primero discurre en sentido NEE-SWW, está conformado por un lineamiento y una falla de rumbo – de movimiento dextral –; afecta las rocas de las formaciones Tilatá, Regadera y Bogotá, estas estructuras se encuentran localizadas al sur del barrio a unos 50 y 200 m de distancia, aproximadamente.

El segundo grupo, tiene rumbo NNE-SSW – similar al Sinclinal de Usme. Está representado por dos lineamientos que involucran los materiales de las formaciones Regadera y Bogotá; uno se localiza a unos 10 m de distancia del extremo NW del barrio Pijaos, cerca de la urbanización Bosques de San Carlos; y el otro atraviesa la vertiente sur del cerro Las Lomas. Y el tercero, con rumbo NW-SE, intercepta casi en su totalidad

la Formación Regadera; consta de dos lineamientos, sin injerencia alguna en la morfodinámica de las laderas donde se encuentra cimentado el barrio (véase Plano 3. Geología Local).

3.2.2 GEOLOGÍA LOCAL

Este numeral contiene una descripción de la geología a escala 1:1000, para el espacio comprendido entre las carreras 10C y 12 BIS y las calles 36B Sur y 36 Sur y destinado al desarrollo urbanístico del barrio Pijaos con énfasis en la estratigrafía y geología estructural. Con el ánimo de complementar y confirmar la cartografía geológica local, se aunaron los trabajos de exploración del subsuelo que conjugaron cuatro (4) apiques, dos (2) trincheras, dos (2) columnas estratigráficas, diez (10) sondeos eléctricos verticales (SEV's), once (11) sondeos werner y once (11) sondeos manuales con barrenos, realizando SPT, en los que se aprecian las variaciones de los materiales líticos. Los resultados de la exploración del subsuelo se describen explícitamente en el Capítulo 4, junto con sus memorias de cálculo y los registros de exploración (véase Plano 3. Geología Local). Con respecto a la comparación o relación de la geología local con la regional, como ya se anotó anteriormente (numeral 3.2.1.) de todos los documentos consultados se extractaron aportes valiosos que se tuvieron en cuenta así:

Estructuralmente, se observaron lineamientos importantes con diferentes direcciones N08E, N75E y N75W. El primer lineamiento citado, representa un rasgo estructural importante para el barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier, debido a que probablemente controla el rumbo de los estratos en esta zona y su traza atraviesa la parte occidental del área.

Las columnas estratigráficas y trincheras en su mayoría facilitaron la definición de la litología y la deducción de la continuidad de los horizontes de suelo residual de la Formación Regadera, y de las capas orgánica y de limos rojos, etc. Los apiques y los sondeos fueron artífices para identificar y caracterizar los materiales del subsuelo y definir los espesores de cada una de las unidades involucradas en la secuencia estratigráfica.

Y la exploración geofísica (geoeléctrica) se realizó con cuatro finalidades: complementar el modelo geológico; conocer los parámetros y propiedades hidrogeológicas del subsuelo; verificar la continuidad horizontal y vertical de los horizontes y determinar la variación de los espesores de los materiales.

3.2.2.1 Estratigrafía

Esta descripción se hace desde las unidades estratigráficamente más antiguas, hasta las más recientes.

Formación Bogotá (Tpb)

Está compuesta por arcillolitas algo limosas, blandas, de color habano, de plasticidad alta, y grado de consistencia media (véase anexo C-1, sondeos 9 y 10). La unidad se definió gracias a la interpretación de los sondeos geoeléctricos, en las secciones 1-1', 2-2' y 3-3', y al sondeo No. 9. La resistividad es homogénea en todas las secciones y su valor es de 7 ohm-m. (véase Plano 4. Secciones Geológicas)

Dibuja un notorio contraste morfológico entre cuerpos escalonados de terrazas de pie de ladera y superficies casi planas; contraste que corre de sur a norte paralelo a la calle 36Sur y casi contiguo a ella (véase Plano 3) y que es muy evidente en los bosques de San Carlos, al lado del hospital del mismo nombre, al oriente del barrio Pijaos.

Si bien en el sondeo manual No. 9 no se detectó nivel freático alguno, la baja consistencia, la alta plasticidad y el bajo grado de litificación del material rocoso, y la ausencia de planos de discontinuidad hacen suponer

que las arcillolitas de la Formación Bogotá pueden estar sometidas a un proceso de reblandecimiento por saturación; hipótesis que parece corroborarse con los bajos valores de resistividad arrojados por ella.

Formación Regadera – Arenisca (Teri-ss)

Está compuesta por cuarzoareniscas, que texturalmente corresponden a areniscas lodosas y areniscas cuarzosas de grano medio a conglomerático, con intercalaciones de bancos de arcillolitas y niveles de caolinita hasta de 0.20 m. Las areniscas son de color gris claro a blanco, y violáceos por meteorización, de estratificación plano paralela, discontinuas en capas gruesas y de estratificación interna cruzada tangencial a la base, bastante friables, mal seleccionadas, de grano subredondeado a subangular, compactación media a alta, cemento arcillo-ferruginoso y caolinítico. Las arcillolitas son de color gris claro a oscuro y rojizas a violáceas, de plasticidad media, consistencia alta, y patinas de oxidación. (veáanse el anexo C-1, sondeos Nos. 2,3, 5 y 7). Los niveles de roca se presentan como horizontes IIA o III (según el perfil de meteorización de Deer y Patton, 1971); es decir como roca ligeramente meteorizada .

Conforma gran parte del alto relieve al sur del barrio, el suelo de fundación de la urbanización Bosque de San Carlos, ubicada fuera del área de estudio pero topográficamente al mismo nivel que gran parte del barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier, y la pista de patinaje en la carrera 10C con calle 36 A BIS S.

La presencia de la formación tanto en la cota 2700 m.s.n.m. como en la base de la urbanización, a los 2600 m.s.n.m. aproximadamente, se podría interpretar gracias a la existencia de una falla inversa o de cabalgamiento. Sin embargo, no se encontraron evidencias para sustentar tal hipótesis, por tanto se cree que la morfología como la disposición de las areniscas se debe a la conjugación de procesos erosivos por la fluctuación (oleaje en las costas del lago existente en la Sabana de Bogotá durante el Plioceno) y socavación, y del posterior colapso de los bloques de areniscas.

Formación Regadera Suelos Residuales (Teri - sr)

Son el producto de la alteración y descomposición de las rocas blandas o de las areniscas lodosas de la Formación Regadera. Su espesor puede oscilar entre 1.60 m. (sondeo manual 4) a 2.00 metros, (trinchera 2). Encierran horizontes areno-arcillosos, bastante oxidados, de color ocre a amarillo, compacidad media, dureza baja, plasticidad baja a nula. Poseen granos de cuarzo, y el tamaño de grano de la fracción gruesa varía de arena fina hasta grava fina. Pertenecen a los horizontes IB y IC, del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971).

Gran parte del barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier, entre las carreras 10C y 11^a (manzanas 3, 4, 5, 6, 7 y 8) está construido sobre ella (véase Plano 3). Sin embargo, su mejor desarrollo se aprecia a lo largo de los taludes de la calle 36 B sur. Este último por su limitada continuidad lateral no se cartografía. En este sitio, el perfil de meteorización está compuesto por los horizontes IA, IB y III. Los dos primeros no retienen estructura alguna original de la roca parental. El horizonte IC, se observa en los afloramientos localizados sobre la calle 36 B sur, al frente de la carrera 11B, en donde aumenta la fracción de fragmentos pétreos con respecto a la matriz arenosa (no es matriz en sentido estricto sino zonas de roca muy alteradas que rodean núcleos poco alterados).

Depósito de Limos Rojos (Qlr)

El occidente del barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier, entre las manzanas 10 a 42 (véase Plano 3), descansa sobre una capa de limos, de color rojizo, expansivos, de consistencia y permeabilidad media a alta, colapsables, de plasticidad media a alta, y con fragmentos y gravas de líticos esporádicos. Su textura es vulcanoclástica y su origen es coluvial y de acumulación volcánica por suspensión y depósito (cenizas).

En la literatura se refieren a estos materiales como parte del Cono del Tunjuelo, así: "El cono del Río Tunjuelito ha sido denominado por Helmes (1990), como Formación Río Tunjuelito, corresponde al depósito más importante de la unidad, sobre el material más grueso, guijarros y bloques, descansa una secuencia de sedimentos finos, principalmente limos rojos, con bloques esporádicos". (Ingeocim, 1998).

Esta unidad cubre la parte superior de la urbanización bosques de San Carlos, en límite occidental del barrio Pijaos. Se expone en la esquina de la carrera 12 BIS con calle 36 B Sur, sobre un corte de la casa de esta dirección. Su espesor oscila entre 1.30 m.(véase sondeo 11, anexo C1) y se dispone sobre un suelo residual arenoso algo arcilloso grisáceo con tonos ocres de oxidación estacionalmente sometidos a saturación (según deducciones de campo – véase numeral 4.1.2.2. métodos indirectos – el alto contenido de humedad de los limos y los comentarios de los pobladores del barrio) pero sin comprobación en campo, pues los sondeos manuales no arrojaron posición de la tabla de agua. Desarrolla una morfología evidente de Terraza de pie de ladera (Terraza alta) que se pierde hacia el límite sur del área de estudio.

Depósito Coluvial (Qco)

Son las masas depositadas por antiguos movimientos de remoción en masa (deslizamientos) e involucran suelos residuales traslocados. Contrario a su alto contenido de humedad se clasifica como depósito coluvial y no como flujos de tierra, pues la masa movida está muy cerca de su posición de origen y se conocen claramente los límites entre los cuerpos estabilizados. Están constituidos por suelos limosos, de color marrón, y arcillas color crema a marrón, de plasticidad media a alta, consistencia media a alta, y espesor aproximado de 2 m. (sondeo No. 8). Afloran en la ladera sur, sobre la calle 36 B sur, frente a la carrera 11A; y más hacia el occidente, entre las carreras 11B y 12. Posee una extensión considerable con longitudes entre 70 y 90 metros y anchos de 20 y 25 metros, respectivamente.

Relleno (Qr)

Bajo esta designación se conjugan cortes, remociones de tierra, suelo y roca realizados por los habitantes para mejorar sus viviendas. Está constituido por materiales y fragmentos de construcción, escombros, ladrillos, rocas trituradas, cascajos, etc. y en menor proporción basuras, embebidos en limos arenosos arcillosos, de plasticidad baja, consistencia media, con raíces. Cubre la zona del parqueadero (de forma triangular), ubicado entre la diagonal 36 sur, calle 36 sur y la carrera 11A, y su espesor casi constante es de 0.50 m. (véanse el apique 1 y el sondeo 6, del anexo C-1).

Relleno mixto (Qm)

Se refiere a un relleno antrópico en el que se mezcla suelo orgánico, escombros, basuras, fragmentos líticos, suelos arenos limosos, de textura terrosa, raíces y restos de vegetales, escombros, y desechos de construcción (tamaño grava fina a guijos). Es de humedad media, plasticidad nula, grado de compactación media a alta. En la base es matriz soportado, y contiene fragmentos líticos, escombros (tamaño grava fina a guijos), restos de raíces, embebidos en arenas de color crema.

Ocupa una franja alargada de 200 m. de longitud por 40 m. de ancho, en el parque central, que discurre perimetralmente a la diagonal 36 (entre las manzanas 5, 6, 7 y 8) y un estrecho parche en el parque de la pista de patinaje, en la carrera 10 D con calle 36 A sur.

3.2.2.2 Geología Estructural

La Sabana de Bogotá representa un marco estructural particular dentro de la Cordillera Oriental, gracias a la existencia de una potente cubierta sedimentaria infrayacida por un basamento rígido. El resultado de esta

interacción son pliegues con ejes principalmente orientados en sentido Norte-Sur, y fallas longitudinales y transversales a los ejes de los pliegues.

El área de estudio es una zona tectónicamente poco compleja, conformada por rocas de edad Terciaria afectada por tres patrones estructurales, el primero una falla de rumbo dextral, y un lineamiento fotogeológico con dirección NE; el segundo, un lineamiento fotogeológico con rumbo NW; y el tercero un lineamiento de dirección N-S, que incide en el barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier, y que controla la orientación de los estratos de areniscas en la ladera sur, y que describe una familia de diaclasas con dirección similar a su rumbo.

A continuación se describe el conjunto de los elementos estructurales con incidencia en el comportamiento de las laderas en las que se asienta el barrio Pijaos.

Lineamientos de Falla

Tiene un azimut de 008°, y parece controlar la polaridad de los estratos de las areniscas cuarzosas de Regadera. No se encontraron evidencias suficientes para catalogarla como falla.

Discontinuidades

Son los elementos estructurales más abundantes, se trata de superficies de fractura donde el movimiento es imperceptible; Se generan a partir de los esfuerzos deformacionales de la corteza terrestre, y ejercen control mecánico en las principales exposiciones del macizo rocoso. Están compuestas por cuatro familias principales: la estatificación y tres diaclasas. La Primera E₁, posee como intervalo de dominio: [290/55 – 310/37]; es rugosa, persistente, abierta, con relleno ferruginoso y seca; y las segundas cuentan con orientaciones promedio 87/62, si se trata de D₂; 164/55 para D₃; y 240/86 en lo que atañe a D₄. son planas, abiertas, de poca persistencia, en algunos sectores oxidadas, con rellenos arcillosos ferruginosos y arenosos - ferruginosos. El Anexo B.3 condensa el conjunto de datos estructurales levantados, divididos por estaciones y la ubicación geográfica de estas últimas

3.2.3 GEOMORFOLOGÍA

3.2.3.1 Geomorfología Regional

El área de trabajo está ubicada sobre la vertiente Oeste de la Cordillera Oriental, cuyo levantamiento definitivo se inició hace unos 4 m.a., y generó un relieve imponente, afectado en la Era Cuaternaria por cambios climáticos acentuados, que dieron lugar a fenómenos erosivos y de remoción en masa de gran escala. Así, las cosas, las geoformas actuales están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo Estructural, Denudativo y Acumulativo. Son el producto de la compleja evolución tectónica ocurrida durante el Terciario, de los procesos de erosión y de los movimientos de remoción en masa, más recientes.

Las geoformas de ambiente estructural, denudativo, y estructural/denudativo esculpen bien pendientes estructurales muy conspicuas, como es el caso de los cerros de Doña Juana, que reflejan la resistencia de las capas de arenisca de la Formación Regadera, y sobre las que tiene lugar el desarrollo de otras unidades de tipo denudativo; o bien contrapendientes, las cuales se muestran bastante erosionadas y en las que es notoria la influencia tectónica y antrópica.

Desde el punto de vista regional, el área de estudio se puede dividir en dos unidades geomorfológicas (geoformas): la primera de tipo morfogenético estructural, encierra laderas de contrapendiente sobre areniscas, con gradientes superiores a 30° (alta); y la segunda, de tipo morfogenético agradacional, incluye terrazas inclinadas agradacionales sobre coluviones de sedimentos finos, rellenos y arcillolitas de pendiente

baja a media (10°-20°). El límite entre estas unidades referidas sólo textualmente, podría indicarse por un trazo paralelo y continuo sobre la calle 36 B Sur.

3.2.3.2 Geomorfología Local

La descripción y cartografía de la geomorfológica local, se basa en la interpretación de fotografías aéreas y en los trabajos de campo.

3.2.3.2.1 Morfología

Las principales formas del terreno son las expresiones dinámicas del relieve, edificado por fuerzas endógenas de la tierra, que han actuado a través del tiempo geológico, y modelado por agentes externos, especialmente de tipo climático y antrópico, manifiestos en la denudación de las laderas iniciales y en la modelación de nuevas geoformas de tipo denudativo y de agradación antrópica.

De acuerdo con los criterios de jerarquización y clasificación geomorfológica, el área de estudio presenta los relieves o modelados que se relacionan a continuación con sus respectivas geoformas o unidades geomorfológicas (véase Plano 5. Geomorfología y procesos).

3.2.3.2.2 Clasificación de Unidades Geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas demarcaron de acuerdo con sus rasgos genéticos y su litología. Actualmente el relieve evidencia los efectos tectónicos que ha sufrido parte de la corteza terrestre a través del tiempo geológico y la acción del clima que lo ha degradado y ha dado lugar a un modelado denudativo natural y a la generación de formas agradacionales tanto por procesos naturales como por actividades antrópicas.

Los factores inherentes que se tuvieron en cuenta para seleccionar, clasificar y definir las unidades geomorfológicas fueron: la litología, la morfometría (pendientes) según van Zuidam (1985), la geología estructural, los procesos morfogenéticos y morfodinámicos (agradación y denudación), el drenaje y la morfología (véase Tabla 3. 2). De la convolución de estos elementos se obtuvieron como grandes unidades de relieve las siguientes:

Modelado Estructural

Se relaciona con los rasgos morfológicos de las estructuras geológicas presentes regionalmente (fallas, pliegues y lineamientos fotogeológicos). La más importante manifestación en el barrio Pijaos es la contrapendiente estructural que conforman los estratos de arenisca de la Formación Regadera; tiene como principal subunidad:

- Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta (Le-a)

Es el resultado de la acción del fallamiento ó plegamiento sobre las areniscas de la Formación regadera, su morfología desarrollada en la contrapendiente estructural es de tipo escarpada y recia con pendientes superiores a los 20° y hasta los 55° (alta a muy alta), y sigue el rumbo de los estratos de areniscas. Los taludes muestran un perfil de meteorización parcial, en donde solo tienen lugar tres horizontes (según Deere y Patton, 1971), IA (capa orgánica) y la IB (suelo residual), y el horizonte III (areniscas). Los horizontes IIA y IIB no tienen desarrollo, su permeabilidad es buena y es punto de recarga para las aguas subsuperficiales. La dirección probablemente de flujo es NE. Está retrabajada por erosión en surcos, la que a su vez es causada por el vertimiento de las aguas servidas y lluvias.

Modelado Denudacional

Conjuga el trabajo progresivo de las estructuras geológicas y de los procesos denudativos sobre los materiales involucrados directamente. En este relieve se identificaron como las principales subunidades geomorfológicas (geoformas), las siguientes:

- Ladera inclinada en suelos residuales arenosos (Li-sr)

Exhibe geoformas con pendientes altas (16-35°), originadas por la meteorización y erosión en las areniscas arcillosas y lodosas de la Formación Regadera y en las que la acción del agua de escorrentía y la gravedad juegan un papel importante. Los materiales pertenecen a los horizontes IB (suelo residual), y IC del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971). (véase Plano 5). Probablemente haya causas estructurales (como evidencia la traza del lineamiento fotogeológico) que incrementaron la alteración de estas rocas. Se localiza sobre la ladera sur entre los dos principales cuerpos coluviales y al frente de la manzana 12. Esta ladera sirve como fuente de recarga y los flujos de agua subsuperficiales corren hacia el NNE.

- Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos (Lpb-sr)

Si bien su origen es similar a su antecesora; se diferencia de ella en la pendiente, pues ésta es uniforme y media alta (8-16°), y fue originada tanto por el desgaste de los materiales rocosos por los procesos de meteorización como por el modelado de los fenómenos erosionales, en los cuales la acción del agua de escorrentía y subsuperficial han jugado un papel importante. Contiene un amplio sector del barrio entre la carrera 10C y la carrera 11A, justo en el dominio de los suelos residuales. Involucra, basados en los sondeos 4 y 5, suelos residuales (Horizonte IB del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971) y roca completamente meteorizada. (Horizonte IC, opcit). Los flujos de agua subsuperficial corren hacia el NE y N. No se observaron procesos activos, ni potenciales sobre esta unidad.

- Ladera de pendiente muy baja en arcillolitas (Lpmb-ar)

Este paisaje de pendiente muy baja (0°- 2°) a baja (2°- 4°), ocupa todo el cinturón de la calle 36 sur. Esta constituido por arcillolitas de la Formación Bogotá. Posee la altimetría más baja de esta porción del barrio Pijaos (cota de 2610 m.s.n.m. o menor) y su morfología es casi plana, su diferencia geomorfológica es muy notoria y contrasta con las alledañas. En ella no se aprecian problemas de inestabilidad ni de erosión, gracias a su gran cobertura urbana.

Modelado Agradacional

Es el relieve originado por la erosión y acumulación natural o artificial, de limos rojos, escombros y desechos de construcción (rellenos); hacen parte de el:

- Ladera inclinada en limos rojos (Li-lr)

Está conformada por la depositación de limos, cenizas y fragmentos de roca. Su pendiente es alta (16° a 35°) y se localiza en el sector suroccidental del barrio, entre el piedemonte y la calle 36B Sur. Estructuralmente está afectada por la traza de un lineamiento fotogeológico. Está retrabajado exclusivamente por procesos de erosión en surcos, espacialmente circunscritos en la ladera superior de la urbanización San Carlos, limite suroccidental del área en investigación.

- Ladera de pendiente baja en limos rojos (Lpb-lr)

Aunque su origen y composición es similar a la anterior, se diferencia de su antecesora en la baja pendiente (4° a 16°). Entalla el cuadrángulo descrito entre la calle 36 B Sur y la calle 36 A Sur y la carrera 12 BIS y la carrera 11A. Por su composición piroclástica y su origen volcánico sedimentario poseen buena permeabilidad.

Su estructura colapsable y expansiva hace de esta unidad el espacio predilecto para la gestación de asentamientos diferenciales y por ende de daños en las estructuras. Los deslizamientos activos, o potenciales están ausentes; sin embargo los flujos de agua subsuperficial y que corren hacia el NE pueden producir flujos lentos del suelo. Estructuralmente está afectada por la traza de un lineamiento fotogeológico.

- Terraza agradacional en relleno de pendiente baja (Tea-r)

Es una unidad antropogenica en la que los rellenos heterogéneos son fuente principal. Presenta pendientes bajas (4° a 8°), algo irregulares, con formas subhorizontales. Es el espacio en el que descansa buena parte de las manzanas 5,6 y 7 y el paradero (véase Plano 5); en donde tiene lugar el más importante proceso de inestabilidad (DCPI-003, anexo B.2). La disposición estructural y el papel de las discontinuidades son irrelevantes en la generación de los fenómenos de remoción en masa.

- Talud agradacional en relleno de pendiente baja (Ta-r)

Entalla la periferia a la carrera 11A y a la calle 36 Sur. Es una subunidad agradacional con inclinaciones mayores a 45°, conformada en su estructura y composición por rellenos heterogéneos y retrabajada por aguas de escorrentía y vertidas.

Modelado por procesos de remoción en masa

Estas geoformas provienen del transporte y acumulación de material generado por antiguos movimientos de remoción en masa. Los deslizamientos poseen una extensión considerable de 70 a 90 m. de longitud y de 20 a 25 m. de ancho. Afloran en la ladera sur, sobre la calle 36 B sur, el primero frente a la carrera 11A y el segundo más hacia el occidente, entre las carreras 11B y 12. La morfología de estos depósitos es lobulada y cóncava, y hoy día sólo le sobrevive la erosión en surcos como proceso modelador.

La tabla 3.2. condensa las unidades geomorfológicas descritas atrás, sus características morfológicas, morfogenéticas, líticas y los procesos morfodinámicos que tienen lugar en cada una de ellas.

3.2.3.2.3 Procesos Morfodinámicos

Geomorfológicamente, las unidades de terreno dependen tanto de factores endógenos (constructores de corteza) como de factores exógenos (destructores de relieve). Como resultado de esta contraposición de fuerzas naturales pueden registrarse una serie de geoformas diferentes, de acuerdo a su génesis, dimensión y distribución.

Las fuerzas endógenas originan las montañas a partir de petrogénesis y tectónica, mientras que las fuerzas exógenas, es decir, los agentes geomorfológicos son los responsables de los procesos erosivos y de los fenómenos de remoción en masa, los cuales afectan la superficie terrestre, degradándola o construyendo nuevos paisajes.

La identificación de las unidades geomorfológicas presentes en un área de trabajo contribuye al entendimiento de los procesos de degradación del terreno en general. Cada unidad presenta rasgos morfológicos particulares dependiendo entre otros, de los procesos morfodinámicos que en ella se desarrollen. Estos rasgos permiten la identificación de cada unidad.

Meteorización

Es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de las unidades de roca. El principal factor de meteorización es de tipo hídrico, en la que el lavado de ciertos

minerales y la concentración de otros llevan al cambio de la roca original a suelos residuales. Los mejores ejemplos del desarrollo de perfiles de meteorización se evidencian sobre el escarpe de la calle 36 B sur.

Procesos de Erosión

Se definen como el grupo de eventos por medio de los cuales el material rocoso o los suelos son desprendidos y removidos con influencia de agentes externos a lo largo de un eje lineal. Esto incluye el movimiento de partículas que arrancadas por el impacto de las gotas de lluvia son transportadas en un flujo superficial. Dentro de este grupo se tienen:

El escurrimiento superficial: Sucede cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, generándose un excedente de agua en superficie que corre ladera abajo siguiendo la máxima pendiente.

- *La erosión concentrada.* Ocurre toda vez que los flujos difusos se concentran a lo largo de canales con mayor capacidad de arrastre, y forman cárcavas, caracterizadas por su diversidad para delinear cortes transversales en formas de "V" y otros con ángulo recto entre base y paredes, estos procesos son muy frecuentes en las litologías arenosas y arcillosas predominantemente. En el área de estudio se aprecia principalmente sobre el escarpe de la calle 36 B sur.

Procesos de Remoción en Masa

Los procesos de remoción en masa son locales y puntuales se relacionan con factores antrópicos como: vertimientos, cortes, rellenos y adecuación de vías y viviendas. Los movimientos son esencialmente deslizamientos traslacionales, potenciales incipientes estabilizados, en los que los materiales fallados son: rellenos (Qr) – DTPI-001 y DTPI-002 –; Suelos residuales DTE-004, DTE-005; e intercalaciones de unos y otros de ellos (DCPI-003). De ellos el de mayor trascendencia es el DCPI-003 pues involucra cerca de 10 viviendas, 6 en la manzana 7, 3 en la cinco (5) y una en la seis (6), y por ende una buena porción de la zona homogénea Tea-r. Si bien el cuerpo del fenómeno no es de fácil visualización, se estima que la longitud de la masa deslizada es de 60 m, su ancho medio de 40 m, y que su profundidad alcanza los 3 m. La baja pendiente topográfica (<25°), la disposición estructural del macizo (pues es una contrapendiente estructural). Y la secuencia estratigráfica hace suponer que se trata bien de un proceso de falla progresiva o bien de una falla por reblandecimiento, donde la saturación de los materiales parece ser la constante. Los deslizamientos DTPI-001, propio de la zona homogénea Li-sr, y DTPI-002, inmerso en Ta-r, son locales con anchos de 20 m y 15 m, respectivamente; y longitudes en ningún caso superiores a 10 m (véanse fichas DTPI-001 y DTPI-002 del Anexo B-2). Las lluvias y los vertimientos son sus principales agentes contribuyentes; no obstante, la sobrecarga de material en el movimiento de la diagonal 36 sur (DTPI-002) adquiere un papel relevante. Sin embargo, las similitudes de los citados fenómenos no sólo residen en su morfología, tipo de movimiento y mecanismo de falla, también recaen en sus consecuencias. Las masas involucradas pueden causar pérdidas parciales en las viviendas contiguas; los daños en ellas se verían en muros y acabados.

Finalmente, los cuerpos DTI-004 y DTI-005 (zona homogénea Dea-s) son estables y carecen de incidencia en la infraestructura (viviendas, vías, redes, etc) del barrio. Su configuración geométrica fue abstraída del plan del IGAC (1980) escala 1:2000. Los dos poseen longitudes de hasta 65 m, con profundidades estimadas de hasta 2 m, y fueron detonados por las altas precipitaciones. Se desconoce su edad pero se cree por el contraste entre las cartografías que datan de los años 70's. (véase el Anexo B-2 y el Plano 5. Geomorfología y procesos). Las características, propiedades, factores intrínsecos y extrínsecos de cada uno de los fenómenos descritos se condensan en el anexo B.2., en donde para cada proceso se levantó una ficha descriptiva.

3.2.4 HIDROGEOLOGÍA

El componente hidrogeológico relaciona la geología, la hidráulica del agua subterránea, las fuentes y áreas de recarga, y el tipo de agua saturante del subsuelo. Como se describió en el numeral 3.2.2, las laderas vertientes se encuentran constituidas por areniscas con intercalación de arcillolitas de la Formación Regadera, depósitos de Terraza Alta, limos rojos – Qlr – depósitos de sedimentos finos – Qco – (acumulados por deslizamientos antiguos) y materiales no consolidados que conforman rellenos antrópicos.

Las areniscas de la Formación Regadera, definida como un acuitardo discontinuo de extensión regional, asociado a rocas arcillosas con algunas intercalaciones de arenas (DAMA 2000), conforman una ladera escarpada, con buzamientos generalizados hacia el noroccidente. Forman un acuífero semiconfinado, con permeabilidad primaria en los miembros superiores (suelos residuales a partir de las areniscas lodosas suprayacidas por los limos rojos e infrayacidas por arcillolitas), en el que las arcillolitas actúan como una unidad confinante; y sus parámetros geohidráulicos (según el Modelo Hidrogeológico para los Acuíferos de Bogotá D.C., DAMA, 2000) válidos también para el nivel superior de la Formación Bogotá son: conductividad hidráulica equivalente (Km/d) de 0.08+ y coeficiente de almacenamiento de $1.0 \cdot 10^{-6}+$.

Los depósitos de limos rojos (Qlr) actúan de dos formas: ó sirven de barrera confinante (por su diferencia en permeabilidad) para el agua subsuperficial que transportan los horizontes infrayacentes (suelos residuales y areniscas alteradas) ó por su buena permeabilidad, facilitan la infiltración y por ende la formación de una tabla de agua superficial. Los sedimentos finos actúan como barrera impermeable para el agua freática que transportan los suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera. Y por último los rellenos antrópicos no constituyen acuíferos por su delgado espesor y su carácter litológico, principalmente arcilloso.

En consideración con lo anterior, y dada la alta pendiente de la ladera suroccidental, y la permeabilidad y la transmisividad de las areniscas residuales que es mayor que sus estratos supra e infrayacentes, se establece que la infiltración es alta. Sin embargo, como morfológicamente el área de estudio esta ubicada en una zona elevada, 50 metros arriba del nivel base del Río Tunjuelito, y posee una área pequeña de recarga y una alta variabilidad topográfica, el agua lluvia fluye rápidamente por las laderas del sector, y se infiltra principalmente en los segmentos más superficiales del terreno.

El nivel freático deducido de los sondeos geoelectricos reposa a una profundidad de 10 m. pero el flujo es intermitente y variable en la vertical, la tabla de agua en el extremo suroriental se dispone a 1.0 metro de profundidad o en superficie (véanse Apiques C1a C5), y la Formación Bogotá está sumergida. Está hipótesis parece corroborarse, pues tanto en el Estudio de Suelos de la Urbanización Bosques de San Carlos (AREAS Ltda., 1998), como en los sondeos manuales realizados para el presente estudio se encontró indicio alguno de agua libre; Sólo en el sondeo No. 8, ubicado sobre el costado sur del muro de la carrera 11A, se encontró un nivel de agua probablemente infiltrada a 2.60 m.

Los suelos y roca superiores, por tanto se encuentran parcialmente secos; empero el trabajo individual o conjunto de las aguas lluvias (en periodos de altas precipitación) que aporta a la recarga natural e infiltración de aguas da lugar a la saturación temporal del manto superior de los suelos; efecto de especial trascendencia en el Cuaternario cuyo espesor no supera los 3.0 metros.

Durante la etapa de investigación, época invernal, el flujo o recarga traza cursos suroeste (SW) – noreste (NE), y se aprecian salidas de agua desde el subsuelo en el pavimento de la calle 36 B, a la altura de las casas agrietadas. En épocas de escasa lluvia o verano, el flujo del agua subterránea o nivel freático cambia

de dirección hacia el suroeste, y parece tener como nivel base la capa impermeable de la Formación Bogotá.

La mayoría de habitantes de las viviendas, reportan horizontes de humedad hasta de 0.80 m. de altura en las paredes de sus casas y algunos comentan la ocurrencia de manifestaciones de agua cuando realizan modificaciones o arreglos en sus viviendas y que involucran perforaciones del subsuelo; de igual manera destacan las manifestaciones de agua en los cortes durante el proceso de construcción de la Urbanización Bosques de San Carlos.

Así las cosas, y en conclusión la conjugación de los resultados de la investigación geoelectrónica, de la información hidrogeológica y piezométrica secundaria (DAMA, 2002) y de las consideraciones técnicas antes expuestas, se infiere que el nivel del agua subterránea es variable, y su condición externa implica la saturación completa de los depósitos y de los suelos residuales de regadera.

CONCLUSIONES

1. La geología del barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier no es homogénea en composición; en la franja occidental la secuencia estratigráfica la configuran un horizonte de limos rojos y las intercalaciones de areniscas y arcillolitas de la Formación Regadera, y en el borde oriental es habitual la presencia de rellenos antrópicos, suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera.
2. Aunque el nivel freático no se encontró en los sondeos manuales, pero por interpretación de los sondeos geofísicos se deduce que éste está a una profundidad de 10 m. Sin embargo, su comportamiento es variable y puede alcanzar la superficie. Lo anterior se corrobora con el inventario de viviendas en donde se evidencia humedad en las paredes.
3. Los procesos de remoción en masa son de tipo local y puntual; están relacionados con factores antrópicos como: vertimientos, cortes, rellenos y adecuación de vías y viviendas. Los movimientos son esencialmente deslizamientos traslacionales, potenciales incipientes o estabilizados en los que los materiales fallados son: rellenos (Qr) – DTPI-001 y DTPI-002 –; suelos residuales DTE-004, DTE-005; e intercalaciones de unos y otros (DCPI-003).
4. El proceso de mayor trascendencia es el denominado, DCPI-003, - limitado al norte por la Diagonal 36, por la calle 36 B sur, y entre la carrera 11 A al occidente y la Carrera 10 F al oriente – involucra cerca de .10 viviendas; 6 en la manzana 7, 3 en la cinco (5) y una en la seis (6), en el cual la baja pendiente topográfica (<25°), la disposición estructural del macizo (es una contrapendiente estructural). y la secuencia estratigráfica hacen suponer que se trata bien de un proceso de falla progresiva o bien de una falla por reblandecimiento, donde la saturación de los materiales parece ser el condicionante de la activación o no, del proceso.
5. Los depósitos de limos rojos (Qlr) hidrogeológicamente pueden actuar de dos formas: la primera es servir de barrera confinante (por su diferencia en permeabilidad) para el agua subsuperficial que es transportada a través de los horizontes infrayacentes (suelos residuales y areniscas alteradas) y la segunda, por su buena permeabilidad, de ellas la primera parece ser la hipótesis más certera. Así mismo, los depósitos de sedimentos finos acumulados por antiguos deslizamientos pueden actuar como barrera impermeable para el agua freática que es transportada en los suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AREAS LTDA & EDGAR GOMEZ LUCENA & ASOCIADOS LTDA. Estudio de Suelos Bosques del Country Sur, Superlotes R1 y R2, Carrera 12 Bis – Calle 38 Sur. Caja de Vivienda Popular

BERNARDO MORA D. Estudio de Suelos Conjunto Residencial " Las Lomas " Zona IV, Manzana No. 40. Curaduría Urbana No. 5. 1995.

D.A.M.A. DEPARTAMENTO TECNICO ADMINISTRATIVO MEDIO AMBIENTE. Modelo Hidrogeológico para los acuíferos de Bogotá D.C. Julio 2002.

GUTIERREZ & COLEGIAL. 1987. Geología y aspectos geotécnicos de la parte central del sector denominado "Ciudad Bolívar" en el Distrito Especial de Bogotá. Trabajo de Grado. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia.

HERNANDEZ BORDA, P. 2001. Principios básicos de geomorfología, unidades geomorfológicas, su cartografía para fines geotécnicos. Universidad Nacional de Colombia. Unidad Académica de Geotecnia.

INGEOMINAS (1997) Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C.

INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. 1998. Zonificación de riesgos por inestabilidades del terreno para diferentes localidades de Bogotá.

JULIVERT, m. 1961. Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Boletín de Geología No. 7:5-36, Bucaramanga.

VAN DER HAMEN, T. 1995. Memoria Explicativa de los Mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá. Revista Análisis geográficos No. 24. IGAC. Bogotá.

VAN ZUIDAM, R. 1985. Aerial photo interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.

Tabla 3.2 Unidades Geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
Unidad geomorfológica	Símbolo	Morfología	Morfogenética	Litología	Infiltración de agua	Procesos Morfodinámicos
Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta	Le-a	Ladera	Agradacional	areniscas		Erosión en surcos
Deslizamiento antiguo en suelos mixtos (orgánicos y residuales)-estabilizado	Dea-s	Depresión cóncava	Remoción en masa	Suelos mixtos – orgánicos y residuales	Alta humedad	Deslizamiento antiguo y reptación Deslizamiento traslacional estabilizado DTE-004 y DTE-005
Ladera inclinada en suelos residuales arenosos	Li-sr	Ladera	Agradacional y denudativa	Suelos residuales arenosos	Alta humedad	
Ladera inclinada en limos rojos	Li-lr	Ladera	Agradacional	Limos rojos con cenizas y clastos embebidos	Alta humedad	Deslizamiento traslacional potencial e incipiente DTPI-001 Carcavamiento fuera del área de estudio
Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos	Lpb-sr	Ladera	Agradacional y denudativa	Suelos residuales arenosos	Alta humedad	
Ladera de pendiente baja en limos rojos	Lpb-lr	Ladera	Agradacional	Limos rojos con cenizas y clastos embebidos	Alta humedad	
Ladera de pendiente muy baja en arcillolitas	Lpmb-ar	Ladera	Agradacional y denudativa	Arcillolitas		
Terraza agradacional en relleno de pendiente baja	Tea-r	Terraza	Agradacional antrópico	Rellenos antrópicos		Deslizamiento compuesto potencial e incipiente DCPI-003
Talud agradacional en relleno de pendiente baja	Ta-r	Talud	Agradacional antrópico	Rellenos antrópicos		Deslizamiento traslacional potencial e incipiente DTPI-002

CAPITULO 4.0

ESTUDIO GEOTÉCNICO

En este capítulo se muestran los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, existentes en los barrios objeto de estudio. Todas las actividades se retroalimentaron para obtener un modelo geotécnico representativo del subsuelo del lugar útil para la evaluación de estabilidad.

4.1. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

4.1.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A partir de los primeros trabajos de geología, se requirió resolver cuatro cuestionamientos básicos: los contactos litológicos, los espesores y tipos de material de los depósitos cuaternarios, la posición e influencia del agua subterránea en el comportamiento de la ladera y la divergencia en el patrón de respuesta de las franjas oriental y occidental. Una vez evaluadas las bondades, la relación beneficio-costos y las limitaciones de los diferentes métodos de exploración, se concluyó para el programa de exploración inicial que con respecto a la identificación de los contactos, la mejor alternativa consistía en trincheras exploratorias.

Los sondeos mecánicos fueron descartados como método exploratorio porque en zonas de contrapendiente estructural en cuyo espacio tiene lugar también el contacto entre dos Formaciones, por una parte, requerirían grandes profundidades para atravesar los diferentes estratos rocosos y por otra, son difícilmente correlacionables. Igual suerte corrió la refracción sísmica que si bien arrojaría información valiosa acerca de los espesores rocosos, presenta limitaciones impuestas por las actuales condiciones de seguridad del país y por la ausencia de sondeos mecánicos profundos para correlacionar la información. Para la investigación sobre los cuaternarios, se optó por barrenos de muestreo continuo con SPT hasta alcanzar el nivel de roca u horizontes de mayor resistencia.

La estratigrafía identificada y los resultados de los ensayos in situ del programa inicial, permitieron la definición de un plan complementario de exploración, ahora también con la participación de los métodos indirectos. El segundo programa consistió en la ejecución de sondeos manuales, y geofísicos. Simultáneamente se realizó buen número de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas e inalteradas para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, especialmente de los rellenos antrópicos y de los limos rojos de la Formación Sabana. Adicionalmente se tomaron datos estructurales representativos de las familias de discontinuidades en las exposiciones del macizo rocoso -en el escarpe aldeaño al sur y suroccidente-; éstos incluyeron entre otros tópicos, información sobre las tendencias generales de orientación: rumbo y buzamiento y sus características físicas como abertura, espaciamiento, rugosidad, persistencia, etc.

La síntesis del conjunto de información se consolidó en resúmenes gráficos que facilitaron la caracterización, por zona geotécnica, de los materiales y su comprensión mediante secciones de análisis geológico-geotécnicas

4.1.2. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

El programa de investigación del subsuelo se definió con base en las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscaron la mayor calidad en la información y el menor deterioro ambiental de las laderas. Cabe destacar dentro de las limitaciones que un gran porcentaje del área la constituyen espacios duros: vías pavimentadas, andenes, peatonales, viviendas, etc., que obstaculizan y limitan la exploración y por ende, investigación geotécnica: por ejemplo reducen la longitud y la profundidad de la investigación geoelectrica y de las calicatas. El panorama descrito reveló la necesidad de conjugar los métodos directos como sondeos, trincheras y apiques con los indirectos.

La exploración se abordó en tres etapas: la primera de ellas se dirigió al análisis y evaluación de las masas probables de inestabilidad (i.e. deslizamientos locales), deducidas de los daños en viviendas aledañas; y a la caracterización de los depósitos cuaternarios. Tuvo como prioridad la ejecución de seis (6) sondeos manuales con profundidades entre 3 y 4 metros, así como el conjunto completo de trincheras y apiques. Estos tuvieron como objetivos: dilucidar los principales patrones geométricos de los depósitos recientes (espesor y variación), en especial de la interfase depósito-roca; definir el estado y composición de los materiales del subsuelo involucrados, especialmente del cuaternario; inferir la probable posición de las superficies de deslizamiento y obtener muestras.

La segunda fase pretendió definir los contactos litológicos superiores, en especial la continuidad lateral y longitudinal de éstos horizontes, deducir flujos locales de agua que pudieran incidir en la actividad de los deslizamientos, e inferir la presencia de una falla que se presumía corría paralela a la Calle 36. Esta fue solventada con la utilización de métodos geofísicos: Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y Sondeos Wenner.

La tercera por su parte, procuró conocer la cobertura de los suelos de origen volcánico (Qlr), dado que ellos condicionan la respuesta estructural de las edificaciones y son las responsables de los daños en algunas de ellas (especialmente en la manzana 11). Consistió en el refuerzo (en número) de las perforaciones en la franja occidental. Esta fase fue el resultado de las divergencias en la secuencia estratigráfica (entre oriente y occidente) manifiestas a partir de las etapas precedentes, que indicaron la existencia local de éste material.

Durante estos trabajos se describieron los materiales encontrados; en cada caso se consignaron: tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, contenido de humedad, presencia de oxidaciones y fisuras; meteorización y compacidad o consistencia. Además se realizaron pruebas in-situ de penetración estándar SPT. Finalmente, el programa de ensayos de laboratorio se enfocó hacia la investigación de los ambientes geotécnicos que involucran los problemas de estabilidad; es decir a la caracterización del material rocoso y del depósito superior, y a la estimación de sus resistencias al corte (con pruebas de corte directo). Todas las muestras se identificaron visualmente en campo, se etiquetaron o almacenaron de acuerdo con las normas de la ASTM, para ser enviadas al laboratorio.

4.1.2.1. Métodos directos

Se efectuaron 11 perforaciones dispuestas a lo largo de tres ejes principales en la probable dirección de movilización de las laderas, y en las que la ubicación de los barrenos persiguió la deducción del modelo espacial mediante su alineamiento en secciones específicas para el posterior análisis geotécnico. El primero de los lineamientos cubrió los predios afectados entre la Calle 36B sur y la Calle 36 sur – a lo largo de la Carrera 11 (sondeos 4, 5 y 6)–, los dos restantes se destinaron al sector de mayor actividad y de probable interdigitación

de las formaciones Regadera y Bogotá. De ellos se obtuvieron muestras inalteradas que condujeran hacia la caracterización de los materiales involucrados en los procesos de inestabilidad y se complementaron con pruebas de campo como SPT (destinado para los llenos heterogéneos y los limos rojos). Adicionalmente se efectuaron 2 trincheras y 4 apiques que contribuyeron a la clarificación de los contactos litológicos entre las diferentes unidades.

Así las cosas, las tres etapas de exploración dejaron entrever que la secuencia estratigráfica es normal, heterogénea y continua, y con disposiciones multicapa configuradas por dos secuencias predominantes de sedimentación: la primera de ellas presente al occidente del sector, está conformada por limos rojos (Qlr) que suprayacen a las areniscas de la Regadera (S10 y S11), o a los suelos residuales de ésta última (S9). La segunda existente en la parte oriental ponen de arriba hacia abajo: rellenos o depósitos mixtos, suelos residuales y areniscas de Regadera (S5, S6 y S7). Nótese que la profundidad de los sondeos indica que la roca es casi superficial, entre 0.75 m y 3.50 m (S5, S6, S7 y S10), y que el espesor del cuaternario es inferior a 2.60 metros. Los limos rojos describen mantos que oscilan entre 0.40 (S1) y 0.85 (S11), pero con tendencia a crecer hacia el noreste; los rellenos exhiben una cubierta casi constante de 0.50 m (S6) y los depósitos mixtos tienen por espesor máximo 2.10 (S3).

En ninguno de los sondeos se detectó el nivel freático, lo cual indica bien una posición relativamente profunda de la tabla de agua (>6 m) o bien una gran variación estacional, empero que puede saturar la totalidad de los horizontes de suelos; ambas observaciones son consistentes con los resultados de la geofísica que indica que la tabla de agua se localiza a profundidades cercanas a los 10 m en el sur, y en el contacto Regadera – Bogotá, a cerca de 1.0 metro en el costado norte. Así mismo, no delató horizontes blandos en los sondeos 4, 5 y 6 que facilitarían la deducción de una probable superficie de despegue.

En el **Plano 3** se muestra la distribución en planta de las trincheras, los sondeos, los apiques y los afloramientos superpuesta a la geología de superficie y, en el **Anexo C1** se disponen los registros obtenidos representados en forma gráfica. De igual forma, en la **Tabla 4.1** se referencian las coordenadas, cotas y profundidades de los sondeos directos, en la **Tabla 4.2** se describen los niveles estratigráficos identificados, y en la **Tabla 4.3** las profundidades a las que se encontraron los niveles para los diferentes sondeos.

Tabla 4. 1 Localización de los puntos de exploración directa del subsuelo

Punto de exploración	Coordenadas		Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
	Norte (m)	Este (m)		
Perforación 1	996807	996774	2.75	No Encontrado
Perforación 2	996806	996768	2.00	
Perforación 3	996810	996766	4.05	
Perforación 4	996807	996774	2.75	
Perforación 5	996741	996815	3.00	
Perforación 6	996780	996853	4.65	
Perforación 7	996745	996837	3.80	
Perforación 8	996727	996807	2.45	
Perforación 9	996826	996820	3.45	
Perforación 10	996802	996884	1.85	
Perforación 11	996872	996754	1.60	

Punto de exploración	Coordenadas		Profundidad (m)	Nivel Freático (m)
	Norte (m)	Este (m)		
Trinchera 1	996729	996779	4.50	
Trinchera 2	996785	996762	3.80	
Apique 1	996777	996892	1.00	
Apique 2	996728	996773	1.00	
Apique 3	996779	996765	1.50	
Apique 4	996799	996754	1.20	

Tabla 4. 2 Descripción de los niveles estratigráficos

NIVEL	SIMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCION
1	Qr	Relleno	Relleno antrópico limoarenoso, con fragmentos de construcción, plasticidad baja, compactación media, matriz arcillosa y raíces.
2	Qm	Relleno Mixto	Mezclas de suelos orgánicos y rellenos antrópicos compuesto por escombros, basuras, fragmentos líticos, estructura terrosa, matriz arenosa, con raíces y restos vegetales, grado de compactación media, color marrón gris a negro.
3	Qco	Depósito Coluvial	Suelo limoso color marrón, matriz arcillosa de coloración crema a marrón, de plasticidad media a alta y consistencia media a alta
4	Qlr	Limos Rojos	Limos de consistencia media a alta, plasticidad media a alta, con fragmentos y gravas de líticos esporádicos.
5	Teri-sr	Suelos Residuales de la Formación Regadera –	De composición areno arcillosa, bastante oxidados, friables, grado de compactación media, plasticidad baja a nula, granos de cuarzo desde arena fina hasta grava fina, cemento ferruginoso, y trazas de caolín.
6	Teri-ss	Formación Regadera Inferior– Areniscas	Areniscas cuarzosas, friables, mal seleccionadas, de granos subredondeados a subangulares, dureza media a alta, cemento arcilloso, ferruginoso y caolinitico; con intercalaciones de bancos arcillosos.
7	Teri-cl	Formación Regadera Inferior– Arcillolitas	Arcillolitas de colores claros a abigarradas, plasticidad media a baja, compactación media y grado de alteración bajo.
8	Tpb-cl	Formación Bogotá – Arcillolitas	Arcillolitas abigarradas, violáceas-amarillas, blandas y plásticas.

Tabla 4. 3 Profundidades de niveles estratigráficos para cada punto de exploración

Sondeos	Nivel							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S1	0-1.00		No se identificó	1.00-1.45	1.45-1.80	1.80-2.75		
S2					0-0.80	0.80-1.20	1.20-2.00	
S3	0-0.60				0.60-3.10	3.10-4.05		
S4	0-1.40				1.40-1.90	1.90-2.75		
S5	0.60-1.10	0-0.60			1.10-1.70	1.70-2.10	2.10-3.00	
S6	0-2.60				2.60-3.50	3.50-3.50	3.50-4.65	

Sondeos	Nivel							
	1	2	3	4	5	6	7	8
S7		0-1.30			1.30-2.10	2.10-3.30	3.30-3.75	
S8		0-0.70			0.70-1.40		1.40-2.45	
S9	0-1.0							1.00-3.45
S10	0-0.70							0.70-1.85
S11					0-0.80			0.80-1.60
Columnas	No se identificó					1 – 4.50 2 – 3.50	No se Identificó	
Apiques	No se Identificó			1 – 1.00	2 –1.00 3 – 1.50 4 – 1.20	No se Identificó		
Trincheras	No se Identificó				T1 –4.00 T2 –2.20	No se Identificó		

4.1.2.2. Métodos indirectos

4.1.2.2.1 Generalidades

Con base en el primer plan de exploración del subsuelo y de los trabajos de geología, se consideró oportuno el empleo de métodos geoelectrónicos con el triple propósito de deducir la presencia o no de una falla inversa a lo largo de la calle 36 B Sur, obtener perfiles estratigráficos longitudinales (SE-NW) y deducir la posición relativa de la tabla de agua. En este numeral se condensan los datos de campo y los resultados de esta investigación, que sumados a la investigación geológica, servirán de soporte para las conclusiones geotécnicas del proyecto.

La Investigación Geoelectrónica se llevó a cabo mediante la ejecución en campo de los sondeos geoelectrónicos que se muestran en el **Plano 3**, así:

- Diez (10) Sondeos Geoelectrónicos (SEV) con la Configuración Schlumberger
- Once (11) sondeos con arreglo Wenner

En la práctica de campo, en cada sondeo geoelectrónico se utilizan corrientes eléctricas que se inducen en el subsuelo, por medio de dos (2) electrodos de corriente; y para la medida de campo otros dos (2) electrodos, que permiten la recepción de la onda de potencial. En cada sondeo geoelectrónico se mide la diferencia de potencial (ΔV) y la intensidad de la corriente (I), a diversas profundidades de exploración, todo en función de la configuración o arreglo de electrodos utilizado.

a) Configuración de electrodos

En la Investigación Geoelectrónica del subsuelo se pueden emplear diferentes arreglos o configuraciones de los electrodos, dependiendo del tipo de exploración o material del subsuelo a investigar. Las más comunes son las Configuraciones Schlumberger y Wenner.

- **Configuración Schlumberger:** En ésta, los dos electrodos de corriente (electrodos externos) se mueven alejándose del centro de medida o estación, hasta alcanzar cada vez una mayor profundidad de investigación; mientras que los electrodos de potencial (electrodos internos) permanecen fijos, cerca del centro de medida.

Este tipo de arreglo fue usado para la exploración en profundidad de los diferentes parámetros geoelectrónicos del subsuelo y la identificación de la secuencia estratigráfica y de la posición de la tabla de

agua. La interpretación de las medidas o sondeos geoelectricos con la Configuración Schlumberger se llevó a cabo de modo cuantitativo, gracias al empleo de un software de amplia difusión en todo el mundo.

- **Configuración Wenner:** En este método, los cuatro electrodos (dos de corriente y dos de potencial) se mueven al mismo tiempo, alejándose del centro de medida. La separación entre los electrodos de potencial (a) y de corriente (L) mantienen siempre una relación de 1:3. Con este tipo de arreglo se midieron a diferentes profundidades los valores de corrientes para definir la variación lateral y en la vertical del material del subsuelo; y de esta forma dilucidar la continuidad (longitudinal y transversal) de los depósitos cuaternarios, la presencia de un horizonte reblandecido que controle el comportamiento de las unidades geomorfológicas Lpsr, Tea-r y Ta-r, y probable posición de un alineamiento paralelo a la calle 36 B Sur. Aunque la interpretación de las medidas con la configuración Wenner es cualitativa, en esta investigación se correlacionaron los dos tipos de medidas a fin de mejorar la calidad de la investigación.

b) Cálculos de los valores de resistividad

La relación entre los parámetros medidos en el sondeo geoelectrico, intensidad de corriente (I), diferencia de potencial (ΔV), y un factor de distancia (K), permite calcular la resistividad eléctrica, llamada Resistividad Aparente, del subsuelo. La gráfica del valor de la Resistividad Aparente y la profundidad de medida, en papel logarítmico genera la llamada Curva Geoelectrica, de cuya interpretación matemática se deducen la estratigrafía del subsuelo, con el carácter litológico y el espesor o profundidad del yacimiento de cada capa alcanzada en la investigación.

De la interpretación geohidrológica de las Resistividades Verdaderas de las capas, de su espesor, y de la correlación con la geología del área se dedujeron en algunos casos parámetros relacionados con:

- La litología del subsuelo.
- El nivel freático.
- La profundidad y espesor del material yacente en el subsuelo.
- La profundidad del material suelto y de la roca cementada.

4.1.2.2. Interpretación de los sondeos geoelectricos

La interpretación matemática de los Sondeos Geoelectricos Schlumberger se realizó con la ayuda del programa de computador "Schlumberger Automatic Analysis". En el **Anexo C1** se incluyen las curvas de los sondeos geoelectricos, con su interpretación matemática y los datos medidos en campo. En la interpretación geohidrológica de los sondeos se tiene en cuenta el valor de la Resistividad Verdadera de las capas (ρ) en función de la textura del material, expresada como Factor de Formación (F). Para un medio saturado de agua, se tiene en cuenta la resistividad del agua saturante (ρ_w); mientras que en un medio no saturado, influye también el grado de saturación del material (S_w).

Tomando en consideración los parámetros establecidos para la región de la Sabana de Bogotá, a continuación se establece la interpretación geoelectrica, de los materiales presentes en el área de estudio:

- **Formación Regadera:** Encierra areniscas friables, en matriz limo arcillosa y capas delgadas de arcillolitas grisáceas o habanas. En términos geoelectricos, este material posee valores altos de resistividad: 100 ohm, para los niveles más cementados de textura gruesa, y poco saturados; mientras que para la arenisca friable y menos dura los valores de resistividad son menores: desde 45 ohm-m hasta 75 ohm-m.

- **Formación Bogotá:** Es principalmente arcilloso, con pequeñas intercalaciones de capas arenosas. De la cartografía local se establece que esta formación aflora al norte del barrio. En términos geoelectrónicos, este material exhibe valores bajos de resistividad, inferiores a 10 ohm-m, aunque sus registros más pequeños coinciden con los niveles saturados.
- **Relleno y Limos Rojos:** Si bien los valores de resistividad para estos depósitos son altos, son menores a los de la Formación Regadera. Cuando el depósito está compuesto principalmente por basuras y material granular (arenas, gravas) la resistividad oscila entre 20 ohm-m y 70 ohm-m en tanto que si es principalmente fino (limoso), varía desde 50 ohm-m hasta 70 ohm-m. Otro parámetro que influye en la resistividad es la humedad o grado de saturación del material: a mayor saturación menor es.

Con el propósito de facilitar la comprensión de este informe, se describen a continuación los dos tipos de investigación:

a.) Sondeos Schlumberger (SEV)

Los diez (10) sondeos geoelectrónicos muestran en general, un mismo tipo de curva, caracterizada por:

- Un nivel superior: con valores de resistividad alta a media, mayores a 25 ohm-m.
- Una franja intermedia: con resistividades iguales a 25 ohm-m y
- Una zona inferior: con valores de resistividad baja, menores de 10 ohm-m.

El tipo de curva geoelectrica se representa en el SEV-1 (véase **Anexo C.-1**), y su interpretación matemática se relaciona a continuación:

Tabla 4. 4 Sondeo geoelectrico SEV-1

CAPA	RESISTIVIDAD OHM-M.	PROFUNDIDAD M.	ESPESOR M.
A	100	0 - 3.0	3.0
B	45	3.0 – 10	7.0
C	25	10 – 20	10
D	7	> 20	Indeterminado

Las capas A, B y C se correlacionan con las areniscas de la Formación Regadera, pero la parte superior de la capa A se puede inferir como perteneciente al depósito coluvial. El horizonte está saturado, en su mayor espesor. La capa D es arcillosa, saturada, y parece pertenecer a las arcillolitas de la Formación Bogotá.

Los restantes sondeos geoelectrónicos poseen características similares a las del SEV-1, pero con las siguientes diferencias:

- a) En el SEV-3, las capas A y B exponen coeficientes muy altos de resistividad (mayor de 100 ohm-m.), atribuible a niveles de areniscas con mayor dureza, textura más gruesa o menor grado de saturación que en el sitio del SEV-1.
- b) Y en los sondeos geoelectrónicos SEV-2, SEV-4 y SEV-5 a SEV-9, las capas son de menor espesor a las del SEV-1, y por ende, la profundidad interpretada para las areniscas, hasta el contacto con las arcillolitas de la Formación Bogotá.

De estudios regionales realizados en la Sabana de Bogotá se interpretan valores de resistividad similares a los deducidos en este trabajo para las Formaciones Regadera y Bogotá.

b). Sondeos Wenner (W)

Los once (11) sondeos se ubicaron según las facilidades del terreno, pues en muchos sitios la parte urbanizada impedía la realización de las medidas. Los Wenner se realizaron en:

- la carrera 11A con profundidades de medida a 6, 15 y 30 metros.
- la carrera 11 con profundidades de medida a 1.5, 6, 10 y 15 metros.

En la interpretación de los sondeos se emplean parámetros de resistividad similares a los descritos para los sondeos Schlumberger.

4.1.2.2.3 Perfiles Geoeléctricos

Para la representación de las capas del subsuelo, con sus parámetros de resistividad, su espesor y profundidad, se emplean dos tipos de gráficos, relacionadas como Cortes Geoeléctricos y Calicatas Eléctricas.

a) Cortes Geoeléctricos

Son tres (3) y muestran la secuencia estratigráfica. En ellos se representa en la horizontal la distancia o ubicación de los sondeos geoeléctricos y en la vertical la interpretación deducida para cada medida geoeléctrica. (Véase **Anexo C1** – Métodos Indirectos).

- Corte Geoeléctrico A-A'

Este corte identifica el transecto de la carrera 12 Bis denominado Sector 1. La secuencia estratigráfica conjuga tres (3) horizontes, (véase **Figura C1.1** del **Anexo C1**):

El Superior: Está definido por la capa A, sus valores de resistividad varían entre 20 y 70 ohm-m. Se correlaciona con los rellenos y limos rojos. Su espesor es de pocos metros en el SEV-8 hasta unos 5 metros en el sitio del SEV-9. La capa de limos rojos, reporta valores de resistividad de 50 a 70 ohm-m. y ausencia de saturación.

El Intermedio: Conjuga las capas B y C, pertenecientes a las Areniscas de la Regadera; los valores de resistividad oscilan entre 25 y 150 ohm-m; y el nivel C (25 ohm-m) está saturado en su mayor parte.

El Inferior: Lo describe la capa D, perteneciente a la Formación Bogotá; su resistividad es de 7 ohm-m., aunque es un material impermeable parece estar totalmente saturado.

El contacto entre las Areniscas de la Regadera y las arcillolitas de la Formación Bogotá presenta una inclinación menor de 10°, hacia el suroeste (SW).

- Corte Geoelectrico B-B'

Describe la secuencia estratigráfica paralela a la carrera 11 A, o sector 2 (véase la **Figura C1.2 del Anexo C1**). Al igual que en el corte A-A', cuenta con tres (3) horizontes: el depósito Cuaternario (capa A), las Areniscas de la Regadera (capas B y C) y las arcillolitas de la Formación Bogotá (capa D). Sin embargo, de la interpretación de los SEV-4, 5 y 6 se deduce una pequeña cubierta de rellenos con espesor inferior a 2.2 metros, y que cubre a la Regadera. Finalmente, el contacto entre las areniscas de la Regadera y las arcillolitas de la Formación Bogotá, buza hacia el SW.

- Corte Geoelectrico C-C'

Este corte compila el arreglo estratigráfico a lo largo del probable eje del deslizamiento principal, y corre a lo largo de la carrera 11 – Sector 3 – (véase la **Figura C1.3 del Anexo C1**). Su interpretación es similar al corte B-B', descrito anteriormente; y junto con los otros dos perfiles permite inferir que no hay fenómeno de falla geoelectrica alguna.

b) Calicatas Eléctricas

Las Calicatas Eléctricas son representativas de los sectores 2 y 3, y de los espacios donde se efectuaron los sondeos Wenner.

- Calicata B-B'

Involucra el sector 2, a lo largo de la carrera 11ª (véase **Figura C1.4 del Anexo C1**) . En esta calicata se identifica la resistividad aparente a profundidades de 6, 10 y 15 metros, así:

- A 6 metros: Aquí los valores de resistividad son característicos de la Arenisca de la Regadera (mayor de 20 ohm-m.).
- A 10 metros: Entre el W-1 y el W-4 aparecen las Areniscas de Regadera y desde W-5, a W-7 se interpretan las arcillolitas de la Formación Bogotá.
- A 15 metros: Arriba de la calle 36 B, y en el W-1 y en el W-3, , aparecen las Areniscas de la Regadera, y hacia abajo de la calle 36 B y a 30 metros de profundidad, yacen las arcillolitas de la Formación Bogotá.

- Calicata C-C'

Contiene el sector 3, en la carrera 11, a profundidades de 1.5, 6, 10 y 15 metros (véase la **Figura C1.5 del Anexo C1**).

- A 1.5 metros: Se interceptan principalmente las Areniscas de la Regadera; empero, los valores de resistividad en W-8 y W-9 hacen suponer la presencia de los Limos Rojos y en el W-10 de arcillolitas y una fuga de agua.

- A 6 metros: La secuencia estratigráfica la dominan las Areniscas de la Regadera especialmente entre el SEV-3 (calle 36 B) y W-8 (parqueadero), y las arcillolitas de Bogotá en el SEV-2.
- A 10 metros: La interpretación es similar a la anterior, con las Areniscas de la Regadera en el subsuelo entre el SEV-3 y W-8 (parqueadero).
- A 15 metros: Se deducen las Areniscas de la Regadera solamente en el sitio del SEV-3, calle 36 B. Entre el W-4 y el SEV-2 se encuentran las arcillolitas de la Formación Bogotá a 15 m. de profundidad.

De la interpretación de las Calicatas Eléctricas no se deducen fallas geoelectricas en el subsuelo de los sectores 2 y 3, a excepción de la anomalía señalada para el sitio del W-10.

4.1.3. ENSAYOS DE CAMPO

El avance en los sondeos manuales se llevó a cabo con el ensayo de penetración estándar, SPT, el cual se consideró adecuado dado el carácter heterogéneo de los suelos encontrados y bajo la consideración que el muestreo inalterado en este tipo de suelos (principalmente arenosos) se dificulta. Así mismo, gracias a éste ensayo se consiguen concurrentemente, muestras alteradas para clasificación, y un estimativo de la resistencia del material a partir de los cuales se pueden constatar los contactos litológicos. El ensayo se practicó con equipo manual y pesa de: 70 lb para los sondeos S1, S2, S3, S4, S5 y de 140 lb para los sondeos S6, S7, S8, S9, S10 y S11. El número de golpes de campo para cada uno de los 11 sondeos manuales, aparece graficado en los registros de perforación dispuestos en el **Anexo C1**.

El número de golpes registrado en campo (N_{45}) fue normalizado en la Tabla 4.7 con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N'_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \quad \text{Ec. 4.1}$$

En donde:

N'_i : Número de golpes corregido para un determinado nivel de transmisión de energía /

C_N : Factor de ajuste para tener en cuenta el esfuerzo geostático, σ'_v . Se evaluó con base en las propuestas de Peck, Seed, Meyerhoff-Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Sedd-Isdriss, Schmertmann y González, cuidando siempre que este factor no resultara mayor que 2. Estos valores posteriormente se promediaron

η_1 : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y al tomamuestras. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.

η_2 : Factor de corrección por longitud del varillaje.

η_3 : Factor de corrección por presencia de revestimiento. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.

η_4 : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0

Con el fin de estimar los valores de ángulo de fricción equivalente, ϕ_{eq} , en la misma tabla se promediaron los resultados obtenidos de las siguientes expresiones:

Kishida	$\phi = 15 + \sqrt{(20 \cdot N_{72})}$	Ec. 4.2
JRB	$\phi = 15 + \sqrt{(15 \cdot N_{72})}$	Ec. 4.3
Shiou & Fukui	$\phi = 27 + 0.36 \cdot N_{72}$	Ec. 4.4
JNR	$\phi = 27 + 0.30 \cdot N_{72}$	Ec. 4.5

Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la **Tabla 4.5** y en la **Tabla 4.6** se presentan algunos criterios de Terzaghi y Peck, que relacionan la resistencia a la penetración con la compacidad relativa en arenas y con la consistencia en suelos finos, respectivamente. La valoración de estas propiedades en los materiales encontrados también se relaciona en la **Tabla 4.7**.

Tabla 4.5 Relación entre la densidad relativa y la resistencia a la penetración

Resistencia a la penetración, N (golpes/pie)	Compacidad relativa
0 – 4	Muy suelta
4 – 10	Suelta
10 – 30	Media
30 – 50	Compacta
>50	Muy compacta

Tabla 4.6 Relación entre la consistencia y la resistencia a la penetración

Resistencia a la penetración, N (golpes/pie)	Resistencia a la compresión simple (Kg/cm ²)	Consistencia
<2	<0.25	Muy blanda
2 – 4	0.25 – 0.50	Blanda
4 – 8	0.50 – 1.00	Media
8 – 15	1.00 – 2.00	Firme
15 – 30	2.00 – 4.00	Muy firme
>30	>4.00	Dura

Nótese que el relleno antrópico (Q_r) recorre la escala de compacidad desde muy suelta hasta media, el relleno mixto (Q_m - Q_{co}) se encuentra en el intervalo de suelta, los suelos residuales de la Formación Regadera (Teri-sr) transitan la escala desde suelta hasta compacta, la arenisca de la Formación Regadera (Teri-ss) en las gradaciones media y muy compacta, mientras que la consistencia se categoriza en Blanda y Firme para la arcillolita de la Formación Bogotá (Tpb-cl), Muy Firme y Firme en las arcillolitas de Regadera (Teri-cl) y en Firme para los limos rojos (Qlr). Para terminar, se estiman los parámetros c' y ϕ' por tipo de material siguiendo la metodología propuesta por González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v' , τ) en planos Mohr-Coulomb donde los coeficientes de una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

Tabla 4. 7 Valores de N_{SPT} corregidos y parámetros equivalentes

Perf.	Muestra	Profundidad (m)			Golpes/pie			N_{45}	NF	Tipo	$f_v/(T/m^3)$	f_v' (Ton/m ²)	f_v'' (Ton/m ²)
		de	a	Media	1	2	3						
S-1	1	1,00	1,45	1,225	4	5	10	15	n.e.	1	1,93	2,36	2,36
S-1	3	1,80	2,25	2,025	7	17	20	37	n.e.	4	2,04	3,97	3,97
S-1	4	2,30	2,75	2,525	16	17	29	45,5	n.e.	5	1,98	4,98	4,98
S-2	1	0,80	1,25	1,025	15	16	15	31	n.e.	5	1,98	2,05	2,05
S-2	2	1,30	1,75	1,525	14	19	14	33	n.e.	6	2,11	3,18	3,18
S-3	1	1,00	1,45	1,225	15	19	10	29	n.e.	4	2,04	2,44	2,44
S-3	2	1,50	1,95	1,725	9	9	9	18	n.e.	5	1,98	3,43	3,43
S-3	3	2,60	3,05	2,825	6	11	13	24	n.e.	5	1,98	5,60	5,60
S-3	4	3,10	3,55	3,325	10	15	25	40	n.e.	5	1,98	6,59	6,59
S-3	5	3,60	4,05	3,825	23	24	27	> 50	n.e.	5	1,98	7,58	7,58
S-4	1	0,80	1,25	1,025	12	14	15	29	n.e.	1	1,93	1,98	1,98
S-4	2	1,40	1,85	1,625	11	11	11	21,5	n.e.	4	2,04	3,16	3,16
S-4	3	1,85	2,30	2,075	10	13	14	26	n.e.	4	2,04	4,08	4,08
S-4	4	2,30	2,75	2,525	13	18	20	37,5	n.e.	5	1,98	4,99	4,99
S-5	1	0,65	1,10	0,875	8	6	8	14	n.e.	1	1,93	1,73	1,73
S-5	2	1,30	1,75	1,525	11	14	23	36	n.e.	4	2,04	3,03	3,03
S-5	3	1,80	2,10	1,950	25	27	27	> 50	n.e.	5	1,98	3,89	3,89
S-5	4	2,10	2,55	2,325	16	15	10	25	n.e.	6	2,11	4,66	4,66
S-5	5	2,55	3,00	2,775	10	11	12	22,5	n.e.	6	2,11	5,61	5,61
S-6	1	0,80	1,25	1,025	5	4	4	8	n.e.	1	1,93	1,98	1,98
S-6	2	1,30	1,75	1,525	3	4	4	8	n.e.	1	1,93	2,94	2,94
S-6	3	2,15	2,60	2,375	4	8	8	16	n.e.	1	1,93	4,58	4,58
S-6	4	2,60	3,05	2,825	7	8	11	19	n.e.	4	2,04	5,48	5,48
S-6	5	3,50	3,95	3,725	11	11	15	26	n.e.	6	2,11	7,35	7,35
S-6	7	4,20	4,65	4,425	13	18	23	41	n.e.	6	2,11	8,83	8,83
S-7	1	0,80	1,25	1,025	6	5	4	9	n.e.	2	2,10	2,15	2,15
S-7	3	1,60	2,05	1,825	3	5	3	8	n.e.	4	2,04	3,80	3,80
S-7	5	3,30	3,75	3,525	2	2	3	5	n.e.	6	2,11	7,30	7,30
S-8	2	1,40	1,85	1,625	7	9	10	19	n.e.	3	1,87	3,16	3,16
S-8	3	2,00	2,45	2,225	12	18	24	42	n.e.	6	2,11	4,34	4,34
S-9	1	1,40	1,85	1,625	5	6	6	12	n.e.	7	2,04	3,22	3,22
S-9	4	3,00	3,45	3,225	3	4	4	8	n.e.	7	2,04	6,48	6,48
S-10	1	0,20	0,65	0,425	1	2	1	3	n.e.	1	1,93	0,82	0,82
S-10	2	1,40	1,85	1,625	7	8	9	16	n.e.	7	2,04	3,10	3,10
S-11	1	0,40	0,85	0,625	4	7	9	16	n.e.	3	1,87	1,17	1,17
S-11	3	1,20	1,60	1,400	10	18	25	43	n.e.	5	1,98	2,68	2,68

- N_{45} Número de golpes para el 45% de energía del martillo (Estimado para Colombia)
- NF Nivel freático
- f_v Esfuerzo vertical total
- f_v' Esfuerzo vertical efectivo
- R_s Parámetro utilizado para el C_N , $R_s = f_v'/p_a$
- C_N Factor de corrección por confinamiento efectivo
- f_1 Factor de corrección por energía del martillo: La energía de USA es el 60% y la de Japón el 72%
- f_2 Factor de corrección por longitud de la varilla
- f_3 Factor de corrección por revestimiento interno de tomamuestras
- f_4 Factor de corrección por diámetro de la perforación
- $N_{correctado}$ Número de golpes corregido
- f_i Ángulo de fricción interna
- f_v'' Esfuerzo vertical efectivo

La ecuación de la envolvente de cada material se muestra de la **Figura 4.1** a la **Figura 4.6** junto con los respectivos parámetros de resistencia, los que se resumen en la **Tabla 4.8**. Los grupos de materiales aparecen diferenciados por colores en la **Tabla 4.7** y fueron obtenidos mediante la interpretación simultánea y retroalimentada de la información geológica (plano y secciones), los registros de exploración del subsuelo, las propiedades físicas de los materiales y las propiedades geomecánicas resultantes de este mismo proceso.

Tabla 4.8 Resumen de parámetros de resistencia en condición drenada a partir del SPT

No	Nombre	Descripción	γ	Cohesión	ϕ
			(ton/m ³)	(ton/m ²)	(°)
1	Or	Relleno antrópico	1.930	0.0142	29
2	Qm-Qco	Relleno mixto - depósito por flujo	2.097	0.0142	29
3	Qlr	Limos rojos	1.866	0.0494	29.3
4	Teri-sr	Formación Regadera - suelos residuales	2.045	0.3545	27.5
5	Teri-s	Formación Regadera - arenisca	1.979	0.3539	33.4
6	Teri-cl	Formación Regadera - arcillolita	2.112	0.4296	28.7
7	Tpb-cl	Formación Bogotá - arcillolita	2.037	0.5026	22.11

4.1.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Paralelamente con el avance y los ensayos in situ, de cada sitio de exploración se llevó a cabo el muestreo representativo, de ser posible continuo, para la posterior caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados (tipos shelby) y alterados (split spoon). En la **Tabla 4.9** se discriminan la cantidad y tipo de ensayos de clasificación y resistencia ejecutados. Los ensayos se practicaron sobre las muestras que representaran mejor, por cantidad (longitud) y localización, el estrato a ser caracterizado.

Tabla 4.9 Relación de ensayos de laboratorio

Ensayo			Cantidad
w_n	:	Contenido de humedad natural	26
Lím.	:	Límites de consistencia	10
Gs	:	Peso específico de sólidos	5
γ_t	:	Peso unitario total	26
γ_d	:	Peso unitario seco	26
CD	:	Corte directo	4

El **Anexo C2** comprende las memorias de cálculo de los ensayos; en la **Tabla 4.10** se sintetizan los resultados de los contenidos de humedad natural, los límites de consistencia, los pesos específicos de sólidos, los pesos unitarios totales, y los cortes directos sobre suelo.

Figura 4.1 Parámetros de resistencia para los materiales Qm, Qco y Qr

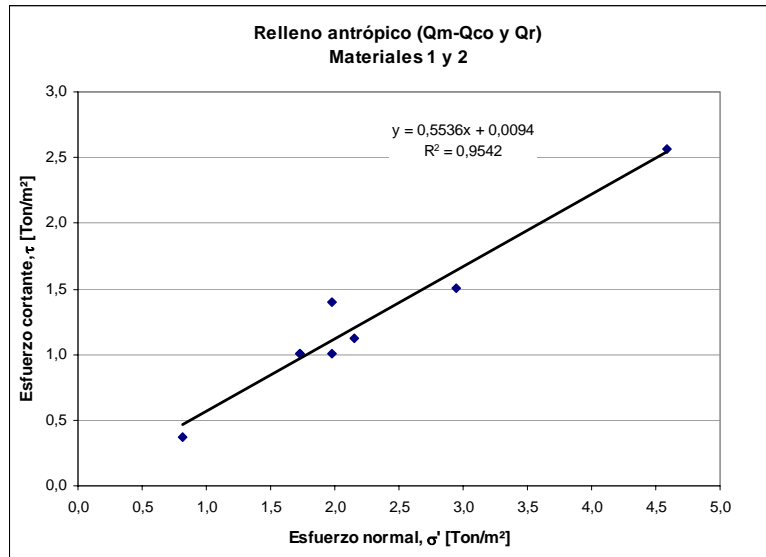


Figura 4.2 Parámetros de resistencia para el material Qlr

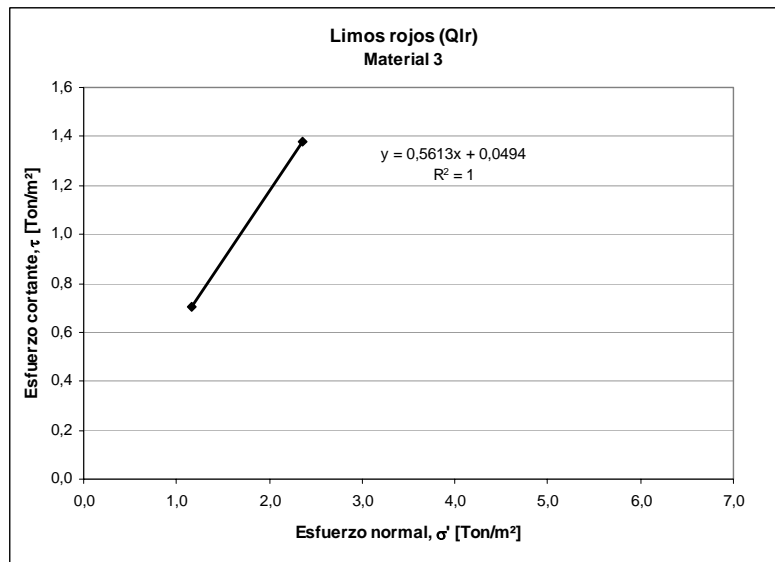


Figura 4.3 Parámetros de resistencia para el material Teri-sr

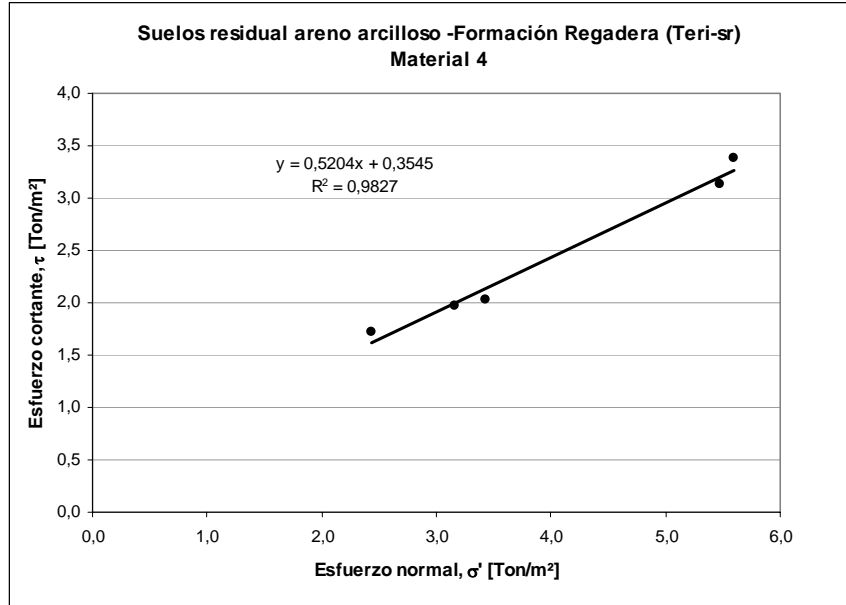


Figura 4.4 Parámetros de resistencia para el material Teri-ss

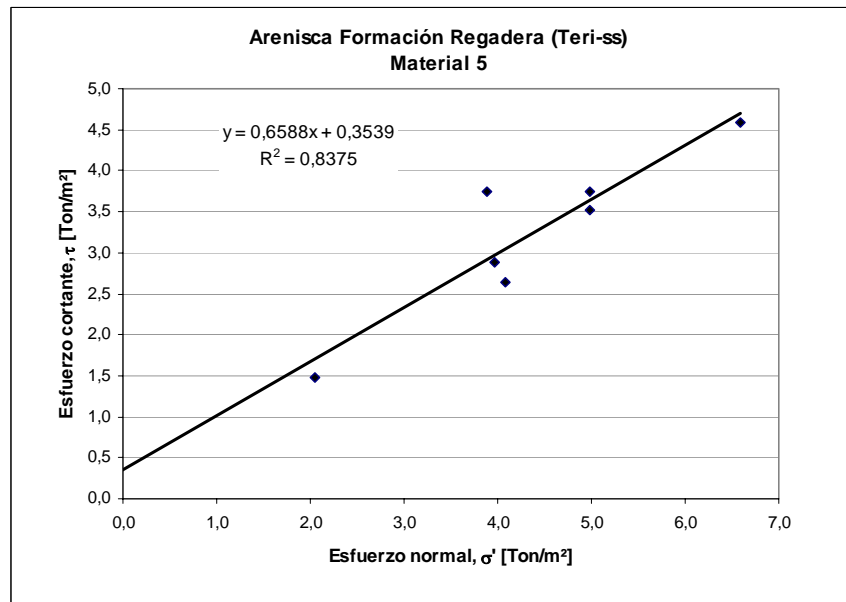


Figura 4. 5 Parámetros de resistencia para el material Teri-cl

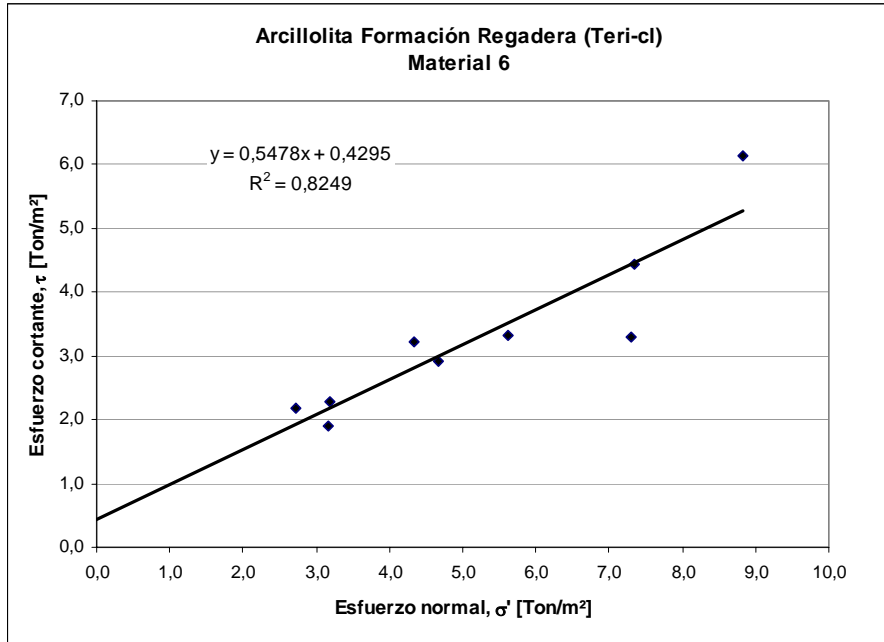


Figura 4. 6 Parámetros de resistencia para el material Tpb-cl

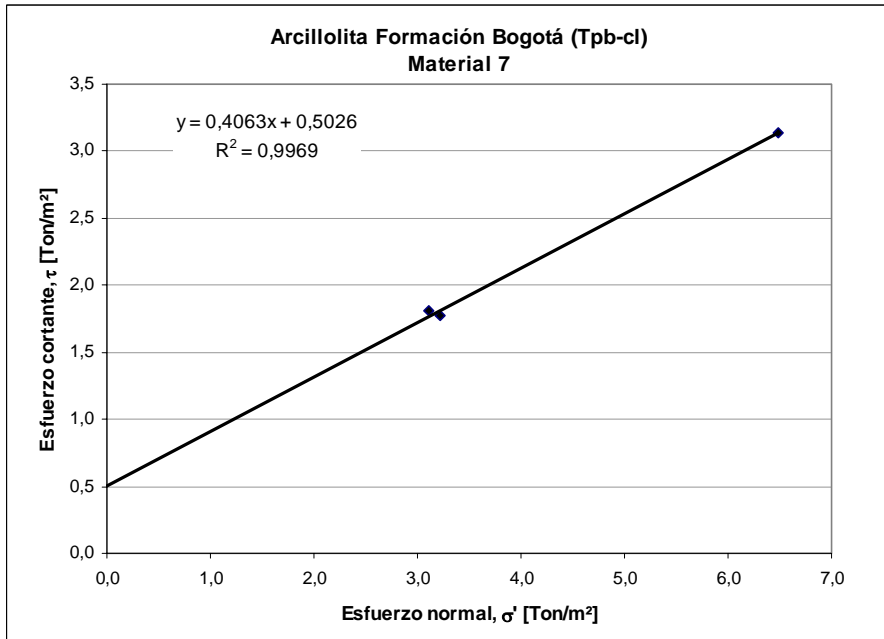


Tabla 4. 10. Resumen de ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Tipo de muestra	Tipo de material	Profundidad (m)			USCS	w _n (%)	%G	%A	%F	LL (%)	LP (%)	IP (%)	LC (%)	Absorción (%)	Porosidad (%)	G _s	γ _t (Ton/m ³)	γ _d (Ton/m ³)	q _u (Kg/cm ²)	E _{s50} (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ (°)	c' (Kg/cm ²)	φ (°)	
				de	a	media																					
S1	1	ss	Qlr	1,00	1,45	1,23		18,1										2,667	1,944	1,646							
	2	sh	Ter-sr	1,60	1,80	1,70		26,1										2,664	1,979	1,569							
	4	ss	Ter-ss	2,30	2,75	2,53		16,2											2,089	1,797							
S2	1	ss	Ter-ss	0,80	1,25	1,03		10,4											1,967	1,782							
	2	ss	Ter-cl	1,30	1,75	1,53		16,4										2,646	2,180	1,873							
S3	1	ss	Ter-sr (sc)	1	1,45	1,225		12,50											1,842	1,638							
	3	ss	Ter-sr (sc)	2,60	3,05	2,83		18,80											2,141	1,802							
	4	ss	Ter-ss	3,10	3,55	3,33		19,50											2,131	1,782							
	5	ss	Ter-ss	3,60	4,05	3,83		18,30											2,149	1,816							
S4	1	ss	Qr	0,80	1,25	1,03		16,60											1,949	1,672							
	2	ss	Ter-sr (sc)	1,40	1,85	1,63		19,40											1,932	1,618							
	3	ss	Ter-ss	2,30	2,75	2,53		12,00											1,838	1,642							
S5	1	ss	Qr	0,65	1,10	0,88		12,60											1,911	1,696							
	3	ss	Ter-ss	1,80	2,10	1,95		15,40											1,958	1,696							
S6	2	ss	Qr	1,30	1,75	1,53		19,60											1,828	1,528							
	3	ss	Qr	2,15	2,60	2,38		12,50											2,198	1,954							
	5	ss	Ter-cl	3,50	3,95	3,73		19,60											2,149	1,797							
	6	sh	Ter-cl	4,00	4,20	4,10	CH	19,89 19,67				78,8	25,4	53,4				2,700	2,056 - 2,061 2,056 - 2,075	1,718 - 1,737 1,715 - 1,744			0,16 0,84	28,7 35,1			
S7	1	ss	Qm	0,8	1,25	1,025	SC	10,60				59,2	21,3	37,9				2,097	1,896								
	2	sh	Ter-sr	1,30	1,60	1,45	CH	25,10				66,4	22,9	43,5				1,933	1,546								
	4	sh	Ter-ss	2,90	3,30	3,10	CL	24,44				36,3	14,9	21,4				2,062 - 2,050	1,657 - 1,669			0,05	25,8				
S8	1	sh	Ter-sr	1,00	1,40	1,20	CH	21,70				106,2	27,8	78,4				2,290	1,881								
	2	ss	Ter-cl	1,40	1,85	1,63	CH	28,90				67,1	22,2	44,9				1,801	1,397								
S9	1	sh	Tpb-cl	1,00	1,40	1,20	CH	28,00				79,2	25,4	53,8				1,941	1,517								
	3	sh	Tpb-cl	2,60	3,00	2,80	CH	28,42				79,7	24,0	55,7				2,052 - 2,041	1,598 - 1,575			0,39	15,6				
S10	1	sh	Tpb-cl	1,00	1,40	1,20	CL	7,00				33,2	12,5	20,7				2,646	2,031				0,25	22,9			
	2	ss	Tpb-cl	1,40	1,85	1,63		15,4											2,133	1,848							
S11	1	ss	Qlr	0,40	0,85	0,63		16,2											1,866	1,607							
	2	sh	Ter-cl	0,90	1,20	1,05	CH	16,0				59	18,2	40,8					2,056	1,772							
	3	ss	Ter-cl	1,20	1,60	1,40		13,7											2,083	1,831							

4.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

En el sector del proyecto se encuentran los dos tipos de materiales térreos: suelos y rocas. Los suelos corresponden principalmente a depósitos cuaternarios tipo antrópico, basuras y coluvial, mientras que las rocas pertenecen a las formaciones (de edad Terciaria): Fm (s). Regadera y Bogotá. Con el fin de realizar la caracterización geomecánica de los materiales se estableció la metodología, en la que se definieron los lineamientos a seguir. Inicialmente, se realizaron visitas de campo durante las que se definieron los contactos roca-depósito y se realizó la descripción visual de los materiales encontrados, suelos y rocas.

En las descripciones de roca, se incluyeron aspectos como: tipo de roca, tamaño de grano, composición mineralógica, litología, angularidad de las partículas, relación matriz-esqueleto, gradación, etc. Adicionalmente, en varios de los afloramientos y trincheras se levantaron datos estructurales de las discontinuidades del macizo rocoso (Véase capítulo 3).

La caracterización del macizo rocoso partió de los trabajos de geología (campo y fotoidentificación), de la interpretación de la exploración geoelectrica y de la información de los ensayos de laboratorio realizados. La exploración geoelectrica se basó en los tipos de rocas presentes y delimitó sus espesores, mientras que las pruebas de laboratorio como contenido de humedad, límites de consistencia, corte directo y carga puntual ejecutadas sobre muestras de bloque, sirvieron para determinar los parámetros de clasificación y resistencia del material rocoso. Por otra parte, ensayos de bloque deslizante y corte de fuentes secundarias, fueron útiles para la caracterización geomecánica de las discontinuidades. Finalmente, la síntesis de los dos elementos, permite la clasificación y caracterización del macizo rocoso.

De otro lado, la caracterización geomecánica de los suelos se basó en los trabajos de exploración del subsuelo, en los que se describieron visualmente los materiales encontrados consignando en cada caso: tamaño de grano; distribución granulométrica; color; contenido de humedad; plasticidad para materiales finos; consistencia o compacidad para suelos finos o granulares, respectivamente y presencia de raíces, fisuras y oxidaciones. Adicionalmente, en cada uno de los sondeos se ejecutaron pruebas de campo, penetración estándar (SPT)s. Estos ensayos resultan útiles para determinar parámetros de resistencia al corte previa corrección y normalización de los valores de campo.

De manera complementaria, las muestras de suelo extraídas durante la exploración fueron llevadas al laboratorio, en donde se efectuaron según su tamaño de grano y tipo (alterado o inalterado), ensayos de clasificación (humedad, límites de Atterberg, peso específico de sólidos y peso unitario) y de resistencia (compresión confinada y corte directo). Una vez consolidada, agrupada, organizada y sistematizada toda la información de campo y laboratorio, se revisaron y cotejaron las descripciones y propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de material encontrado para, posteriormente, obtener grupos de características similares y comportamiento geomecánico correlacionable. Cada uno de los grupos de material definidos presentan similitudes en su tamaño de grano, clasificación (según Sistema de clasificación de suelos SCUS) e índice de resistencia (definidos por Terzaghi y Peck, 1948 – Véase **Tabla 4.9**).

4.2.1 SUELOS

En este capítulo se relacionan las principales propiedades físicas y mecánicas de los suelos que se encuentran en el sitio de localización del proyecto, y que fueron detectados en los sondeos, los apiques y las trincheras exploratorias.

En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales:

- Material 1: Relleno antrópico (Qr)
- Material 2: Relleno mixto – Depósito coluvial (Qm-Qco)
- Material 3: Limos rojos (Qlr)
- Material 4: Suelos residuales areno arcillosos de la Formación Regadera (Teri-sr)

4.2.1.1 Material 1: Rellenos antrópicos (Qr)

En general están compuestos por limos-arenosos o arenas, con líticos, restos de construcción y basuras. Son de humedad media (a veces orgánicos), y compacidad suelta a media. Se manifiesta en los sondeos 1, 3 a 6, 9, y 10, distribuidos al noreste del barrio desde la diagonal 36 Bis Sur hasta la calle 36 sur y entre las carreras 10F y 11A. En la **Tabla 4.11** se compilan las principales propiedades geomecánicas de este material.

Tabla 4. 11 Parámetros geotécnicos del material 1

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	12.5 – 19.6	Media
Peso unitario húmedo (ton/m ³)	1.828 – 2.198	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.009 SPT	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	28.97° SPT	-

4.2.1.2 Material 2: Rellenos mixtos (Qm)

Son predominantemente areno-arcillosos (SC), y eventualmente arcillosos (CH). Su humedad es de baja a media y su compacidad suelta a media. Aparecen en los sondeos 5, 7 y 8 los que corresponden a los predios de los parques y de una fracción de las manzanas 5, 6 y 7, tienen como principales propiedades geomecánicas las señaladas en la **Tabla 4.12**.

Tabla 4. 12 Parámetros geotécnicos del material 2

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	10.60	Baja a media
Límite líquido, LL (%)	59.20	-
Índice de plasticidad, IP (%)	37.9	Alta
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	2.097 (ton/m ³)	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.009 SPT	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	28.97° SPT	-

4.2.1.3 Material 3: Limos Rojos (Qlr)

Son cuerpos de origen volcánico de color marrón oscuro o rojizo que hacen parte de la estratigrafía de media ladera del borde occidental, exclusivamente en las manzanas 10,11, y 12, en los sondeos 1 y 11. Se alojan superficialmente con espesor máximo de 0.70m. Tienen plasticidad alta y humedad media a alta, su consistencia es firme. En la **Tabla 4.13** se definen sus parámetros geomecánicos.

Tabla 4. 13 Parámetros geotécnicos del material 3

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	16.2 – 18.1	Media
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.049 (SPT)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	29.31 (SPT)	-

4.2.1.4 Material 4: Suelo residual arenoso-arcilloso de la Formación Regadera (Teri-sr)

Estos suelos arenosos aparecen en los sondeos 1,3 a 7 y 11, y en los apiques 2 a 4 (zona suroccidental), relativamente superficiales: hasta 3.50m de profundidad, presentan muy baja plasticidad, humedad baja a media, compacidad media y la fracción fina clasifica como CH. En la **Tabla 4.14** se presentan las principales características de este material.

Tabla 4. 14 Parámetros geotécnicos del material 4

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	12.5 – 25.1	Media
Límite líquido, LL (%)	66.4	-
Índice de plasticidad, IP (%)	43.5	Media
Peso específico de sólidos, G _s (adim)	2.664	
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	1.84 ton/m ³ – 2.141 ton/m ³	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.35 SPT	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	27.49° SPT	-

4.2.2 MACIZO ROCOSO

El macizo rocoso está integrado por las Formaciones Regadera y Bogotá. Hacia el oriente muy cerca a la calle 36 Sur se encuentra el contacto entre ellas. La Formación Regadera está cubierta por rellenos antrópicos, depósitos coluviales y limos rojos, y la Bogotá sólo por los Antrópicos. En este numeral se hace referencia a ambos ambientes geológicos.

4.2.2.1 Material rocoso

En la **Tabla 4.7** se presentan los resúmenes de resultados de campo mientras en la **Tabla 4.9**, los de laboratorio (clasificación y corte directo), de donde se extrajeron los valores de los parámetros para caracterización de los materiales 5, 6 y 7.

La Fm. Regadera se manifiesta a lo largo y ancho del área de estudio; sus expresiones más relevantes constituyen el alto relieve que corre paralelo a la calle 36 B Sur y se caracteriza por la presencia de areniscas cuarzosas friables (Teri-ss, Material 5) y arcillas de color gris claro a rojizas (Teri-cl, Material 6). La Fm. Bogotá (Tpb) es predominantemente arcillosa y subyace los rellenos antrópicos de la parte más baja (al nor-oriente de la Calle 36 A Bis). A continuación se reseñan las propiedades de ambas formaciones, sus planos de discontinuidad y se clasifica el macizo rocoso.

- Material 5: Areniscas de la Formación Regadera Teri-ss)

Aparecen al final de los sondeos 1, 3, 4 y muy cerca a éste en los sondeos 2, 5, 7 los cuales están a lo largo y ancho del barrio. Se encuentran entre compactas y muy compactas, son friables, y poseen un alto contenido de arcillas. En la **Tabla 4.15** se reseñan algunos de los principales parámetros geomecánicos de este material.

Tabla 4. 15 Parámetros geotécnicos del material 5

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	10.40	Muy baja a baja
Límite líquido, LL (%)	36.3	-
Índice de plasticidad, IP (%)	21.4	Media
Peso unitario húmedo (ton/m ³)	1.838 – 2.149	-
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.354 (SPT) 0.5 (Corte directo)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	33.38 (SPT) 25.8 (Corte directo)	-
Resistencia a la compresión inconfiada, σ_{cl} (Ton/m ²)	250 – 1080* (Carga puntual)	-
Angulo de fricción de la discontinuidad, ϕ (°)	30.20 – 34.3 ** (Bloque deslizante)	-

*Tomado de Indesa (1999)

** Tomado de Hidrogeología y Geotecnia (1999)

-Material 6: Arcillolitas de la Formación Regadera (Teri-cl)

Son de color gris claro a blanco, y violáceas, clasifican como CH, su consistencia es dura y aparecieron hacia el final de los sondeos 2, 5, 6 y 7, localizados aleatoriamente. En la **Tabla 4.16** se presentan las principales características de este material.

Tabla 4. 16 Parámetros geotécnicos del material 6

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	13.7 – 28.90	Media
Peso específico de sólidos, Gs (adim)	2.70	-
Límite líquido, LL (%)	59 – 78.8	-
Peso unitario Húmedo (ton/m ³)	1.805 – 2.083	-
Indice de plasticidad, IP (%)	40.8 – 53.4	Alta
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.429 (SPT) 1.6 (Corte directo: sumergido) 8.4 (Corte directo: humedad natural)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	28.71° SPT 28.7° (Corte directo: sumergido) 35.1° (Corte directo: humedad natural)	-
Resistencia a la compresión inconfiada, σ_{cl} (Ton/m ²)	470 * Carga puntual	-
Angulo de fricción de la discontinuidad, ϕ (°)	30.2 – 34.3** Bloque deslizante	-

*Tomado de Indesa (1999)

** Tomado de Hidrogeología y Geotecnia (1999)

- Material 7: Arcillolitas de la Formación Bogotá (Tpb-cl)

Estas rocas clasifican como CL o CH, su humedad es media, la plasticidad media a alta, consistencia firme. Se reportan solo en los sondeos 9 y 10, dispuestos en la periferia norte del barrio. La **Tabla 4.17** presenta las principales propiedades geomecánicas de esta unidad.

Tabla 4. 17 Parámetros geotécnicos del material 7

Propiedad	Valor	Calificación
Contenido de humedad, w (%)	7.0 – 28.42	Media
Peso específico de sólidos, Gs (adim)	2.646	
Límite líquido, LL (%)	33.2 – 99.7	-
Índice de plasticidad, IP (%)	20.7 – 55.7	Media – Alta
Peso unitario húmedo (ton/m ³)	1.941 – 2.133	
Intercepto de cohesión, c (Ton/m ²)	0.503 SPT 3.9 (Corte directo: saturado) 2.5 (Corte directo: saturado)	-
Angulo de fricción, ϕ (°)	22.11° SPT 15.6 (Corte Directo: saturado) 22.9 (Corte Directo: saturado)	-

4.2.2.2 Discontinuidades

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, columnas estratigráficas y algunas trincheras (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981.

Las mediciones en campo alcanzaron un total de 56 datos estructurales (orientación y buzamiento de estratificación y diaclasas) con una cobertura de 10 estaciones concentradas en los costados suroriental y suroccidental en la prolongación del cerro de las Guacamayas y por fuera de los límites de Pijaos. El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos, están compilados en las carteras de campo del **Anexo B.3**.

La totalidad de las mediciones fue interpretada mediante sus polos y sus vectores directores, utilizando la red de proyección polar equiárea y una hoja de cálculo, según la ubicación de las estaciones, la geología, la tendencia de la información y el tipo de dato. El procesamiento de los datos estructurales se llevó a cabo gracias a la aplicación de los métodos del círculo flotante y vectorial, estos procedimientos se realizaron sobre las zonas donde se expone el macizo. Los conteos evidenciaron una moderada dispersión, pero con aceptables niveles de concentración de polos especialmente en lo que respecta a la estratificación. De allí fue posible apreciar la tendencia general de las familias de discontinuidades y concluir que las laderas vertientes pertenecen a una única región estructural. En la **Tabla 4.18** y **Tabla 4.19** se relacionan los datos estructurales utilizados para cada familia junto con los valores promedio por familia para cada región, y en la **Figura 4.7** se muestran las redes estereográficas representativas por región.

Las familias de discontinuidades se caracterizan por presentar espaciamiento (S) de 0.22m a 0.85m lo que las califica entre bastante próximas y próximas; persistencia (P) discontinua a poco continua (entre 2 y 5m),

abertura de cerrada a abierta y relleno arenoso o de óxidos de hierro. La rugosidad de las paredes de las discontinuidades en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo V y IV, es decir, ondulada suave y ondulada rugosa, con valores del JRC entre 12 y 16. El grado de meteorización de las paredes (indistinto del tipo de familia) es decolorado, a veces oxidado, puesto que se observan variaciones de color entre la roca fresca y la pared. El **Anexo B.3** contiene las características de las familias de discontinuidades cuyo levantamiento fue posible en campo.

4.2.2.3 Clasificación

La clasificación de los macizos se realizó con base en el Geological Strength Index, GSI (Hoek, 1995). No obstante, dada la directa correlación entre el Rock Mass Rating, RMR (Bienawsky, 1976) y el GSI, se planteó el primero como sistema calibrador. En la **Tabla 4.20** se muestran la calificación y clasificación del macizo rocoso en ambos sistemas; así, el ejercicio de clasificación arrojó como resultado que los macizos rocosos exhiben Índices de Resistencia Geológica (GSI) que oscila entre 30 y 47. Estos parámetros permiten clasificar el macizo entre pobre y regular.

4.2.2.4 Parámetros geomecánicos del macizo rocoso

Con el fin de tener en cuenta la presencia de las discontinuidades en el macizo rocoso, se acudió al método de Hoek – Brown para la estimación del intercepto de cohesión y ángulo de fricción (parámetros del criterio de resistencia de Mohr – Coulomb). El método trata la masa como un material isotrópico, homogéneo y elástico (Salcedo, 1996) y utiliza como variables de entrada, el GSI, referido en el numeral 4.6.1.1, la resistencia a la compresión inconfiada ($\sigma_c=25 \text{ kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 108 \text{ kg/cm}^2$), y una constante m_i (equivalente a 9 si son limolitas, 11 para areniscas y 4 en arcillolitas), que depende de las propiedades del material rocoso. La **Tabla 4.21** y la **Tabla 4.22** y el **Anexo C3**, contienen las memorias de cálculo de los valores de compresión inconfiada, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso obtenidos de la aplicación del procedimiento referido; en tanto que la **Tabla 4.23** sintetiza los parámetros de resistencia.

Tabla 4.23 Resumen de parámetros de resistencia

Formación	$\sigma_c=2.5 \text{ Mpa}$		$\sigma_c=10.8 \text{ MPa}$	
	(ϕ°)	C (Mpa)	(ϕ°)	C (Mpa)
Regadera	33	0.04	36	0.23
Bogotá	25	0.03	28	0.22

Tabla 4. 18 Obtención de familias de discontinuidades por el método vectorial- Estratificación

ESTRATIFICACIÓN	PUNTO	α	β	N	E	Z	R	n	e	z	B'	a'							
1	1	295	32	0,3584006	-0,7685926	0,5299193	16,6041	0,37003	-0,70596	0,60391	37,1503	297,6614							
	3	302	36	0,4287137	-0,6860853	0,5877853													
	5	310	37	0,5133530	-0,6117903	0,6018150													
	6	312	38	0,5272821	-0,5856061	0,6156615													
	7	292	34	0,3105629	-0,7686703	0,5591929													
	8	304	36	0,4523966	-0,6707055	0,5877853													
	9	290	55	0,1961747	-0,5389855	0,8191520													
	10	300	55	0,2867882	-0,4967318	0,8191520													
	11	290	24	0,3124509	-0,8584519	0,4067366													
	13	270	23	0,0000000	-0,9205049	0,3907311													
	14	310	36	0,5200261	-0,6197430	0,5877853													
	15	290	35	0,2801665	-0,7697511	0,5735764													
	16	310	37	0,5133530	-0,6117903	0,6018150													
	17	314	40	0,5321392	-0,5510463	0,6427876													
	18	303	36	0,4406222	-0,6784987	0,5877853													
	19	288	30	0,2676166	-0,8236391	0,5000000													
	20	285	38	0,2039522	-0,7611599	0,6156615													
		Σ			6,1439986	-11,7217526							10,0273421						
	2	1	260	25	-0,157378696	-0,892538935							0,422618262	29,968	0,18503	-0,76327	0,61902	38,244794	283,62636
		4	268	24	-0,031882277	-0,91298895							0,406736643						
12		242	23	-0,432150852	-0,812757545	0,390731128													
21		215	30	-0,70940648	-0,496731765	0,5													
22		245	45	-0,298836239	-0,640856382	0,707106781													
23		250	40	-0,26200263	-0,71984631	0,64278761													
24		220	26	-0,688516185	-0,577733677	0,438371147													
25		205	31	-0,776857399	-0,362254555	0,515038075													
	Σ			5,544843609	-22,873594	18,5508739													

Tabla 4. 19. Obtención de familias de discontinuidades por el método vectorial – Diaclasas

FAMILIA	PUNTO	α	β	N	E	Z	R	n	e	z	β'	α'
1	1	270	23	0,0000000	-0,9205049	0,3907311	8,6785	0,3960	-0,6921	0,6034	37,1136	299,7781
	2	285	38	0,2039522	-0,7611599	0,6156615						
	3	288	30	0,2676166	-0,8236391	0,5000000						
	4	303	36	0,4406222	-0,6784987	0,5877853						
	5	314	40	0,5321392	-0,5510463	0,6427876						
	6	290	35	0,2801665	-0,7697511	0,5735764						
	7	310	36	0,5200261	-0,6197430	0,5877853						
	8	320	42	0,5692820	-0,4776843	0,6691306						
	9	327	42	0,6232537	-0,4047457	0,6691306						
			Σ	3,4370584	-6,0067730	5,2365884						
2	1	58	85	0,0461855	0,0739123	0,9961947	7,9107	0,0631	0,2274	0,9717	76,3470	74,4828
	2	55	71	0,1867382	0,2666898	0,9455186						
	3	77	80	0,0390623	0,1691976	0,9848078						
	4	84	66	0,0425156	0,4045085	0,9135455						
	5	87	62	0,0245702	0,4688282	0,8829476						
	6	65	80	0,0733869	0,1573787	0,9848078						
	7	57	84	0,0569303	0,0876649	0,9945219						
	8	80	80	0,0301537	0,1710101	0,9848078						
			Σ	0,4995427	1,7991900	7,6871515						
3	1	315	84	0,0739128	-0,0739128	0,9945219	10,8501	0,1323	-0,1964	0,9716	76,3049	303,9626
	2	320	75	0,1982669	-0,1663657	0,9659258						
	3	345	86	0,0673796	-0,0180543	0,9975641						
	4	340	77	0,2113848	-0,0769378	0,9743701						
	5	280	62	0,0815229	-0,4623392	0,8829476						
	6	292	74	0,1032556	-0,2555665	0,9612617						
	7	295	70	0,1445440	-0,3099755	0,9396926						
	8	310	71	0,2092712	-0,2493997	0,9455186						
	9	245	85	-0,0368336	-0,0789899	0,9961947						
	10	300	64	0,2191856	-0,3796405	0,8987940						
	11	340	80	0,1631759	-0,0593912	0,9848078						
			Σ	1,4350656	-2,1305731	10,5415988						
4	1	130	82	-0,0894587	0,1066128	0,9902681	14,8634	-0,1527	0,0698	0,9858	80,3346	155,4529
	2	110	78	-0,0711100	0,1953731	0,9781476						
	3	180	78	-0,2079117	0,0000000	0,9781476						
	4	162	80	-0,1651492	0,0536602	0,9848078						
	5	185	80	-0,1729874	-0,0151344	0,9848078						
	6	162	82	-0,1323615	0,0430069	0,9902681						
	7	162	80	-0,1651492	0,0536602	0,9848078						
	8	173	80	-0,1723538	0,0211624	0,9848078						
	9	135	84	-0,0739128	0,0739128	0,9945219						
	10	130	81	-0,1005541	0,1198358	0,9876883						
	11	123	76	-0,1317601	0,2028928	0,9702957						
	12	120	65	-0,2113091	0,3659982	0,9063078						
	13	186	76	-0,2405966	-0,0252877	0,9702957						
	14	245	85	-0,0368336	-0,0789899	0,9961947						
	15	195	72	-0,2984875	-0,0799795	0,9510565						
			Σ	-2,2699355	1,0367235	14,6524230						
5	1	0	72	0,3090170	0,0000000	0,9510565	12,8385	0,2452	0,0912	0,9652	74,8349	20,4055
	2	2	70	0,3418118	0,0119363	0,9396926						
	3	10	74	0,2714498	0,0478639	0,9612617						
	4	0	87	0,0523360	0,0000000	0,9986295						
	5	15	66	0,3928774	0,1052712	0,9135455						
	6	5	71	0,3243293	0,0283751	0,9455186						
	7	15	90	0,0000000	0,0000000	1,0000000						
	8	20	76	0,2273322	0,0827422	0,9702957						
	9	25	74	0,2498123	0,1164894	0,9612617						
	10	35	78	0,1703113	0,1192532	0,9781476						
	11	35	82	0,1140039	0,0798264	0,9902681						
	12	45	64	0,3099752	0,3099752	0,8987940						
	13	35	62	0,3845686	0,2692778	0,8829476						
			Σ	3,1478248	1,1710108	12,3914191						
6	1	147	50	-0,5390870	0,3500872	0,7660444	8,2157	-0,5134	0,2060	0,8330	56,4108	158,1371
	2	185	35	-0,8160349	-0,0713938	0,5735764						
	3	164	55	-0,5513571	0,1580991	0,8191520						
	4	160	47	-0,6408688	0,2332572	0,7313537						
	5	105	24	-0,2364430	0,8824172	0,4067366						
	6	120	65	-0,2113091	0,3659982	0,9063078						
	7	186	76	-0,2405966	-0,0252877	0,9702957						
	8	190	46	-0,6841049	-0,1206262	0,7193398						
	9	195	72	-0,2984875	-0,0799795	0,9510565						
			Σ	-4,2182890	1,6925716	6,8438631						

Tabla 4. 20 Clasificación del macizo rocoso

Región estructural		Región 1	
Criterio de evaluación			
σ'_c (Kg/cm ²)	Valor	25,0	108,0
	Calificación/15	0	2
RQD (%)	Valor	30	50
	Calificación/20	8	13
S (m)	Valor	0,22	0,85
	Calificación/30	10	20
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0
RMR	Calificación/100	30	47
	Descripción	Macizo pobre	Macizo regular
GSI		30	47

Tabla 4. 21 Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}

Formación Regadera

GSI: 30		σ_c (MPa): 2,5			mi: 11	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,00	0,09	13,52	0,01	0,02	0,00	0,00
0,00	0,12	10,66	0,01	0,03	0,00	0,00
0,01	0,17	8,19	0,03	0,05	0,00	0,00
0,02	0,24	6,22	0,05	0,07	0,00	0,00
0,04	0,34	4,75	0,09	0,11	0,01	0,01
0,08	0,50	3,67	0,17	0,17	0,03	0,03
0,16	0,75	2,89	0,31	0,26	0,08	0,10
0,31	1,15	2,34	0,56	0,39	0,22	0,32
SUMATORIA			1,23	1,11	0,34	0,45
mb/mi:	0,08	mb:	0,90		s: 0,000	
a:	0,5	E (Mpa):	3162		ϕ: 33	
C (MPa):	0,04	σ_{cm} (Mpa):	0,14			

GSI: 47		σ_c (MPa): 10,8			mi: 9	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,01	0,70	11,59	0,07	0,19	0,01	0,00
0,02	0,82	10,21	0,09	0,23	0,02	0,01
0,04	1,01	8,55	0,14	0,30	0,04	0,02
0,08	1,33	6,86	0,24	0,42	0,10	0,06
0,17	1,84	5,38	0,43	0,61	0,26	0,19
0,34	2,63	4,19	0,78	0,90	0,71	0,61
0,68	3,87	3,29	1,42	1,35	1,92	2,01
1,35	5,83	2,63	2,58	2,00	5,17	6,68
SUMATORIA			5,76	5,99	8,23	9,58
mb/mi:	0,15	mb:	1,36		s: 0,003	
a:	0,5	E (Mpa):	8414		ϕ: 36	
C (MPa):	0,23	σ_{cm} (Mpa):	0,90			

Tabla 4. 22 Cálculo de los parámetros de resistencia del macizo rocoso: ϕ , C y σ_{cm}

Formación Bogota

GSI: 30		σ_c (MPa): 2,5			mi: 4	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,00	0,07	7,04	0,01	0,02	0,00	0,00
0,00	0,09	6,04	0,02	0,03	0,00	0,00
0,01	0,11	4,98	0,03	0,04	0,00	0,00
0,02	0,16	4,01	0,05	0,05	0,00	0,00
0,04	0,23	3,20	0,08	0,08	0,01	0,01
0,08	0,34	2,59	0,15	0,12	0,02	0,02
0,16	0,52	2,13	0,27	0,17	0,05	0,07
0,31	0,82	1,81	0,49	0,24	0,12	0,24
SUMATORIA			1,10	0,75	0,19	0,35
mb/mi:	0,08	mb:		0,33	s: 0,000	
a:	0,5	E (Mpa):		3162	ϕ : 25	
C (MPa):	0,03	σ_{cm} (Mpa):		0,10		

GSI: 47		σ_c (MPa): 10,8			mi: 4	
σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1/\delta\sigma_3$	σ_n	τ	$\sigma_n \cdot \tau$	σ_n^2
0,01	0,64	6,20	0,10	0,22	0,02	0,01
0,02	0,70	5,80	0,12	0,24	0,03	0,01
0,04	0,82	5,21	0,17	0,28	0,05	0,03
0,08	1,02	4,48	0,25	0,36	0,09	0,06
0,17	1,36	3,73	0,42	0,49	0,20	0,18
0,34	1,92	3,05	0,73	0,68	0,50	0,53
0,68	2,85	2,50	1,30	0,98	1,27	1,68
1,35	4,37	2,08	2,33	1,41	3,29	5,43
SUMATORIA			5,42	4,67	5,46	7,94
mb/mi:	0,15	mb:		0,60	s: 0,003	
a:	0,5	E (Mpa):		8414	ϕ : 28	
C (MPa):	0,22	σ_{cm} (Mpa):		0,73		

4.3. ZONIFICACION GEOTECNICA

Previo a los análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecieron zonas de comportamiento geotécnico similar tanto en conformación como en la dinámica de las laderas, lo cual se logró una vez sintetizada la información geológica, geomorfológica, hidráulica y geotécnica. Los criterios de zonificación corresponden a la forma, la génesis, la litología, la pendiente, la condición estructural y el área de aporte de aguas microcuencas.

Las cuatro primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan unidades de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta variable (condición estructural) carece de incidencia significativa debido a que el comportamiento estructural es homogéneo, es decir, el número, orientación y características de las discontinuidades es similar en todas las laderas, y la influencia de otras estructuras geológicas (fallas y pliegues) no es significativa. Por último, las microcuencas fueron definidas con base en la topografía del IGAC, planchas L38 y L39, del año 1980, a escala 1:2000. Bajo este marco, una unidad geomorfológica pudo sufrir fraccionamientos de acuerdo con la o las divisorias de aguas, que la intercepten. La codificación de las zonas conservó la nomenclatura de la unidad geomorfológica original añadiendo un identificador numérico arábigo ascendente para cada subdivisión; v. gr. la unidad "talud agradacional en rellenos de pendiente baja", Ta-r, se discretizó en Ta-r-2, Ta-r-3 y Ta-r-4, según las microcuencas en las que se desarrolla y denominadas arbitrariamente 2, 3, y 4.

La conjunción de los elementos anteriores dio como resultado la división del sitio en veintidós (22) zonas homogéneas, de las cuales dieciocho fueron estudiadas por lo menos con una sección de análisis geotécnico. La definición de las propiedades físico-mecánicas de los materiales involucrados se realizó en el numeral 4.2; no obstante, el proceso involucró, en algunos casos, la extrapolación de la información condensada en ciertos sectores hacia otros donde la investigación geotécnica fue deficiente, esta labor se facilitó gracias a la demarcación de las zonas homogéneas que sintetizan, como se ha dicho, las distintas variables que determinan la condición de estabilidad.

La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la **Tabla 4.24** y en el **Plano No.6**. La **Tabla 4.24**, contiene para cada zona homogénea, la unidad geomorfológica asociada, los materiales, el área de drenaje, los mecanismos de falla y las secciones de análisis, las cuales se señalan en el Plano 6 y se muestran en los **Planos No.7 a.12**. En cuanto a los parámetros de resistencia de cada material a los que se hace referencia en la columna de secuencia estratigráfica de la **Tabla 4.24**, éstos se enuncian en la **Tabla 4.25** discriminándolos según el ensayo utilizado para su determinación: SPT, bloque deslizante y corte directo.

Tabla 4. 23 Zonificación geotécnica

Símbolo Zona	Unidad Geomorfológica	Morfología	Microcuenca	Morfogenética	Sección de Análisis	Sondeos/Apiques/Trincheras /SEV/Wenner	No. Material	Secuencia Litológica	Mecanismo de falla
Le-a-1	Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta	Ladera	1	Agradacional	AA'		5	Teri-ss	Rotacional
Le-a-2	Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta	Ladera	2	Agradacional	JJ'		5	Teri-ss	Rotacional
Le-a-3	Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta	Ladera	3	Agradacional	FF'		4	Teri-sr	Rotacional
					HH'				
					LL'		4	Teri-ss	
					MM'				
Le-a-4	Ladera escarpada en areniscas de pendiente alta	Ladera	4	Agradacional	KK'		5	Teri-ss	Rotacional
Dea-s-2	Deslizamiento antiguo en suelos mixtos (orgánicos y residuales)-estabilizado	Depresión cóncava	2	Remoción en masa	OO'	SEV1-W1-W2-W3	4	Teri-sr	Traslacional / Rotacional
					NN'		5	Teri-ss	
Li-sr-1	Ladera inclinada en suelos residuales arenosos	Ladera	1	Agradacional y denudativa	AA'	A4-S2	2	Qm	Traslacional / Rotacional
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	
							6	Teri-cl	
Li-sr-2	Ladera inclinada en suelos residuales arenosos	Ladera	2	Agradacional y denudativa	BB'	A2-A3-T1-T2-S8	2	Qm	Traslacional / Rotacional
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	
							6	Teri-cl	
Li-ir-1	Ladera inclinada en limos rojos	Ladera	1	Agradacional	AA'	SEV8-S3	2	Qm	Traslacional / Rotacional
							3	Qlr	
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	
							6	Teri-cl	
Lpb-sr-2	Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos	Ladera	2	Agradacional y denudativa	CC'	SEV3-W4-W11-S4	2	Qm	Traslacional / Rotacional
					FF'		4	Teri-sr	
					GG'		5	Teri-ss	
Lpb-sr-3	Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos	Ladera	3	Agradacional y denudativa	HH'	W10	2	Qm	Traslacional / Rotacional
					JJ'		4	Teri-sr	
					LL'		5	Teri-ss	Rotacional
					MM'		6	Teri-cl	
Lpb-sr-4	Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos	Ladera	4	Agradacional y denudativa	KK'	AC4	2	Qm	Traslacional / Rotacional
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	

Tabla 4. 24 Zonificación geotécnica (continuación)

Lpb-sr-5	Ladera de pendiente baja en suelos residuales arenosos	Ladera	5	Agradacional y denudativa	MM'		4	Teri-sr	Traslacional/rotacional
							5	Teri-ss	Rotacional
Lpb-lr-1	Ladera de pendiente baja en limos rojos	Ladera	1	Agradacional	AA'	SEV7-SEV9-S1-S11	2	Qm	Traslacional / Rotacional
							3	Qlr	
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	
Lpb-lr-2	Ladera de pendiente baja en limos rojos	Ladera	2	Agradacional	BB'		2	Qm	Traslacional / Rotacional
							4	Teri-sr	
							5	Teri-ss	
Lpmb-ar-4	Ladera de pendiente muy baja en arcillolitas	Ladera	4	Agradacional y denudativa	KK'		2	Qm	Traslacional
					PP'		7	Tpb	
Lpmb-ar-5	Ladera de pendiente muy baja en arcillolitas	Ladera	5	Agradacional y denudativa	PP'		7	Tpb	Rotacional
Tea-r-2	Terraza agradacional en relleno de pendiente baja	Terraza	2	Agradacional antrópico	EE'	W6-W7	1	Qr	Rotacional
					HH'		4	Teri-sr	Traslacional / Rotacional
					II'		5	Teri-ss	
Tea-r-3	Terraza agradacional en relleno de pendiente baja	Terraza	3	Agradacional antrópico	HH'	AC1-AC2-AC3-AC5-SEV2-S5-S6	2	Qm	Traslacional / Rotacional
					II'		4	Teri-sr	
					JJ'				
					LL'				
					MM'				
Tea-r-5	Terraza agradacional en relleno de pendiente baja	Terraza	5	Agradacional antrópico	PP'		2	Qm	Rotacional
							7	Tpb	
Ta-r-2	Talud agradacional en relleno de pendiente baja	Talud	2	Agradacional antrópico	CC'	A1-SEV4-SEV5-SEV6-W5-S7	2	Qm	Traslacional / Rotacional
					DD'		4	Teri-sr	
					FF'				
					GG'				
Ta-r-3	Talud agradacional en relleno de pendiente baja	Talud	3	Agradacional antrópico	HH'	W8-W9	1	Qr	Traslacional / Rotacional
					II'		4	Teri-sr	
					JJ'				
					LL'				
Ta-r-4	Talud agradacional en relleno de pendiente baja	Talud	4	Agradacional antrópico	KK'		2	Qm	Traslacional / Rotacional
							5	Teri-ss	
							7	Tpb	

Tabla 4. 25. Parámetros físico mecánicos de los materiales

No.	Nombre	Descripción	γ (Ton/m ³)	SPT		Cortes directos	
				Cohesión (Ton/m ²)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	ϕ (°)
7	Tpb-cl	Arcillolitas de la Formación Bogotá	2,00	0,50	22,11	3,90	15,60
						2,50	22,90
						0,93	21,80
6	Teri-cl	Arcillolitas de la Formación Regadera	1,96	0,43	28,71	1,60	28,70
						0,00	23,57
						0,00	21,80
5	Teri-ss	Areniscas de la Formación Regadera	2,00	0,35	33,38	0,50	25,80
4	Teri-sr	Suelos residuales de la Formación Regadera	1,92	0,35	27,49		
3	Qlr	Limos rojos	1,87	0,05	29,31	2,10	31,00
2	Qm	Rellenos mixtos	1,69	0,01	28,97	0,21	31,00
1	Qr	Rellenos antrópicos	1,80	0,01	28,97		

CAPÍTULO 5.0

HIDROLOGÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el factor que más comúnmente se asocia con las fallas de los taludes y las laderas, debido a que la mayor parte de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos; pero este agente (agua) produce también alteración y cambios en la estructura de los materiales, procesos que dan lugar a erosión, expansión y colapso de los suelos. Unos y otros conllevan irreparablemente en áreas pobladas al deterioro de las unidades residenciales. Pijaos es uno de los mejores ejemplos, en donde pueden convivir dos o más de tales fenómenos, por ello conocer el comportamiento e influencia de la precipitación y de los sistemas de drenaje natural y artificial se convierte en una tarea imprescindible.

Este capítulo entonces, describe los componentes hidrológicos que causan la pérdida de la estructura del suelo, él se desarrolla gracias a un proceso metodológico que va desde la recopilación y evaluación de la información secundaria, hasta el análisis hidrológico compuesto por la caracterización de los drenajes naturales y artificiales, el marco hidrológico general y el establecimiento de la relación lluvia-deslizamiento como principal tópico.

Las microcuencas en las que se circunscribe el Barrio Pijaos – Jorge E. Cavelier fueron reseñadas y descritas con base en la información cartográfica del IGAC, planchas L38 y L39, año 1980, a escala 1:2000. Están ubicadas al sur oriente de Bogotá, en el flanco norte-noreste del cerro Las Lomas. Durante las últimas décadas han sido objeto de una creciente intervención urbana, reflejada en la construcción y desarrollo de numerosos barrios, de vías como la Avenida 10ª, y de modificaciones en el patrón de drenaje, especialmente el artificial, y por ende de la gestación de cambios en el comportamiento de las laderas.

5.2 OBJETIVOS

El estudio hidrológico en los barrios Pijaos y Jorge E. Cavelier de la localidad Rafael Uribe Uribe, tiene como objetivos principales:

- El levantamiento y la descripción del drenaje natural y artificial, esto incluye las redes de acueducto y alcantarillado.
- La caracterización de la lluvia: encierra la definición de los regímenes temporal y espacial de la precipitación media anual y la determinación de los aguaceros de corta duración.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y el causante directo o indirecto de los factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa y de los daños en las estructuras.

5.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El análisis hidrológico consta de las siguientes etapas:

a) Recopilación y análisis de información

- En primer término, se adquirieron y analizaron las planchas topográficas del IGAC L-38 y L-39 (Escala 1:2000) y las fotografías aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, correspondientes a los vuelos: M-46, escala 1:60.000, año 1955, fotos 4525 a 4527 y C-2265, escala 1:21.000, año 1986, fotos 60 a 62. Posteriormente sobre las planchas se determinaron las cuencas naturales (áreas que naturalmente drenan hacia los cauces de los ríos Fucha y San Cristóbal), y se estimaron así algunas de sus propiedades físicas.
- Se indagó en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, E.A.A.B, la información hidrológica e hidráulica existente. Esta incluye los planos de redes tanto de alcantarillado sanitario y pluvial como de acueducto; a partir de éstos, se definieron las áreas de drenaje inducidas (proyectadas o construidas en los barrios situados en la zona de influencia).
- Se incorporó el contexto urbanístico del DAPD en escala 1:1000, base con la cual se identificaron los desarrollos urbanos existentes en la cuenca natural aferente y en las vecindades de estas.

b) Caracterización del patrón de drenaje

- Involucra la definición de los sistemas natural o inducido, de las características físicas de las microcuencas, el tipo de cubierta y su capacidad de infiltración.

c) Análisis hidrológico

- Encierra la definición de los regímenes temporal y espacial de la precipitación media anual y la determinación de los aguaceros de corta duración.

5.4 DRENAJE NATURAL Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS Y DE LA RED DE DRENAJE

No existe red de drenaje definida en el barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier. Sin embargo, él está localizado en la base de la ladera norte del cerro ancho y alargado “Las Lomas” que sirve de divisoria de aguas entre las cuencas del río Fucha-Canal San Cristóbal y el río Tunjuelito al sur; es decir, pertenece a la vertiente occidental del río Fucha.

El canal San Cristóbal (recoge y transporta las aguas del río San Cristóbal) corre en sentido SE-NW y se localiza a tres kilómetros en sentido norte del barrio Pijaos y dos, hacia el noreste (plano 246-II-B-2, IGAC-1989, escala 1:10.000). La cota más baja del barrio es 2.600 m.s.n.m. y está 25 m. arriba del nivel de referencia, del canal San Cristóbal en el cruce con la Avenida Décima. Hacia el oriente discurren varios canales con dirección Noreste y desembocan en lagos y manantiales. El patrón de drenaje de estas corrientes menores, desde el punto de vista de origen es eminentemente natural y no permanente.

5.5 DRENAJE ARTIFICIAL

El diagnóstico del drenaje artificial está fundado en el análisis de los proyectos de alcantarillado sanitario y de aguas lluvias aprobados por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B). Es importante mencionar el hecho que las redes hidrosanitarias conforme a las normas de diseño ya cumplieron con su vida útil, pues su adecuación se remonta a los 32 años, sin embargo, testimonios de los habitantes reportan que el Acueducto en uso de sus funciones ha adelantado obras de reparaciones puntuales y sustitución de algunos tramos de conducción, tanto de alcantarillado como de acueducto.

5.5.1 ACUEDUCTO

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, cuyo nodo de distribución es la planta de Vitelma. La red principal está construida en tuberías con diámetros de 8" y 12". El 100% de las acometidas es oficial, y aparentemente el sistema no evidencia fugas en las redes y conexiones domiciliarias – patrón comprobado en campo.

Cabe anotar que por solicitud de la U.T. GIA Consultores-ATG Ltda., la DPAE envió una comunicación a la Gerencia del Acueducto-Zona 4, con el objeto de solicitar los reportes de daños en el sistema de redes de acueducto y alcantarillado desde 1994. La respuesta a esta comunicación se puede observar en el **Anexo D**, en donde se relacionan los daños que datan desde enero de 2002. Si bien, se tiene conocimiento de nueve (9) daños en el barrio, únicamente cuatro (4) han ocurrido en la zona delimitada contractualmente como área de estudio y se refieren principalmente a reparaciones menores y daños en la red de alcantarillado, la **Tabla 5.1** relaciona los mencionados casos, cuyas consecuencias no produjeron daños significativos en las estructuras, pero si saturaciones temporales de los materiales circundantes.

Tabla 5. 1. Reporte de daños acueducto y alcantarillado

REF ACUEDUCTO	FECHA	TRAMITE	DIRECCION
779781	12/10/2002	Pozo de alcantarillado represado	Kra 10 C No. 36 A – 22 sur
916455	13/08/2003	Acometida domiciliaria obstruida	Kra 10 C No. 36 A – 54 sur
790675	01/05/2003	Reparación de tubería estallada	Kra 12 Bis No. 36 – 11 sur
804993	02/03/2003	Daño en medidor de volumen	Kra 10 F No. 36 A – 70 sur

Fuente: Reporte Acueducto de Bogotá 0847-2003-2299, División Servicio de Alcantarillado Zona 4

5.5.2 AGUAS LLUVIAS

Los barrios cuentan con el diseño de alcantarillado pluvial por parte de El Acueducto de Bogotá. Los alcantarillados pluvial y sanitario son independientes, es decir cada uno cuenta con líneas de transporte. La localización y características típicas de la red de alcantarillado se pueden apreciar en el plano Topográfico (véase **Plano No. 1**). Es notable la carga hídrica en la zona pese a que el área de aporte es relativamente pequeña, esta condición puede ser atribuible a: los excesos que maneja la Avenida 10ª, principalmente en épocas muy lluviosas, que discurren por la ladera y provocan la saturación de los materiales, dada la reducida capacidad de conducción de la red existente.

5.5.3 AGUAS NEGRAS

Las aguas servidas vierten hacia un colector principal con diámetro de 16" localizado sobre la calle 36 Sur, el cual discurre hacia el canal San Cristóbal. La red está compuesta por colectores locales con diámetros que varían entre 8", 10" y 12" principalmente, (planchas L-38 y L-39 del Acueducto de Bogota-Dirección Redes, año 1987). En el **Plano No. 1**, se muestra la localización y características típicas de la red de alcantarillado sanitario, cuyo eje principal con una pendiente promedio que oscila entre 7% y 11%, transita por la carrera 11A en sentido SW-NE y luego en sentido W-E por la diagonal 36 Sur, recogiendo toda la red circundante.

5.6 MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

5.6.1 GENERALIDADES

El barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier está cimentado en una porción de la parte media a alta suroccidental de la cuenca de los ríos San Cristóbal-Fucha, en la que dominan niveles medios a altos de precipitación (>1000 m anuales), que gracias a las altas pendientes de las laderas aledañas (>20°), a la condición estructural de la secuencia estratigráfica –pues los estratos están dispuestos en contrapendiente estructural- y al grado de meteorización de las rocas, la escorrentía superficial posee tiempos de concentración bajos (<10 minutos).

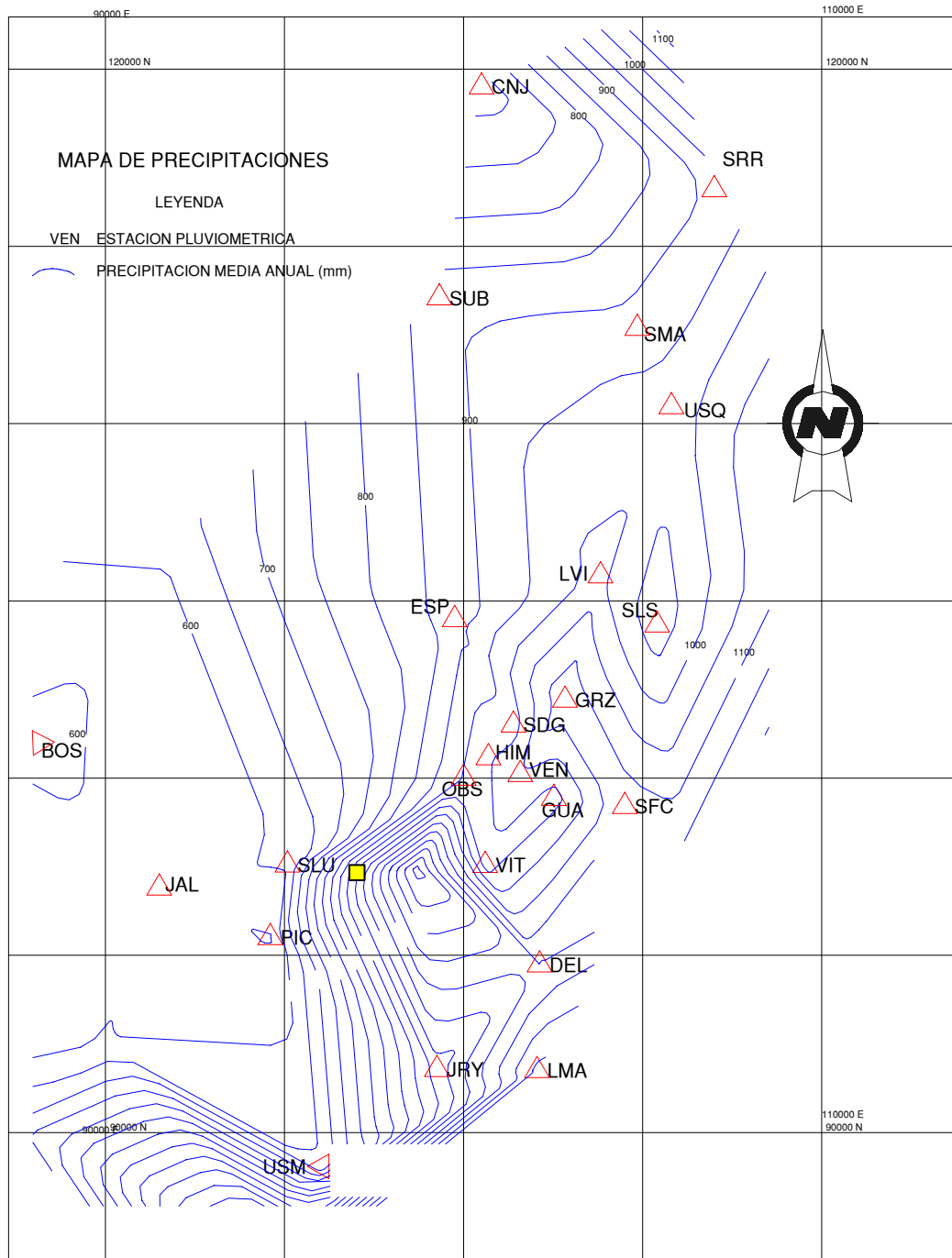
Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están asociados con los períodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales agentes detonantes. Por esta razón, es necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial, es decir, identificar los meses más lluviosos y los sectores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

5.6.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación Edificio Himat (2120160) ya que es la más cercana a la zona de estudio. La estación está ubicada en las coordenadas geodésicas 4°36' N, 74°04' W a una elevación de 2685 m.s.n.m. operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. La precipitación media multianual en la estación (aplicada al barrio Pijaos) es del orden de 1033.3 mm, registro similar a los 1000 a 1100 mm obtenidos en 1998 con la Distribución Espacial de la Precipitación media Anual en Bogotá. (Véase **Figura 5.1 y Anexo D**).

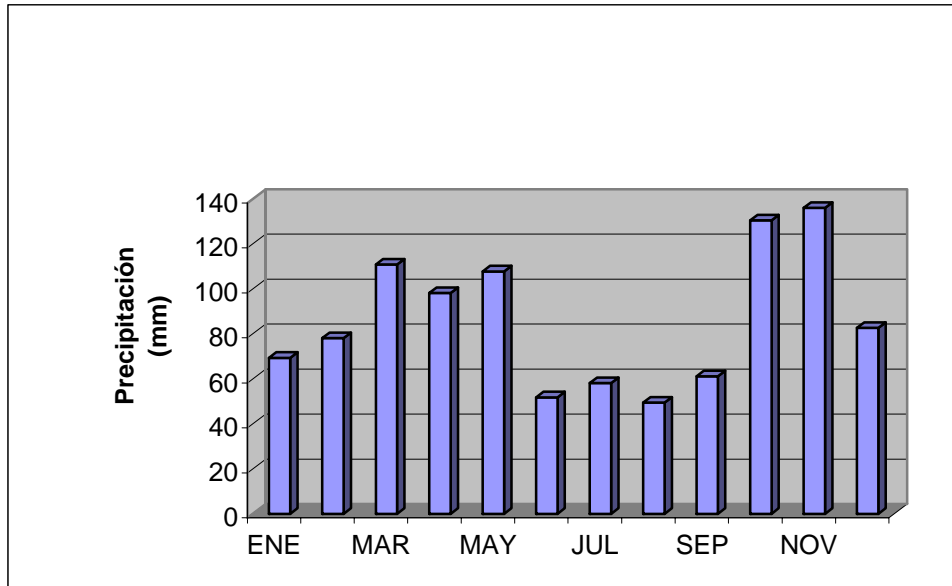
La distribución temporal de la precipitación es bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de marzo a mayo, en el primer semestre del año, y octubre a noviembre en el segundo semestre, como se observa en la **Figura 5. 2**. El mes con mayor precipitación es noviembre con un promedio mensual multianual de 136 mm.

Figura 5. 1 Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá y localización de la zona de estudio (punto Amarillo).¹



¹ Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998)

Figura 5. 2 Histograma de precipitaciones medias mensuales multianuales (1986 - 2003) en la estación Edificio Himat.



Precipitación de corta duración – Curva de intensidad – Duración - Frecuencia

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 a Santafé de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. El sector de análisis está ubicado en la zona 3, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es Fontibón (2120547), operada por El Acueducto.

5.7 LLUVIA CRÍTICA² (RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO)

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

- Aumenta la presión de poros y por consiguiente disminuye los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- Origina presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.

² González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). Relaciones de precipitación crítica-duración que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

- Produce fuerzas hidrodinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie del talud o ladera.
- Reduce la cohesión del material (ablandamiento).
- Acelera la meteorización.
- Genera erosión interna.
- Incrementa el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad se incrementa por la ocurrencia de las lluvias durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia, gracias a que el talud no ha drenado el agua infiltrada cuando ocurre la siguiente, lo anterior no es otra cosa que un fenómeno de acumulación progresiva hasta alcanzar los umbrales de inestabilidad.

Debido a la falta de un inventario de deslizamientos, en el que se precise la fecha de ocurrencia y la localización del evento; no fue posible hacer un análisis estadístico local y detallado de la relación lluvia deslizamiento. Por esta razón se recurrió a los resultados del "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998). En este estudio, basado en un inventario histórico de deslizamientos (en Bogotá) detonados por lluvias y en registros históricos de precipitaciones diarias de estaciones ubicadas en Bogotá, se encontró que la ciudad, a partir de la lluvia crítica y de su duración, se puede dividir en dos zonas mediante las ecuaciones ilustradas en la Tabla 5. 2.

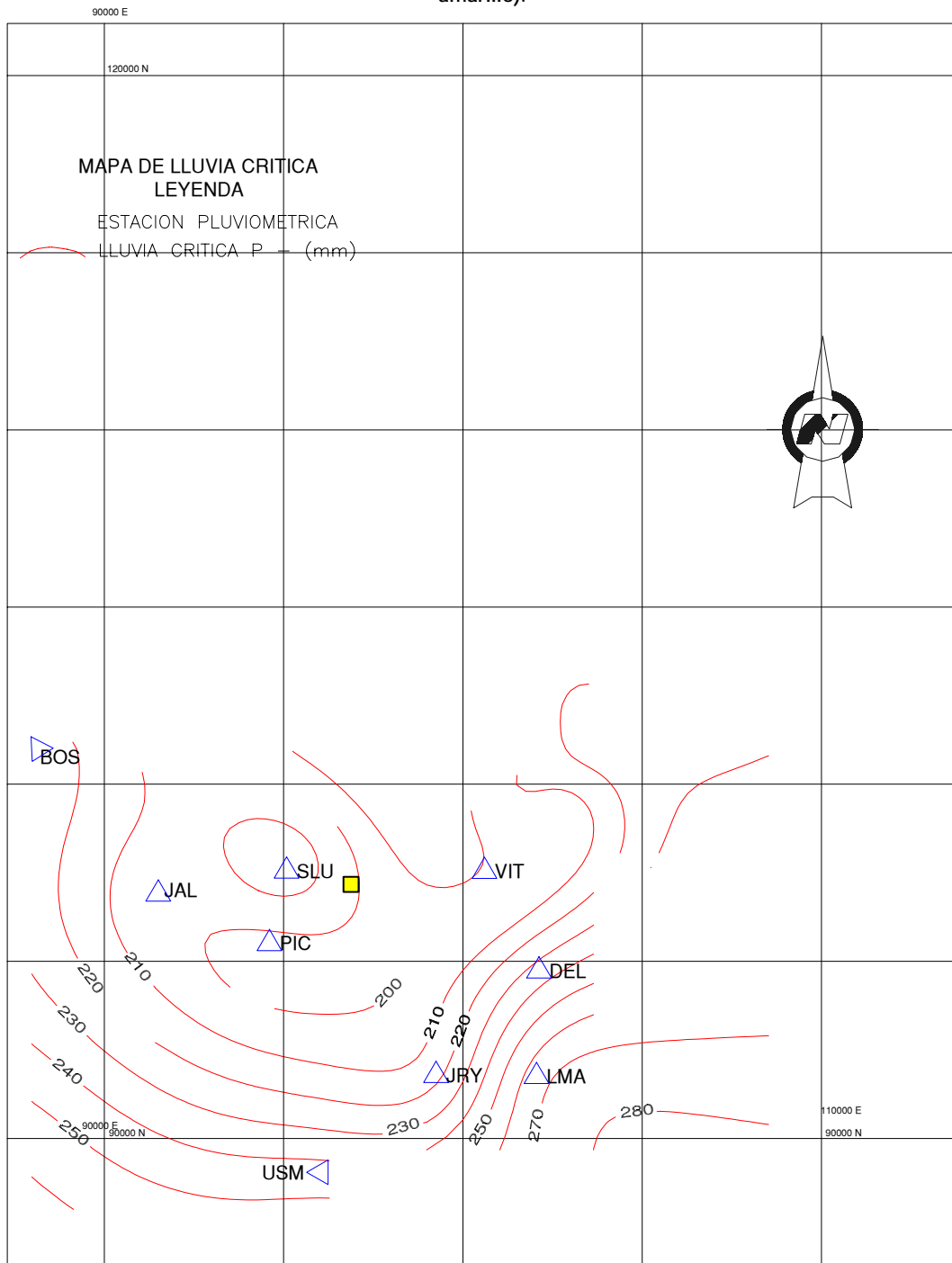
Tabla 5. 2 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998).

ZONA	LLUVIA CRÍTICA (MM)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	$0.3609 \times \text{Lluvia anual (mm)}$	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	$12.6325 + 0.1814 \times \text{Lluvia anual (mm)}$	$0.04923 * LLcrit$

Los barrios Pijaos-Jorge E. Cavellier pertenecen a la zona Suroccidental; lo que traduce para los valores de lluvia anual (1033.3 mm aproximadamente), una precipitación acumulada crítica de 200 mm, con una duración de 30 días y un período de retorno de 30 años. (Véanse Figura 5. 3 y Figura 5. 4).

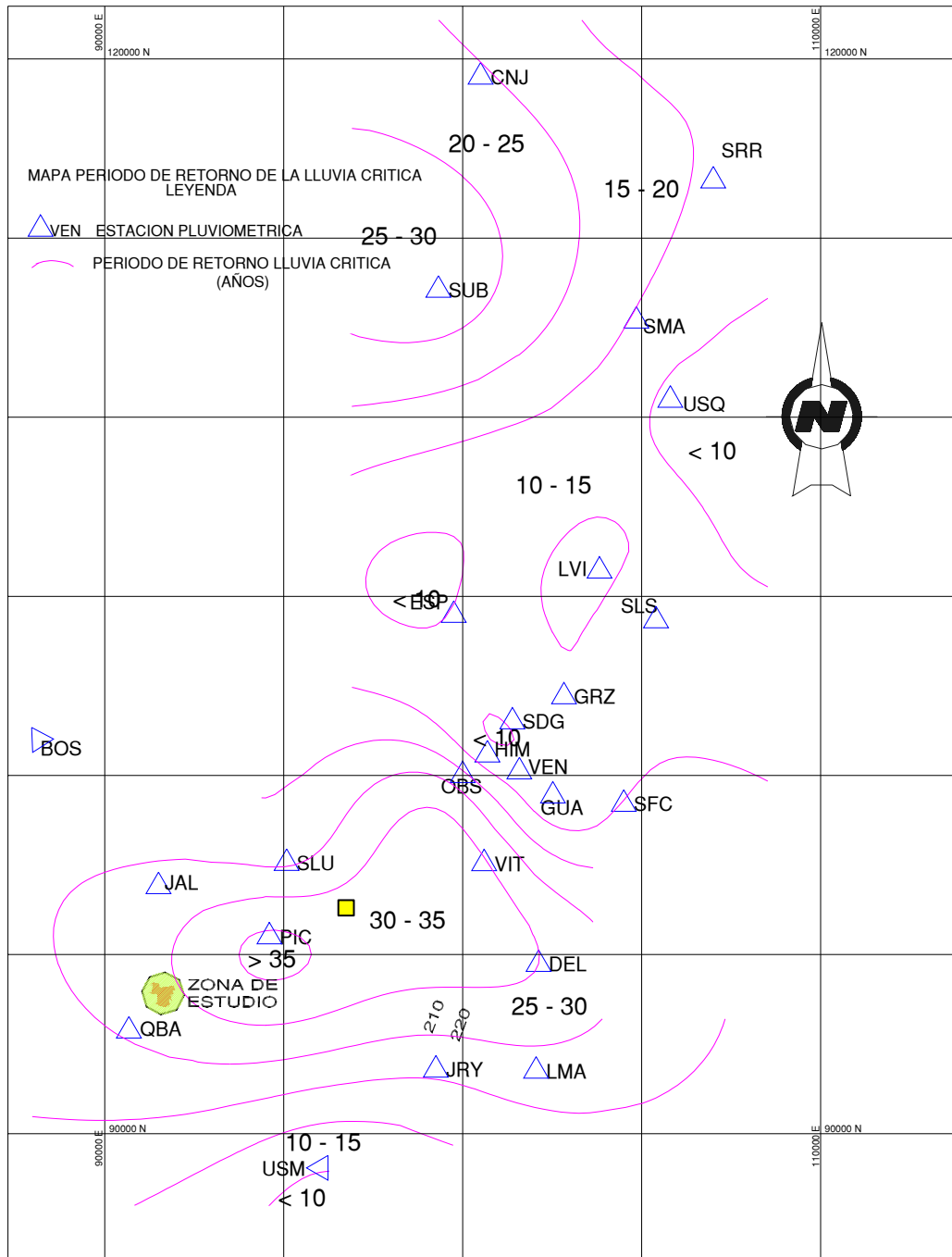
De acuerdo con estos resultados se puede concluir que el papel del agua, es el servir como agente disparador para períodos de exposición cortos (< 30 años), lo cual sólo podría explicarse por la conjugación de más de una fuente, v.gr. aguas lluvias y aguas servidas.

Figura 5. 3 Distribución espacial de la precipitación crítica en Bogotá y localización de la zona de estudio (punto amarillo).³



³ Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM -

Figura 5. 4 Distribución espacial de periodos de retorno de la precipitación crítica en Bogotá y localización de la zona de estudio (punto cuadrado de color amarillo).4



UPES, 1998)

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

CAPÍTULO 6.0

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y EVALUACIÓN DE AMENAZA

La primera etapa del análisis de estabilidad se enfocó al estudio direccional de los modos y posibilidad de deslizamiento a lo largo de los planos de debilidad estructural, en el marco de exposición del macizo rocoso, y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes, todo ello a partir de la aplicación del análisis cinemático (Goodman, 1989 y Hoek and Bray, 1974).

En una segunda etapa se modelaron, con la ayuda de los métodos de equilibrio límite, para cada zona homogénea, los modos probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) en los principales cuerpos de cuaternario, mediante deslizamientos rotacionales y traslacionales, y en los medios rocosos, fallas rotacionales.

6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

En este análisis se evalúan los modos probables de falla para el conjunto de taludes en los que se expresa el macizo rocoso, i.e. las zonas homogéneas Li-sr-2, Le-a-2, Le-a-3 y Le-a-4 contrastándolos con los posibles planos de movilización (véanse Tablas 4.18 y 4.19). La **Tabla 6.1** lista las características de los taludes estudiados, nombrados de T₁ a T₅, entre las que se citan rumbo, pendientes máxima y mínima y altura, y el plano 6 reseña su ubicación espacial.

Tabla 6.1 Características de taludes estudiados

Ladera	Orientación	Buzamiento		Altura	Zona Homogénea
		Máximo	Mínimo		
T1	N40W/51NE	51	45	10	Le-a-4, Le-a-3
T2	N75W/51NE	51	45	15	Le-a-3, Le-a-2
T3	N40W/45NE	45	41	10-15	Le-a-2
T4	N45W/27NE	27	27	20	Li-sr-2

Las memorias del análisis cinemático aparecen en el **Anexo E1**; éstas se sintetizan en la **Tabla 6.2** para el conjunto completo de mecanismos. En ellas se evidencia que bajo las condiciones geométricas mencionadas para los taludes, los cuales representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el Capítulo 4, Numeral 4.4.1.1, las laderas no exhibe configuración de falla planar o en cuña. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos, así:

- Las laderas, en su mayoría, no se encuentran direccionalmente paralelas a las familias promedio de discontinuidades

Tabla 6. 2 Resumen de análisis cinemático

Ladera		Familias de Discontinuidades		Posibilidad Cinemática		
ID	Orientación	Planos	Cuñas	Planar	En Cuña	Volteo
T1	N40W/51NE		296/37 351/25 213/4	NO	NO	NO
T2	N78W/51NE	298/37 300/37 74/76	239/22 301/37 36/20 351/25 213/4 239/22 301/37	NO	NO	NO
T3	N40W/45NE	304/76 155/80 20/76 158/56	37/19 7/59 103/74 40/74 142/56 231/51 340/72	NO	NO	NO
T4	N45W/27NE		222/33 80/61 242/09 98/37	NO	NO	NO

Los buzamientos de los planos estructurales desfavorablemente orientados, es decir, con rumbo paralelo al de las laderas, son superiores a las inclinaciones de los taludes.

- El ángulo de fricción básico de los planos estructurales es superior tanto al buzamiento de la mayoría de las superficies de movilización (falla planar), como al de sus intersecciones (falla en cuña).

La posibilidad cinemática de falla por volteo carece de condiciones para su desarrollo: la primera de ellas está relacionada con la baja persistencia modal y el bajo espaciamiento de las discontinuidades, variables que son reflejo directo de la génesis continental de la Formación Regadera; y la segunda radica en la configuración topográfica de las superficies libres (taludes), caracterizada por la baja pendiente de las laderas naturales (ausencia de cortes pseudo verticales altos).

Por último, se destaca que la movilización de los cuaternarios (i.e. llenos antrópicos y suelos residuales) no está controlada o condicionada por el patrón estructural del macizo. La estratificación evidencia azimuts de buzamiento, con variaciones cercanas a los 90° con relación al de las superficies de movilización de los depósitos, propios de una contrapendiente estructural, y los planos de diaclasamiento, en ningún caso son receptores o sirven de superficie de reposo de los cuerpos antrópicos.

6.2 MODELACIÓN DE ESTABILIDAD

Con este tópico se pretende más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales (como puede ser el caso de un talud seco sin sismo), ilustrar el espectro de posibilidades para el que aquellos pueden mantenerse estables o fallar, procedimiento que se constituye en el análisis de sensibilidad.

El resultado del análisis de estabilidad tiene mayor representatividad cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando reporta un factor de seguridad, el cual no es sino un valor numérico de uno de los múltiples eventos factibles. Por ello, la evaluación de estabilidad tiene como objetivo principal servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla. En este orden de ideas, se estudian tanto los estados más críticos de trabajo como los más probables a los que podrían estar sometidas las laderas. El desarrollo de este tema requirió el tratamiento previo de cuatro tópicos básicos denominados hipótesis de trabajo, como son: los parámetros efectivos de resistencia de cada material y su intervalo de variación; los eventos detonantes; el o los mecanismos de falla y el procedimiento de evaluación (modelación).

El primer tópico (parámetros de resistencia), fue obtenido a partir de tres fuentes básicas: 1) ensayos de campo y laboratorio del marco de este proyecto, que fueron consignados en las **Tablas 4.7 y 4.10** así como en las **Figuras 4.1 a 4.6 y 6.1**; 2) información secundaria seleccionada por similitudes litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de Investigaciones Geotécnicas Ltda (2000) e Hidrotec Ltda (1997). Ésta correspondió a los ensayos de corte en las arcillas de la Formación Bogotá y en los llenos antrópicos, y facilitó la calibración de los parámetros en el cuaternario; 3) retroalimentación, iterativa, de los propios análisis de estabilidad, en los taludes inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos, en condiciones de no lluvia y no sismo, condujera a una condición estable ($FS \geq 1.0$), tal como lo evidencia la configuración actual del terreno en esos casos.

La tarea así expuesta, involucró estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos enmarcados en las secciones de análisis, mediante el ensayo de varios juegos de parámetros (véase **Anexo E.2**). Las combinaciones y comentarios propios de cada una de las corridas se muestran en las memorias de cálculo del **Anexo E.4**.

La deducción de la relación predictiva de los parámetros movilizados en la falla, se realizó además con base en el criterio de la similitud geomorfológica propuesta por Hoek y Bray (1974), que sostiene que es posible obtener los parámetros movilizados en la falla en un talud, a partir de otros, siempre y cuando su litología y mecanismo de falla sean similares, aunque su geometría no lo sea. De esta forma, las curvas c' vs. ϕ' de los taludes, teóricamente deben intersectarse en un sólo punto; sin embargo, las variaciones no identificables en litología o grado de meteorización, y las imprecisiones en el nivel de agua ocasionan dispersiones en los resultados, razón por la cual, se demarca un intervalo de dominio de los parámetros. Intervalo que coadyuda a precisar los parámetros máximos y mínimos para los materiales involucrados. Este procedimiento fue de gran importancia para extrapolar los valores de resistencia, c' , ϕ' , entre zonas homogéneas.

Adicionalmente, los parámetros geomecánicos en condición dinámica se calcularon con la formulación propuesta por Ishihara (1996):

$$\phi'_d = \phi'_e$$
$$c'_d = c'_e \left(1 + \frac{\alpha}{0.5} \right)$$

donde:

ϕ'_d = ángulo de fricción para la condición dinámica

ϕ'_e = ángulo de fricción para la condición estática

c'_d = cohesión para la condición dinámica

c'_e = cohesión para la condición estática

$\alpha = a/g$

En la **Tabla 6.3** se listan los valores promedio de los parámetros estáticos y dinámicos de resistencia según el tipo de material y se especifica la fuente de donde provienen los valores. Otros espectros de parámetros estudiados se condensan en las tablas del Anexo E.2, ellos fueron rechazados pues no satisfacían el criterio adoptado en la retroalimentación. Aparte los mecanismos de falla posibles, segundo tópico, semejan modelos a) de falla rotacional donde los materiales involucrados son rellenos antrópicos, suelos residuales de regadera, limos rojos o secuencias donde participan los dos primeros o el primero y el último ; b) fallas planares en suelo – cuaternarios delgados: llenos antrópicos (Qr) y suelos residuales Teri-sr -; c) fallas compuestas en estos últimos. En la **Tabla 4.24** se establecen, para las distintas zonas homogéneas, los mecanismos de falla analizados correspondientes a los materiales que hacen parte de la respectiva secuencia estratigráfica.

Los agentes detonantes se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvias (Ll) y sismos (Eq). Tales condiciones son cuatro, y corresponden a la combinación de ocurrencia o no de lluvias críticas y de sismos de diseño. La determinación de sus valores se explica con detalle en el Numeral 6.3.1.

Tabla 6. 3 Parámetros estáticos y dinámicos de resistencia

Tabla 6.3. Parámetros de resistencia estáticos y dinámicos

No.	Nombre	Descripción	γ (Ton/m ³)	SPT		Corte Directo		Valor promedio				Valor mínimo				Valor máximo				Observaciones												
				Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS		ESTÁTICOS		DINÁMICOS														
								Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión (Ton/m ²)	φ (°)													
7	Tpb-cl	Arcilloлита de la Formación Bogotá	2,037	0,50	22,11	3,90	15,60	1,667	20,948	2,668	20,948	1,267	16,424	2,027	16,424	2,067	25,214	3,308	25,214	Los parámetros promedio se definen como la media aritmética de las muestras estadísticas disponibles por material. Los máximos y mínimos se calculan con coeficientes de variación de 0.22 para Tag φ y 0.24 si se trata de c'. Los coeficientes de variación se asumen de los materiales con mayor número de pruebas (ensayos de laboratorio) es decir Tpb-cl, Teri-cl y Teri-ss, y se extrapolan al resto.												
						2,50	22,90																									
						0,93	21,80																									
6	Teri-cl	Arcilloлита de la Formación Regadera	2,112	0,43	28,71	1,60	28,70	0,652	26,717	1,043	26,717	0,495	21,184	0,792	21,184	0,808	31,761	1,293	31,761													
						0,00	21,80																									
						0,00	23,57																									
5	Teri-ss	Arenisca de la Formación Regadera	1,979	0,35	33,38	0,50	25,80	0,442	28,969	0,707	28,969	0,336	23,087	0,537	23,087	0,548	34,252	0,876	34,252													
4	Teri-sr	Suelo residual Formación Regadera	2,045	0,35	27,49			0,350	27,490	0,560	27,490	0,266	21,834	0,426	21,834	0,434	32,620	0,694	32,620													
3	Qlr	Limos Rojos	1,866	0,05	29,31	2,10	31,00	0,050	29,310	0,080	29,310	0,038	23,378	0,061	23,378	0,062	34,626	0,099	34,626													
2	Qm	Rellenos Mixtos	2,097	0,01	28,97	0,21	31,00	0,294	28,970	0,470	28,970	0,223	23,088	0,358	23,088	0,365	34,253	0,583	34,253													
1	Qr	Rellenos antropicos	1,930	0,01	28,97			0,294	28,970	0,470	28,970	0,223	23,088	0,358	23,088	0,365	34,253	0,583	34,253													

El cuarto y último tópico: la modelación, se planteó gracias a los métodos de equilibrio límite dependiendo de los mecanismos evaluados, así: falla planar infinita en suelo con ayuda de hojas de cálculo debidamente validadas; y deslizamientos rotacionales, traslacionales y en bloque, empleando como herramienta de trabajo el programa PCStable 6, método de Jambu. Para todos los casos, se contempló en primera instancia, la determinación de la geometría de las superficies críticas gracias a los parámetros de resistencia mínimos de los materiales involucrados (Véase **Tabla 6.3**) y, en segundo lugar el cálculo del factor de seguridad para las diferentes combinaciones (16) de parámetros y eventos detonantes.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecieron 16 secciones de análisis (A-A' a P-P') que se muestran en planta en el **Plano 6** y en perfil, en los **Planos 7 a 12**. Las secciones se subdividieron con base en las zonas homogéneas y en los materiales susceptibles y, sobre los tramos resultantes se evaluaron los cuerpos potencialmente inestables de acuerdo con su dirección probable de movilización. A cada análisis se le asignó un código numérico (entre paréntesis) que acompaña la nomenclatura de las secciones y que diferencia sucesivamente el tipo de falla (general o local), el material o la zona homogénea. Así por ejemplo, la sección J-J' se segmentó entre otros en los tramos J-J'-1 y J-J'-2: en la primera de ellas la masa crítica se moviliza de manera rotacional en la zona homogénea Lpb-sr-3., mientras que la segunda, involucra la falla local de tipo traslacional en suelos residuales (Tea-r-3).

Se asume entonces, que el grado de estabilidad de cada una de las secciones (o sus partes) es atribuible a la región homogénea a la cual pertenece, salvo si se destacan variaciones importantes entre secciones contiguas de la misma zona p.e: entre la JJ', LL' y MM'. El lector puede apreciar, de los modelos ilustrados en los **Planos 7 a 12**, el papel secundario del patrón estructural en las condiciones de trabajo actual de los taludes y en la **Tabla 6.4** y en la **Tabla 6.5** los factores de seguridad obtenidos haciendo uso de los parámetros de resistencia promedio para los mecanismos a) planar (zonas homogéneas Deas-2, Lpb-sr-2, Lpb-sr-3, Lpb-sr-4, Lpb-sr-5, Lpb-lr-1, Lpb-lr-2, Lpmb-ar-4, Lmpb-ar-5, Tea-r-2, Tea-r-3, Tea-r-5 y Ta-r-2) y b) rotacional (zonas homogéneas Lea-2, Le-a-3, Le-a-4, Dea-s-2, Li-sr-1, Li-sr-2, Li-lr-1, Lpb-sr-2, Lpb-sr-3, Lpb-sr-4, Lpb-sr-5, Lpb-lr-2, Lpmb-ar-4, Lmpb-ar-5, Tea-r-2, Tea-r-3, Tea-r-5, Ta-r-2 y Ta-r-3) con los que se establecen las superficies críticas del **Anexo E.3**.

Así entonces, a la luz de los *FS* obtenidos, se concluye que la mayoría de los taludes son estables aún para condiciones extremas de agua o de aceleración sísmica. En este sentido sólo podrían esperarse fallas de las laderas, en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia por reblandecimiento o colapso, para el residual, y para una acción dinámica de flujo –i.e. presurización de un horizonte de suelo – o gracias a la acción continuada de las aguas de infiltración provenientes del régimen hidrogeológico (nivel piezométrico por aumento de presión en los niveles saturados –resultado de las aguas lluvias–) o de la red de alcantarillado. Los cuerpos que primero expondrían este tipo de trabajo son los suelos residuales arenosos y areno-arcillosos.

Los deslizamientos en los materiales pueden ser rotacionales y tener lugar en estados de reblandecimiento del manto superior. Los procesos de inestabilidad son principalmente locales, y pueden ocurrir indiferentemente en todas las unidades (zonas homogéneas) aunque con mayor hincapié en las regiones Ta-r-2, ladera CC1-3T.SI y DD1(3) Ta-r-3 (taludes II', y KK') y Tea-r-3, superficies II', JJ' y MM', y se concentran en los llenos antrópicos configurados para la cimentación de las unidades residenciales o para el amoblamiento urbano (parques y y paraderos): La movilización en el cuaternario se realizaría cerca al contacto con la roca en los modelos de falla planar, si se trata de los suelos residuales, o involucra

Tabla 6. 4 Valores de esperanza –mecanismo traslacional

ZONA GEOTÉCNICA HOMOGÉNEA	SECCIÓN DE ANÁLISIS	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS prom
			f medio (°)	Cohesión Estática (T/m ²)	Lluvia	Sismo	
Dea-s-2	OO'	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	2,145
					Sin	Con	1,162
					Con	Sin	1,240
					Con	Con	0,703
Lpb-sr-2	FF1-1	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	4,621
					Sin	Con	1,640
					Con	Sin	2,762
					Con	Con	1,059
Lpb-sr-3	JJITA-5T	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	4,743
					Sin	Con	1,502
					Con	Sin	3,610
					Con	Con	1,172
	LL1-1	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	3,859
					Sin	Con	1,465
					Con	Sin	3,379
					Con	Con	1,284
	M-M1(2)	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	3,572
					Sin	Con	1,421
					Con	Sin	2,052
					Con	Con	0,864
Lpb-sr-4	KK3T	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	4,915
					Sin	Con	2,150
					Con	Sin	3,350
					Con	Con	1,578
Lpb-sr-5	KK3T	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	4,915
					Sin	Con	2,150
					Con	Sin	3,350
					Con	Con	1,578
Lpb-lr-1	AA1-3	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	3,970
					Sin	Con	1,524
					Con	Sin	2,114
					Con	Con	0,856
Lpb-lr-2	BB1-1	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	4,787
					Sin	Con	1,684
					Con	Sin	2,975
					Con	Con	1,325
Tea-r-2	II'	Or	20,948	2,940	Sin	Sin	6,288
					Sin	Con	1,604
					Con	Sin	4,649
					Con	Con	1,198
Tea-r-3	JJ'	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	1,973
					Sin	Con	0,981
					Con	Sin	1,128
					Con	Con	0,585
	LL1-2	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	3,349
					Sin	Con	1,320
					Con	Sin	2,937
					Con	Con	1,173
	MM1-7(J)T	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	2,952
					Sin	Con	1,235
					Con	Sin	2,172
					Con	Con	0,928
Tat-2	CC1-3TS1	Qm	20,948	2,940	Sin	Sin	1,360
					Sin	Con	0,960
					Con	Sin	0,738
					Con	Con	0,558
	D-D1(3)	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	1,274
					Sin	Con	0,861
					Con	Sin	0,663
					Con	Con	0,481

Tabla 6. 5 Valores de esperanza –mecanismo rotacional

ZONA GEOTÉCNICA HOMOGÉNEA	SECCIÓN DE ANÁLISIS	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS prom
			f medio (°)	Cohesión Estática (T/m ²)	Lluvia	Sismo	
Le-a-1 y Le-a-2	JJ'	Teri-ss	28,969	4,420	Sin	Sin	2,575
					Sin	Con	1,703
					Con	Sin	1,883
	FF'	Teri-ss	28,969	4,420	Con	Con	1,453
					Sin	Sin	2,260
					Sin	Con	2,441
Le-a-3	L-L	Teri-ss	28,969	4,420	Con	Sin	1,996
					Con	Con	2,183
					Sin	Sin	2,223
	M-M	Teri-ss	28,969	4,420	Sin	Con	2,078
					Con	Sin	1,480
					Con	Con	1,524
Le-a-4	K-K	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	2,898
					Sin	Con	2,345
					Con	Sin	1,922
					Con	Con	1,704
Li-sr-1	AA1	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	4,627
					Sin	Con	2,617
					Con	Sin	3,240
					Con	Con	1,981
Li-sr-2	BB1	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	1,442
					Sin	Con	0,980
					Con	Sin	0,726
					Con	Con	0,523
Li-lr-1	AA1	Qm-Qlr	28,970	2,940	Sin	Sin	1,602
					Sin	Con	1,364
					Con	Sin	0,908
					Con	Con	0,688
Lpb-sr-2	FF1	Teri-sr-Qm	27,490	3,500	Sin	Sin	1,442
					Sin	Con	0,980
					Con	Sin	0,726
					Con	Con	0,523
Lpb-sr-3	HH'	Qm-Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	4,281
					Sin	Con	1,526
					Con	Sin	2,524
					Con	Con	0,941
	MM-1	Teri-sr-Qm	27,490	3,500	Sin	Sin	3,228
					Sin	Con	1,323
					Con	Sin	2,677
					Con	Con	1,113
	LL-1	Teri-sr-Qm	27,490	3,500	Sin	Sin	3,490
					Sin	Con	1,314
					Con	Sin	2,268
					Con	Con	0,838
Lpb-sr-4 y Lpb-sr-5	KK'	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	3,648
					Sin	Con	1,344
					Con	Sin	2,445
					Con	Con	0,890
Lpb-lr-2	BB2	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	4,627
					Sin	Con	2,617
					Con	Sin	3,240
					Con	Con	1,981
Lpmb-ar-4	KK'	Teri-ss	28,969	4,420	Sin	Sin	3,587
					Sin	Con	1,608
					Con	Sin	2,136
					Con	Con	1,026
Lpmb-ar-4	KK'	Teri-ss	28,969	4,420	Sin	Sin	2,430
					Sin	Con	1,180
					Con	Sin	1,607
					Con	Con	0,815

Tabla 6. 5 Valores de esperanza –mecanismo rotacional (continuación)

Tea-r-3	HH'	Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	1,223
					Sin	Con	0,853
					Con	Sin	0,613
					Con	Con	0,447
	II'	Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	1,530
					Sin	Con	0,975
					Con	Sin	0,814
					Con	Con	0,539
	JJ	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	2,256
					Sin	Con	1,127
					Con	Sin	1,693
					Con	Con	0,792
JJ	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	1,770	
				Sin	Con	0,995	
				Con	Sin	0,943	
				Con	Con	0,545	
MM	Teri-ss	28,969	4,420	Sin	Sin	1,936	
				Sin	Con	0,824	
				Con	Sin	1,200	
				Con	Con	0,486	
Tea-r-5	PP'	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	3,503
					Sin	Con	1,510
					Con	Sin	2,360
					Con	Con	1,055
Ta-r-2	CC'	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	1,293
					Sin	Con	0,885
					Con	Sin	0,633
					Con	Con	0,453
	DD'	Teri-sr	27,490	3,500	Sin	Sin	1,244
					Sin	Con	0,850
					Con	Sin	0,629
					Con	Con	0,448
	EE'	Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	1,474
					Sin	Con	1,167
					Con	Sin	0,782
					Con	Con	0,684
Ta-r-3	HH'	Qm	28,970	2,940	Sin	Sin	2,936
					Sin	Con	1,262
					Con	Sin	1,675
					Con	Con	0,746
	II'	Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	1,530
					Sin	Con	0,975
					Con	Sin	0,814
					Con	Con	0,539
	KK'	Qr	28,970	2,940	Sin	Sin	2,430
					Sin	Con	1,180
					Con	Sin	1,697
					Con	Con	0,815

exclusivamente el depósito para los cuerpos antrópicos (Q_m o Q_r); su falla se daría en estado saturado ($R_u=0.48$) o presurizado (W_1), bajo acción sísmica. Las consecuencias de la activación de los cuerpos, se cree, pueden ser parciales y de pequeña magnitud, pues las masas potenciales cuentan con espacios de amortiguamiento u ocurren en franjas no pobladas.

Los deslizamientos generales si bien involucran a los llenos (Q_r o Q_m) y a los suelos residuales (Teri-sr) tienen como escenarios de gestación las zonas homogéneas Lpb-lr-1 (sección AA1-3), Lpb-lr-2 (corte BB1-1), Lpb-sr-3 (Sección M-M1(2)) y Tea-r-3. Ellos tendrían lugar toda vez que los niveles de agua y sismo extremos actúen conjuntamente, escenario poco probable y aún no acaecido. Lo anterior deja al descubierto que los daños en las viviendas de las manzanas 5, 7 y 9 no son causados por fenómenos de remoción en masa. Tales daños son, salvo los de las unidades 8 y 15 de la manzana 7 que son provocados por deslizamientos locales de tierra, producto del colapso del suelo de fundación, especialmente del residual de Regadera Teri-sr, gracias al aporte del agua de escorrentía en la parte superior de la vertiente. Flujo que puede provenir del sistema de drenaje de la Avenida Décima, o de la línea interceptora paralela a la calle 36B sur. En este sentido queda explícita, desde ya la necesidad de interceptar las aguas de infiltración y drenar los horizontes presurizados, es decir el lleno antrópico y el suelo residual.

6.3 EVALUACIÓN DE AMENAZA ACTUAL POR REMOCIÓN EN MASA

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, puede describirse en el caso de deslizamientos, mediante la evaluación del factor de seguridad FS como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). Pero para estimar la probabilidad de falla es necesario conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001). La solución a la relación existente entre estas dos variables y la obtención de las mismas, se plantea aquí siguiendo los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987). Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (FRM) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales, en donde la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P(D/\bar{L}\bar{S})p(\bar{L}\bar{S})$$

Dicha probabilidad, como lo expresan sus términos, es función de las probabilidades condicionales de que se presente el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo, así:

- $p(D)$: Es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento
- $P(D/LS)$: Es la probabilidad condicional de que tenga lugar el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo
- $p(LS)$: Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente
- $P(D/L\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que se genere el deslizamiento dado que haya lluvia y no se presente sismo
- $p(L\bar{S})$: Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca sismo
- $P(D/\bar{L}S)$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no haya lluvia.
- $p(\bar{L}S)$: Es la probabilidad de que se presente sismo, pero no lluvia

$P(D/\overline{LS})$: Es la probabilidad condicional de ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo
 $p(\overline{LS})$: Es la probabilidad de que no se presenten ni el sismo ni la lluvia

El PEM permite, conocidas las distribuciones estadísticas de los n parámetros que intervienen en el problema combinados en un algoritmo que resulta en un factor de seguridad, obtener el promedio y la desviación estándar de dicho FS y por ende, la probabilidad condicional.

Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla, en este sentido, se recurre a los tratados en el Numeral 6.2; y a las funciones de probabilidad de las variables involucradas. Estos elementos, coligados con los resultados del análisis de estabilidad para las distintas combinaciones permiten determinar las curvas de probabilidad de falla para cada uno de los taludes en estudio. Cabe destacar que durante el trabajo se hizo énfasis en el modelamiento de los llenos antrópicos y los horizontes de suelo residual por ser los materiales con mayor posibilidad de movilización.

6.3.1 VARIABLES ALEATORIAS: LÍMITES Y DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Se consideraron como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre: la cohesión, el ángulo de fricción, el nivel de agua (relacionado con la lluvia) y la aceleración sísmica. Las dos primeras, denominadas endógenas, se estimaron para cada material y las dos últimas, entendidas como los eventos condicionantes o exógenos, recibieron tratamiento basado en los registros históricos disponibles. Todos los demás parámetros se suponen conocidos y con muy baja variabilidad, es decir, determinísticos.

Los límites de los intervalos de las variables endógenas, se definieron con ayuda del criterio utilizado en DPAAE (2000) que se adoptó así: los parámetros promedio por material se obtienen como la media aritmética de la información fuente disponible (primaria o secundaria) para cada uno. Los valores máximos y mínimos esperados, se calcularon mediante la suma y sustracción de los coeficientes de variación (cv) - 0.24 para c' y 0.22 para $tg \phi'$ - deducidos éstos para los materiales que disponen de la mayor cantidad de ensayos, i.e. Arcillolitas de la Formación Bogotá (Tpb-cl); las arcillolitas de la Formación Regadera (Teri-cl) y las areniscas de la Formación Regadera (Teri-ss) y extrapolados a los restantes,

$$\begin{aligned}c'_{\max} &= c'_{prom} + 0.24 * c'_{prom} \\c'_{\min} &= c'_{prom} - 0.24 * c'_{prom} \\tg \phi'_{\max} &= tg \phi'_{prom} + 0.22 \cdot tg \phi'_{prom} \\tg \phi'_{\min} &= tg \phi'_{prom} - 0.22 \cdot tg \phi'_{prom}\end{aligned}\tag{a}$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{aligned}c'_{prom} &= \frac{c'_{\max}}{1.24} \\tg \phi'_{prom} &= \frac{tg \phi'_{\max}}{1.22}\end{aligned}\tag{b}$$

$$c'_{prom} = \frac{c'_{min}}{0.76}$$
$$tg\phi'_{prom} = \frac{tg\phi'_{min}}{0.78} \quad (c)$$

En la definición de los agentes exógenos, la mayor incertidumbre radica en la relación entre la ocurrencia de las lluvias y la presencia del agua al interior del talud; en este sentido, se asumieron como indicativos máximos: a) los niveles piezométricos deducidos en la exploración del subsuelo; éstos implicaron dos suposiciones adicionales, la primera y más crítica (W1) es el trabajo a presión de las capas de suelos; modelo aplicable únicamente en las regiones Tea-r-3, Lpb-sr-3 y Lpb-sr-4; y la segunda la saturación de los mismos horizontes pero bajo condiciones de flujo libre ($Ru=0.48 - 0.51$) Una tabla de agua (W2) en el contacto lleno-suelo residual y propia de un periodo invernal – como el de la investigación del subsuelo- (véanse **Planos 9 y 11**, secciones JJ', LL', MM').

El agente exógeno sismo tomó como base el "Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá" en el cual se evaluaron para las diferentes partes de la ciudad el espectro probable de respuesta, es decir se define la aceleración pico efectiva A_g y la aceleración mínima A_d , con sus períodos de retorno y recurrencia. Para la Zona 1 - Cerros, universo espacial al que pertenece el barrio Pijaos – Jorge E Cavelier, el referido estudio reporta valores de aceleración pico $0.30g$ para un período de retorno de 475 años. De las secciones de análisis se abstraigo por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudo estáticos es equivalente a la aceleración pico. Los valores mínimos son siempre nulos.

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia críticos se calculó con base en su periodo de retorno (T) únicamente y teniendo en cuenta tres escenarios, el actual (un año), a mediano plazo (10 años) y a largo plazo (25 años) según las expresiones que aparecen a continuación. Los resultados de la formulación se muestran en la **Tabla 6.6**.

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$
$$P^- = 1 - P^+$$

donde:

- P^+ = probabilidad de ocurrencia del evento crítico
- P^- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
- T = período de retorno
- n = período de análisis

Tabla 6. 6 Probabilidades de agentes exógenos

Periodo de Análisis	Actual (1año)		Mediano Plazo (10 años)		Largo Plazo (25 años)	
	Ocurrencia	No ocurrencia	Ocurrencia	No ocurrencia	Ocurrencia	No ocurrencia
Agua, $T = 30$ años	0.033	0.967	0.287	0.712	0.565	0.435
Sismo, $T = 475$ años	0.002	0.998	0.021	0.979	0.051	0.949

6.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fijos los comportamientos de las fuentes incertidumbre y la probabilidad de sus valores extremos, se obtuvieron los valores de FS para las 16 posibles combinaciones de los 4 parámetros críticos involucrados (cohesión, ángulo de fricción, sismo y lluvia). Con los valores de la media y la desviación estándar del FS , se calculó la probabilidad de falla, como la probabilidad de que el FS sea menor que 1.0. En la **Tabla 6.7** y en la **Tabla 6.8** se sintetizan los FS de las diferentes combinaciones, las probabilidades condicionales y su probabilidad máxima para los horizontes de diseño de 1 y 10 años.

Los resultados patentizan que a corto plazo (1 año), la posibilidad de movilización del material en la mayor parte del barrio es baja, las probabilidades condicionales oscilan entre 0.1367 y 1.60E-06; las laderas más susceptibles de movilización ocupan la periferia de la manzana 12 (CC1 y DD1) y de la calle 36 Sur (II'). A mediano plazo (periodo de exposición de 10 años) la posibilidad de falla aumenta al sureste en las regiones Li-lr-1, Li-sr-1 y Li-sr-2, y en las superficies libres de las secciones DD1-1, EE1-1, JJ1-3, LL1-2 y HH1-5, las probabilidades condicionales ascienden a 0.376, 0.36, 0.2256 y 0.289 respectivamente. Los cuerpos potencialmente inestables son locales, las fallas rotacionales y los materiales involucrados son los llenos mixtos (Q_m) y los suelos residuales de la formación regadera (Teri-sr); los deslizamientos pueden tener lugar con periodos de retorno de 1 cada 3 o 5 años, y en ningún caso en la masa principal (zona de influencia directa) está involucrada una vivienda.

Las masas coluviales, contenidas en las zonas homogéneas Dea-s-2, si bien a priori se esperarían arrojaran estados de amenaza media o media-alta, tan solo alcanzan a ser bajas. Los principales argumentos que explican la referida respuesta, residen en el delgado espesor de los depósitos, apenas de 0.50 m. y en la baja pendiente de las laderas deposicionales, $\cong 15^\circ$, inferior tanto el ángulo de fricción interno del material como al buzamiento de las superficies libres contiguas.

Los movimientos generales, indistinto de la zona homogénea, si bien pueden acaecer, su probabilidad condicional no supera el 5 % (Secciones JJ1-1, MM1-1, BB1-1 y AA1-1). Así, entonces, los daños en los predios de las manzanas 5, 6 y 7 no están ligados con la formación o el desarrollo hacia futuro de un deslizamiento que implique la movilización total bien del depósito mixto (Q_m) o bien del residual de regadera (Teri-sr), por lo menos en la región Tea-r-3, pero si con la erosión interna del paquete residual arenoso de Regadera. El desprendimiento y arrastre del residual posee especial trascendencia en la gestación de focos locales de inestabilidad; éstos dan lugar a puentes y colapso en el lleno superior, y al daño en las viviendas producto del reacomodo de la cimentación (pues esta descansa en el cuerpo antrópico), pero si con la erosión interna del paquete residual arenoso de regadera. El desprendimiento y arrastre del residual posee especial trascendencia en la gestación de focos locales de inestabilidad; éstos dan lugar a puentes y colapso en el

lleno superior, y al daño en las viviendas producto del reacomodo de la cimentación (pues ésta descansa en el cuerpo antrópico)

De otro lado, los resultados referidos concuerdan con la dinámica de la vertiente representada en la concentración de procesos en las unidades geomorfológicas Ta-r y Li-lr, costados occidental y centro del cuadrángulo (específicamente entre los cortes (AA1-1, CC1-1 y JJ1-1) donde es notoria la formación de deslizamientos de tierra, el avance de los frentes erosivos y los flujos locales. Los deslizamientos esperados son rotacionales, simples, con profundidades hasta de 3.00 m, y longitud con dominio [10.00 m – 30.00 m], sin embargo, no se descartan los desprendimientos y deslizamientos locales de bloque, estos últimos concentrados en la periferia del escarpe principal del parqueadero.

El agua es el agente más influyente en la aparición de los fenómenos de remoción en masa, más aún, si se considera que el nivel de saturación de la masa no dista de manera significativa del nivel de agua existente hoy por hoy; Razón por la cual, es en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales, en donde radica la mayor efectividad de las medidas de mitigación.

6.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

Conocidas la composición geotécnica de cada ladera y las probabilidades condicionales, el último paso para obtener el mapa de Zonificación de Amenaza consiste en determinar las zonas de afectación esperadas de los procesos. Dichas áreas fueron demarcadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas, labor que se llevó a cabo gracias a la implementación del modelo establecido por P.J. Finlay et al (1998), el cual toma como variables relevantes: la morfometría del talud, la altura y la pendiente, y la profundidad de la masa involucrada. La **Tabla 6.9** condensa las longitudes máximas y medias para todos y cada uno de los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección y tipo de geoforma (ya sea corte o relleno).

Conjugados los datos obtenidos tanto del PEM como del modelo de Finlay, pudo dividirse el área en tres categorías de similar condición de amenaza: Baja, Media y Alta, para tres horizontes temporales: actual y mediano plazo (Véanse **Plano 13**, **Plano 14** y **plano 14a**, respectivamente). La clasificación de las zonas se realizó con base en la escala propuesta por González y Millán (1999) para el “Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá” y que versa en la **Tabla 6.10**.

La calibración del Mapa de Amenaza se llevó a cabo por contrastación con los procesos de remoción en masa actuales, parte importante de este estudio y tratados en el Capítulo 3. Los procesos antiguos o pasados no fueron considerados, pues el conocimiento de la población sobre la evolución morfológica del entorno en donde viven no los indica.

Tabla 6. 10 Categorización de la Amenaza (tomado de González y Millán, 1999)

FACTOR DE SEGURIDAD		PROBABILIDAD DE FALA		NIVEL DE AMENAZA	
DE	A	DE	A		
0.1954	1.1000	0.9569	0.4430	ALTA	A
1.1000	1.9362	0.4430	0.1259	MEDIA	M
1.9362	4.8764	0.1259	0.0040	BAJA	B

En cuanto al primer horizonte, un año o actual, la mayor parte de la vertiente posee amenaza baja; se destacan sólo dos pequeños parches en los extremos nororiental (zona Ta-r-3) y central (en una porción pequeña de Tea-r-3) en donde la probabilidad de falla alcanza el nivel medio (véase Plano 13). Su efecto aunque local, puede ser muy relevante ya que involucra el espacio físico del parqueadero. El entorno se amplía drásticamente al aumentar el tiempo de exposición a 10 y 25 años, es decir, en el análisis a mediano plazo; las regiones Li-lr-1, Li-lr-sr-2, Ta-r-2, Li-sr-1, Lpb-sr-2 y Tea-r-3 pasan de un estado de amenaza esencialmente bajo a medio y alto-medio respectivamente; los procesos afectarían buena parte de la infraestructura del barrio en lo que atañe a senderos peatonales, espacio público, vías y parques, y solo un número cercano a la docena de casas estarían involucradas v.g: 8, 10, 11, 14 y 15 de la manzana 7, y la 7 del bloque 12.

Es imprescindible hacia el futuro preservar sin intervención antrópica las superficies libres, evitar el aporte de aguas (servidas o blancas) y proteger las superficies expuestas, pues de lo contrario la condición de amenaza puede empeorar. Los procesos constructivos, deben ser igualmente replanteados; los llenos de conformación para las viviendas deben limitarse hasta 2.5 m de altura y el nivel de cimentación profundizarse hasta los 3 metros, además se requiere disponer de sistemas de subdrenaje y contención local para evitar el colapso tanto de las laderas como de las unidades residenciales.

CAPÍTULO 8.0

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

8.1 ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES GENERALES

Tal vez el mayor beneficio del análisis de amenaza actual radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar las consecuencias de los procesos existentes en el barrio Pijaos – Jorge E. Cavellier. Así las cosas, las obras pretenden mitigar, conservar o controlar los niveles de amenaza, y disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes.

A la luz del objeto de este proyecto, surge entonces la necesidad de estudiar en adelante el papel de un abanico de medidas que fueron emergiendo de los temas tratados en los capítulos anteriores. Los criterios de decisión tienen como fundamento un análisis comparativo entre la condición actual y los escenarios con la implementación de las obras, incluido el valor de las mismas.

La definición de la amenaza, sin embargo, implica determinar explícitamente la eficiencia y eficacia de las alternativas en la reducción de los potenciales estados. Como la condición de amenaza es baja, o baja media si el escenario es a 10 años parecería lógico suponer que el no hacer nada es la alternativa técnica y económicamente viable, empero, esta propuesta pierde relevancia y validez pues encierra la desatención de los elementos fijos (viviendas). La puesta en marcha de obras de mitigación y rehabilitación es entonces prioritaria. Por lo tanto, las soluciones a proponer aunque tendrán un alto contenido de subjetividad, su función principal será conservar, al menor costo, la condición de amenaza actual.

Las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica, no sólo de la DPAE, sino de las demás entidades distritales que tienen ingerencia activa y continua en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito Capital, tales como el DAPD, el ACUEDUCTO y el IDU.

8.2 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A partir de los resultados de la evaluación de amenaza, se consideró menester atender dos zonas así:

Zona I

Abarca el sector suroriental del área estudiada compuesto por seis manzanas (3, 4, 5, 6, 7 y 8) ubicadas entre la diagonal 36 sur y la calle 36 B sur, y entre las carreras 10 C y 11 A, allí las viviendas con sistemas estructurales de pórtico y tabique, se hallan sometidas a estados de amenaza media a baja. Los procesos responden a mecanismos de pérdida de estructura del suelo de fundación por acción del agua, cuya acentuación se da bien en los períodos lluviosos, o bien por posibles fugas de las tuberías de las redes de servicios públicos (acueducto y alcantarillado) o por la descarga proveniente de la Avenida Décima. Se condensan en este sector las unidades homogéneas Ta-r-2, Ta-r-3, Ta-r-4, Ta-r-5, Tea-r-2, Tea-r-3, Lpb-sr-2, Lpb-sr-3, Lpb-sr-4, Lpb-sr-5, Lpmb-ar-4 y Lpmb-ar-5 y hacia el suroccidente de la calle 36 B sur las unidades Dea-s-2, Le-a-2, Le-a-3 y Le-a-4 .

Aquí se plantean las siguientes medidas:

- Convivir con el problema, y evacuación progresiva de las viviendas
- Trincheras drenantes, reforzamiento estructural de las edificaciones y reubicación (predio 10 manzana 7)

Zona II

Cubre el extremo noroccidental del barrio (manzanas 10, 11 y 12), entre las calles 36 A sur y 36 B sur, y desde la carrera 11 A sur hasta la carrera 12 Bis. Conjuga las zonas homogéneas: Lpb-sr-2, Lpb-lr-1, Lpb-lr-2, Li-sr-1, Li-sr-2, Li-lr-1, Le-a-1 y Dea-s-2 el intervalo de dominio de la amenaza es baja, y los procesos corresponden al descrito en el subtítulo anterior, pero su manifestación es más leve y afecta el mismo material de cimentación de las estructuras. La pérdida estructural puede ser detonada por los vertimientos de aguas servidas o fugas de las líneas de conducción del acueducto o alcantarillado.

Las acciones que se proponen son:

- Elusión y evacuación progresiva de las viviendas
- Subdrenaje (trincheras drenantes) y muro de contención en concreto reforzado.

8.3 AMENAZA FUTURA

Las condiciones de amenaza actual, oscilantes entre media y baja, son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, morfológicas y estratigráficas del sector, con dominio de materiales poco susceptibles a fenómenos de inestabilidad (Qm, Qlr, Qr), pero colapsables (Teri-sr) con pendientes desde 18° hasta 16°, y laderas denudativas. El irregular sistema de transporte de agua, la importante recarga de escorrentía producida por la Avenida Décima y la cimentación de las viviendas en los horizontes de los llenos mixtos (Qm), son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

El especial matiz de la amenaza actual y la susceptibilidad de los elementos dispuestos sobre las áreas de los potenciales procesos de inestabilidad hacen del tratamiento de las zonas un marco de relativa compleja solución. Por una parte las obras tendientes a la reducción de la amenaza deben ser de fácil maniobrabilidad y construcción sin requerir espacios amplios para su ejecución, y por otra parte deben garantizar una reducción de la probabilidad de falla con bajos presupuestos, premisa que desde ya hace de la reubicación una alternativa poco viable, excepto para algún predio que se encuentra en avanzado estado de deterioro y para el cual la medida es la más apropiada.

La valoración de las medidas de mitigación contempló así, determinar su capacidad reductora de la probabilidad de falla. El desarrollo de este tema involucró asumir válidas las variables aleatorias c' y ϕ' , la aceleración sísmica (a) y los modos de falla estudiados en el capítulo 6. Por lo tanto la estimación de la probabilidad de falla implicó la determinación de los factores de seguridad de cada sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (lluvia y sismo) con el procedimiento referido en el numeral 6.3 del Capítulo 6.

Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza futura obviamente –pues responde al trabajo de las franjas de amenaza media- se concentró al análisis del comportamiento de las regiones: Li-sr-1, Li-sr-2 y Li-lr-1, Ta-r-3, Tea-r-3 y Ta-r-2 frente a las diferentes medidas de mitigación. No obstante, como parte de las

alternativas de solución son tendientes a la reducción del área de exposición y a la convivencia con el problema, el análisis de amenaza formulado en el capítulo 6 sigue siendo válido. Así entonces, es claro que la posibilidad de falla para las alternativas de Elusión (mantener las condiciones presentes), y la reubicación es equivalente a la probabilidad condicional de los taludes para las solicitaciones actuales (Véase **Tabla 8.1**).

La alternativa con mayores beneficios en el control de los fenómenos potenciales, consiste en la implementación de sistemas de subdrenaje. Ella produce un notable aumento del factor de seguridad y por ende una reducción de la probabilidad de falla; esta última pasa a valores inferiores al 2% para las secciones JJ', FF', MM', KK', BB', HH', LL' para mecanismos de falla rotacionales; comportamiento similar exponen las superficies libres OO', FF', JJ', LL', MM', KK', AA', BB', PP' y EE' si se trata de deslizamientos traslacionales las probabilidades condicionales apenas llegan al 2%, -Véase Tabla 8.1-; por su parte en las regiones Le-a-3 (sección LL'), Li-sr-1, y Li-lr-1 (corte AA'), la reducción percentil de la probabilidad de falla oscila entre 4% y 7%, así que la condición de amenaza a 10 años sería apenas media.

El trabajo de las obras de reforzamiento estructural, si bien no producen cambio alguno en la estabilidad de las laderas si repercute en un mejor funcionamiento de las viviendas calificadas en medio y alto riesgo frente a la acción sísmica y minimiza la amenaza frente y al colapso del suelo de fundación. Condición similar se alcanzaría con la implementación de obras de contención tipo muro en los sectores aledaños a las manzanas afectadas.

En este orden de ideas, la implementación de trincheras de subdrenaje y el reforzamiento estructural de carácter puntual de las viviendas apunta desde ya a ser la alternativa más viable técnicamente. Su selección como la propuesta recomendada será función exclusiva de su beneficio económico frente a la otra alternativa.

8.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El modelo de decisión probabilístico, es uno de los múltiples mecanismos que permite al diseñador seleccionar entre diversas alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo, donde predomine el juicio del experto, este modelo contiene como variables relevantes: la probabilidad de falla, el costo de la solución, la aplicabilidad ambiental y su disponibilidad operativa. Dichos modelos están basados en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como "Árboles de decisión hipotéticos". Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adoptó como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la cual estipula:

$$R = P_f C_f$$

en donde:

R = Riesgo Esperado

P_f = Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,

C_f = Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilado en el numeral 6.3. Por su parte, el costo de falla, se consideró como:

$$C_f = ID \times C_0$$

en donde:

ID = Índice de daño de la unidad expuesta

C_0 = Valor inicial de la alternativa

El costo inicial corresponde al valor presente de la obra pues no existen otros elementos físicos que puedan incorporarse. Las pérdidas potenciales (o costo de falla), en caso de deslizamiento, son iguales al presupuesto de la alternativa 1 sumado al valor de la atención de la emergencia. El monto individual de reubicación se dedujo del inventario de viviendas efectuado por el consultor, no obstante, para efectos de cuantificar por zona el costo aproximado de la alternativa, se halló un valor promedio en cada zona de intervención, que no es otra cosa que la sumatoria de los valores individuales dividido por el número de viviendas involucradas. Las **Tablas 8.2 y 8.3** exhiben el presupuesto estimado de las medidas para cada una de las zonas de Intervención, y sus cantidades de obra respectivamente, y los análisis de precios unitarios (APU) se condensan en el **Anexo H**.

Es claro que la elusión con evacuación progresiva, es el planteamiento menos viable económicamente; éste alcanza valores cercanos a los \$660.000.000 en la zona I, en tanto que para la zona II no repercutiría en el beneficio de la comunidad o el mejoramiento de la zona y llegaría a los \$250.000.000.

El contexto señalado hace poco viable apelar a no hacer nada y reubicar como alternativas viables, máxime si se aprecia que la probabilidad de falla en caso del subdrenaje con trincheras, el reforzamiento estructural y la construcción de obras de contención son muy inferiores al planteamiento inicial, estas propuestas alcanzan los \$116.419.120 y los \$61.019.106 en las zonas I y II, respectivamente. En consecuencia se recurrirá a esta medida en la zona I, y para la zona II se adicionaría a las ya mencionadas, el reforzamiento estructural con micropilotes de las viviendas que reportan hoy por hoy mayor afectación, estas serán en conjunto la solución propuesta para la mitigación del riesgo.

Es pertinente mencionar que el planteamiento del reforzamiento estructural de las viviendas repercute no sólo en mejorar la calidad de vida de los pobladores, sino que minimiza escenarios futuros de riesgo, opción con dimensión económica; empero esta solución no podrá ser adelantada por la DPAAE, pues se trata de espacios privados, en consecuencia estarán a cargo de los propietarios. El valor del recalce para una vivienda tipo es de \$ 3.414.522, sin incluir los costos por la reparación de acabados.

La reubicación como caso excepcional se aplicaría a la vivienda 10 de la manzana 7 (Zona I) cuyo estado de deterioro y afectación es avanzado, su costo estimado es de \$ 25.000.000. Las **Figuras 8.1 y 8.2** contienen los árboles de decisión obtenidos para períodos de diseño de 1 y 10 años. De ella, se puede apreciar que la alternativa que involucra el menor nivel de riesgo esperado, es la alternativa 2 (sub-drenaje, contención, reforzamiento estructural y reubicación), frente a la alternativa 1 (convivir con el problema).

Tabla 8.1. CONDICION DE AMENAZA FUTURA - SUBDRENAJE

Símbolo Zona	Sección de Análisis	No. Material	Secuencia Estratigráfica	Tipo de Deslizamiento	Probabilidad de Falla
Le-a-1	Fuera del área de estudio	5	Teri-ss	Rotacional	0,0217
Le-a-2	JJ'	5	Teri-ss	Rotacional	0,0217
	FF'				0,0096
Le-a-3	LL'	4	Teri-ss	Rotacional	0,0769
	MM'				0,0156
Le-a-4	KK'	5	Teri-ss	Rotacional	1,28E-05
Dea-s-2	OO'	2	Qco	Traslacional	1,76E-66
Li-sr-1	AA'	4	Qm	Rotacional	0,0437
Li-sr-2	BB'	4	Teri-sr	Rotacional	0,0001
Li-lr-1	AA'	3	Om - Qlr	Rotacional	0,0437
Lpb-sr-2	FF'	4	Teri-sr - Qm	Rotacional	2,20E-06
				Traslacional	0,000116
Lpb-sr-3	HH'	4	Teri-sr - Qm	Rotacional	0,000609
	JJ'			Traslacional	4,44E-14
	LL'			Rotacional	0,00118
				Traslacional	5,30E-10
	MM'			Rotacional	7,56E-05
Traslacional	0,0012				
Lpb-sr-4	KK'	4	Teri-sr	Rotacional	9,59E-17
				Traslacional	0,000128
Lpb-sr-5	Valores tomados de la zona Lpb-sr-4	4	Teri-sr	Rotacional	2,88E-05
				Traslacional	0,000128
Lpb-lr-1	AA'	4	Teri-sr	Traslacional	0,0017
Lpb-lr-2	BB'	3	Teri-sr - Qm	Rotacional	1,20E-05
				Traslacional	2,95E-05
Lpmb-ar-4 y Lpmb-ar-5	KK'	7	Tpb	Rotacional	9,59E-17
Tea-r-2	II'	1	Qr	Traslacional	7,28E-15
Tea-r-3	HH'	1 Y 2	Qr-Qm-Teri-ss	Rotacional	0,6126
	II'			Rotacional	0,9143
	JJ'			Rotacional	0,7634
				Rotacional	0,0001
	Traslacional			0,1255	
	LL'			Traslacional	0,00021
MM'	Rotacional	4,52E-17			
Traslacional	0,00053				
Tea-r-5	PP'	2	Qm	Rotacional	0,0004
Ta-r-2	CC'	2	Qm	Rotacional	0,6326
	DD'			Traslacional	0,0666
				Rotacional	0,1052
	EE'			Traslacional	0,0897
	GG'			Rotacional	0,87557
Rotacional	0,027				
Ta-r-3	HH'	1	Qr	Rotacional	0,01429
	KK'				0,013
	II'				0,2151
Ta-r-4	KK'	2	Teri-ss	Rotacional	9,59E-17

Tabla 8.2 Costo Estimado de las Alternativas

Zona	Alternativa	Costo
I	Elusión con evacuación progresiva de las viviendas	\$ 660.000.000
	Trincheras drenantes, Reforzamiento estructural y reubicación (predio 10 manzana 7)	\$ 116.419.120
II	Elusión con evacuación progresiva de las viviendas	\$ 250.000.000
	Reforzamiento estructural de las viviendas más afectadas, subdrenaje (trincheras drenantes) y muro de contención	\$ 61.019.106

Tabla 8.3. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS

ZONA I - ALTERNATIVA 1

CONVIVIR CON EL PROBLEMA Y REUBICACIÓN

ZONA	Precio unitario promedio por vivienda	Precio unitario por lote vacío	Número de viviendas a reubicar	Número de lotes vacíos a adquirir	Costo estimado de reubicación de viviendas	Costo estimado de adquisición de lotes vacíos
ZONA I	\$ 41.250.000	\$ 0	16	0	\$ 660.000.000	\$ 0
					\$ 660.000.000	\$ 0

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 1	\$ 660.000.000
--	-----------------------

ZONA I - ALTERNATIVA 2

SUBDRENAJE

Subdrenaje: Trinchera					\$ 46.269.834
Tramo	Unidad de Medida	cantidad	Vr. unitario	Vr. Total	
T1-1	m/l	127	\$ 136.893	\$ 17.385.411	
T1-2	m/l	53		\$ 7.255.329	
T2-3	m/l	87		\$ 11.909.691	
T2-4	m/l	71		\$ 9.719.403	

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

REFUERZO: Micropilotes con Viga Cabezal					\$ 45.149.286
Unidad de Medida	Cantidad	Vr. unitario	Vr. Total		
UND	182	\$ 248.073	\$ 45.149.286		

REUBICACIÓN VIVIENDA 10 MZ 7

ZONA	Precio unitario promedio por vivienda	Precio unitario por lote vacío	Número de viviendas a reubicar	Número de lotes vacíos a adquirir	Costo estimado de reubicación de viviendas	Costo estimado de adquisición de lotes vacíos
ZONA I	\$ 25.000.000	\$ 0	1	0	\$ 25.000.000	\$ 0
					\$ 25.000.000	\$ 0

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 2	\$ 116.419.120
--	-----------------------

Tabla 8.3. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO DE LAS ALTERNATIVAS

ZONA II - ALTERNATIVA 1

CONVIVIR CON EL PROBLEMA Y REUBICACIÓN

ZONA	Precio unitario promedio por vivienda	Precio unitario por lote vacío	Número de viviendas a reubicar	Número de lotes vacíos a adquirir	Costo estimado de reubicación de viviendas	Costo estimado de adquisición de lotes vacíos
ZONA II	\$ 50.000.000	\$ 0	5	0	\$ 250.000.000	\$ 0
					\$ 250.000.000	\$ 0

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 1	\$ 250.000.000
--	-----------------------

ZONA II - ALTERNATIVA 2

SUBDRENAJE

Subdrenaje					\$ 28.747.530
Tamo	Unidad de Medida	Cantidad	Vr. unitario	Vr. Total	
T1-2	m/l	175	\$ 136.893	\$ 23.956.275	
T2-4	m/l	35		\$ 4.791.255	

MURO DE CONTENCIÓN

MURO					\$ 14.906.466
Unidad de Medida	Cantidad	Vr. unitario	Vr. Total		
m3	18	\$ 828.137	\$ 14.906.466		

REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

REFUERZO: Micropilotes con Viga Cabezal					\$ 17.365.110
Unidad de Medida	Cantidad	Vr. unitario	Vr. Total		
UND	70	\$ 248.073	\$ 17.365.110		

COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA 2	\$ 61.019.106
--	----------------------

COSTO TOTAL ALTERNATIVA 1 EN AMBAS ZONAS	\$ 910.000.000
---	-----------------------

COSTO TOTAL ALTERNATIVA 2 EN AMBAS ZONAS	\$ 177.438.226
---	-----------------------

Figura 8.1. Árbol de decisión para mitigación (1 año)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

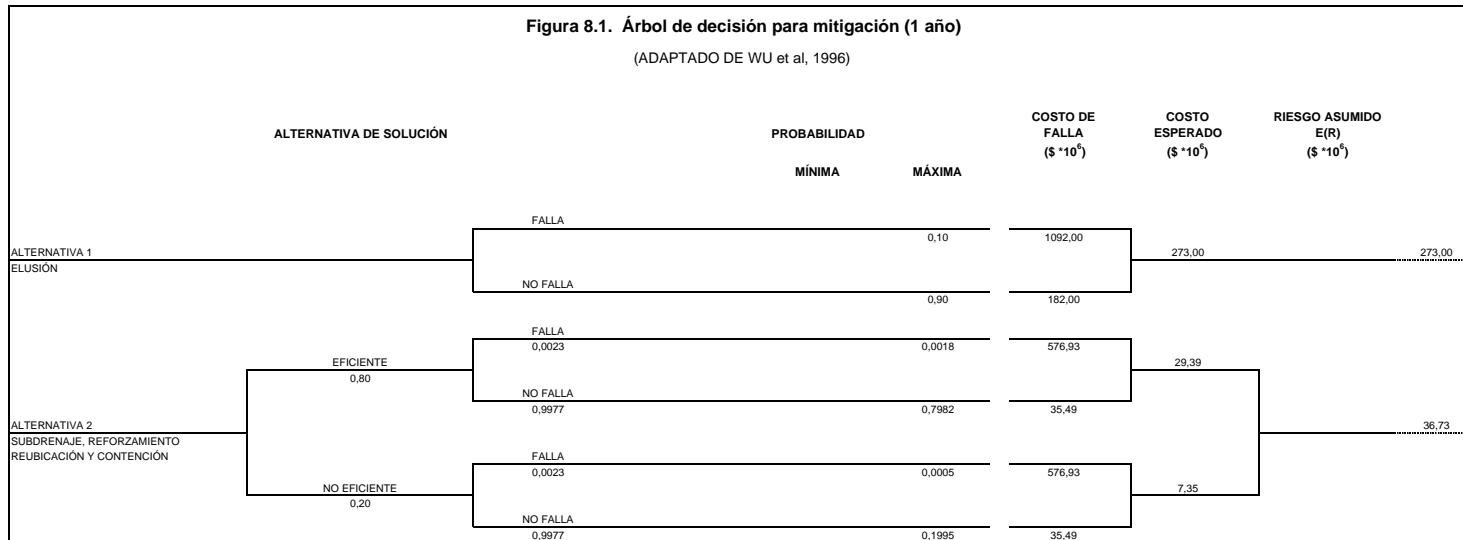


Figura 8.2. Árbol de decisión para mitigación (10 años)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)

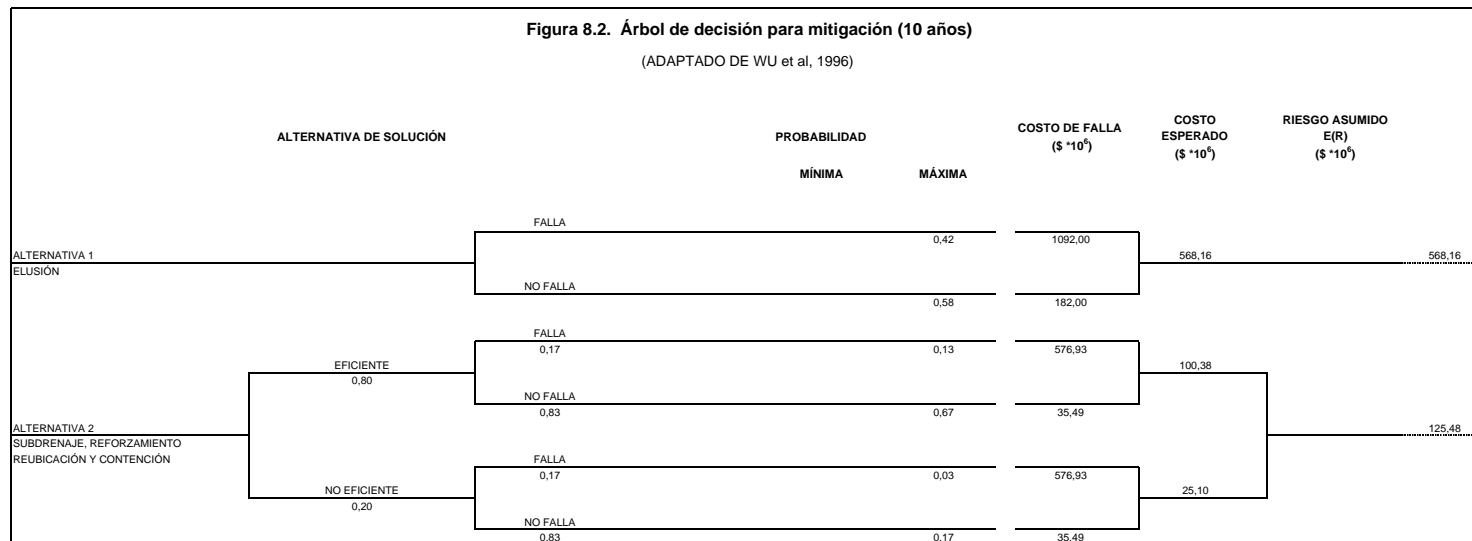
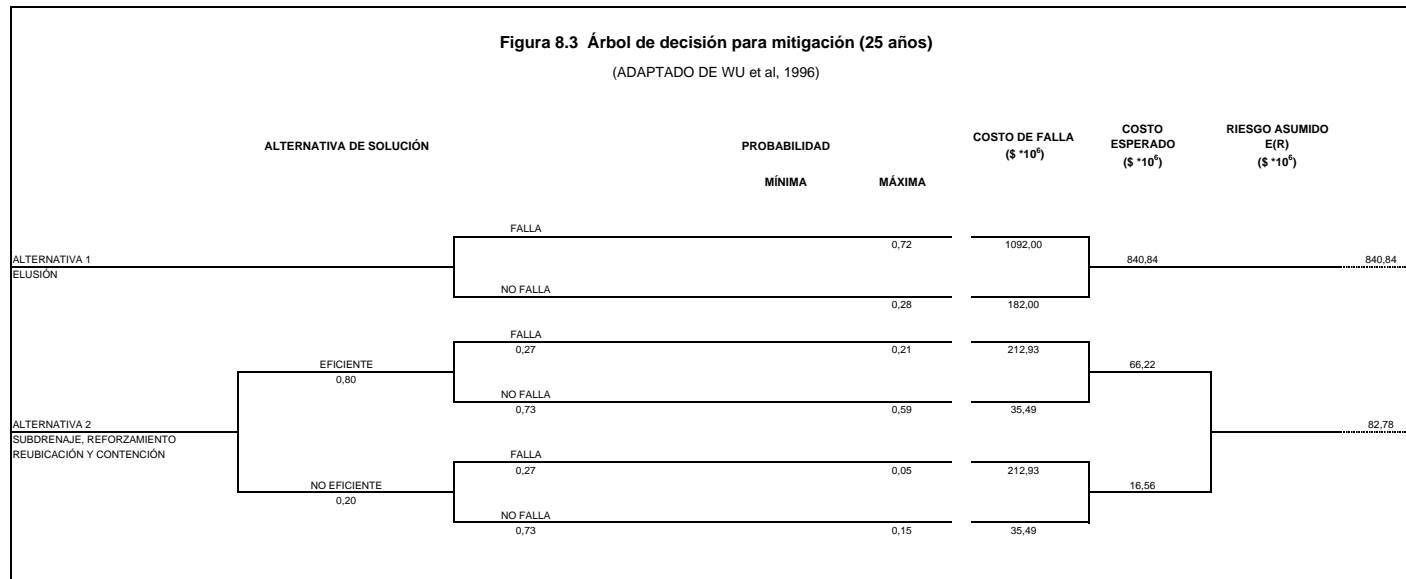


Figura 8.3 Árbol de decisión para mitigación (25 años)

(ADAPTADO DE WU et al, 1996)



8.5 PLAN DE ACCIÓN RECOMENDADO

El manejo de la urbanización bajo un marco general, debe atender la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo que posee, ellos involucran cuatro componentes: el manejo del agua subsuperficial, la implementación de obras de reforzamiento estructural, la construcción de obras de contención y la reubicación, todas ellas integradas a cada zona homogénea de la siguiente manera (véase **Plano 17**):

a) Sub-drenaje: Está conformado por dos filas de trincheras drenantes cada una dividida en dos fracciones. Se construirán: una paralela al pie de la ladera SW, al costado ídem de la calle 36 B Sur, desde la carrera 10C hasta la carrera 12 BIS; y la otra a media ladera hacia el nororiente de la calle 36 A Bis Sur, intercepta la Diagonal 36 Sur, desde la carrera 10C hasta la carrera 11^a.

b) Contención: Encierra el reemplazo de la estructura de contención de la región Ta-r-2, por un muro en concreto reforzado de 3 metros de altura y 18 metros de longitud.

c) Reforzamiento de las edificaciones: Tiene como objeto reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos, no sólo frente a los fenómenos de remoción en masa sino al colapso del suelo residual y a la amenaza sísmica. Consiste en el recalce mediante micropilotes en concreto de sección circular (0.25m de diámetro) y 4.0 m de profundidad, se colocarán en las intercepciones de los ejes principales del sistema de fundación.

d) Reubicación: Adquisición de la vivienda 10 de la manzana 7 y reubicación de la familia que habita el inmueble.

e) Reparación de redes de alcantarillado y conexiones domiciliarias: Esta medida será implementada en los puntos de fuga o pérdida de presión actuales o futuros. Será responsabilidad exclusiva de El Acueducto.

CAPITULO 10

CONCLUSIONES

- 1 La geología del barrio Pijaos-Jorge E Cavelier no es homogénea en composición; en la franja occidental la secuencia estratigráfica la configuran un horizonte de limos rojos y las intercalaciones de areniscas y arcillolitas de la Formación Regadera, y en el borde oriental es habitual la presencia de rellenos antrópicos, suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera.
- 2 Aunque el nivel freático no se encontró en los sondeos manuales, pero por interpretación de los sondeos geofísicos, se deduce que éste está a una profundidad de 10 m. Sin embargo, su comportamiento es variable y puede alcanzar la superficie. Lo anterior se corroboró con los apiques realizados en algunas viviendas, en donde el nivel freático se encontró a un promedio de 1 m. de profundidad y con el inventario de viviendas en donde se evidencia humedad en las paredes.
- 3 De lo anterior se puede deducir que en épocas de verano el nivel freático oscila probablemente entre los 10 a 15 metros de profundidad, y en invierno, este nivel se puede aproximar a unos 0.5 m. por debajo de la superficie. Por tanto, en periodos de lluvias fuertes (de marzo a mayo y de octubre a noviembre), las aguas subterráneas discurren por los suelos residuales arenosos y los limos rojos, debido a su buena permeabilidad y favorable pendiente. Esto puede causar erosión subsuperficial y reblandecimiento de las capas superiores (por confinamiento de aguas subterráneas en los niveles arcillosos), lo cual incide en los materiales sobre los que se cimentaron las viviendas.
- 4 Los procesos de remoción en masa son de tipo local y puntual; están relacionados con factores antrópicos como: vertimientos, cortes, rellenos y adecuación de vías y viviendas. Los movimientos son esencialmente deslizamientos traslacionales, potenciales incipientes o estabilizados en los que los materiales fallados son: rellenos (Qr) – DTPI-001 y DTPI-002 –; suelos residuales DTE-004, DTE-005; e intercalaciones de unos y otros (DCPI-003).

El proceso de mayor trascendencia es el denominado, DCPI-003, - limitado al norte por la Diagonal 36, por la calle 36 B sur, y entre la carrera 11 A al occidente y la Carrera 10 F al oriente – involucra cerca de .10 viviendas; 6 en la manzana 7, 3 en la cinco (5) y una en la seis (6), en el cual la baja pendiente topográfica (<25°), la disposición estructural del macizo (es una contrapendiente estructural), y la secuencia estratigráfica hacen suponer que se trata bien de un proceso de falla progresiva o bien de una falla por reblandecimiento, donde la saturación de los materiales parece ser el condicionante de la activación o no, del proceso

- 5 Los depósitos de limos rojos (Qlr) hidrogeológicamente pueden actuar de dos formas: la primera es servir de barrera confinante (por su diferencia en permeabilidad) para el agua subsuperficial que es transportada a través de los horizontes infrayacentes (suelos residuales y areniscas alteradas) y la segunda, por su buena permeabilidad; de ellas la primera parece ser la hipótesis más certera. Así

mismo, los depósitos de sedimentos finos acumulados por antiguos deslizamientos pueden actuar como barrera impermeable para el agua freática que es transportada a través de los suelos residuales y las areniscas de la Formación Regadera.

Respecto al agua freática que es transportada en los suelos residuales, areniscas y arcillolitas de la Formación Regadera, probablemente reblandece y eroda estos materiales, lo cual afecta la estructura de las viviendas y genera grietas por colapso y asentamiento.

- 6 Los pozos de inspección del sistema de acueducto y alcantarillado tienen una profundidad promedio de 1.7 m. y carecen de obstrucciones o acumulación de desechos en su interior (conclusión arrojada por inspección visual). Cabe anotar que en la elaboración de la fase de exploración de subsuelo se encontró en el sitio del sondeo No. 2 (calle 36B sur con carrera 12) una cuneta tapada por materiales de desecho.
- 7 Los tipos de vivienda y sus características físicas se analizaron dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas son indicativo de la calidad de vida de los habitantes. Casi el 65% de las estructuras exhiben un sistema conformado por muros portantes no confinados – es decir, en ausencia de columnas –, el 34% combina éste con una simulación de pórtico y tan sólo el 1% se puede considerar como pórtico. Aproximadamente el 63% de los domicilios posee una viga de amarre como sistema de cimentación, el 37% combina la viga con zapatas y vigas de cimiento, pues se ha hecho algún tipo de ampliación o reforma. En cuanto a los tipos de cubierta predomina el material en asbesto cemento apoyado en estructura de madera, en un 82%, le sigue la placa en concreto en un 10% y finalmente la combinación de los dos materiales anteriores en un 8%. Los elementos de entepiso lo constituyen losas de concreto, cuyos planos originales de construcción, prescinden de algún tipo de refuerzo en acero.
- 8 Los daños y afectaciones de las viviendas del barrio Pijaos-Jorge E. Cavellier no corresponden a un mismo fenómeno. Algunos como el de la vivienda de la calle 36B Sur con carrera 12 son causados por un deslizamiento traslacional potencial incipiente, y otros, el mayor número de los casos, involucran erosión subsuperficial – colapso.
- 9 A la luz de los FS obtenidos, se concluye que la mayoría de los taludes son estables aún para condiciones extremas de agua o de aceleración sísmica. En este sentido sólo podrían esperarse fallas de las laderas, en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia por reblandecimiento o colapso, para el residual, y para una acción dinámica de flujo –i.e. presurización de un horizonte de suelo – o gracias a la acción continuada de las aguas de infiltración provenientes del régimen hidrogeológico (nivel piezométrico por aumento de presión en los niveles saturados –resultado de las aguas lluvias–) o de la red de alcantarillado. Los cuerpos que primero expondrían este tipo de trabajo son los suelos residuales arenosos y areno-arcillosos.

La movilización del cuaternario se realizaría cerca al contacto con la roca en los modelos de falla planar, si se trata de los suelos residuales, o involucra exclusivamente el depósito para los cuerpos antrópicos (Qm o Qr). Los deslizamientos en los materiales pueden ser rotacionales y tener lugar en estados de reblandecimiento del manto superior gracias a la acción continuada de las aguas de infiltración provenientes del régimen hidrogeológico (nivel piezométrico por aumento de presión en los niveles saturados – resultado de las aguas lluvias –)o de la red de alcantarillado.

- 10 Los deslizamientos generales si bien involucran a los llenos (Or o Qm) y a los suelos residuales (Teri-sr) tienen como escenarios de gestación las zonas homogéneas Lpb-lr-1(sección AA1-3), Lpb-lr-2 (corte BB1-1), Lpb-sr-3 (Sección M-M1(2)) y Tea-r-3. – Ellas tendrían lugar toda vez que los niveles de agua y sismo extremos actúen conjuntamente, escenario poco probable y aún no conocido –. Lo anterior deja al descubierto que los daños en las viviendas de las manzanas 5, 7 y 9 no son causados por fenómenos de remoción en masa, ellos son salvo los de las unidades 8 y 15 de la manzana 7 que son provocados por deslizamientos locales de tierra, producto del colapso del suelo de fundación, especialmente del residual de Regadera Teri-sr, gracias al aporte del agua de escorrentía en la parte superior de la vertiente. Flujo que puede provenir del sistema de drenaje de al Avenida Décima, o de la línea interceptora paralela a la calle 36B sur.
- 11 Los cuerpos potencialmente inestables son locales, las fallas rotacionales y los materiales involucrados son los llenos mixtos (Qm) y los suelos residuales de la formación regadera (Teri-sr); los deslizamientos pueden tener lugar con periodos de retorno de 1 cada 3 o 5 años, y en ningún caso en la masa principal (zona de influencia directa) está involucrada una vivienda.
- 12 Los movimientos generales, indistinto de la zona homogénea, si bien pueden acaecer, su probabilidad condicional no supera el 5 % (Secciones JJ1-1, MM1-1, BB1-1 y AA1-1). Así, entonces, los daños en los predios de las manzanas 5, 5 y 7 no están ligados con la formación o el desarrollo hacia futuro de un deslizamiento que implique la movilización total bien del depósito mixto (Qm) o bien del residual de la Formación Regadera (Teri-sr), por lo menos en la región Tea-r-3.
- 13 El agua es el agente más influyente en la aparición de los fenómenos de remoción en masa, más aún, si se considera que el nivel-de saturación de la masa no dista de manera significativa del nivel de agua existente hoy por hoy; Razón por la cual, es en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales, en donde radica la mayor efectividad de las medidas de mitigación. En este sentido queda explícita, desde ya la necesidad de interceptar las aguas de infiltración y drenar los horizontes presurizados, es decir el lleno antrópico y el suelo residual.
- 14 A partir de los resultados arrojados, se infiere, indistinto del periodo de diseño, que el 1.0% de las viviendas, es decir, 2 de ellas, manifiestan vulnerabilidad alta, media corresponde al 7%, esto es 11 unidades, y el muro de contención periférico a la manzana 12, y el 92% restante ostentan niveles bajos. En este orden de ideas, los niveles altos y medios de vulnerabilidad coinciden con las viviendas más deterioradas, es decir los predios 10 y 11 de la manzana 7 con el nivel más alto, y 13 de la manzana 3, 1 de la 4, 1 y 16 de la 5, 9 y 10 correspondientes a la manzana 6, 7, 8 y 15 y de la manzana 7, 2 de la 8 y finalmente el 1 de la manzana 10, todos ellos con medio.
- 15 Los escenarios de riesgo, medio y alto, aumentan notablemente si el periodo de exposición es de 25 años. Los primeros, alcanzan percentiles de 7.1% y los segundos hasta 3.9% (6 viviendas). Las unidades con mayor probabilidad de daño son: la 16 de la manzana 5, las 9 y 10 del bloque 6; las 8,10 y 11 de la siete y el muro de contención paralelo a la manzana 12, todas con la mayor categoría – Riesgo Alto –. Las residencias 7, 8 y 15 de la manzana 5, la 16 de la 6; las 12, 13, 14 y 15 del bloque 7, las casas 1, 2 y 3 de la manzana 12, y el muro integran el espectro de riesgo medio. Las restantes viviendas se repartirán entre riesgo bajo y muy bajo.
- 16 Las alternativas de solución estarán destinadas a la reducción del riesgo, mediante mejoras en los niveles de vulnerabilidad (correcciones en las viviendas o recimentación) y a obras que contribuyan a

la disminución del riesgo, como el subdrenaje. El manejo de la urbanización bajo un marco general, debe atender la reducción de los escenarios y condiciones de riesgo que posee, ellos involucran cuatro componentes: el manejo del agua subsuperficial, mediante trincheras drenantes, la implementación de obras de reforzamiento estructural con micropilotes inyectados, la construcción de obras de contención (muro en concreto) y la reubicación del predio 10 de la manzana 7. el costo de las medidas asciende a \$145.632.578, teniendo en cuenta que el valor del reforzamiento de las viviendas esta descrito únicamente para una vivienda tipo, ya que su implementación obedece a la necesidad y posibilidad económica de cada propietario de vivienda.

- 17 Pero la importancia de las obras propuestas radica no sólo en disminuir el nivel de riesgo en las zonas más críticas, sino impedir que los sectores clasificados con valores medios, puedan cambiar su categoría a una mayor. Es por esto, que se hace imperativa la construcción del muro de contención y la submuración de las casas referidas, máxime que tanto el uno como las otras, para periodos cercanos a la vida actual de la urbanización ($T_d = 30$ años) exhiben valores altos de vulnerabilidad y de riesgo.



UNION TEMPORAL
GIA CONSULTORES LTDA – ATG LTDA



ANEXOS

CUADRO DE MICROPILOTES INYECTADOS

ZONA	MZ	PREDIO	SECCION	ESPEJOR DEL MATERIAL (m)	LONGITUD PILOTE (m)	LONGITUD TOTAL (m)
I	5	16	J-J'	1.00 - 0.60	4	224,00
	6	9		1.20 - 1.00	4	224,00
		10		1.00 - 0.60	4	224,00
	7	7	M-M'	1.00 - 1.00	4	224,00
		8		1.00 - 1.00	4	224,00
		11	L-L'	1.00 - 1.50	4	224,00
		13		1.50 - 1.50	4	224,00
	15	1.20 - 0.50	4	224,00		
	8	2	K-K'	0.80 - 0.60	4	224,00
	II	10	1	A-A'	1.30 - 1.00	4
12		10	B-B'	1.20 - 1.20	4	224,00
		11		1.20 - 1.20	4	224,00

GRAN TOTAL (m)	2688,00
-----------------------	----------------

CANTIDADES DE OBRA MICROPILOTE INYECTADOS DE REFUERZO (UND) - 4M

ITEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
EXCAVACIÓN PARA VIGA	M3	0,192	\$ 24.000	\$ 4.608
EXCAVACIÓN PARA MICROPILOTES	M3	0,126	\$ 24.000	\$ 3.024
DEMOLICIÓN PLACA DE VIVIENDA	M2	0,32	\$ 27.335	\$ 8.747
CONCRETO VIGA f _c =3000 PSI	M3	0,192	\$ 273.644	\$ 52.540
CONCRETO MICROPILOTES f _c =3000 PSI	M3	0,001	\$ 273.644	\$ 274
REFUERZO MICROPILOTES 7/8	Kg	7,22	\$ 3.052	\$ 22.035
REFUERZO FLEJES 3/8	Kg	13,44	\$ 1.158	\$ 15.564
REFUERZO VIGA 3/8	Kg	2,24	\$ 1.158	\$ 2.594
TOTAL				\$ 109.385

REFUERZOS POR VIVIENDA (UND)=	56	\$ 109.385	\$ 6.125.581
--------------------------------------	-----------	-------------------	---------------------

PRESUPUESTO DE OBRA MURO DE CONTENCIÓN

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
EXCAVACIÓN	M3	56	\$ 24.000	\$ 1.344.000
DEMOLICIÓN MURO EXISTENTE	M3	72	\$ 280.000	\$ 20.160.000
CONCRETO f'c=3000 PSI	M3	55	\$ 273.644	\$ 15.050.420
MATERIAL PARA FILTRO	M3	14,5	\$ 33.930	\$ 491.985
TUBERIA PVC 2" RANURADA	ML	18,5	\$ 8.420	\$ 155.770
GEOTEXTIL NO TEJIDO NT 1400	M2	101,75	\$ 1.740	\$ 177.045
RELLENO COMUN	M3	61,1	\$ 25.000	\$ 1.527.500
AMARRES	Kg	3,52	\$ 5.292	\$ 18.628
REFUERZO	Kg	934	\$ 1.158	\$ 1.081.572
			TOTAL	\$ 40.006.920

MURO DE CONTENCIÓN (18.5 ML)=	1	\$ 40.006.920	\$ 40.006.920
-------------------------------	---	---------------	---------------

PRESUPUESTO REUBICACION PREDIO 10 MANZANA 7

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
ADQUISICION VIVIENDA 10 MZ 7	UND	1	\$ 25.000.000	\$ 25.000.000
			TOTAL	\$ 25.000.000

PRESUPUESTO TOTAL			\$ 25.000.000
-------------------	--	--	---------------

PRESUPUESTO DE OBRA TRINCHERA DRENANTE

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
EXCAVACIÓN	M3	2,4	\$ 18.530	\$ 44.472
GEODRÉN	M2	3	\$ 2.649	\$ 7.947
TUB PVC 4" PERFORADA	ML	1	\$ 16.723	\$ 16.723
MAT GRANULAR PARA FILTRO	M3	0,96	\$ 33.930	\$ 32.573
MAT COMÚN RELLENO	M3	1,44	\$ 25.000	\$ 36.000
CONCRETO PARA CABEZOTE	M3	0,07	\$ 273.644	\$ 19.155
TOTAL				\$ 156.870

CABEZOTE DE ENTREGA (UND)=	7	\$ 19.155	\$ 134.086
LONGITUD TOTAL DE LA TRINCHERA (ML)=	540	\$ 137.715	\$ 74.365.992
PRESUPUESTO TOTAL DE LA TRINCHERA =			\$ 74.500.078

PRESUPUESTO DE OBRA MICROPILOTES INYECTADOS

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
EXCAVACIÓN PARA VIGA	M3	0,192	\$ 24.000	\$ 4.608
EXCAVACIÓN PARA MICROPILOTES	M3	0,126	\$ 24.000	\$ 3.024
DEMOLICIÓN PLACA DE VIVIENDA	M2	0,32	\$ 27.335	\$ 8.747
CONCRETO VIGA f'c=3000 PSI	M3	0,192	\$ 273.644	\$ 52.540
CONCRETO MICROPILOTES f'c=3000 PSI	M3	0,001	\$ 273.644	\$ 274
REFUERZO MICROPILOTES 7/8	Kg	7,22	\$ 3.052	\$ 22.035
REFUERZO FLEJES 3/8	Kg	13,44	\$ 1.158	\$ 15.564
REFUERZO VIGA 3/8	Kg	2,24	\$ 1.158	\$ 2.594
TOTAL				\$ 109.385

REFUERZOS POR VIVIENDA (UND)=	56	\$ 109.385	\$ 6.125.581
-------------------------------	----	------------	--------------

PRESUPUESTO DE OBRA MURO DE CONTENCIÓN

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
EXCAVACIÓN	M3	56	\$ 24.000	\$ 1.344.000
DEMOLICIÓN MURO EXISTENTE	M3	72	\$ 280.000	\$ 20.160.000
CONCRETO f'c=3000 PSI	M3	55	\$ 273.644	\$ 15.050.420
MATERIAL PARA FILTRO	M3	14,5	\$ 33.930	\$ 491.985
TUBERIA PVC 2" RANURADA	ML	18,5	\$ 8.420	\$ 155.770
GEOTEXTIL NO TEJIDO NT 1400	M2	101,75	\$ 1.740	\$ 177.045
RELLENO COMUN	M3	61,1	\$ 25.000	\$ 1.527.500
AMARRES	Kg	3,52	\$ 5.292	\$ 18.628
REFUERZO	Kg	934	\$ 1.158	\$ 1.081.572
TOTAL				\$ 40.006.920

MURO DE CONTENCIÓN (18 ML)=	1	\$ 40.006.920	\$ 40.006.920
-----------------------------	---	---------------	---------------

PRESUPUESTO REUBICACION PREDIO 10 MANZANA 7

ÍTEM	UND	CANT	V. UNIT	V. TOTAL
ADQUISICION VIVIENDA 10 MZ 7	UND	1	\$ 25.000.000	\$ 25.000.000
TOTAL				\$ 25.000.000

PRESUPUESTO TOTAL			\$ 145.632.578
--------------------------	--	--	-----------------------



UNION TEMPORAL
GIA CONSULTORES LTDA – ATG LTDA



ANEXO B5 REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 1. Perforación del sondeo manual N. 4, a una profundidad de 2.75 m, en donde se encontró un relleno de 20 cm., un suelo residual de 1.60 m. y areniscas de la Formación Regadera. Al fondo se observa el perfil de meteorización encontrado en el sondeo.



Fotografía No. 2. Núcleo de perforación del sondeo manual N. 3 (4.0 m. de profundidad). Arcillolita gris violácea de plasticidad media encontrada a una profundidad desde 2,20 hasta 4 m., perteneciente a la Formación Regadera.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 3. Estructura de drenaje tapada encontrada en el punto del sondeo manual No. 2, ubicado en la calle 36 B Sur con carrera 12.



Fotografía No.4. Afloramiento de limos rojos Qlr, con un espesor aproximado de 1.50 m. En este sitio se localizó el sondeo manual No. 11, ubicado en la calle 36 B Sur con carrera 12 BIS

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 5 Cuneta aladaña a una de las casas más afectadas. Nótese que la cuneta disminuye su sección como resultado del empuje del proceso DTPI-001. Casa esquinera entre la carrera 12 y la calle 36 B sur.



Fotografía No. 6 Sector de casas afectadas sobre la diagonal 36 sur aladañas al parque central. En primer plano el muro se encuentra agrietado. El parque y las casas se ubican sobre Cuaternario mixto.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 7. Muro de cerramiento de la zona verde, inclinado por un empuje del relleno. Este se definió como deslizamiento traslacional potencial incipiente DTPI-002. Este sitio se ubica sobre la carrera 11A.



Fotografía No. 8. Ladera sur. Se evidencian los procesos morfodinámicos cartografiados como DTE-004, en primer plano y DTE-005, al fondo. la urbanización de edificios cimentada sobre areniscas de la Formación Regadera.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 9. Ladera sur. Se observa el proceso morfodinámico cartografiado como DTE-005. La urbanización de edificios en la parte media de la imagen está cimentada sobre areniscas de la Formación Regadera. Los bosques de San Carlos ubicados al fondo, se ubican geológicamente en la Formación Bogotá.



Fotografía No. 10. Ladera sur. Se observa el proceso morfodinámico cartografiado como DTE-005, en primer plano. A la derecha en la “y” de la vía, el frente del proceso DTE-004. El parqueadero al fondo es el sector central del área de estudio.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 11. Ladera sur. Otra panorámica del proceso morfodinámico cartografiado como DTE-005.



Fotografía No. 12. Parte superior de la ladera sur. Afloramiento de las areniscas de la Formación Regadera.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 13. Perfil de la ladera sur. A la izquierda la urbanización Bosques de San Carlos contigua al barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier.



Fotografía No. 14. Areniscas de la Formación Regadera, en el talud de corte de la cimentación de los edificios en la urbanización Bosques de San Carlos contigua al barrio Pijaos-Jorge E. Cavelier.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 15. Apique 1, realizado en la zona del parqueadero central. Se encontraron limos rojos de textura volcánica infrayaciendo un relleno.



Fotografía No. 16. Afloramiento de suelos residuales mezclados con rocas arenosas alteradas de la Formación Regadera.

ANEXO B.5 – REGISTRO FOTOGRÁFICO



Fotografía No. 17. Afloramiento de areniscas de la Formación Regadera sobre la carrera 10C.



Fotografía No. 18. Trinchera No. 2, afloramiento de suelos residuales arcillo arenosos y rocas alteradas de las areniscas de la Formación Regadera sobre la carrera 10C.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 1. Grieta en la casa de la Manzana 10 Carrera 12 No. 36^a-63. También se realizó un monitoreo manual mediante la colocación de marcas con el fin de tener referencias de movimientos en el tiempo de ejecución del proyecto.



Fotografía No. 2. Desplome del muro en la casa localizada en la diagonal 36sur con carrera 10D No. 36-39 sur (Manzana 7). Se puede observar que en la parte superior se presenta agrietamiento en las columna de refuerzo construida hace menos de 2 años en la parte exterior de la casa (costado norte). En esta casa se realizó el apique C1.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 3. Grieta en muro de ola habitación en la casa ubicada en la Carrera 10F 36-80 sur (Manzana 7). Se realizó un monitoreo manual mediante el uso de marcas con el objeto de detectar de movimientos en el tiempo de ejecución del proyecto.



Fotografía No. 4. Grieta de daño severo en el piso del antejardín la casa de la Carrera 10F No. 36-64 Sur, Manzana 7.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 5. Grieta pasante, en muro de la casa esquinera Carrera 10F con calle 36A Bis Sur.



Fotografía No. 6. Grieta en muro (parte superior de la imagen) casa de la Carrera 10D No. 36A-75 Sur, Manzana 4.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 7. Grietas severas y hundimientos del piso del patio de la casa de la Carrera 10D No. 36A-62 Sur, Manzana 3.



Fotografía No. 8. Grietas resanadas (hasta de 7 cm. de ancho) en el muro del patio de la casa de la Carrera 10D No. 36-39 Sur, Manzana 7.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 9. Grieta en el muro de aislamiento de la zona verde de la Carrera 10F No. 36-50 Sur, Manzana 7.



Fotografía No. 10. Grietas categorizadas de daño severo en el piso de la habitación de la casa ubicada en la carrera 10F No. 36-80 Sur, Manzana 7.

ANEXO F.3 – REGISTRO FOTOGRÁFICO DE DAÑOS



Fotografía No. 11. Muro de aislamiento existente en la Carrera 11A Sur, Manzana 12, sometido a un fenómeno de remoción en masa local. La Sra de la casa situada en frente de éste, es decir, cra 11ª-36ª-91 ha percibido el alejamiento del muro del terreno a largo de un año, tal y como se aprecia en la fotografía.



Fotografía No. 12. Estado del andén en la carrera 10F contiguo a la manzana 7.