CAPÍTULO

3.0

CONTENIDO

Contenido		1
Estudio geológico		2
3.1	Introducción	2
3.2	Marco geológico regional	2
3.2.1	Estratigrafía	2
3.2.2	Geología estructural	7
3.3	Geología local	8
3.3.1	Formación Bogotá (Tpb)	8
3.3.2	Relleno antrópico de escombros (Qra-e)	10
3.3.3	Relleno antrópico terraceado (Qra-t)	13
3.3.4	Depósito de pendiente (Qdp)	13
3.4	Aspectos hidrogeológicos	13
3.5	Geomorfología	15
3.5.1	Unidades geomorfológicas	15
3.5.2	Procesos morfodinámicos	15
3.6	Fuentes de consulta	23

CAPÍTULO

3.0

ESTUDIO GEOLÓGICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Este aparte del Informe contiene el marco geológico regional del área de estudio y el modelo geológico detallado que servirá de base para el estudio geotécnico al considerar que con este se define el modelo geotécnico para llevar a cabo los análisis de estabilidad.

Para comprender el modelo geológico regional, se consultó y analizó la información relacionada con esta disciplina, entre la que se destaca la Geología Para la Zonificación por Procesos de Remoción en Masa de Diferentes Localidades de Santafé de Bogotá, realizada en el año de 1998 por la empresa consultora INGEOCIM LTDA para la UPES – FOPAE. Además, se consultaron las fotografías aéreas 05 y 06 del vuelo C743 del 20 de enero de 1955 a escala 1:9.000 y las fotografías 48 y 49 del vuelo C2717 del 16 de febrero de 2004 a escala 1:20.460.

Posteriormente se llevó a cabo el control de campo, con el objeto de identificar las unidades litológicas y las estructuras que afloran e inciden en el área de estudio. Como resultado de esta etapa de trabajo se complementó el mapa geológico del área a escala 1:25.000.

En lo que respecta a la geología de detalle, se analizó la información correspondiente con la exploración del subsuelo (geoeléctrica y perforaciones) y se elaboraron los perfiles y mapa geológico detallado de la zona de estudio, a escala 1:250, cartografiando unidades geológicas de superficie.

El capítulo consta de seis secciones, de las cuales la primera corresponde a la introducción, la segunda registra el marco geológico regional, la tercera comprende la geología local, la cuarta describe aspectos hidrogeológicos, la quinta contiene la geomorfología del área de estudio y en la sexta se incluyen las fuentes de información consultadas.

3.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La litología y estructuras geológicas del área en la cual se enmarca la zona de estudio es la siguiente:

3.2.1 ESTRATIGRAFÍA

Las rocas que afloran en la Localidad de San Cristóbal corresponden al Grupo Guadalupe (Formaciones Arenisca Dura (Ksgd), Nivel Plaeners (Ksgp), Arenisca de labor (Ksgl) y Arenisca Tierna (Ksgt)) del Cretáceo Superior, a la Formación Guaduas del Cretáceo – Terciario (K-Tg) y a las formaciones Cacho (Tpc) y Bogotá (Tpb) del Terciario. Discordantemente sobre las rocas cretáceas y terciarias aparecen importantes depósitos cuaternarios (Depósitos de Pendiente Coluviales (Qdlc) y Depósitos de Pendiente talus (Qdlt)), además de los suelos residuales (Qsr) y los rellenos antrópicos (Qra). (Ver **TABLA 3.1** y **FIGURA 3.1)**. A continuación se hace una breve descripción de cada una de estas unidades:

TABLA 3.1
DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS A NIVEL REGIONAL

EDAD GEOLÓGICA		UNIDAD GEOLÓGICA	CONVENCIÓN EN EL PLANO	DESCRIPCION LITOLÓGICA
CUATERNARIO		Rellenos Antrópicos	Qra	Depósitos de escombros, material de excavaciones y basuras, conformados de manera técnica o antitécnica.
		Depósitos de ladera tipo Coluvión	Qdlc	Depósitos Matriz-soportados, guijos y bloques de arenisca cuarzosa, embebidos en matriz arcillosa y arcillo arenosa.
		Suelos Residuales	Qsr	Suelos arcillosos, arcillolimosos y arcillo arenosos, producto de la meteorización y alteración de las rocas existentes.
TERCIARIO	Paleoceno Superior a Eoceno	Formación Bogotá	Tpb	Lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas.
	Paleoceno Superior	Formación Cacho	Tpc	Arenisca, friable de color pardo a blanco, en estratos hasta de dos metros de espesor
TERCIARIO – CRETÁCEO	Maestrichtiano Superior a Paleoceno Inferior	Formación Guaduas	K-Tg	Conjunto superior: Arcillolitas abigarradas en mantos delgados de carbón; Conjunto medio: Arenisca guía en la base y Arenisca Lajosa en el techo, separadas por arcillolitas compactas que contienen mantos de carbón; Conjunto Inferior: Arcillolitas grises oscuras.
CRETÁCEO	Maestrichtiano	Grupo Guadalupe, Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna	Ksgl y Kslt	Arenisca Tierna: Areniscas de grano grueso a conglomerático, con intercalaciones delgadas de lodolitas, limolitas y arcillolitas. Arenisca de Labor: Areniscas de grano fino, arcillosas, compactas, separadas por capas finas de arcillolitas.
	Maestrichtiano Inferior	Grupo Guadalupe, Formación Plaeners	Ksgp	Limolitas silíceas, porcelanitas, liditas y areniscas de grano fino.
	Coniasiano Superior a Campaniano	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura	Ksgd	Areniscas en bancos muy gruesos, con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas y arcillolitas.

Fuente: Geología del Área Metropolitana de Bogotá D.C., PCI – OYO, 2000.

CRETÁCEO

✦ **FORMACIÓN ARENISCA DURA (KSGD)**

La formación Arenisca Dura aflora en la parte alta del río San Cristóbal y está compuesta por una sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con delgadas intercalaciones de limolitas, lodolitas, porcelanitas (*chert*) y arcillolitas de colores claros y en capas finas.

Las areniscas están compuestas por ortocuarcitas de grano muy fino. El espesor de los bancos de areniscas fluctúa entre 2 y 15 metros. El contacto de la Arenisca Dura con la formación suprayacente (Formación *Plaeners*) es normal.

✦ **FORMACIÓN *PLAENERS* (KGSP)**

La Formación *Plaeners* consta de una sucesión de limolitas silíceas, porcelanitas (*Chert*), liditas y areniscas de grano fino en bancos de unos 8 metros de espesor. El conjunto presenta estratificación fina a media.

✦ **FORMACIÓN ARENISCA DE LABOR (KSGL)**

Esta formación se encuentra constituida por areniscas de grano fino, arcillosas, grisáceas a blancas, compactas, que ocurren en bancos gruesos, separados por capas finas de arcillolitas blancas.

✦ **FORMACIÓN ARENISCA TIERNA (KSGT)**

Consta de una sucesión predominante de areniscas de grano grueso a muy grueso, algo conglomeráticas, que se presentan en bancos potentes separados por estratos delgados de lodolitas, limolitas y arcillolitas. Predominan las areniscas de grano grueso que forman los bancos de mayor espesor y donde es notoria la estratificación cruzada.

Las areniscas son arcillosas, de compactación variable, de color pardo amarillento a blanco, algunas veces son rojizas por la presencia de óxidos de hierro; otras veces los óxidos de hierro le dan aspecto moteado a las areniscas. Las areniscas son ortocuarcitas con matriz caolinítica que hace de ellas areniscas friables. Una característica particular de la Arenisca Tierna es que en sus interbancos suelen presentarse estructuras sedimentarias.

En la localidad de San Cristóbal las Formaciones Arenisca de Labor y Arenisca Tierna se encuentran prácticamente desaparecidas por efectos de la falla de Bogotá.

CRETÁCEO - TERCIARIO

✦ **FORMACIÓN GUADUAS (K-TG)**

La Formación Guaduas consta principalmente de lutitas con frecuentes intercalaciones de areniscas. Dentro de estas últimas se destacan las denominadas Arenisca La Guía y Arenisca Lajosa que han permitido subdividir el Guaduas en tres conjuntos:

Conjunto Inferior: Consta esencialmente de arcillolitas grises oscuras, con una capa delgada de carbón en el tope; el espesor del conjunto alcanza los 65 metros.

Conjunto Medio: Está determinado por dos niveles de areniscas. En la base la Arenisca La Guía (de 30 metros de espesor aproximadamente) y en la parte superior la Arenisca Lajosa. Entre los dos areniscas se encuentra una masa de arcillolitas grises oscuras, compactas, que contienen mantos de carbón

potencialmente explotables; las areniscas de esta parte del Guaduas son ortocuarcitas similares a las de la parte superior del Grupo Guadalupe.

Conjunto Superior: Consta de arcillolitas abigarradas (rojizas, azuladas, verdes y moradas) en las que localmente hay mantos delgados de carbón y bancos de areniscas, poco compactas de grano medio a grueso. Las rocas de este conjunto tienen mayor plasticidad que las lutitas del nivel inferior.

A excepción de las areniscas La Guía y Lajosa que se destacan en el relieve, la formación presenta relieves bajos por su poca resistencia a la erosión. En la localidad de San Cristóbal la Formación Guaduas también se encuentra prácticamente desaparecida por efectos de la falla de Bogotá.

TERCIARIO

✦ FORMACIÓN CACHO (TPC)

Es una arenisca friable, de color pardo a blanco, con tamaño de grano grueso en la base y fino hacia el techo que se presenta en estratos hasta de 2 m de espesor, muestra marcada estratificación cruzada e intercalaciones menores de lutitas amarillentas a blancuzcas.

La unidad se encuentra bien expuesta en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá (Sector de San Cristóbal). La sección tipo está en el Pico del Cacho, al Suroeste de Zipaquirá (Scheibe, 1918); Hubach (1957) considera como sección tipo para la zona de Bogotá el afloramiento sobre el Río San Cristóbal en proximidades al Instituto Para Niños Ciegos, cuyo espesor en el Río San Cristóbal es de aproximadamente 50 metros.

La Formación Cacho, forma una cresta destacada en la topografía, que contrasta con el relieve suave de las Formaciones Guaduas en la base y Bogotá en el techo.

✦ FORMACIÓN BOGOTÁ (TPB)

Consta de una sucesión monótona de lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas (grises, rojas, violáceas y moradas), separadas por bancos de areniscas arcillosas blandas y no contiene mantos de carbón; la litología se caracteriza por ser muy parecida a la del Conjunto Superior de la Formación Guaduas, aunque la tonalidad de las arcillolitas es violácea.

La secuencia completa se encuentra expuesta en el flanco occidental del Sinclinal de Usme (Tunjuelito) donde fue medida. La sección tipo fue descrita por Julivert (1963) en la Quebrada Zanjón Grande, en laque se mide un espesor de 2.000 m aproximadamente. De acuerdo con otros geólogos (Monroy, 2000), esta formación puede superar los 4.000 m de espesor en sectores diferentes a lo mencionados.

En la Formación Bogotá hay menos intercalaciones arenosas que en la Formación Guaduas y está respresentada por una morfología ondulada con pendientes moderadas, en general. Sus arcillas se utilizan para la fabricación de ladrillos y tubos, por su carácter “impermeable”. Debido a la alta plasticidad de los suelos arcillosos producto de la meteorización y/o alteración de las rocas que la constituyen, el área donde aflora es susceptible de inestabilidad, especialmente en pendientes inclinadas a muy inclinadas.

✦ SEDIMENTOS DEL CUATERNARIO

El Cuaternario en la parte alta de la localidad de San Cristóbal está representado por los suelos residuales y algunos depósitos de pendiente de tipo coluvial y *talus*, y rellenos antrópicos. Los suelos residuales (Qsr) son el producto de la meteorización y alteración de las rocas de la Formación Bogotá y Guaduas, principalmente, y presentan características arcillosas.

Los depósitos de ladera tipo Coluvión (Qdlc) se localizan hacia las márgenes del río San Cristóbal, mientras que los Depósitos Antrópicos (Qra) se ubican justamente en áreas urbanas, como en la zona de estudio.

3.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio se enmarca en una zona muy compleja desde el punto de vista estructural, razón por la cual se describen a continuación los diferentes sistemas estructurales de incidencia en el sector de San Cristóbal, con el objeto de comprender mejor el entorno geológico del área. Se aclara que algunas de las estructuras aquí descritas no aparecen localizadas en la figura de geología regional por razón de escala.

✦ **SISTEMA DE ESTRUCTURAS N - S**

- **Sinclinal de Usme - Tunjuelito**

Esta estructura es la terminación sur de la depresión tectónica de la Sabana de Bogotá. El eje de plegamiento tiene dirección aproximada N-S, se extiende hacia el sur por más de 20 kilómetros y su eje se inclina de sur a norte. El flanco occidental se encuentra en posición normal con buzamientos hasta de 45º, mientras que el flanco oriental se encuentra invertido en algunos tramos, lo cual no ocurre en el sector de San Cristóbal, donde la secuencia estratigráfica es normal. De otra parte, el sinclinal se encuentra afectado por fallas perpendiculares y oblicuas a su dirección general, y por pliegues menores que se presentan especialmente en áreas donde afloran formaciones rocosas de características blandas, como la Formación Guaduas y la Formación Bogotá.

Ingeominas (1997) efectuó la cartografía de la Falla de Tunjuelito y muestra que tiene rumbo NNE-SSW al sur, pasa a rumbo N-S al centro y cambia a rumbo NNW-SSE al norte. Según esta fuente de información, la estructura es de tipo inverso y delimita por el occidente al Sinclinal de Usme - Tunjuelito.

- **Anticlinal de Bogotá**

El Anticlinal de Bogotá se desarrolla principalmente en rocas del Grupo Guadalupe y en menor proporción en rocas Terciarias y forma el borde oriental de la Sabana de Bogotá. La estructura está acompañada por fallas paralelas y está cortada por fallas transversales que subdividen las estructuras paralelas en varios bloques. De acuerdo con Ujueta (1998), entre el Cerro Monserrate y el Cerro Guadalupe se interpone una falla de rumbo con dirección NE-SW; al norte de ésta el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá está invertido y al sur de la misma el flanco occidental del anticlinal es normal; el límite sur de este bloque es la Falla El Zuque. A partir de ésta y en dirección hacia el sur, de nuevo el flanco occidental del anticlinal está invertido. Con base en lo anterior, la secuencia estratigráfica en el área de estudio se encuentra en posición normal.

- **Falla de Bogotá**

La Falla de Bogotá fue reconocida inicialmente por Clements (1926) y luego por Ujueta (1961), con el nombre de Falla de Monserrate. Ésta se extiende desde el límite sur de la ciudad hasta aproximadamente Santa Ana Oriental (Usaquén). Se trata de una falla inversa con buzamiento hacia el Este. Pone en contacto en la mayor parte de su recorrido rocas de la Formación Arenisca de Labor con rocas del conjunto superior de la Formación Guaduas, como ocurre en la parte alta de la Localidad de San Cristóbal. La inversión del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá pareciera estar relacionada con la Falla de Bogotá; sin embargo, se encuentra presente aún en los tramos normales del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá (Cerro El Zuque - Cerro Guadalupe).

✦ **SISTEMA DE ESTRUCTURAS E – W Y NW - SE**

- **Falla El Zuque**

Mucho más al sur del río San Cristóbal se encuentra una falla de rumbo con dirección E-W, de movimiento lateral izquierdo, que de acuerdo con su traza el plano de falla es sensiblemente vertical. Además de los desplazamientos sobre la Falla de Bogotá y de algunos contactos intraformacionales, es notorio el control fisiográfico en el límite sur del Cerro El Zuque (Localidad de Rafael Uribe Uribe). Aunque esta estructura no está localizada en la figura de geología regional, se trae a colación, debido a que marca el límite por la parte sur de San Cristóbal, hasta donde la secuencia estratigráfica yace en posición normal.

- **Falla de San Cristóbal**

Es una falla de rumbo de desplazamiento lateral izquierdo que desplaza el eje del Anticlinal de Bogotá y la Falla de Bogotá; controla el Río San Cristóbal en buena parte de su curso y se proyecta hacia el noroccidente dentro de la Sabana de Bogotá.

Las fallas de San Cristóbal y de Bogotá, son las principales responsables del alto grado de fracturamiento de los macizos rocosos en inmediaciones del área de estudio.

3.3 GEOLOGÍA LOCAL

La geología del área de estudio se realizó sobre la base topográfica del proyecto a escala 1:250, y consiste básicamente en la cartografía y descripción de las unidades geológicas de superficie y de los perfiles litoestratigráficos elaborados con base en los afloramientos de materiales existentes en la zona y teniendo en cuenta los registros de la exploración de subsuelo, realizada específicamente para el presente proyecto. A continuación se describen los materiales existentes en el área de estudio, los cuales se presentan en el **PLANO 3.1** del **ANEXO 3.1**.

Los materiales que constituyen superficialmente el área de estudio son los siguientes:

3.3.1 FORMACIÓN BOGOTÁ (TPB)

✦ **LITOLOGÍA**

En lo que respecta específicamente al área de estudio, la Formación Bogotá juega un papel bien importante, ya que la explotación de sus materiales arcillosos para la fabricación de tubos, marcó el inicio de los problemas de inestabilidad en la Zona de Cesión tipo A objeto del presente estudio.

Gracias a la actividad minera, hoy se encuentran aflorando parte de las rocas de la formación en el extremo occidental del talud de corte. Dichas rocas consisten en intercalaciones de arcillolitas abigarradas y areniscas de grano grueso a conglomerático, algo deleznables. Las arcillolitas son duras y fisuradas, razón por la cual son altamente susceptibles de inestabilidad, debido a la capacidad de almacenamiento de agua en sus intersticios.

En la **FIGURA 3.2** se muestra la columna estratigráfica aflorante en el área de estudio, en la cual se nota claramente que predominan las arcillolitas sobre las areniscas; en la base de la sección afloran *Shales* negros (**FOTOGRAFÍAS 3.1** y **3.2**). Los mantos de arcillolita están entre 4 y 7 m de espesor, mientras que los estratos de arenisca presentan espesores entre 1 y 5 m.

En el costado noroccidental del salón comunal de la Urbanización La Roca también aflora un estrato de areniscas, mientras que en las manzanas 15 y 16 se encuentran arcillolitas hacia los 2 y 5 m de profundidad, según se pudo verificar mediante el programa de exploración del subsuelo. Con base en lo anterior se establece que los problemas de inestabilidad del terreno son evidentes en el área donde se encuentran las rocas blandas de la formación (Arcillolitas).

- **ESTRUCTURAS**

Desde el punto de vista estructural, en el escarpe rocoso los estratos se encuentran orientados con una dirección N25°E buzando 25ºNW mientras que en el afloramiento de la base del talud se encuentran orientados en una dirección N5°E, conservándose el mismo buzamiento hacia el NW, lo cual indica que existen ligeros basculamientos por acción tectónica. También se nota una ligera variación en la orientación y buzamiento de los dos sistemas de fracturamiento del macizo rocoso: N40°E/vertical en el escarpe y N70°E/vertical en el afloramiento de la base del talud; N65°W/vertical en el escarpe y N70°W/20°NW en el afloramiento de la base del talud. Sin embargo, existe buena continuidad de los dos sistemas de diaclasas.

De otra parte, un poco más al oriente de la Urbanización Parque La Roca, la estratificación se encuentra orientada N18°E, buzando entre 36º y 45º al SE, lo que implica que localmente se presentan plegamientos menores (anticlinal).



FOTOGRAFÍA 3.1
PANORÁMICA DEL AFLORAMIENTO DE ROCAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ EN EL COSTADO OCCIDENTAL DE LA ZONA DE CESIÓN TIPO A.

En la **FIGURA 3.3** se muestra el análisis cinemático de estabilidad del talud rocoso en inmediaciones del salón comunal, de donde se obtiene como resultado que no son probables fallas planas, ni cuñas potencialmente inestables, para el talud existente con dirección aproximada E-W y buzamiento de 45º hacia el sur. No obstante, el análisis permite concluir que sí es posible la caída de bloques de los estratos de arenisca, debido a la existencia de dos discontinuidades verticales, N40ºE y N60ºW, toda vez que ocurra el fenómeno de erosión diferencial.



FOTOGRAFÍA 3.2
AFLORAMIENTO DE SHALES NEGROS EN LA BASE DE UN ESTRATO DE ARENISCAS (PATA DE TALUD DE CORTE ANTIGUA EXPLOTACIÓN).

3.3.2 RELLENO ANTRÓPICO DE ESCOMBROS (QRA-E)

Se han denominado así a los rellenos existentes a media ladera, los cuales no tienen una compactación adecuada, por estar por fuera del paramento de las viviendas o en taludes donde se han dispuesto sin una técnica adecuada (**FOTOGRAFÍA 3.3**). De acuerdo con los registros de las perforaciones 1 y 4, efectuadas en la zona del deslizamiento, estos materiales alcanzan espesores hasta de 4 m.



FOTOGRAFÍA 3.3
SOBRE EL COSTADO IZQUIERDO DE LA FOTO SE OBSERVA UN TALUD DE RELLENO A MEDIA LADERA, DONDE SE PRESENTAN FLUJOS DE TIERRA.

3.3.3 RELLENO ANTRÓPICO TERRACEADO (QRA-T)

Consiste en rellenos limo arcillosos, en partes areno arcillosos, o en mezclas de escombros de construcción y material común, dispuestos de manera técnica, para la construcción de viviendas (**FOTOGRAFÍA 3.4**). En el área de estudio comprende la zona ocupada por las manzanas 15 y 16 y las zonas de relieve suave en la parte baja. El espesor de los rellenos oscila entre 1 y 3 m, según se pudo comprobar tanto con el sondeo eléctrico vertical, como con las perforaciones 2, 5 y 6. Por debajo de los materiales aquí descritos se encuentran los suelos residuales arcillosos de la Formación Bogotá que alcanzan espesores hasta de 3 m.



FOTOGRAFÍA 3.4
EN LA PARTE MEDIA DE LA FOTO SE OBSERVA ALISTAMIENTO PARA DESARROLLO URBANÍSTICO (TERRACEO).

3.3.4 DEPÓSITO DE PENDIENTE (QDP)

En el sitio inestable de la Zona de Cesión Tipo A, los materiales se encuentran actualmente en proceso de deformación como consecuencia del movimiento, que ha involucrado rellenos antrópicos (**FOTOGRAFÍA 3.5**) y suelos residuales de la Formación Bogotá, razón por la cual se separó esta zona como una unidad geológica de superficie independiente. En el **CAPÍTULO 4** (Geotecnia) se amplía la descripción de los materiales encontrados, teniendo como base los respectivos ensayos de laboratorio.

3.4 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

La característica geoestructural más importante en el área estudiada es el alto grado de fisuramiento de las arcillolitas de la Formación Bogotá, que hacen de estas rocas materiales “semipermeables”, y el fracturamiento de los estratos de arenisca interestratificados (dos sistemas de diaclasas principales, con buzamiento relativamente vertical); las areniscas presentan también permeabilidad primaria. Debido a estas características, sumadas a los planos de estratificación, “el macizo en roca blanda” presenta una permeabilidad secundaria y, en términos hidrogeológicos, las rocas clasificarían como un acuicierre (permiten el almacenamiento pero no el flujo del agua subterránea).



FOTOGRAFÍA 3.5
DETALLE DE MATERIALES DE RELLENO EN PROCESO DE FALLA EN EL SITIO DE DESLIZAMIENTO DE LA ZONA DE CESIÓN TIPO A

El área de recarga es bastante grande, toda vez que las aguas que confluyen en inmediaciones de las manzanas 15 y 16 así como en la Zona de Cesión Tipo A no son solamente las que se infiltran en la ladera, sino las que provienen desde áreas localizadas mucho más arriba de la Urbanización; es de aclarar que las rocas de la Formación Cacho aflorantes en el sector de la Planta Vitelma pueden estar almacenando aguas provenientes del Grupo Guadalupe y la Formación Guaduas que se encuentran topográficamente más arriba, y de la misma forma puede estar aportando aguas a la Formación Bogotá, que se encuentra topográficamente más abajo de la formación Cacho.

Por las razones expuestas anteriormente, es de esperarse alta humedad en los materiales que constituyen el suelo y subsuelo, y almacenamiento de agua subterránea en el área donde afloran los materiales de la Formación Bogotá, que permiten que el terreno sea altamente susceptible a problemas de remoción en masa relacionados con flujos de tierra y deslizamientos.

Es de aclarar que, de acuerdo con la interpretación geológica efectuada especialmente para el presente estudio, la Urbanización Parque La Roca se encuentra localizada sobre un pliegue anticlinal erosionado en su parte central o eje, donde las características de resistencia de los materiales (macizo en roca blanda) se ven desmejoradas como consecuencia de la acción tectónica, que fractura las rocas y las hace más susceptibles al ablandamiento.

Una geoforma de especial interés puede ser vista en el plano de catastro de época anterior a la construcción de la Urbanización, donde se nota una zona de flujos de tierra en una cañada localizada justo al frente de la Manzana 16, la cual fue rellenada durante el desarrollo urbanístico. Esta característica que también puede ser observada en las fotografías aéreas de 1955, confirma lo expuesto anteriormente sobre el fracturamiento y ablandamiento de materiales en el eje de la estructura anticlinal.

De acuerdo con la exploración de subsuelo realizada específicamente para el presente estudio, el nivel freático al nororiente de la Manzana 15 se encuentra a 4,5 m de profundidad, en el nivel de suelos residuales arcillosos. Hacia la corona de la zona de deslizamiento en la Zona de Cesión Tipo A se encuentra prácticamente en superficie (0,5 m) y hacia la pata del mismo deslizamiento, se presentan

afloramientos de agua subterránea. Estas son otras de las razones por las cuales se considera que el agua está presente en toda la ladera y que es la causa principal de los problemas de inestabilidad del terreno. En tal sentido deberían orientarse las obras de estabilización o mitigación (Drenaje superficial y profundo).

3.5 GEOMORFOLOGÍA

El objeto de la presente sección es el de zonificar las unidades geomorfológicas del área de estudio, con base en los procesos morfodinámicos existentes en cada una de ellas y las características de las mismas, con el propósito de definir las áreas de mayor y menor susceptibilidad a los procesos de remoción en masa.

3.5.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Una unidad geomorfológica es un área determinada en la cual existen particularidades de relieve, procesos morfodinámicos y propiedades litológicas que la caracterizan y diferencian de las demás. En el área de estudio se identificaron 5 unidades, las cuales se presentan en el **PLANO 3.2** del **ANEXO 3.1** y se describen en la **TABLA 3.2**.

En términos generales, las unidades presentes son de dos tipos: Las de origen antrópico, que corresponden básicamente a áreas donde se han efectuado rellenos compactados y sin compactar, botaderos, apilamientos de material y movimientos de tierra en general. Las de origen natural que tienen que ver con los afloramientos de material *in situ* (rocas de la formación Bogotá), donde los procesos morfodinámicos tienen que ver con la erosión diferencial y eventualmente la caída de bloques.

3.5.2 PROCESOS MORFODINÁMICOS

✦ CAUSAS POSIBLES DE LOS PROCESOS MORFODINÁMICOS

Los posibles factores condicionantes de la inestabilidad del terreno son los siguientes:

a) Rocas altamente fracturadas, meteorizadas y fisuradas de la Formación Bogotá, las cuales pueden estar almacenando grandes volúmenes de agua subterránea.

b) Existencia de estructuras geológicas (pliegues, diaclasas, estratificación y posiblemente zonas de cizalla), las cuales han contribuido a la degradación de los macizos rocosos y constituyen zonas de concentración de aguas subterráneas.

c) Los suelos residuales arcillosos a media ladera, dada la posición de la estratificación de las arcillolitas (manzanas 15 y 16), se pueden considerar potencialmente inestables, máxime cuando se han sobrecargado.

d) Las aguas subterráneas de niveles freáticos colgados tienen su trayectoria a través de la interfase suelo residual – arcillolitas de la Formación Bogotá.

e) Manejo insuficiente de aguas de escorrentía superficial y disposición inadecuada de rellenos a media ladera.

f) Explotación inadecuada de arcillas para la fabricación de tubos. Se generaron excavaciones sin efectuar un tratamiento adecuado de los taludes de corte.

✦ **DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS**

Con el propósito de realizar el inventario de los procesos morfodinámicos que se describen a continuación, se elaboró una ficha técnica, la cual se desarrolló mediante trabajo de campo (Ver **ANEXO 3.2**).

- **Deslizamientos**

El proceso morfodinámico más notorio en la zona de estudio consiste en un deslizamiento traslacional con una componente rotacional hacia la corona del mismo, localizado en la Zona de Cesión Tipo A. El deslizamiento involucra materiales de relleno y suelos residuales que yacen sobre arcillolitas y areniscas interestratificadas de la Formación Bogotá. Debido a que los mantos de arcillolita presentan gran espesor, estos marcan el comportamiento geomecánico de la ladera, toda vez que los estratos de arenisca son delgados y se encuentran afectados por dos sistemas de diclasamiento principal. De otra parte, en el talud de corte donde se presenta el deslizamiento, pudo ocurrir un proceso de erosión diferencial, conllevando a la falla de los estratos de arenisca, lo cual permite pensar que contribuyó con la inestabilidad de la ladera en general. De acuerdo con los registros de la exploración de subsuelo, la máxima profundidad de la superficie de falla del deslizamiento es de aproximadamente 6 m. El movimiento amenaza con tornarse retrogresivo e involucrar mayor área de la zona de parqueadero, razón por la cual se recomienda implementar medidas correctivas de estabilidad de manera oportuna. Se aclara que el andén del parqueadero actualmente se encuentra desplazado 1 m en la vertical y dos metros en la horizontal (**FOTOGRAFÍA 3.6**).

- **Flujos de tierra**

Los flujos de tierra son movimientos de velocidad variable, en el área estudiada están formados sobre materiales arcillosos de rellenos antrópicos, que pierden su estabilidad por efecto del agua, originando desplazamientos con formas alargadas, lobuladas en su extremo inferior. Este tipo de proceso se presenta en el costado izquierdo del deslizamiento descrito anteriormente (**FOTOGRAFÍA 3.7**).

- **Reptación en laderas**

Se manifiesta como un desplazamiento muy lento de la parte superficial del terreno, aún en taludes de pendiente moderada y con cobertura vegetal. De acuerdo con la teoría, en veranos prolongados el movimiento puede ser prácticamente nulo, pero en inviernos pronunciados puede alcanzar velocidades hasta de 5 cm./año. Este fenómeno es característico de todas las laderas donde se encuentran rellenos antrópicos dispuestos de manera inadecuada (**FOTOGRAFÍA 3.8**).



FOTOGRAFÍA 3.6
CORONA DE DESLIZAMIENTO EN LA ZONA DE CESIÓN TIPO A.



FOTOGRAFÍA 3.7
LA FLECHA INDICA EL SENTIDO DEL FLUJO DE TIERRAS EXISTENTE POR EL COSTADO IZQUIERDO DEL DESLIZAMIENTO DE LA ZONA DE CESIÓN TIPO A.



FOTOGRAFÍA 3.8
DETALLE DE REPTACIÓN EN LADERAS SOBRE LA PARTE SUPERIOR DE LA FOTOGRAFÍA.

- **Erosión diferencial en estratos**

Este proceso tiene lugar en el escarpe del talud rocoso del frente de explotación abandonado, por el costado derecho del deslizamiento de la Zona de Cesión Tipo A. De continuar la erosión de los estratos de arcillolita por acción del agua y el viento, puede ocurrir caída de bloques de los estratos de arenisca (**FOTOGRAFÍA 3.9**).



FOTOGRAFÍA 3.9
DETALLE DE EROSIÓN DIFERENCIAL EN TALUD DE CORTE, ANTIGUAS EXPLOTACIONES.

- **Erosión laminar y en surcos**

La erosión se acentúa sobre terrenos desprovistos de vegetación y aunque en el área de estudio es un poco incipiente, esta puede llegar a desencadenar otra serie de procesos morfodinámicos como flujos y deslizamientos. Uno de los sectores donde se evidencia el proceso de erosión laminar es justamente en el área de parqueadero arriba del deslizamiento descrito anteriormente (**FOTOGRAFÍA 3.10**).

También se presenta erosión laminar en los montículos de escombros depositado a través de volquetas. En el escarpe de rocas de la formación Bogotá, este proceso conlleva a su vez a la erosión diferencial.



FOTOGRAFÍA 3.10
DETALLE ÁREA DE PARQUEADERO EN LA ZONA DE CESIÓN TIPO A.

- **Afloramientos de agua**

En la pata del talud de corte, base del deslizamiento o antiguo frente de explotación de arcillas, aflora agua subsuperficial, posiblemente agua subterránea, aportada inclusive por los materiales de la formación Bogotá sobre la cual se efectuaron los rellenos para el desarrollo urbanístico (**FOTOGRAFÍA 3.11**). Esto permite concluir que en la zona de contacto entre materiales in situ y los materiales en

proceso de falla del deslizamiento existe agua. Cabe aclarar que durante la exploración de subsuelo se encontró agua a menos de 50 cm. de profundidad en la corona de dicho deslizamiento.



FOTOGRAFÍA 3.11
DETALLE AFLORAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PATA DEL DESLIZAMIENTO.

Los procesos antrópicos presentes en el área estudiada son los siguientes:

- **Apozamientos**

Los apozamientos de agua ocurren debido a las piscinas conformadas en el área de la antigua fábrica de tubos, donde existen confinamientos laterales por depósitos de escombros (**FOTOGRAFÍA 3.12**). El agua allí estancada no solamente es de lluvia o escorrentía superficial, sino la que aportan los materiales arcillosos del sector.

- **Cortes en roca**

El talud en el costado noroccidental del Salón Comunal (**FOTOGRAFÍA 3.13**) de la Urbanización Parque La Roca y el escarpe rocoso del antiguo frente de explotación, han sido el producto los cortes en roca.

- **Explanaciones, rellenos y terraceos**

Son los procesos antrópicos mediante los cuales se acondicionaron las áreas para llevar a cabo el desarrollo urbanístico. En las manzanas 15 y 16 se conformaron taludes de corte en materiales arcillosos del orden de 2 m de altura, los cuales hoy se encuentran “confinados” con muros en piedra y rellenos que pueden superar los 3 m de espesor. Al proceso combinado de corte – relleno se denomina terraceo, no obstante, en el presente estudio se denomina terraceo a las explanaciones efectuadas en la zona baja de la Urbanización (costado sur del área), donde se tenía listo el terreno para continuar con el desarrollo urbanístico (**FOTOGRAFÍA 3.14**).



FOTOGRAFÍA 3.12
DETALLE DE APOZAMIENTOS DE AGUA EN LA PARTE BAJA DEL ÁREA DE ESTUDIO.



FOTOGRAFÍA 3.13
DETALLE AFLORAMIENTO ROCOSO EN EL COSTADO NOROCCIDENTAL DEL SALÓN COMUNAL DE LA URBANIZACIÓN LA ROCA.

- **Rellenos a media ladera y apilamiento de materiales**

La disposición de rellenos en media ladera constituye una técnica inadecuada para la estabilidad del terreno en general, toda vez que se sobrecarga el terreno y se modifica la escorrentía de manera local, contribuyendo con la generación de problemas de inestabilidad relacionados con flujos de tierra y deslizamientos. Otro de los procesos antrópicos recientes es el apilamiento de materiales o escombros de excavación (**FOTOGRAFÍA 3.15**), los cuales muy seguramente serán extendidos y compactados de continuar el desarrollo urbanístico en el área.



FOTOGRAFÍA 3.14
DETALLE EXPLANACIONES EN EL ÁREA CORRESPONDIENTE A LA URBANIZADORA LOS TUKANOS



FOTOGRAFÍA 3.15
DETALLE DE DEPÓSITOS DE ESCOMBROS A MANERA DE MONTÍCULOS.

- **Daños en infraestructura física**

Como consecuencia de los cambios de humedad (invierno – verano) en la base de los rellenos terraceados y los suelos residuales arcillosos donde se encuentran cimentadas las viviendas (manzanas 15 y 16 de la Urbanización), ocurren grietas y fisuras en muros (**FOTOGRAFÍA 3.16**) y paredes, hasta fisuras en estructuras de concreto, como vigas y columnas. El fenómeno de agrietamiento se hace más notorio en los andenes de las edificaciones, por ser estructuras más débiles (menor grado de compactación del piso de fundación).

Los asentamientos que conllevan daños de las estructuras son consecuencia del cambio volumétrico de los materiales arcillosos en inmediaciones de la superficie piezométrica. El espesor de suelos en el cual fluctúa la humedad elevada puede ser muy pequeño, pero suficiente para desencadenar los fenómenos observados en las viviendas. En consecuncia, las obras de mitigación deben orientarse al control de la humedad en el subsuelo.



FOTOGRAFÍA 3.16
GRIETA EN MURO DE PIEDRA LOCALIZADO EN LA PARTE BAJA DE LA MANZANA 15.

3.6 FUENTES DE CONSULTA

Clements, T., s.f. La Falla de Bogotá, Colombia, Suramérica. Servicio Geológico Nacional, Informe No. 69. Bogotá, Colombia.

Correa, E. de J. y Vallejos, J.I. (1991). Determinación del Espesor con una Síntesis Litoestratigráfica y Estructural, de las Diferentes Unidades Cretácicas Aflorantes en la Vía Villavicencio-Santafé de Bogotá, en el Sector Comprendido entre Cáqueza y el Boquerón de Chipaque. Trabajo de Grado No. 269, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Hubach, E. (1957). Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y Alrededores. Boletín Geológico, Volumen V, No. 2, Instituto Geológico Nacional. Bogotá, Colombia.

Ingeominas (1995). Evaluación de Susceptibilidad y Amenaza Preliminar en las Localidades de Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme y San Cristóbal. Bogotá, Colombia.

Ingeominas y Universidad de los Andes (1997). Proyecto Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. (Mapa Geológico a Escala 1:50.000). Bogotá, Colombia.

Pérez, G. y Salazar, A. (1978). Estratigrafía y Facies del Grupo Guadalupe. Geología Colombiana, No. 10, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Renzoni, G. (1962). Apuntes Acerca de la Litología y Tectónica de la Zona al Este Sureste de Bogotá. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional, Volumen X, Nos. 1-3, pp. 59-79. Bogotá, Colombia.

Ujueta, G. (1990). Lineamientos de Dirección NW-SE en la Cordillera Oriental de Colombia (Sector Girardot-Cúcuta) y Los Andes Venezolanos. M. Sci. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Trabajo de Promoción a Profesor Titular. Bogotá, Colombia.

Ujueta, G. (1993). Arcos y Lineamientos de Dirección Noroeste-Sureste en las Cuencas Subandinas de Venezuela y Colombia. Geología Colombiana, 18, pp. 95-106. Bogotá, Colombia.