ESTUDIOS Y DISEÑOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CONTROL DE EROSION Y MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACION DE DIFERENTES SITIOS EN LA CIUDAD DE SANTA FE. GRUPO 3

INFORME FINAL

SECTOR 3.3 SANTA CECILIA

INDICE

		Pág.
REGISTRO DE REVISION DE DOCUMENTO		
1.	**INTRODUCCIÓN**	1
2.	**MARCO GENERAL**	**4**
2.1	ACTIVIDADES REALIZADAS	4
2.2	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS	5
3.	**ESTUDIOS BÁSICOS**	6
3.1	GEOLOGÍA DE SUPERFICIE	6
3.1.1	Síntesis Histórica	6
3.1.2	Estratigrafía	7
3.1.3	Tectónica	10
3.1.4	Sismicidad	11
3.2	GEOMORFOLOGÍA	12
3.2.1	Geoformas de Origen Denudacional Estructural	12
3.2.2	Geoformas de Origen Denudacional	14
3.3	ASPECTOS GEOTÉCNICOS	15
3.3.1	Exploración del Subsuelo	15
3.3.2	Ensayos de Laboratorio	16
3.3.3	Características de Subsuelo	17
3.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	22
3.4.1	Análisis Cinemático	23
3.4.2	Análisis del Bloque Crítico	25
3.4.3	Análisis Estático	27
3.4.4	Recomendaciones	28
3.5	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	28
3.5.1	Generalidades	28
3.5.2	Area de Estudio	29
3.5.3	Precipitación Media	29
3.5.4	Precipitación Máxima	32

3.5.5 Caudales Máximos 34
3.6 COBERTURA ACTUAL Y USOS DEL SUELO 40
3.6.1 Generalidades 40
3.6.2 Síntesis Histórica 40
3.6.3 Resultados del Levantamiento 40
3.6.4 Conclusiones 42

4. DIAGNÓSTICO 43

4.1 SECTOR No. 1 - VÍAS NO PAVIMENTADAS 43
4.2 SECTOR No. 2 - QUEBRADA SAN CRISTOBAL Y SU RONDA 44
4.3 SECTOR No. 3 - ZONA DE SUELOS RESIDUALES 44
4.4 SECTOR No. 4 – QUEBRADA SAN CRISTÓBAL NORTE Y SU RONDA 45
4.5 SECTOR No. 5 - MATERIALES DEL GRUPO GUADALUPE 45
4.6 SECTOR No. 6 - ZONAS DE DEPÓSITO (CONOS DE DEYECCIÓN) 45

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN 46
5.1 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 1 - VÍAS NO PAVIMENTADAS 46
5.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 2 - Q. SAN CRISTÓBAL Y SU RONDA 46
5.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 3 - SUELOS RESIDUALES 46
5.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 4 - Q. SAN CRISTÓBAL NORTE Y SU RONDA 47
5.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 5 - MATERIALES FORMACIÓN GUADALUPE 47
5.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 6 - ZONAS DE DEPÓSITO 47

6. RECOMENDACIONES URBANÍSTICAS 48

7. RECOMENDACIONES SOBRE USOS DEL SUELO 49

8. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADOS 50

9. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES 51

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52

ANEXOS

ANEXO No. 1 RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARTERAS DE LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

ANEXO No. 2 HIDROLOGÍA

ANEXO No. 3 REGISTRO FOTOGRÁFICO

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No. 1.1 LOCALIZACION GENERAL

FIGURA No. 2.1 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS DE ALCANTARILLADO

FIGURA No. 2.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS DE VÍAS

FIGURA No. 3.1 REGISTRO DE TRINCHERA T-1

FIGURA No. 3.2 REGISTRO DE TRINCHERA T-2

FIGURA No. 3.3 REGISTRO DE TRINCHERA T-3

FIGURA No. 3.4 REGISTRO DE TRINCHERA T-4

FIGURA No. 3.5 REGISTRO DE TRINCHERA T-5

FIGURA No. 3.6 REGISTRO DE TRINCHERA T-6

FIGURA No. 3.7 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

FIGURA No. 3.8A MODELO GEOTÉCNICO SANTA CECILIA – CORTE A' – A'

FIGURA No. 3.8B MODELO GEOTÉCNICO SANTA CECILIA – CORTE B' – B'

FIGURA No. 3.9 DIAGRAMA POLAR DE DATOS ESTRUCTURALES

FIGURA No. 3.10A ENVOLVENTES DE FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES E INTERSECCIONES – PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

FIGURA No. 3.10B ENVOLVENTES DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES – PROYECCIÓN PLANA

FIGURA No. 3.11A DIAGRAMA POLAR COSTADO ORIENTAL SANTA CECILIA

FIGURA No. 3.11B DIAGRAMA POLAR COSTADO OCCIDENTAL – SANTA CECILIA

FIGURA No. 3.12A ANÁLISIS DE FRECUENCIA–INTERVALO DE CONTEO 5%

FIGURA No. 3.12B ANÁLISIS DE FRECUENCIA–INTERVALO DE CONTEO 10%

FIGURA No. 3.13A FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES

FIGURA No. 3.13B CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES

FIGURA No. 3.13C CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES

FIGURA No. 3.14 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE HOEK Y BROWN Y ENVOLVENTE EQUIVALENTE DE MOHR – ARENISCA

FIGURA No. 3.15 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE HOEK Y BROWN Y ENVOLVENTE EQUIVALENTE DE MOHR - LIMOLITA

FIGURA No. 3.16 ANÁLISIS CINEMÁTICO FALLA PLANAR Y EN CUÑA

FIGURA No. 3.17 ANÁLISIS DE FALLA CUNEIFORME – CUÑA I_{15}

FIGURA No. 3.18 ANÁLISIS DE FALLA CUNEIFORME – CUÑA I_{13}

FIGURA No. 3.19 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO

FIGURA No. 3.20 ANÁLISIS DE BLOQUE CRÍTICO – LADERA N15E/24NW

FIGURA No. 3.21 ANÁLISIS DEL BLOQUE CRÍTICO – LADERA N32E/18NW

FIGURA No. 3.22 ANÁLISIS DEL BLOQUE CRÍTIO – LADERA N53W/51SW

FIGURA No. 3.23 ANÁLISIS MODAL PARA LAS JPs DEL MACIZO ROCOSO

FIGURA No. 3.24 ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE FALLA COMO TALUD INFINITO

FIGURA No. 3.25 ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE FALLA COMO TALUD INFINITO

FIGURA No. 3.26 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-11 – CONTADOR

FIGURA No. 3.27 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-05 - SAN RAFAEL

FIGURA No. 3.28 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-23 - LA CABAÑA

FIGURA No. 3.29. SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIONES PONDERADAS

FIGURA No. 3.30 CURVAS ISOYETAS TOTALES ANUALES

FIGURA No. 3.31 CURVAS DE INTENSIDAD - FRECUENCIA - DURACIÓN; TR = 3, 5, 10 y 25 AÑOS.

FIGURA No. 4.1 SECTORIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO

LISTA DE TABLAS

TABLA No. 3.1 ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

TABLA No. 3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA LADERAS: N32E/18NW Y N48E/27NW

TABLA No. 3.3 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO – LADERAS N32E/18NW Y N48E/27NW

TABLA No. 3.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA LADERAS: N53W/51SW Y N36W/51SW

TABLA No. 3.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO – LADERAS N53W/51SW Y N36W/51SW

TABLA No. 3.6 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA LADERAS: N15E/24NW Y N76E/45NW

TABLA No. 3.7 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO – LADERAS N15E/24NW Y N76E/45NW

TABLA No. 3.8 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

TABLA No. 3.9 PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

TABLA No. 3.10 ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA COMPLEMENTACIÓN DE LAS SERIES MENSUALES

TABLA No. 3.11 VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES

TABLA No. 3.12 VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL

TABLA No. 3.13 PARÁMETROS DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TORMENTAS

TABLA No. 3.14 VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

TABLA No. 3.15 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TABLA No. 3.16 VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 10 MINUTOS

TABLA No. 3.17 CAUDALES MÁXIMOS

TABLA No. 4.1 SECTORES CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO

TABLA No. 8.1 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO APROXIMADO

TABLA No. 9.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA

LISTA DE PLANOS

PLANO No. 1 MAPA BASE

PLANO No. 2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

PLANO No. 3 USOS ACTUALES DE LA TIERRA

PLANO No. 4 MAPA DE PENDIENTES

PLANO No. 5 ALTERNATIVA CONCEPTUAL DE OBRAS. ESQUEMAS TÍPICOS

PLANO No. 6 ALTERNATIVA CONCEPTUAL DE OBRAS. ESQUEMAS TÍPICOS

REGISTRO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO

• LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a las siguientes dependencias del FOPAE e HIDROTEC LTDA. Todas aquellas observaciones que resulten de su revisión y aplicaciones, deben ser informadas al Director del Proyecto para proceder a ejecutar sus modificaciones.

ÁREA O DEPENDENCIA		No. DE COPIAS
Copia No. 1	FOPAE	1
Copia No. 2	Interventoría	1
Copia No. 3	Biblioteca Hidrotec (Original)	1

• ÍNDICE DE MODIFICACIONES

ÍNDICE REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0			Versión Inicial
1		12-08-98	Observaciones Interventoría
2			
3			

• ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TITULO DOCUMENTO: INFORME FINAL SECTOR 3.3 SANTA CECILIA
DOCUMENTO No. : 51-IF-02-01

APROBACIÓN	NUMERO DE REVISIÓN		0	1	2
	RESPONSABLE ELABORACIÓN (JEFE DE GRUPO)	NOMBRE:	A. GUTIÉRREZ	A. GUTIÉRREZ	
		FIRMA:			
		FECHA:	98-06-17	98-08-12	
	CONTROL CALIDAD (ASEGURAMIENTO CALIDAD)	NOMBRE:	C. MORALES	C. MORALES	
		FIRMA:			
		FECHA:	98-06-17	98-08-12	
	Vo. Bo. DIRECTOR PROYECTO	NOMBRE:	G. TORRES	G. TORRES	
		FIRMA:			
		FECHA:	98-06-17	98-08-12	

1. INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 1314 - 113 - 1997, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS E HIDROTEC LTDA, INGENIEROS CONSULTORES cuyo objeto es el de realizar los Estudios y Diseños de Estabilidad de Taludes y Control de Erosión y Manejo de aguas para la Estabilización de diferentes sitios en la ciudad de Santa Fe de Bogotá, Grupo 03, se presenta en el siguiente documento el Informe Final correspondiente al Sitio 3.3, Santa Cecilia.

Santa Cecilia, en su contexto urbano, ocupa la mayor parte de la superficie de una ladera estructural, entallada en las estribaciones de los cerros nororientales del Distrito Capital, en la localidad de Usaquén (Figura No. 1.1). Está irrigada por dos quebradas, la San Cristóbal y la San Cristóbal Norte, que a su vez constituyen sus límites sur y norte, respectivamente.

El cinturón de comunicación más importante para los pobladores es la Avenida 7. De ella se desprende en sentido occidente - oriente el laberinto vial que accede al barrio. Las calles y carreras del área muestran una cobertura aceptable, pero un estado incipiente, pues apenas cuentan, en el mejor de los casos, con subbase. Las pendientes longitudinales son fuertes, en ocasiones superiores al 25 % y en promedio entre el 16 % y 20 %, lo que redunda en la poca transitividad.

Santa Cecilia descansa sobre un potente macizo rocoso, conformado principalmente por bancos de arenisca de hasta 4,20 m. de espesor, y secuencias de limolitas en bancos con espesores máximos de 2,80 m.. Así, el comportamiento geotécnico de las laderas está regido por las propiedades del macizo, es decir por el patrón geométrico de las discontinuidades (claro frente a las superficies libres) y por las características de resistencia del material rocoso, entre otras.

Los pobladores de la zona de estudio se concentran en gran número en viviendas de tipo aporticado, de una y dos plantas, levantadas entre los corredores viales, condición que los diferencia del resto de las invasiones de la ciudad. La apariencia general del barrio en forma de serpentina, es por tanto reflejo del modelo vial.

El objetivo general de este proyecto es servir de instrumento en la planificación integral del sector de Santa Cecilia, bajo el marco de la Prevención de Desastres. Así, en la concepción se contempló la realización de estudios básicos de Geología, Hidrología y Geotecnia, y el planteamiento de alternativas de solución.

El estudio geológico se realizó a escala 1 : 1.000 y 1 : 2.000, con especial énfasis en la elaboración de un modelo estratigráfico aproximado de la ladera, y a la investigación de los aspectos estructurales que incluyeron la medición en campo de rumbos y buzamientos de los planos de discontinuidad.

El estudio Geotécnico pretendió la caracterización de los materiales que conforman

la zona de estudio y, el análisis general de estabilidad de las diferentes familias de taludes, tanto de la ladera estructural, como de los bordes norte y sur. La Evaluación de estabilidad contemplo, entre otros aspectos: la determinación de las familias promedio de discontinuidades y sus características modales (espaciamiento, persistencia, relleno, etc), el análisis cinemático de los modos probables de falla de las laderas, el empleo del concepto del cono de fricción para el estudio de las cuñas críticas, la implementación de la teoría del bloque crítico en la definición de las unidades de material rocoso inestables, y el análisis estático de la ladera estructural.

Dentro del presente informe y de los anexos que lo acompañan se hace un recuento de las investigaciones realizadas, los análisis efectuados y las conclusiones a que se llegó en cada uno de los diferentes aspectos de estudio.

Cabe resaltar, como algunas de las más importantes conclusiones, por una parte el aceptable grado de estabilidad de la zona de estudio, y por otra, el arrogante y desmedido patrón intervencionista. Es el hombre quien da lugar al deterioro general de la zona. Su acción, sin un marco planificado, en la expansión de la frontera urbanizable y en el desmedido uso de los recursos es el forjador de los problemas en el sector, y el responsable del deterioro de la calidad de vida.

La terminología adoptada para el estudio se basa en las definiciones propuestas por Varnes (1984) y, citadas por Van Westen (1996), González (1990), Cortés (1990), Montero y Otros (1996). A continuación se describen los términos relevantes utilizados en el desarrollo del proyecto:

- **Susceptibilidad**. Algo que está potencialmente dispuesto a modificarse o a evolucionar ante eventuales circunstancias naturales o antrópicas.

- **Amenaza natural (H)**. Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, para un periodo específico de tiempo y para un área determinada.

Montero y otros citando a Hartlen y Viberg (1988), destacan que la amenaza puede expresarse de manera cuantitativa, en términos de valores espaciales y temporales de probabilidad, o de manera cualitativa sin dar valores absolutos de amenaza. En el primer caso se trata de amenaza absoluta, y en el segundo de amenaza relativa.

- **Vulnerabilidad (V)**. Susceptibilidad de los elementos a sufrir daño por la magnitud de un fenómeno. Se puede descomponer en Exposición (**E**) y Resistencia (**S**), (**V=E/S**).

- **Riesgo (R).** Significa el número esperado de pérdidas de vidas humanas, personas afectadas, daños a propiedades, u obstrucciones de la actividad económica producto de un fenómeno natural.

Aunque por definición el término deslizamiento representa un tipo de fenómeno de

remoción en masa, que ocurre a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en este trabajo se empleará en forma genérica para representar cualquier tipo de movimiento en masa. De igual manera, se usarán los términos movimiento en masa, falla de taludes, procesos de inestabilidad y deslizamientos como sinónimos.

2. MARCO GENERAL

2.1 ACTIVIDADES REALIZADAS

En este capítulo se da cuenta, en forma condensada, de las actividades realizadas durante el estudio para la evaluación de los principales factores de índole geológico y geotécnico que influyen en el comportamiento y estabilidad de la ladera estructural. Éstos se presentan a continuación en manera alguna, ordenadas, partiendo de la evaluación de información y concluyendo en la exploración del subsuelo, sin incluir la etapa de análisis propiamente dicha, puesto que ella está contemplada en los estudios básicos, donde se considera adquieren su mayor relevancia.

Pocos proyectos se han llevado a cabo para estudiar las condiciones generales del subsuelo en el área urbana del barrio Santa Cecilia Norte. En este sentido, es explicable que la evaluación de información se haya focalizado en el análisis del informe "Estudio Geológico y Geotécnico de Varios Barrios", Capítulos 1, 2 y 3, Junio/1988, realizados por Interdiseños Ltda., insuficiente para los objetivos del proyecto.

Como parte de la investigación geológica y geotécnica se desarrollaron actividades de fotointerpretación sobre pares esteroscópicos del año de 1990, correspondientes al vuelo R - 1131 fotos números 618 a 623, escala 1:5.000. Se obtuvo información cartográfica del IGAC, en escala 1: 2.000 de 1981, con base en aerofotos de 1977. Así mismo, del Mapa Digital de Santa Fe de Bogotá, se obtuvieron las planchas F - 45A, F - 45C y F - 45D en escala 1: 1.000, y La UPES - FOPAE suministró información cartográfica en medio magnético. Estos últimos elementos cartográficos se tomaron para la elaboración del mapa base, donde se representaron los resultados de los levantamientos geológicos y geomorfológicos, así como el planteamiento de alternativas de solución.

Complementariamente se realizó el reconocimiento de campo con lo cual se definieron algunos aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Se determinaron sitios de afloramientos tanto de material rocoso como de suelo residual, a partir de los cuales se evaluaron aspectos estratigráficos y elementos estructurales, como por ejemplo grado de fracturamiento y orientación de los sistemas de discontinuidades. En el numeral 3.3 se trata con algún detalle estos tópicos.

2.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS

La evaluación sobre la infraestructura de servicios de alcantarillado pluvial y sanitario se determinó con base en la información procesada por el Consultor en desarrollo del Proyecto "Diseños Conceptuales de los Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial en el sector Nororiental de Santa Fe de Bogotá", complementada con un reconocimiento de campo. Con este estudio la EAAB pretendió conocer el estado actual de funcionamiento de la red en la zona y definir los tramos de refuerzo para atender la demanda proyectada hasta el año 2015.

De acuerdo con el mencionado estudio, Santa Cecilia posee una red de alcantarillado sanitario (de cobertura parcial) con tramos de Ø8", Ø10", Ø12" de diámetro, área de drenaje superior a las 15 has, capacidad de saturación en el año 2017 y óptimo funcionamiento hidráulico. El sistema drena al interceptor secundario Cerro Norte - San Cristóbal.

En la Figura No. 2.1 se relaciona la red de alcantarillado pluvial y sanitario; la inspección de campo confirma la existencia de la red de alcantarillado sanitario, mientras que lo concerniente con el alcantarillado pluvial sólo se identificó en el sitio la presencia de cunetas en tierra, cuya distribución se indica en la Figura.

El corredor vial consta de mas de 3,5 km de carreteras, aunadas en un complejo trazado geométrico, compuesto por: tramos rectos de hasta 120 m de longitud con pendientes entre 14 % y 28 %, en la mayor parte del recorrido, radios de curvatura horizontales desde 8 m hasta 80 m, y anchos de calzada heterogéneos que varían desde los 4 m. hasta los 9 m.

La estructura de las vías, precaria en casi todas, consta de una subrasante integrada bien por bancos de arenisca o bien por tramos de secuencias limolíticas y esporádicamente arcillolíticas. Tan sólo 260 m. de carreteras, que representan el 7 % de ellas, cuenta con pavimento rígido (Figura No. 2.2). En la actualidad existe un programa de pavimentación sobre la calle 163 y la carrera 8a, el cual se encuentra suspendido por la falta de alcantarillado sanitario.

Una constante de la malla vial es la ausencia de un sistema de drenaje superficial. Circunstancia que da lugar a la presencia generalizada de procesos de erosión pluvial. El drenaje, así entendido, es, tal vez, resultado del patrón condicionado de la unión tanto de la fuerza erosiva del agua, como del trabajo comunitario. De esta manera se explica porque él se realiza con cunetas en tierra.

3. ESTUDIOS BÁSICOS

3.1 GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

El Barrio Santa Cecilia se localiza sobre la empinada ladera de los Cerros Orientales que delimitan por el este la Sabana de Bogotá. La pendiente del barrio está dada por la inclinación hacia el SW de los estratos del Cretáceo que allí afloran (véase el plano No. 1).

Estratigráficamente se presentan rocas del Cretáceo más superior pertenecientes al techo del Grupo Guadalupe, depósitos diferentes de origen aluvial y coluvial y suelos residuales de espesores importantes.

Tectónicamente el barrio está construido sobre una superficie estructural correspondiente al flanco occidental de una estructura anticlinal asimétrica.

3.1.1 SÍNTESIS HISTÓRICA

La Cordillera Oriental Colombiana, considerada como un terreno de basamento continental acrecionado al Escudo de la Guayana en el Jurásico, fue el centro de una extensa cuenca de sedimentación marina, durante el periodo Cretácico que alcanzó espesores hasta de 12.500 m en su parte central, localizada en lo que hoy se denomina cuenca de la Sabana. Durante el periodo Terciario el mar Cretácico se retira y se desarrollan una serie de anticlinorios y sinclinorios sobre los cuales tiene lugar una depositación de sedimentos tipo continental con espesores mayores en los sinclinorios y con acuñamientos hacia los flancos de los anticlinorios. A finales del Terciario y comienzos del Cuaternario se presenta un período de tectogénesis elevándose la cordillera actual como resultado de los esfuerzos compresionales de la denominada orogenia Andina.

La región de la Sabana, como consecuencia de la orogenia, se erige como un “horts” que se eleva sobre sus zonas adyacentes por medio de fallas inversas quedando limitada al oeste, por el Valle Medio del Magdalena y al este, por los Llanos Orientales. En su zona central se forman pliegues anticlinales estrechos y fallados y sinclinales amplios en cuyas depresiones se depositaron sedimentos fluviales y lacustres en una larga cuenca que se extiende desde la región de Nazaret, al sur, hasta las inmediaciones de Paz de Río y Jericó, al norte con una longitud de unos 250 Km. Los sedimentos depositados en esta cuenca, forman hoy las extensas terrazas planas de la región sabanera que están limitadas por cerros en donde afloran los sedimentos cretáceos plegados.

3.1.2 Estratigrafía

En forma general se presentan rocas sedimentarias de edad Cretácico superior, (Grupo Guadalupe) principalmente rocas detríticas que forman los cerros orientales, y depósitos cuaternarios variados que constituyen la zona plana de la Sabana y que cubren sectores menores sobre los propios cerros.

3.1.2.1 Grupo Guadalupe

Se subdivide en varias formaciones que de abajo hacia arriba son:

- **Formación Arenisca Dura**

Está formada por areniscas de color gris claro; de grano fino, compactas, en algunos sitios cuarcíticas; bien cementadas; con la presencia de niveles de lutitas y arcillolitas silíceas. El espesor promedio es de unos 300 m pero puede alcanzar hasta 460 m. Aflora hacia la parte central de una estructura anticlinal al norte de Usaquén, pero no aparece en el sector del Barrio Santa Cecilia.

- **Formación Plaeners**

La constituyen niveles de porcelanitas en capas delgadas, con intercalaciones de arcillolitas hacia la base; porcelanitas y areniscas de grano fino en capas delgadas, en la parte media; y porcelanitas en capas delgadas, en la parte superior. La formación puede alcanzar 150 m de espesor.

Esta formación no aflora tampoco en el barrio Santa Cecilia.

- **Formación Labor y Tierna**

Comprende la Arenisca de Labor (Ksgl) hacia la base, la cual es cuarzosa, de grano constante en el límite medio a fino, de color gris-claro, ligeramente friable, en ocasiones con delgadas intercalaciones de niveles de porcelanitas. Tiene un espesor de que varía entre 135 y 165 m.

En la parte intermedia se observa un nivel de porcelanitas en capas delgadas que se ha denominado Nivel de Plaeners Superiores (Kspl) por algunos autores. El nivel tiene un espesor variable entre 10 y 15 m.

En la parte superior de la formación se presenta la denominada Arenisca Tierna la cual es de grano fino a muy grueso, cuarzosa, con estratificación cruzada; en estratos de 0,2 a 3,0 m de espesor. Tiene un espesor variable entre 90 a 110 m.

La formación aflora ampliamente al sur de la falla de Usaquén y forma casi la totalidad de los cerros orientales al norte del Barrio Santa Cecilia, pero en la propia zona de estudio solo aparece, parcialmente, la Arenisca de Labor y parte del nivel de Plaeners superiores (véase plano No. 2).

Una sección obtenida en la parte baja de la quebrada que delimita por el norte el barrio Santa Cecilia y que es afluente de la quebrada San Cristóbal, muestra la siguiente sucesión del techo de la Arenisca de Labor. Se describe la secuencia de la base al techo:

- Areniscas gris claras, amarillentas de grano fino, algo arcillosas. Espesor: 1,80 m.
- Nivel de arcillolitas en capas delgadas, areniscas y alguna porcelanita, en capitas de 5 a 10 cm. Espesor: 1,00 m.
- Areniscas gris claras a amarillentas, cuarzosas de grano variable de fino a medio, en capas gruesas. Presentan un patrón de diaclasamiento muy marcado, perpendicular a la estratificación y con espaciamientos entre 70 y 1,80 m. Espesor: 2,80 m.
- Nivel de porcelanitas en capas delgadas, con intercalaciones de areniscas y arcillolitas en capas de 10 cm. Espesor: 2,20 m.
- Areniscas en capas muy gruesas, de color gris claro a blanco, de grano fino a medio, con matriz arcillosa, algo friable hacia el techo, con planos de estratificación muy próximos de tal forma que semeja un solo banco muy grueso. Espesor: 4,20 m.
- Nivel de arcillolitas, areniscas y porcelanitas en capas muy delgadas de 5 a 15 cm. Espesor: 1,80 m.
- Areniscas de grano fino a medio en partes de grano grueso a conglomerático, feldespáticas, color gris claro a amarillento, algo arcillosa. Espesor: 2,50 m.
- Nivel de porcelanitas con intercalaciones delgadas de arcillolitas y areniscas. Espesor: 1,20 m.
- Arenisca amarillenta en un banco, de grano medio a grueso. Espesor: 0,80 m.

Sobre esta sucesión de unos 15,50 m de espesor descansa gran parte del barrio Santa Cecilia.

Sobre la misma quebrada pero hacia la parte alta, en la margen izquierda y aproximadamente entre las carreras 6 y 7, se observa una corta sucesión del nivel de Plaeners superiores que se superpone a la Arenisca de Labor. La sucesión es de la base al techo:

- Arenisca de grano medio, gris clara amarillenta, con estratificación cruzada y laminación no paralela. Espesor: 0,80 m.
- Nivel de plaeners con capas de porcelanita, arcillolita y niveles de arenisca, en

capas delgadas de 5 a 15 cm de espesor. Espesor: 3,70 m.
- Arenisca cuarzosa de grano fino, de tono gris claro. Espesor: 0,70 m.
- Lutitas grises muy compactas. Espesor: 1,00 m.
- Arenisca gris muy clara, muy cuarzosa, dura, muy cementada en sílice, en capas de 30 cm de espesor. Espesor: 1,20 m.
- Arcillolitas silíceas, limolitas y lentes de arenisca compacta de 10 cm de espesor. Espesor: 1,90 m.

Esta sucesión de unos 9,30 m de espesor es parcialmente el nivel de Plaeners superiores. Aflora sobre la Arenisca de Labor en dos franjas alargadas y estrechas de dirección sureste. Una en la parte norte del área y la otra sobre el sector sur, paralela al curso de la quebrada San Cristóbal. Estas dos franjas son zonas de menor estabilidad pues los niveles de plaeners suelen comportarse muy plásticamente ante los esfuerzos tectónicos o ante la fuerza de la gravedad. Sin embargo no se observaron problemas de estabilidad posiblemente por el relativo bajo ángulo de buzamiento de los estratos que conforman la pendiente del barrio.

3.1.2.2 Depósitos Cuaternarios

Se identifican conos de deyección como depósitos de ladera y pié de ladera; terrazas de origen aluvial y lagunar; y suelos residuales.

- **Terraza Alta. (Qta)**

Constituida por arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones de lentes de arenas y gravas y ocasionalmente delgadas capas de cenizas y tobas. El espesor de la Terraza Alta no se conoce. Los estudios geofísicos y algunas perforaciones profundas (realizadas por INGEOMINAS) efectuadas en diferentes puntos de la Sabana, dejan presumir espesores de hasta de 190 m, pero en ciertos sitios se llego a profundidades de 250 m sin encontrar la roca de base.

Dos perforaciones profundas se ejecutaron en las cercanías de la zona de estudio. Una en la calle 170 con Autopista norte que dio un espesor de 130 m; y la segunda ejecutada en la calle 127 con Autopista que encontró un espesor de 190 m.

La terraza aparece en la parte más baja del barrio sobre el cauce de la quebrada San Cristóbal y desde la carrera 7 hacia el occidente (véase plano No. 2). Aquí no debe tener un gran espesor en razón de que se está al borde de la cuenca lagunar en donde se depositó.

- **Coluviones (Qdp)**

Formados por los detritos de las areniscas y porcelanitas, desprendidos de las estribaciones de los cerros orientales y transportados pendiente abajo por el agua y por acción de la gravedad. Tiene un matriz arenosa, bloques, cantos y guijos de arenisca y porcelanita y tapizan la parte baja del barrio Santa Cecilia.

- **Coluviones menores (Qdp1)**

Son pequeños depósitos de ladera constituidos principalmente por cantos y guijos de porcelanitas y de areniscas delgadas, generalmente dentro de una matriz areno-arcillosa.

- **Suelos residuales (Qs)**

Conformados por un horizonte superior de suelo gris oscuro, con raíces, con espesor variable pero que puede alcanzar hasta 1,20 m. Por debajo un típico horizonte C de color rojizo - amarillento, muy arenoso, suelto, que se desarrolla sobre las Areniscas de Labor y que puede tener espesores hasta de 0,80 cm. .

Estos suelos forman un depósito importante en la parte central del área (plano No. 2) y se han cartografiado porque sobre ellos no se pueden sentar los cimientos de las construcciones ya que son de baja resistencia mecánica y muy deleznables principalmente en la parte inferior del suelo en el horizonte C.

3.1.3 Tectónica

El barrio Santa Cecilia forma parte de una estructura anticlinal de dirección noreste que se desarrolla hacia el norte de la Falla de Usaquén. Esta estructura, desde un poco al sur del barrio mencionado, está constituida en su totalidad por la parte superior del Grupo Guadalupe, es decir por la formación Labor y Tierna y no presenta inversiones en el flanco oriental a diferencia de aquellas que se encuentran en el sector de Usaquén.
Esta última propiedad de la estructura, de presentar el flanco oriental normal, con buzamientos suaves (22°) hacia el suroeste, hace que la pendiente donde se edifica el barrio, sea estable en alta proporción a pesar de que para construcciones y trazado de calles la pendiente es muy fuerte. El flanco del anticlinal forma una superficie estructural uniforme que está disectada profundamente al sur y al norte por la quebrada San Cristóbal y un afluente de ella, respectivamente. El curso de las quebradas rompe la uniformidad de la superficie estructural dando cañadas con cierta profundidad que sirven de límite al barrio.

3.1.4 Sismicidad

En el estudio de "Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá" (1997), en el que se sintetiza toda la información geológica, sismológica, geofísica, geotécnica y neotectónica del Distrito Capital, se ha dividido la ciudad en 5 Zonas Sísmicas de las cuales 3 se presentan en el área. Se describen así:

3.1.4.1 Zona 1 - Cerros

Corresponde a la zona de los cerros en donde afloran las rocas del Cretácico que presentan suelos con relativa alta capacidad portante. La zona puede presentar inestabilidad por efectos de las pendientes que se ven afectadas por lluvias, aguas de escorrentía y por sismos. Ocupa toda la vertiente de los cerros que mira hacia Bogotá, por arriba de la Carrera 7. Se incluye en esta zona el barrio Santa Cecilia.

3.1.4.2 Zona 2 - Piedemonte

Se ubica entre las escarpas de los cerros y la zona plana sirviendo de transición topográfica. Está ocupada por depósitos coluviales y conos de deyección, cuyos materiales componentes han mostrado una elevada capacidad portante, pero que presentan una composición heterogénea con predominio de gravas, arenas, limos y algunas arcillas de espesor reducido.

3.1.4.3 Zona 3 - Lacustre A

Corresponde en gran parte a la Terraza Alta, se caracteriza por la presencia de arcillas blandas con espesores mayores de 50 m. En parte puede estar ocupada por coluviones, con capas de turbas y arenas de espesor intermedio abajo.
Esta zona suele presentar una capa superficial preconsolidada de espesor no mayor de 10 m.

Para cada una de estas zonas se recomienda un espectro de diseño. Su caracterización está relacionada directamente con la composición del subsuelo en los primeros 30 a 50 m de profundidad, considerando que son los que controlan la respuesta sísmica en cada sitio.

De esta forma, los coeficientes espectrales de diseño como To, Periodo Inicial; Tc, periodo corto; Tl, periodo largo; Sa aceleración espectral; Am, aceleración máxima; An, aceleración nominal; Fa, factor de amplificación de la aceleración; y Fv, factor de ampliación de la aceleración en el rango de velocidades constantes, para Santa

Cecilia son:

Coeficientes	Zona 1- Cerros
To	0,20
Tc	1,00
Tl	5,00
Am	0,24
An	0,30
Fa	1,00
Fv	2,00

3.2 GEOMORFOLOGÍA

Se presentan en el área geoformas de origen denudacional-estructural y geoformas de origen denudacional. Las primeras están relacionadas con la presencia de rocas sedimentarias que han sido plegadas y basculadas por movimientos tectónicos y sometidas posteriormente a los agentes denudacionales. Las segundas son principalmente geoformas de acumulación, es decir, formas deposicionales alóctonas (coluviones, terrazas) o residuales como procesos de alteración. Al mapa se le han agregado, por considerarlo de importancia, algunas zonas de cantera y de deslizamientos, que en gran parte son producidos por la acción antrópica. Esta última zona, está hacia la parte más baja del barrio.

3.2.1 Geoformas de Origen Denudacional Estructural

Como se indicó atrás, son geoformas en las cuales han intervenido procesos tectónicos a los cuales se les han sumado los procesos denudacionales.
Se distinguen:

- **Superficies Estructurales**

Son superficies lisas, con pendientes regulares que siguen la dirección de los estratos. Se forman sobre capas competentes que resisten la erosión. Corresponden en el área cartografiada a las zonas desarrolladas sobre el techo de la Arenisca de Labor y comprenden gran parte del barrio, exceptuando la parte más baja y los sectores en donde afloran los remanentes del nivel de Plaeners superiores. En el sector central, la superficie estructural está cubierta por los suelos residuales atrás descritos.

Esta superficie estructural es geológicamente estable ya que se desarrolla sobre una roca competente (arenisca), con pendiente uniforme de unos 22°.

- **Zona de Pendientes Ligeramente Onduladas**

Formada por los afloramientos del nivel de Plaeners que reposan sobre la Arenisca de Labor y que rompe la uniformidad que ésta tiene en todo el barrio. Conforma dos franjas alargadas en el norte y en el sur formando pequeños relieves. Es una zona de estabilidad relativa con pendientes entre 22 y 30°.

- **Zona de Escarpas**

Corresponde a zonas de fuerte pendiente, muy abruptas, con inclinaciones entre 45 y 85°, generalmente contrarias o transversales a la dirección de los estratos de arenisca. Se presentan en las márgenes de las dos quebradas que delimitan el barrio las cuales han realizado un entalle profundo sobre las areniscas. Las escarpas en la parte norte son más fuertes que hacia el sur. Se presentan igualmente hacia la parte baja del barrio en el sector occidental, allí como resultado de la acción antrópica manifiesta por la explotación de canteras.

3.2.2 Geoformas de Origen Denudacional

- **Terraza Alta**

Es una geoforma que corresponde a la Terraza Alta descrita en el aparte de estratigrafía, del capítulo de Geología. Es una zona muy plana que forma la Sabana de Bogotá sobre la cual se ha construido la mayor parte de la ciudad. Es estable por ser plana y en ella se presentan suelos blandos muy compresibles. En el área del barrio Santa Cecilia, forma la parte baja del valle de la quebrada San Cristóbal y el sector próximo a la carrera 7.

- **Zona de Coluviones**

Cubre las unidades geológicas de coluviones cartografiadas en el mapa geológico. Es una unidad constituída por depósitos formados por bloques y cantos de arenisca y porcelanitas, dentro de una matriz arenosa o areno - limosa. La pendiente de la unidad varía de suave a moderada y a abrupta, esta última sobre los coluviones que cubren las laderas de las escorrentías que descienden por la pendiente estructural o que la cortan. Es una zona considerada de baja amenaza en lo atinente a la estabilidad, principalmente en la parte baja del barrio. Se exceptúan las pendientes fuertes en las laderas y los valles de las escorrentías en donde hay inestabilidad para las construcciones.

- **Zona de Suelos Residuales**

Es aquella parte central del barrio en donde se cartografió la unidad geológica homónima. La pendiente tiende a ser uniforme pues los suelos se desarrollan principalmente sobre la Arenisca de Labor que forma la superficie estructural. La pendiente es próxima a los 22°. Se considera para este trabajo una zona de estabilidad relativa ya que por lo general hay que retirar los suelos o excavarlos para poder sentar los cimientos de las construcciones.

- **Zona de Canteras**

Se ha señalado una cantera en la parte baja del barrio, no explotada actualmente, pero que constituye una zona de inestabilidad manifiesta. La cantera entalla sus taludes en areniscas o en niveles de plaeners y sobre ellos se presentan caídas de bloques y fallas planares, gobernadas por las discontinuidades (planos de estratificación o diaclasas) y por la pérdida de soporte en la base, por el socavamiento.

Como parte final de este capítulo de geomorfología y estabilidad es necesario señalar que existen procesos morfodinámicos no antrópicos, que afectan el área, y que están relacionados principalmente con la acción de las aguas lluvias y de escorrentía que denudan el cerro sobre el cual se edifica el barrio. Las aguas no encausadas provocan avenidas importantes con aporte de abundantes sedimentos, que pueden colmatar los desarenadores establecidos en las partes bajas y ocasionar daños a las construcciones, situación que se manifiesta como de alta prioridad en los trabajos a ejecutar en el futuro inmediato.

3.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.3.1 Exploración del Subsuelo

El tipo de caracterización geotécnica fue casi en su totalidad, dictaminado por las características de la zona donde se emplaza el barrio. Santa Cecilia se erige en el dominio de un potente macizo rocoso, limitado al norte y al sur por dos cuerpos de agua cuyas márgenes corresponden a taludes verticales, que discurren de oriente a occidente, con alturas entre los 10 y 20 m, (afloramientos) por espacios descubiertos y destinados a la explotación de materiales. La malla vial con recorrido principalmente norte – sur está enmarcada por cortes cuasiverticales hasta de 8 m de altura, que permiten observar la secuencia estratigráfica en recorridos importantes.

Todo este atractivo conjunto desvirtuó la necesidad de los métodos de exploración indirecta. Revelo la poca utilidad que tendrían las perforaciones frente a la mayor cantidad de información y claridad de interpretación que se podía obtener con el levantamiento de columnas estratigráficas, y frente a la facilidad de obtención de muestras inalteradas para su caracterización en el laboratorio.

La investigación del subsuelo involucró, así, la exploración directa mediante trincheras y levantamientos estructurales. Con relación al primer tópico se levantaron seis (6) columnas estratigráficas que permitieron formular el modelo geotécnico de la zona. Con el segundo tópico se pretendió facilitar la clasificación del macizo y determinar la influencia de las discontinuidades en la estabilidad de los taludes existentes.

Durante el levantamiento estructural se tomó información de discontinuidades, identificando orientación, separación, abertura, tipo de relleno, rugosidad y persistencia de las familias principales y secundarias. Con estos elementos se determinaron parámetros como el índice del tamaño del bloque, el control volumétrico de diaclasas (Jv), el RQD y el JRC, importantes en el estudio del comportamiento del macizo.

Este tipo de investigación reveló algunos de los rasgos característicos de la ladera, demostrando, entre otros, la inclinación casi constante de la estratificación, el comportamiento homogéneo del patrón estratigráfico y por ende la casi directa correlación entre las trincheras. También, permitió definir con precisión los rasgos fundamentales de los estratos constatando su continuidad, espesor y fracturamiento.

Las Figuras 3.1 a 3.6 presentan las secuencias estratigráficas propias de cada trinchera. Ellas destacan el tipo de material rocoso, características textuales y mineralógicas, localización y estación estructural asociada. La Figura No. 3.7, por su parte indica la distribución espacial, y la ubicación tanto de las trincheras como de las estaciones de levantamiento estructural.

3.3.2 Ensayos de Laboratorio

El programa de ensayos se dirigió a la caracterización del material rocoso y a la estimación de la resistencia al corte en los planos de discontinuidad. Por ello se decidió una campaña de muestreo sistemático de los principales frentes de exposición del macizo a lo largo de ladera y, una completa revisión de la estabilidad y de los mecanismos de falla para los bordes norte, sur y el cuerpo central de la ladera estructural.

La caracterización del material rocoso se llevó a cabo sobre muestras irregulares del bloque, con pruebas índice de peso unitario y carga puntual. Los testigos ensayados correspondieron a unidades de roca de los bancos de arenisca más potentes. Así, entonces, se ensayo una arenisca feldespática de grano fino a medio, una arenisca con matriz arcillosa y una arenisca cuarzosa de grano fino a medio.

Los valores del índice de carga comprendidos entre 42 kg/cm^2 y 109 Kg/cm^2 muestran una banda amplia del esfuerzo a compresión simple desde 1.000 kg/cm^2 hasta 2.500 kg/cm^2 (Tabla No. 3.1) que confirman los altos niveles de resistencia del material rocoso.

Con el fin de estimar la resistencia al corte en los planos de discontinuidad, se realizaron ensayos de bloque deslizante y pruebas de corte directo tomando como plano de falla el de estratificación. Los ensayos de corte se efectuaron en muestras inalteradas de limolita a niveles del esfuerzo normal similares al de campo y a condiciones de humedad cercanas al contenido natural. Los testigos fueron obtenidos conservando intacto el plano de contacto crítico (se reitera estratificación) entre niveles consecutivos, y la dirección de aplicación del esfuerzo de corte se hizo coincidir con la dirección potencial más desfavorable, es decir ladera abajo.

Para este plano de resistencia mínima (considerada así en este trabajo) se obtuvieron como parámetros de corte: 0,10 kg/cm^2 < c < 0,20 kg/cm^2, 28° < Ø < 33°. Cabe destacar que hay una clara correspondencia entre estos valores del ángulo de fricción y los obtenidos en los ensayos de bloque deslizante para el mismo material. Las diferencias porcentuales máximas entre éstos alcanzan el 10%. En el Anexo 1 se presentan los resultados de las pruebas de corte y las envolventes de falla interpretadas.

Finalmente, todo ello facilitó gracias a la aplicación de los sistemas de Hoek (1995), Bieniawski (1976) y, las teorías de Hoek & Brown (1980) y Barton (1973), una adecuada clasificación del macizo rocoso, y una estimación de los parámetros de comportamiento básico del mismo.

3.3.3 Características del Subsuelo

Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y en algunos

principios básicos de la geología estructural se elaboró un modelo (aproximado) del subsuelo para la ladera en general, que destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del macizo.

Se empleo para la elaboración de este ejercicio la base cartográfica de Catastro, escala 1:1.000, aerorestituida de fotografías escala 1:5.000 del año 1992. La sección estratigráfica se levantó en el mismo sentido del azimut de buzamiento de la estratificación promedio, de tal manera que tanto el buzamiento, como los espesores de la secuencia estratigráfica aparecieran en verdadera magnitud.

La Figura No. 3.8 presenta el modelo geotécnico interpretado en una longitud de 700 m en la ladera estructural, entre la Carrera 11ª y la Carrera 3, y la caracterización geomecánica de los materiales en la zona.

El modelo geotécnico permite apreciar que la parte baja de Santa Cecilia, Carrera 10ª a Transversal 8c se encuentra cimentado principalmente sobre una secuencia de porcelanitas de espesor medio de 3 m., el cual suprayace a un pequeño banco de areniscas feldespáticas de color gris claro. Las obras viales y los procesos de erosión han cortado transversalmente los estratos esculpiendo tramos (hasta de 70 m de longitud) con posibilidad de falla como talud infinito, cuya evaluación de estabilidad es tratada en el numeral 3.4.

El ascenso desde la transversal 8C hasta la Carrera 7 se realiza sobre bancos de arenisca, donde en extensión dominan los afloramientos de un potente banco de areniscas duras (Oc > 2.000 kg/cm²), de grano fino a medio, con matriz arcillosa, de espesor medio de 4,20 m, que a su vez ha dado lugar al desarrollo de suelos residuales con espesores hasta de 1,80 m, sin considerar el manto de limo orgánico que por espacios se encuentra cubriéndolos. Este banco, posiblemente trabaja como acuifero confinado en él pie de la ladera, dado que se encuentra sellado arriba y abajo por capas de limolita y el agua de infiltración capturada entre las Carreras 8 y 7 no presenta superficie libre de entrega.

Al oriente de la Carrera 5, la figura 3.3. destaca lo fractado que se presenta el modelo. La explicación a este fenómeno radica en la falta de afloramientos descubiertos importantes entre las Carreras 4 y 5, y entre las Carreras 3ª y 3. Sin embargo, se aprecia la presencia de una capa de suelo residual arenoso, con espesor máximo (observable) de 3m.

A continuación se hace una breve descripción de algunas características geomecánicas de los materiales que componen la zona de estudio. Especialmente de las componentes principales del macizo rocoso, objeto de estudio.

3.3.3.1 Discontinuidades

Las discontinuidades de un macizo rocoso pueden ser descritas mediante la observación de afloramientos, mediante núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre. En este trabajo, como ya fue destacado, se empleo la información obtenida de afloramientos (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), tomando como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM - 1981.

La medición de orientación en campo se efectúo en tres etapas, en las cuales se obtuvieron 87, 52 y 58 datos estructurales, respectivamente. Para un total de 197 discontinuidades con una cobertura de 20 estaciones. Este proceso encuentra explicación en la necesidad de definir claramente los patrones de algunas familias de discontinuidades. Y, contrario a la impresión causada por su irregularidad, permitió comprobar, gracias a la cobertura y número de estaciones, que la zona de estudio corresponde a una única región estructural.

La distribución espacial y la localización de las estaciones de levantamiento estructural se pueden apreciar en la Figura No. 3.7. El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas a ellos, están compilados en las carteras de campo (Anexo 1).

Los resultados de las mediciones se presentan por cada etapa y zona de investigación mediante diagramas de polos, utilizando la red de proyección equiarial, (véase la Figura No. 3.9) y, mediante proyecciones hemisféricas y planas que representan las envolventes de las medidas de campo. (Figura No. 3.10a y 3.10b).

La zona oriental de la ladera, por ejemplo, muestra una tendencia más o menos consistente para la estratificación, con pequeñas divergencias entre orientaciones. No, así, sucede con el comportamiento de los datos estructurales para las familias de diaclasas. El patrón es más errático, con poca concentración de polos, pero con una marcada presencia de registros para las familias D_5 : E-W y D_3 : N38W a N60W (Figura No. 3.11a).

La franja occidental, por su parte, muestra una muy clara tendencia de los trenes de diaclasamiento D_2: N10E a N52E, D_4: N10W – N30W y D_3: N38W a N60W; contraria al modelo ligeramente disperso de la estratificación (Figura No. 3.11b).

El procesamiento de los datos estructurales se llevó a cabo gracias a la aplicación del método del círculo flotante para concentraciones entre 1% y 10%. (Figuras No. 312a y 3.12b).El conteo evidencia una ligera dispersión y aceptables niveles de concentración de polos. De allí, es posible apreciar la tendencia general de las familias de discontinuidades, definir sus envolventes, así:

Estratificación (E1) : N10E - N44E
18NW - 28NW

Diaclasas Principales: (D_2): N10E - N52E
70SE - 84SE
(D_3): N56W – N08W
78NE - 90

Diaclasas Secundarias: (D_4): N78E - N76W
67SW - 90
(D_5): N36W – N58W
67SW - 90

y sus familias promedio (Figura No. 3.13A) como:

Estratificación (E1) : N28E/22NW
Diaclasas Principales: (D_2): N32E/78SE
(D_3): N18W/78NE
(D_4): N48W/88NE
(D_5): N84E/84SE

Las familias de diaclasas D_3, D_4 y D_5 se caracterizan por presentar baja persistencia (2m. a 4m.), espaciamiento clasificado como espaciado (entre 1.0 m y 2.7 m), abertura desde cerrada hasta muy ancha (0cm a 5cm.) y el relleno es principalmente arcilloso. La familia D_2, aunque posee espaciamiento similar a las anteriores, presenta persistencia media (2m. a 5m.) y abertura moderadamente ancha (Ver Figura 3.13B y 3.13C).

La rugosidad de las paredes de las discontinuidades en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo IV y V, es decir ondulada rugosa y ondulada suave, respectivamente. El grado de meteorización de las paredes (indistinto del tipo de familia) es decolorado, puesto que se observan variaciones de color entre la roca fresca y la pared, asociadas a constituyentes minerales como el hierro.

3.3.3.2 Macizo Rocoso

El macizo rocoso que compone la ladera está constituido por una secuencia de bancos arcillosos y de arenisca. Los primeros encierran intercalaciones en capas delgadas de limolita, arcillolita y arenisca. La limolita es de color habano claro, de estratificación delgada y baja resistencia a la compresión simple. Su índice de resistencia geológica (GSI) y por ende el RMR_{76} oscila entre 59 y 64 que se asocia a una mayor degradación de las superficies de discontinuidad en comparación con la arenisca.

Las segundas corresponden a bancos entre 2,5 y 4,2 m de espesor conformados por areniscas de grano fino a medio de color gris claro a amarillo. Presenta un

índice de resistencia geológico (GSI) equivalente al $RMR_{(76)}$ que oscila entre 62 - 70 para las areniscas más débiles, y entre 70 y 79 para los niveles más duros.

Estos parámetros indican una masa rocosa algo alterada formada por bloques bien trabados de facetas angulares, y con tres o más familias de discontinuidades de rugosidad suave.

El macizo como un todo tiene apariencia tabular, donde la menor dimensión está regida por la estratificación y el espaciamiento de las demás familias de discontinuidades es muy similar. El índice de tamaño de bloque (Ib), definido por los espaciamientos modales de cada familia es del orden de 1,15, y el índice de control volumétrico (Jv) oscila entre 2,7 diaclasas/m^3 y 3,6 diaclasas/m^3, lo que representa un macizo conformado por bloques de tamaño grande.

Uno de los factores más importantes del comportamiento del macizo es la resistencia al corte del plano potencial de falla, el cual puede consistir de un plano único de discontinuidad o de una superficie compleja que involucra diversos planos de debilidad.

De acuerdo con las observaciones de campo, los procesos de inestabilidad en los taludes del área de estudio, han ocurrido a lo largo de discontinuidades preexistentes, poco o nada involucrando la roca intacta, y menos aun describiendo modos de falla combinada. Los cortes son de dimensiones reducidas (< 20 m), excavados en materiales duros, con valores de resistencia inconfinada desde 1.000 a 2.000 kg/cm², donde el nivel de esfuerzos es tan bajo, que se espera, que cualquier inestabilidad probable ocurra a lo largo de las discontinuidades con mínima contribución de la roca intacta.

Así, la mayor atención se dio a la determinación de los parámetros de resistencia al corte en los planos de discontinuidad, asumiendo que ellos son constantes en la superficie potencial de falla, y despreciando la participación de las superficies laterales de desprendimiento.

Se asumió, entonces, como plano de movilización crítico la estratificación. A lo largo de éste se adoptaron como parámetros de resistencia: cohesión (c): 0,1 kg/cm². Ø = 33°, contacto limolita – limolita, y c= 0; Ø = 40° (arenisca – arenisca).

Finalmente, la evaluación de la resistencia del macizo se basó en el criterio de rotura de Hoek y Brown (1980). Contemplo la determinación de los parámetros de resistencia (c, Ø) y de la envolvente en función de esfuerzos totales; la estimación del módulo de deformación (E) y de los parámetros adimensionales m_b (que controla el grado de curvatura de la curva), *s* (controla la localización de dicha curva en el espacio) y *a*.

De esta forma, se obtuvieron de los ensayos de laboratorio como parámetros geomecánicos promedios para los bancos de arenisca:

Familias de discontinuidades	= cuatro (4)
Peso unitario	= 2,1 - 2,2 Ton/m³
Indice de carga puntual	= 42 kg/cm² a 109 kg/cm²
Angulo de fricción básica	= 40 - 44°
RQD	= 75 a 90%
JRC	= 4 - 6
Jv	= 2,7 m³

Y para los bancos limolíticos:

Peso unitario	= 2,2 Ton/m³
Indice de carga puntual	= 250 kg/cm² a 500 kg/cm²
Angulo de fricción básica	= 33° - 38°
RQD	= 50 a 75%
JRC	= 2 - 4
Cohesión (c)	= 0,1 Kg/cm² a 0,2 kg/cm²
Fricción pico (Ø)	= 28° - 33°

Estos dos últimos parámetros se establecieron mediante pruebas de corte directo a lo largo del plano de estratificación. Las Figuras 3.14. y 3.15 muestran las envolventes de esfuerzo para los dos tipos básicos de arenisca y algunos parámetros de resistencia del macizo para bajos niveles de esfuerzos.

3.3.3.3 Suelos

Corresponden a niveles de suelo residual, producto de la meteorización de los bancos de areniscas, y a depósitos de ladera recientes. Los primeros se distribuyen en el cuerpo central de la zona de estudio, están conformados por material arenoso limoso y limo orgánico con espesores medidos entre 1 y 3,5 m. Los segundos se emplazan en la franja oriental de la ladera y corresponden a bloques de arenisca y limolita en matriz arenosa.

Debido a la constitución de los suelos en la zona su caracterización geotécnica fue limitada. Se concentró en su ubicación espacial y en la determinación de características geométricas como la profundidad de desarrollo.

3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En el análisis de estabilidad de taludes en roca, tal vez el factor más importante a ser considerado es el patrón geométrico de los planos de debilidad que componen

el macizo. La relación geométrica entre las discontinuidades y la orientación del talud determinará si parte de él está libre de deslizarse o caer. Por tanto, la evaluación de estabilidad se enfocó al análisis direccional de los modos de falla a lo largo de los planos de debilidad estructural, y a la determinación del modo probable de falla, a partir de la aplicación del análisis cinemático, el concepto del cono de fricción, la teoría del bloque crítico y los métodos de equilibrio límite.

Para el análisis cinemático, se consideró en forma conservativa, como ángulo de fricción de los planos de discontinuidad, el ángulo de fricción básico de la limolita a lo largo de la estratificación ($Ø \simeq 35°$), puesto que representa el modelo más desfavorable para la ladera estructural.

En el modelo estático se realizaron diferentes “corridas” con el fin de estructurar un análisis paramétrico, al que se le superpuso los valores físico - mecánicos obtenidos en el laboratorio para de esta manera tener una percepción del grado de estabilidad.

3.4.1 Análisis Cinemático

En este análisis se evaluaron los modos probables de falla para múltiples orientaciones de las laderas naturales. De esta forma, se consideraron en el cuerpo central de la zona de estudio orientaciones entre N15E/24NW y N48E/27NW ; en los taludes del límite sur orientaciones desde N53W hasta N36W/51SW y para los taludes del costado norte un rumbo promedio N76W y buzamientos entre 32° y 45° al SW (Tablas 3.2 a 3.7).

Bajo las condiciones geométricas mencionadas para las laderas naturales, las cuales representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el numeral 3.3.3.1, el análisis cinemático permite concluir que para las laderas orientadas al NE, paralelas a la estratificación, no existe configuración de falla planar o en cuña (ver figura No. 3.16), porque las inclinaciones del terreno y del plano de debilidad estructural (N28E/22NW) como de las líneas de intersección entre discontinuidades son menores al ángulo de fricción básico del plano ($Ø \sim 35°$). Más aún, aunque por actividad antrópica pudiese aumentarse la inclinación de las laderas (p.e: la realización de un corte) tampoco habría lugar a la configuración cinemática de falla planar o en cuña, puesto que no se modificaría en su totalidad la restricción cinemática reseñada. En otras palabras, tanto el buzamiento del plano de estratificación como de las líneas de intersección entre los planos seguirían siendo menores al ángulo de fricción básica.

El análisis de estabilidad para las cuñas (I_{15}, I_{13}), que principalmente afectan este abanico de laderas, se realizó con base en la aplicación del concepto del cono de fricción. Las representaciones ciclográficas de estos casos están ilustradas en las Figuras Nos. 3.17 y 3.18, en donde la proyección de las zonas estables para los

bloques corresponde a las franjas achuradas. Los puntos n_{E1}, n_5 y n_3 representan las normales a los planos de discontinuidad. Así debe entenderse n_{E1} como la estratificación y, n_3 y n_5 como normales a los planos de las familias de diaclasas D_3 y D_5, respectivamente.

En desarrollo del análisis se asumió que la resistencia en los planos es estrictamente friccional y que a su vez es igual en cualquier dirección del plano. Los ángulos de fricción adoptados correspondieron a Ø = 35° para la estratificación, (de acuerdo con los resultados del corte directo y las pruebas del bloque deslizante), y de manera conservativa para los planos de diaclasamiento D_3 y D_5, Ø = 30°.

Los factores de seguridad obtenidos para las cuñas, sin consideran la acción del agua y el efecto sísmico, ascienden a 2,0 para el bloque I_{13} (Figura No.3.17) y 2,5 en el caso del bloque I_{15} (Figura No. 3.18). Como puede apreciarse estas dos cuñas son particularmente estables. Su condición de equilibrio puede llegar a ser critica sólo si la resistencia a la fricción en los planos de discontinuidad alcanza valores hasta de 22°, lo cual es improbable puesto que estos niveles del ángulo de fricción están desvirtuados por las pruebas de laboratorio.

De otra parte, para las laderas existe configuración cinemática de falla por volteo a lo largo de los planos N32E/78SE y N18W/78NE (Ver Figura No. 3.19). Este mecanismo de falla, empero, presenta serios inconvenientes para su formación. El primero de ellos está relacionado con la, relativamente, baja persistencia modal de las discontinuidades. El segundo, parte del control estructural que ejerce la estratificación en el comportamiento del macizo al favorecer los deslizamientos planares. El tercero consiste en el comportamiento general de la superficie como ladera estructural y la limitada presencia histórica de este tipo de fenómenos.

Las laderas con orientaciones cercanas a la E-W (N78W/80SW) e inclinaciones muy fuertes (desde 50° hasta 80°) tampoco presentan posibilidad cinemática de falla planar o en cuña. Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos así:

- Algunas de las laderas no se encuentran direccionalmente paralelas a alguna de las familias promedio de discontinuidades.

- Los buzamientos de los planos estructurales, desfavorablemente orientados (p.e. con rumbo paralelo a las laderas) son superiores a las inclinaciones de las laderas.

- Los azimuts de buzamiento de las cuñas muestran variaciones superiores a los 90° con relación a los azimuts de buzamiento de las superficies libres.

Por último, para dichas superficies sólo existe configuración de falla por volteo, a lo largo del plano orientado N84E/84NW (Véase Figura No. 3.19). El tipo de falla esperado (o desarrollado) es el volteo de bloques. Esto como resultado de la conformación geométrica del macizo.

Los resultados mencionados pueden entenderse como una confirmación de las condiciones de estabilidad y de comportamiento de las laderas en la zona de estudio, puesto que no se observa ningún tipo de evidencia de falla planar o en cuña. El fenómeno de remoción en masa más importante es la caída de bloques localizado, casi exclusivamente, sobre los límites sur y norte del barrio (por ejemplo, en las márgenes de las quebradas).

El tamaño del bloque como se aprecia en campo y lo confirma el índice de bloque (Jv=2,7 m³) es muy grande. Sin embargo, cabe destacar que el proceso en las laderas del límite norte presenta una mayor relevancia debido al grado de fracturamiento del macizo producto del uso de explosivos durante la explotación y al papel no menos despreciable del agua de infiltración en los planos de fracturación y diaclasamiento.

3.4.2 Análisis de Bloque Crítico

El concepto del bloque crítico introducido por Shi (1978) y Shi & Goodman (1981) se fundamenta en el principio en el cual en una masa rocosa formada por n discontinuidades y m superficies libres producto de excavaciones, existen teóricamente $2^{(n+m)}$ tipos de bloques de roca formados por la intersección de dichas discontinuidades.

De los bloques de roca que pueden existir sólo un número muy pequeño se encuentra como bloques finitos y un número más pequeño tiene la posibilidad de moverse hacia el espacio libre. Estos son los denominados “bloques Claves o Críticos”. Una vez uno de estos bloques se mueve, otros pueden quedar libres y convertirse en bloques críticos.

Con base en lo expuesto, puede verse que se obtendrá una excavación segura si se identifican los bloques claves existentes y se aplican las medidas de soporte necesarias, o en su defecto se cambia la orientación y/o pendiente del talud, con el fin de evitar o disminuir la presencia de estos bloques.

Las Figuras Nos. 3.20 a 3.22 muestran las proyecciones de los planos de discontinuidad, las laderas en estudio y el circulo primitivo. Las proyecciones se hicieron usando el punto inferior de la esfera como centro de proyección. Los cinco círculos mayores y sus intersecciones dan lugar a dieciséis (16) triángulos esféricos que representan las pirámides de juntas (JPs); es decir, a los bloques de roca existentes en el macizo. La pirámide de excavación (EP) es en estos casos la región fuera del círculo principal para el azimut de buzamiento y buzamiento de las caras de los taludes; y la pirámide de espacio (SP) es el complemento de la EP, o sea el espacio interior al circulo principal de la cara del talud. Al mirar las figuras se describe que las únicas JPs que no se interceptan con las EPs son los siguientes

triángulos esféricos:

- JP01111, JP01011, JP01110, JP1100 y JP0111011 para las laderas N15E/24NW
- JP00100, JP00000, JP00001, JP01100 y JP01101 en la ladera N32E/18NW
- JP01110, JP00110, JP00100, JP01100 y JP01101, para las superficies N53W/51SW.

Estos representan los bloques claves o movilizables para los cortes.

El estudio de los Modos permisibles de deslizamiento para las JPs se puede apreciar en la Figura No. 3.23. Del análisis modal se observan las siguientes formas de movimiento para los bloques críticos:

- JP01111 planar por la estratificación (E1)
- JP01011 a lo largo de la intersección de los planos 1 (298/22) y 3 (42/83)
- JP01110 por la línea de intersección de los planos 1 y 5 (174/84)
- JP00110 a lo largo de la intersección de los planos 1(298/22) y 2 (122/78)

Las pirámides JP00100, JP00000, JP00001, JP01100 no presentan algún modo de deslizamiento (Figura No. 3.23) por lo tanto se consideran completamente estables.

Esto representa que las superficies con orientación cercana a la N32E/18NW son igualmente estables. La conclusión anterior es de trascendental importancia en la explicación del comportamiento de la “ladera estructural” sobre la cual descansa el barrio Santa Cecilia, dado que su orientación modal es muy similar a la del caso mencionado.

De acuerdo con el análisis cinemático los bloques claves JP01111, JP01011 y JP01110, muestran serias limitaciones para su movilización. El desplazamiento por las intersecciones I_{13}, I_{15}, es poco probable gracias a los niveles de fricción básica que presentan los planos de discontinuidad. La importancia de este aspecto y los valores de seguridad para la condición particular de talud seco y sin sismo, se muestran en el numeral anterior (Figuras No. 3.17 y No. 3.18).

La evaluación de estabilidad a lo largo del plano de estratificación (bloque JP01111), además de las restricciones cinemáticas, muestra un aceptable comportamiento en condición pseudoestática, por lo menos para los primeros niveles de limolita, como lo evidencia el análisis de equilibrio límite en el siguiente numeral.

Así, entonces, se concluye que las fallas por las discontinuidades tendría lugar por: la pérdida de resistencia en las paredes, gracias a la acción continuada en el tiempo del agua de infiltración; a relajación de esfuerzos y perdida de soporte que de lugar a la liberación de bloques críticos; o al reflejo de la acción antrópica por la formulación de cortes inadecuadamente orientados, o al vertimiento de efluentes en

las paredes de las diaclasas, como es el caso de los frentes norte y sur del barrio.

3.4.3 Análisis Estático

Uno de los aspectos de mayor interés durante la investigación geotécnica y la formulación del modelo estratigráfico, fue el de conocer el comportamiento y grado de estabilidad de los niveles de limolita, donde ellos por reflejo de las condiciones naturales o por acción antrópica demarcan un rompimiento de la secuencia estratigráfica normal, y delinean zonas de posibilidad de falla planar como talud infinito.

Este patrón característico se observa en la parte occidental del barrio entre la Carreras 10 y 9, y desde la Carrera 9ª hasta la transversal 8C (Figura No. 3.8). El mecanismo de falla está controlado por el plano de estratificación, en una secuencia de limolitas y areniscas de espesores entre 1,0 y 3,0 m.

De esta manera, se realizó un análisis paramétrico usando los valores físico-mecánicos de resistencia obtenidos de pruebas de corte en laboratorio y mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite. Los parámetros de resistencia adoptados para el plano de falla en la limolita son: 0,1 kg/cm² < c < 0,2 kg/cm², 27< Ø < 33°, y para la arenisca 0< c < 0,1 kg/cm²; 40 < Ø < 44.

El efecto seudoestático de sismicidad y la respuesta de las presiones hidrostáticas fueron evaluados considerando diversos niveles de aceleración y de posición de la tabla de agua.

Las Figuras Nos. 3.24 y 3.25 muestran los resultados obtenidos para las diferentes ubicaciones de la superficie de falla y condiciones de trabajo. En esas figuras se puede ver que en la condición más desfavorable (estrato de limolita a profundidad de 1,0 m con presión hidrostática en la superficie de falla), el factor de seguridad varía desde 1,8 hasta 3,0, con relación al valor de cohesión considerado. En condición seca se presenta un sustancial aumento del factor de seguridad, con una barrera mínima de 2,8 y con tope máximo en cifras superiores a 4,0. Los bancos de limolita más profundos exhiben valores de seguridad más grandes al del primer nivel.

El comportamiento de la porción de la ladera considerando la superficie de falla a la altura del banco de arenisca, descubre valores del factor de seguridad un poco mayores a los obtenidos para la limolita y nunca inferiores a 2,0, aún en condición de flujo permanente.

Bajo estas circunstancias sólo podría esperarse la falla de la ladera, en un modelo de disminución progresiva de los parámetros de resistencia en el plano de

deslizamiento y para una posición permanente de la tabla de agua en la superficie del terreno. Así los parámetros críticos para obtener un F.S. < 1,0 serían cohesión menor a 0,4 Ton/m² y fricción inferior a 35°, lo cual sólo podría darse lugar en el banco superior de limolita (Z < 1,0 m). Cabe destacar, sin embargo que la formulación de este modelo, implicaría el trabajo como acuífero confinado del banco superior de arenisca. Condición muy severa, si se tiene en cuenta que el banco en cuestión tiene una superficie de liberación de efluente en la franja inferior de la l ladera.

3.4.4 Recomendaciones

Con base en lo anteriormente expuesto, se recomienda perfilar los taludes principales, retirando los bloques claves en estado de equilibrio límite, éstos se podrán identificar durante la excavación de acuerdo con los lados de las discontinuidades que lo forman. Esta medida deberá acompañarse con un adecuado manejo de la escorrentía y de las aguas servidas que se vierten, hoy por hoy, en las caras norte y sur del barrio.

El manejo del agua de escorrentía involucra: la realización de entregas controladas; y la eliminación y manejo de los vertimientos en los taludes de corte.

3.5 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

3.5.1 Generalidades

En el presente capítulo se describe la información climática e hidrológica consultada y analizada con el propósito de determinar el régimen de precipitación medias, máximas y media mensual multianual. De otro lado se busca conocer las relaciones intensidad - frecuencia - duración de las lluvias máximas, requeridas para el cálculo de caudales de diseño y el dimensionamiento de las diferentes obras hidráulicas de drenaje a proyectar en la zona.

Los parámetros climáticos de temperatura, brillo solar y evapotranspiración, no se trataron en el desarrollo del proyecto porque no se consideran como factores detonantes dentro de los procesos de remoción en masa.

Los datos básicos relacionados con precipitación media y máxima así como con los caudales máximos se obtuvieron y determinaron con base en la información obtenida de las Estaciones Contador, Cerros de Suba, La Cabaña y San Rafael de la EAAB. Los resultados obtenidos dan valores de precipitación media anual de 931 mm y máxima de 128 mm/h para un periodo de retorno de 25 años y 10 minutos como tiempo de duración. El caudal máximo para un periodo de retorno de 25 años

es de 8.2 m^3/seg.

3.5.2 Área de Estudio

El Barrio Santa Cecilia, objeto del presente estudio, se encuentra ubicado en el sector Nor-oriental de Santa Fe de Bogotá, D.C., en la microcuenca de la Quebrada San Cristóbal entre las cotas 2.582 y 2.910 m.s.n.m. aproximadamente. La morfometría es de alta pendiente, y la vertiente se encuentra urbanizada en la mayoría de sus sectores.

La localización del Barrio Santa Cecilia y la delimitación de la microcuenca se observa en la Figura No. 1.1. El área de drenaje se extiende en 13,48 Has.

3.5.3 Precipitación Media

- **Información Pluviométrica**

Para el estudio de la precipitación se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Investigación de inventarios y mapas de entidades como, CAR, y EAAB.

- Preselección de las estaciones de acuerdo con su ubicación en la microcuenca perteneciente a la zona de estudio, o en microcuencas aledañas.

Selección final de las estaciones con registros históricos continuos y extensos, para esto se consideraron períodos de 20, 15, y 10 años. El nombre, características y localización de las estaciones pluviométricas consideradas se muestran en la Tabla No. 3.8.

TABLA No. 3.8

DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

ENTIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	E (m)	N (m)
EAAB	P-11	CONTADOR	1’004.850	1’012.890
EAAB	P-01	CERROS DE SUBA	999.320	1’013.550
EAAB	P-03	LA CABAÑA	1.013.600	1’019.700
EAAB	P-05	SAN RAFAEL	1’011.100	1’012.900

Como se ilustra en la Tabla No. 3.9 estas estaciones tienen períodos de registros de

lluvia mayores de 15 años. Con el objeto de determinar el valor de la lluvia en las estaciones representativas en condiciones hidrológicas estables a largo plazo, se consideró adecuado analizar los últimos 18 años de registro. Aunque para el conjunto de estaciones estos períodos no son cronológicamente simultáneos, con la selección de los períodos individuales mencionados se garantiza que las series corresponden a condiciones de precipitación normales en toda el área de estudio.

TABLA No. 3.9

PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

ENTIDAD	CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AÑOS
EAAB	P-01	Cerros de Suba	1948 - 1995
EAAB	P-23	La Cabaña	1976 - 1995
EAAB	P-05	San Rafael	1976 - 1994
EAAB	P-11	Contador	1957 - 1995

Para cada estación seleccionada se obtuvieron en medio magnético, las series mensuales de precipitación en la entidad operadora (EAAB). Estos registros tienen vacíos de información para algunos meses, por lo cual fue necesario llevar a cabo el proceso de complementación que se describe enseguida.

- **Complementación de las Series Mensuales de Precipitación**

Esta complementación se realizó mediante análisis de regresión entre las series mensuales de precipitación de estaciones vecinas, estableciendo observaciones de regresión lineal del tipo:

$$P1 = A \times P2 + B.$$

en donde:

P1 es el valor mensual (en mm) de la precipitación en la estación para la cual se complementa la información mensual (variable dependiente).

P2 es el valor mensual (en mm) de la precipitación con base en el cual se complementa la información mensual (variable independiente).

A y B son parámetros de la ecuación.

En la Tabla No. 3.10 se presentan las estaciones dependientes e independientes que fueron sometidas al análisis de regresión y, las ecuaciones y coeficientes de correlación obtenidos.

TABLA No. 3.10

ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA COMPLEMENTACIÓN DE LAS SERIES MENSUALES

PI = A * P2 + B

PI	P2	A	B	P^2	Véase Nota (1)
Contador	Usaquén - Santa Ana	0,8059	19,837	0,6249	**7**

(1) En la última columna se relaciona el número del cuadro en el cual se presentan los registros mensuales complementarios.

Aunque, la dispersión es aparentemente alta, los coeficientes de correlación son aceptables. Especialmente si se tiene en cuenta la duración de las series mensuales.

Los resultados del proceso de complementación se presentan en el Anexo No. 2. En él se registran las series del abanico de estaciones, y aparecen reseñados los datos calculados.

- **Análisis de la Precipitación Media**

La distribución media mensual (Véanse las Figuras 3.26 a 3.29) de las lluvias es de forma bimodal con períodos lluviosos de marzo a mayo y de octubre a noviembre, y períodos secos en los meses de diciembre a febrero y de junio a septiembre. La precipitación promedio anual, para los periodos de registro en las estaciones, varía desde los 730 mm/año hasta 931 mm./año (Tabla No. 3.11), con una media aritmética asociada al barrio de 937 mm./año (Tabla No. 3.12).

TABLA No. 3.11

VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm/año)	PERÍODO	No. DE AÑOS
Cerros de Suba	869	1948-1995	53
Contador	931	1957-1995	38
La Cabaña	770	1976-1995	19
San Rafael	731	1976-1994	18

TABLA No. 3.12

VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL

MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm/mes)
Enero	**48**
Febrero	**62**
Marzo	**91**
Abril	**112**
Mayo	**109**
Junio	**52**
Julio	**47**
Agosto	**49**
Septiembre	**58**
Octubre	**117**
Noviembre	**119**
Diciembre	**74**
TOTAL ANUAL	**938**

El comportamiento de las isoyetas medias multianuales muestran una disminución poco significativa de la lluvia hacia el occidente del Barrio, y un incremento considerable hacia el oriente a medida que aumenta la altura (Figura No. 3.30).

De la evaluación de las series históricas en las estaciones pluviométricas, tomadas como referencia, se descubre que la precipitación máxima fue registrada por la Estación Camavieja en el período húmedo de marzo a mayo de 1979. En los años subsiguientes se aprecia un marco estabilizado con valores de precipitación cercanos a la media anual, lo que hace prever que las series históricas tienen esa misma tendencia en el futuro y que los períodos secos y húmedos tienden a ser los mismos en todos los años.

3.5.4 Precipitación Máxima

En esta sección se presenta la caracterización tanto temporal como espacial, de las precipitaciones máximas en la zona de estudio.

- **Relaciones Intensidad - Frecuencia - Duración**

Con el fin de establecer estas relaciones, necesarias para evaluar el caudal de diseño de las obras a proyectar, se utilizó el sistema de información de tormentas (SISTORM) de la EAAB (Ref.1). Con él se pueden determinar las ecuaciones IDF para un punto dado mediante una ecuación de la forma:

$$I\ (D, T) = C_1\ (D + Do)^{-C2}$$

Donde,

I = Intensidad en mm/h

D = Duración en minutos

T = Período de retorno en años

Do, C_1 y C_2 = Parámetros de la ecuación.

En la Tabla No. 3.13 se presentan los valores de los parámetros utilizados en la ecuación de tormentas para diferentes periodos de retorno (3, 5, 10 y 25 años) y, en la Tabla No. 3.14 y la Figura No. 3.31 se consignan los niveles de intensidad máxima en las mismas condiciones.

TABLA No. 3.13

PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TORMENTAS

Tr (años)	C_1	D_o	C_2
3	5.199,00	35,90	-1,09
5	5.979,10	35,90	-1,09
10	6.955,20	35,90	-1,09
25	7.905,60	35,40	-1,08

TABLA No. 3.14

VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

	INTENSIDAD (mm/h) PARA VARIOS TIEMPOS DE DURACION						
TR (AÑOS)	5 MIN.	10 MIN.	15 MIN.	20 MIN.	30 MIN.	60 MIN.	120 MIN.
3	91,02	80,27	71,71	64,75	54,12	35,95	21,17
5	104,68	92,31	82,47	74,47	62,24	41,35	24,35
10	121,77	107,38	95,94	86,62	72,40	48,10	28,32
25	145,56	128,33	114,63	103,50	86,52	57,55	33,98

3.5.5 Caudales Máximos

El caudal aquí calculado se obtuvo tomando la microcuenca vertiente total, que cubre el área de estudio. Una vez definidas las áreas aferentes para cada drenaje se podrá efectuar en forma similar el cálculo del caudal de transporte.

Los caudales máximos se determinaron por medio del método racional. Éste considera que:

$$Q = C.I.A.$$

Q = Descarga estimada en un sitio determinado, en litros por segundo
C = Coeficiente de escorrentía
I = Intensidad de la lluvia en litros por segundo por hectárea para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y para el período de retorno determinado
A = Área de drenaje en hectáreas.

Así, la aplicación del método implicó conocer previamente las características morfométricas de la microcuenca, tales como: área, longitud y pendiente de su cauce principal, y su tipo de cobertura vegetal para poder determinar el tiempo de concentración de la microcuenca.

A continuación se efectúa una descripción de cada una de las variables involucradas.

- **Características Morfométricas**

De acuerdo a la cartografía obtenida del IGAC en planchas escala 1:2.000 y 1:10.000 del Barrio San Martín de Porres y de las fotografías aéreas del mismo sector correspondientes al vuelo R1181 en escala aproximada 1:5.000 se delimitó la microcuenca, la cual presenta las siguientes características principales:

Área de Microcuenca:	31,76	ha
Longitud del Cauce Principal:	1,50	km
Pendiente Promedio del Cauce:	21,87	%
Cota Superior:	2.910	m
Cota Inferior:	2.582	m

En el Mapa No. 1. se pueden apreciar las características morfológicas de la microcuenca.

- **Cobertura Vegetal**

En general la cobertura vegetal y el uso al que está destinado el suelo, constituye un factor fundamental en las condiciones de estabilidad de laderas, particularmente en lo referente a su interacción frente a los agentes climáticos como agua y viento, y su incidencia en el control sobre los procesos erosivos.

El área de estudio se caracteriza por el intenso cambio en su cobertura superficial, siendo el hombre su principal agente de transformación. Como producto de lo referenciado se presentan áreas deforestadas, rastrojo, y muy pocas áreas cubiertas de bosque natural (Plano No. 3) .

Igualmente en la últimas dos décadas el uso del terreno se ha venido modificando de manera acelerada, las zonas utilizadas para cultivos y de reserva forestal, han sido transformadas en áreas de uso industrial como fuentes de materiales o áreas urbanas.

En la Tabla No. 3.15 se presentan las principales unidades cartografiadas de cobertura y uso actual asociado a las mismas. A continuación se describen dichas unidades, destacando algunas de sus características, fundamentalmente el coeficiente de escorrentía asociado:

1. Bosques

En el área total de 0,23 ha, las cuales corresponden al 1,71% de la microcuenca,

con pendientes que van desde el 10% al 20%, para un coeficiente de escorrentía de 0.21.

2. Rastrojos

Cubren un área de 1,13 ha que corresponde al 8,38% del área de la microcuenca con pendientes del 20% en general. Se adopta para los rastrojos un coeficiente de escorrentía igual a 0,42.

3. Potreros

Cubren un área de 3,07 ha, la cual asciende al 22,7% de la microcuenca y se localizan en general dentro de las zonas urbanas con pendientes fuertes como es la característica fundamental de toda la zona de estudio. Se toma un valor de C igual a 0,20.

4. Zonas Urbanas

Ocupa la mayor parte de la microcuenca con un área total de 7,14 ha, el cual equivale al 52,97% del área total. Se toman pendientes ponderadas del 20% y un valor de C de 0,90.

5. Vías

Se clasifican en vías pavimentadas, sin pavimentar y en adoquín. Entre ellas suman un total de 1,91 ha, lo que corresponde al 14,17% del área total, siendo este un cubrimiento considerable respecto de los otros usos.

Para las vías se toman coeficientes C con valores de 0,93, 0,94 y 0,70 respectivamente.

- **Coeficiente de Escorrentía**

El coeficiente de escorrentía está en función del tipo de suelo, de la impermeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de otros factores que determinan la fracción de lluvias que se convierten en escorrentía.

De acuerdo a la cobertura vegetal de la zona de estudio por la variedad del uso del suelo, se hace necesario ponderar dicho coeficiente, tal como se muestra en la Tabla No. 3.15.

TABLA No. 3.15

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TIPO DE COBERTURA	PENDIENTE	ÁREA (a) (Ha)	COEFICIENTE "C"	A * C
1. Bosques	20	3,12	0,21	0,66
2. Rastrojos	20	1,48	0,42	0,62
3. Potreros	20	4,07	0,20	0,81
4. Zonas Urbanas	20	18,48	0,90	16,63
5. Vías Pavimentadas	20	0,61	0,93	0,57
6. Vías sin Pavimentar	20	4,00	0,94	3,76
TOTAL		**31,76**		**23,05**

Para efectuar dicha ponderación se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\Sigma\, a.c}{A}$$

donde:

C = Coeficiente de escorrentía para la microcuenca
A = Área total de la microcuenca
c = Coeficiente de escorrentía para cada uno de los tipos de cobertura del suelo.
a = Área de unidad de cobertura en la microcuenca

Reemplazando en la fórmula los datos consignados en la Tabla No. 3.15, tenemos

$$C = \frac{23,05}{31,76} = 0,73$$

Luego, el C obtenido es el valor a reemplazar en la fórmula racional (Q=CIA).

- **Intensidad de la Lluvia**

La intensidad de la lluvia se determinó a partir del período de retorno (ó frecuencia) y de la duración de la tormenta de diseño, (Figura No. 3.34).

Para efectos de la evaluación se consideraron períodos de retorno desde 3 hasta 25

años. Los primeros pueden asociarse a áreas tributarias menores a 3 has y los últimos para áreas tributarias de hasta 1.000 has.

El tiempo de concentración se evaluó a partir de las características de longitud y pendiente del cauce principal, mediante la fórmula de Kirpich:

$$TC = \left(\frac{0.871 * L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

En donde:

Tc = Tiempo de Concentración en horas

L = Longitud de recorrido en km

ΔH = Desnivel entre la cabecera de la cuenca y el punto de desagüe en m (2.840 -2.665) = 175 m.

Luego el tiempo de concentración obtenido es:

Tc = 0,07 Horas = 4,7 minutos $\approx$ 5 minutos

Se toma el mínimo que son 5 minutos.

A continuación se muestran en la Tabla No. 3.16, los cálculos de intensidad, I (mm/hora) para períodos de retorno de 3, 5, 10 y 25 años.

TABLA No. 3.16

VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 10 MINUTOS

Tr (años)	I (mm/Hora)
3	91.02
5	104.68
10	121.77
25	145.56

Por medio de la fórmula racional se calcula el caudal máximo de la microcuenca:

$$Q = C.I.A.$$

Q = Descarga estimada en un sitio determinado, en litros por segundo
C = Coeficiente de escorrentía
I = Intensidad de la lluvia en litros por segundo por hectárea para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y para el período de retorno determinado
A = Área de drenaje en hectáreas.

Finalmente, para cada uno de los períodos de retorno se determinó el caudal máximo de la microcuenca como se relaciona en la Tabla No. 3.17. Al observar el cuadro anterior se revela que el caudal máximo que corre por el cauce principal de la microcuenca presenta valores elevados.

TABLA No. 3.17

CAUDALES MÁXIMOS

TR (años)	I mm/hora	I L/seg Ha	C	Área (Ha)	Q (L/seg)
3	80,27	222,35	0,3	31,76	5155,14
5	92,31	255,70	0,73	31,76	5928,35
10	107,38	297,44	0,73	31,76	6896,09
25	128,33	355,47	0,73	31,76	8241,50

3.6 COBERTURA ACTUAL Y USOS DEL SUELO

3.6.1 Generalidades

El presente trabajo es la representación del estado actual de la cobertura y los usos de la tierra. Para su efecto se utilizaron fotografías aéreas tomadas en el año 1990, y como actualización se realizó una verificación en el terreno en la cual se hicieron algunas modificaciones generales.

El levantamiento cubre el barrio Santa Cecilia, con una extensión aproximada de 33

Has, ubicado en un sector de la ladera nororiental de la cadena montañosa que enmarca y delimita la Sabana de Bogotá.

3.6.2 Síntesis Histórica

El barrio Santa Cecilia ocupa un amplio sector de la ladera, la cual ha sido afectada por la presión y desarrollo desordenado de la ciudad, mediante el requerimiento y utilización de recursos naturales tanto renovables como no renovables. Dicho proceso evolucionó a través de las siguientes actividades: tala indiscriminada y total de los bosques naturales primarios, quemas, cultivos intensivos, desaparición de corrientes de agua, pastoreo, explotación intensiva para la extracción de areniscas, arenas y arcillas, perturbación de las laderas mediante el uso de explosivos, excavaciones, vías de acceso, etc.

Dichas actividades hacen atractivo el sector para que muchos de los trabajadores de las canteras funden en ella sus moradas, las cuales están constituidas desde hace varias décadas, sin ninguna planeación ni medidas de carácter geotécnico, ambiental ni sanitario. Los moradores utilizaron durante años como combustible para sus hogares, el bosque secundario natural del cual quedan pequeños reductos.

3.6.3 Resultados del Levantamiento

Los resultados del levantamiento del uso de la tierra en el área, se describen brevemente de la siguiente manera:

- **Bosque**

- Bosque Natural Secundario (Bns): Son unidades constituidas por especies nativas mezcladas con rastrojos altos. Están ubicados en laderas empinadas marginales a la quebrada San Cristóbal, como también en la ladera marginal de la quebrada San Cristóbal Norte.

- Bosque Implantado (Bi): Son pequeños sectores dispersos en diferentes niveles de la ladera, constituidos por bosque implantado, generalmente con eucaliptos que contienen diferentes grados de crecimiento.

- **Rastrojos**

- Rastrojo Alto (Ra): Lo conforman diversos tipos de vegetación nativa espontánea de tipo gramíneo, herbáceo y arbustivo, en ocasiones con alturas mayores a 3 metros. Su presencia es escasa en el área y está ubicado en márgenes de las quebradas y lotes con alto grado de abandono.

- Rastrojo Bajo (Rb): Esta cobertura vegetal se presenta con frecuencia en el área dispersa y obedece regularmente al abandono de potreros o laderas con pendientes muy pronunciadas. Esta vegetación la conforman especies invasoras de tipo gramíneo y herbáceo de baja altura.

- **Potreros**

- Potreros con Pastos (Pp): Esta vegetación está constituida por pasto quicuyo, ubicado en diversos sitios del área ocupando pequeños lotes; su extensión es mayor en el sector ubicado al norte, entre las carreras 3d y 5.

- **Cultivos**

- Cultivos Anuales Limpios (Cal): En la parte media y alta del área de estudio, se observan suelos orgánicos de buen espesor (1,20 m) que muy seguramente antes de su utilización como área urbana, fueron importantes fuentes de desarrollo agrícola. En la actualidad se presentan esporádicamente algunos lotes con cultivos de papa y maíz.

- **Urbano**

- Área Urbana - Habitacional (U): Es el uso de la tierra predominante, constituido en un 72% por uso urbano, de tipo habitacional. Un 3% lo conforma un pequeño sector de la parte baja constituido por uso de tipo comercial.

- Área Desprotegida (X): Son sectores desprovistos de vegetación por efecto de la erosión, presencia de afloramientos de suelo o roca generados en el área por la explotación de materiales, ubicados principalmente en el sector del piedemonte.

- Otros Usos: Las vías de acceso ocupan no menos de un 10% del área de estudio, conformadas por callejones carreteables sin pavimento, con pendientes mayores al 12%, aptas para vehículos tipo campero y volquetas. Las vías pavimentadas son muy escasas y están ubicadas en la parte inferior del área.

3.6.4 Conclusiones

- El desarrollo urbano del área tiene su origen de las fuentes de trabajo que generaron los frentes de explotación de materiales (canteras).

- El área de estudio tiene una extensión aproximada de 33 hectáreas distribuidas así: 75% área urbana, 15% de vegetación de diversas características y un 10% de vías de acceso.

- El Barrio Santa Cecilia cuenta con una alta densidad de población y a pesar de su extensión son muy pocos los espacios que pueden dar cabida a un mayor número de viviendas.

- Habitantes de muy escasos recursos, en búsqueda de solucionar la necesidad de un techo para su familia, han invadido en algunos sectores los cursos de las quebradas, instalando sus viviendas en el lecho o márgenes de éstas. Aguas arriba de estas viviendas, es aún muy extensa el área de influencia de las microcuencas y sus efectos pueden llegar a ser muy severos ante aguaceros muy fuertes y prolongados. Ver ubicación en mapa de uso de actual de la tierra.

4. DIAGNÓSTICO

Para la presentación del diagnóstico, se realizó una división del barrio, que se ha elaborado atendiendo tanto aspectos litológicos (poco condicionantes en este caso particular) y morfológicos, como aspectos de drenaje y de procesos denudativos presentes en la zona de estudio. En la Figura No. 4.1 se presentan los sectores considerados, y en la Tabla 4.1 se hace una breve formulación de la manera como fueron englobados y como van a ser tratados.

TABLA No. 4.1

SECTORES CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO

SECTOR No.	DESCRIPCION
1	Vías no pavimentadas
2	Quebrada San Cristóbal y su ronda
3	Suelos residuales
4	Quebrada San Cristóbal Norte y su ronda
5	Materiales de la formación Guadalupe
6	Zona de depósito (conos de deyección)

Esta división no pretende remplazar la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, tan sólo busca hacer una rápida clasificación de la zona de estudio con el fin de obtener una sencilla presentación del estado general y del comportamiento geotécnico de ésta. La evaluación de amenaza implicaría, para la escala de trabajo (Esc: 1:2000), la aplicación continuada de un modelo de síntesis determinístico, como cualquiera de los expuestos en el numeral 3.4, para cada una de las laderas de la zona de estudio. Y con base en este análisis determinar su posibilidad de falla, expresada bien en términos de probabilidad de ocurrencia o como factor de seguridad.

Cabe destacar que aunque esta labor se encuentra contemplada en este proyecto (referido como análisis de estabilidad, numeral 3.4), no fue direccionada para los propósitos de zonificación. Por lo tanto, no se hace una presentación formal en tal sentido, pero si el lector lo requiere, cuenta con los elementos necesarios para realizarlo.

4.1 SECTOR No. 1 - VÍAS NO PAVIMENTADAS

Con base en la Figura No. 2.2 se observa que prácticamente todas las vías existentes están al nivel de sub-rasante, y que dadas sus altas pendientes longitudinales se ven afectadas por problemas de erosión pluvial. El fenómeno ha ido evolucionando hasta generar procesos de carcavamiento en áreas localizadas.

La problemática es más evidente en los tramos donde se identifican suelos residuales de composición arcillo arenosa.

La condición descrita unida a la carencia de un sistema de alcantarillado pluvial, otorgan en época de invierno, además de un acentuado protagonismo de los procesos denudativos, un marco social deprimido. Por cuanto, no sólo se presenta erosión, sino desbordamientos de agua sobre los cuerpos de los taludes y sobre viviendas, como es el caso del barrio Arauquita.

4.2 SECTOR No. 2 - QUEBRADA SAN CRISTÓBAL Y SU RONDA

Es el drenaje principal del sector, discurre de oriente a occidente y presenta una alta pendiente longitudinal. Aunque, sobre su ronda permanecen algunas evidencias de vegetación, por medio pastos y algunos árboles tipo eucaliptos, es centro de problemas de ocupación, especialmente severos sobre el costado sur. Allí, la invasión del cauce se expresa en el asentamiento de, aproximadamente, 15 viviendas que forman parte del cuerpo del barrio Cerro Norte. Sobre el costado norte de la ronda, a la altura del barrio Santa Cecilia, se inventariaron cerca de 18 predios los cuales deberán ser reubicados si se pretende conservar la ronda; situación que deberá ser definida por la EAAB, ya que en cuanto a riesgo geotécnico, la zona en aspectos de estabilidad no presenta riesgo alto por tanto no se elaboró fichas de las viviendas. Prácticamente todas las aguas negras del sector sur del barrio son entregadas a la quebrada, puesto que el sistema de alcantarillado construido por la comunidad, y que carece de aprobación por parte de la EAAB, no cuenta con un colector central para recoger y transportar los efluentes.

4.3 SECTOR No. 3 - ZONA DE SUELOS RESIDUALES

Están conformados por suelos grises oscuros orgánicos que suprayacen, en la parte baja del barrio, suelos rojizos arenosos algo arcillosos. Sobre taludes expuestos en este tipo de material (carrera 9C, carrera 8, carrera 8 bis) se aprecian espesores del orden de 2 a 3 metros. El principal fenómeno morfodinámico que los afecta es la erosión pluvial. Por ello, las viviendas construidas en este tipo de suelo y a media ladera, pueden presentar problemas locales relacionados con la cimentación de las mismas.

Los predios y lotes existentes que se encuentran cubiertos con vegetación arbustiva y pastos, poseen una adecuada protección frente a los procesos erosivos. Papel importante, tanto de la comunidad como de los organismos de planeación y de prestación de servicios es mantener dichas condiciones de protección superficial en ellos.

4.4 SECTOR N° 4 - QUEBRADA SAN CRISTÓBAL NORTE Y SU RONDA

A partir de la prolongación de la Carrera 8, cota 2.700 msnm., y hacía el occidente, se determina que el cauce y ronda de la quebrada están totalmente intervenidos. Esta acción se manifiesta por la explotación de una cantera (costado norte) y por el afincamiento de viviendas pertenecientes al barrio Arauquita (costado sur). A pesar de ello, los taludes presentan un aceptable grado de estabilidad "relativa", sin una marcada direccionalidad de los cortes en el sentido del patrón geométrico de los planos de diaclasamiento, y con claras restricciones cinemáticas para la movilización de los bloques críticos (véase el numeral 3.4).

Desde la cota 2.700 msnm., y hacía el oriente, el fenómeno intervencionista sobre el cauce y la ronda es casi despreciable. Las márgenes cuentan con una apropiada protección arbustiva y de vegetación. No obstante, el peligro potencial a mediano y largo plazo es el efecto devastador de la acción antrópica, como puede correlacionarse por lo acontecido al sector descrito anteriormente.

4.5 SECTOR No. 5 – LADERA ESTRUCTURAL - MATERIALES DEL GRUPO GUADALUPE

En general en esta zona se identifican afloramientos de materiales de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y, Labor y Tierna, que exhiben un adecuado comportamiento geomecánico, tanto en situaciones de estabilidad de taludes, puesto que no hay condiciones cinemáticas, ni estáticas para generar su falla (véase el numeral 3.4), como elemento portante para las viviendas. En este sector no se identifican fenómenos de inestabilidad. La principal problemática se relaciona con el arrastre de sedimentos al nivel de las vías y de los cuerpos de los taludes desprotegidos, que puede evolucionar hasta la formación de cárcavas. Los plaeners y los niveles de arenisca friable son, tal vez, los más susceptibles a este proceso.

4.6 SECTOR No. 6 - ZONAS DE DEPÓSITO (CONOS DE DEYECCIÓN)

Con base en lo descrito en el capítulo de Geología, estos depósitos se localizan en la parte baja de Santa Cecilia, y delinean un relieve ondulado a plano. En ellos no se observan fenómenos de inestabilidad importantes; sin embargo, en el cauce de la quebrada San Cristóbal evidencian problemas erosivos y de socavación lateral.

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Acorde con la sectorización presentada, se realiza en los siguientes párrafos el planteamiento de las alternativas de solución. En forma global, las soluciones se relacionan básicamente con el manejo de aguas, definición y conservación de cauces y rondas de las quebradas, así como perfilamiento (retiro de bloques críticos) y protección de taludes. En los Planos No. 5 y 6 se muestran los esquemas de las alternativas planteadas.

5.1 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No.1 - VÍAS NO PAVIMENTADAS

Para el sector No. 1, la solución contempla en primera instancia la construcción de los sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario (de este último existe el diseño elaborado por la EAAB), para continuar con la correspondiente pavimentación en concreto rígido. En esta solución prácticamente no existe la opción de plantear alternativas. Sin embargo, sí se pueden presentar algunas recomendaciones, relacionadas con la necesidad de incluir obras y sistemas de drenaje superficial por medio de cunetas y/o canales revestidos que viertan a la quebrada San Cristóbal. Las entregas deben contemplar estructuras de disipación y amortiguamiento.

5.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 2 - Q. SAN CRISTÓBAL Y SU RONDA

De conformidad con los principios de conservación ambiental, tal vez, existe una única solución ambientalmente sostenible, y es la relacionada con la definición y protección de la ronda de la Quebrada San Cristóbal. Y en consecuencia la reubicación tanto de las viviendas del costado sur (del barrio Cerro Norte) como del costado norte (del barrio Santa Cecilia).

5.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 3 - SUELOS RESIDUALES

En la zona, y a nivel de los lotes se observan problemas de erosión pluvial. En consecuencia, la solución se planteará de forma local mediante la protección de espacios y taludes con vegetación (cespedones y/o arbustiva pequeña). Complementariamente se deberá considerar la construcción de cunetas revestidas como sistema de drenaje superficial. En los tramos correspondientes a vías, en tanto se realice la construcción del alcantarillado (pluvial y sanitario) así como la

pavimentación, se minimizará la amenaza por erosión pluvial.

5.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 4 - QUEBRADA SAN CRISTÓBAL NORTE Y SU RONDA

Para el tramo del costado oriental, la solución se orienta hacía la definición de la ronda y, manteniendo y mejoramiento de las características de protección por medio de revegetalización y reforestación. Adicionalmente, no se deberá permitir ningún tipo de desarrollo urbano.

En el costado occidental, a partir de la prolongación de la carrera 8, (cota 2.700 msnm.), debido a la completa intervención del cauce, especialmente, por las actividades extractivas y por el desarrollo urbanístico del barrio Arauquita, se recomienda conformar un importante sistema de drenaje superficial constituido por un canal revestido, escalonado, el cual transportará la escorrentía producida en esta parte de la cuenca. Lo anterior implica, con el fin de preservar la vida de la microcuenca, proyectar y construir el sistema de alcantarillado sanitario del barrio Arauquita, ya que sus efluentes son vertidos en la quebrada.

5.5 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 5 – LADERA ESTRUCTURAL MATERIALES FORMACIÓN GUADALUPE

En ella, se espera que con el manejo de la escorrentía y los trabajos de pavimentación, referidos en los numerales precedentes, se atiendan adecuadamente las posibles amenazas por procesos denudativos.

5.6 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN SECTOR No. 6 - ZONAS DE DEPÓSITO

Este sector está influenciado por la erosión pluvial procedente de los niveles superiores y por la socavación en el cauce de la quebrada. En consecuencia, con la aplicación de las alternativas propuestas arriba, se espera minimizar la problemática en la zona. Particularmente, se recomienda desarrollar actividades de mantenimiento periódico para el desarenador existente.

6. RECOMENDACIONES URBANÍSTICAS

Dada la consolidación urbanística del barrio, se recomienda una evaluación detallada en tal sentido con el objeto de plantear y desarrollar nuevos espacios públicos, así como una redistribución de éstos, de tal forma que se contemplen áreas para recreación, para accesos peatonales y de circulación en general y para implementación de servicios públicos (alumbrado, teléfonos, gas, etc).

A nivel arquitectónico y con base en un análisis detallado de la calidad física y espacial de las viviendas construidas, sería conveniente elaborar un manual que oriente y eduque en aspectos prácticos tanto constructivos, como de utilización y mantenimiento básico de espacios. La medida pretende reducir los niveles de vulnerabilidad y aumentar la calidad de vida. Esta actividad se puede manejar a nivel de Juntas de Acción Comunal y/o de Ediles y/o Comités Locales de Emergencia (CLE).

7. RECOMENDACIONES SOBRE USOS DEL SUELO

El uso del suelo en la mayor parte del barrio está condicionado por la fuerza del impulso invasor. Tal vez, sólo pocas áreas pueden exceptuarse de este veredicto.

Así, el costado oriental, al partir de la carrera 3, puede destinarse a conservación, y las rondas de las quebradas, con un trabajo continuado, es imprescindible recuperarlas y mantenerlas, para de esta forma preservar los recursos naturales, especialmente el hídrico. En consecuencia no se debe permitir ningún tipo de desarrollo urbano en estas franjas, y reubicar los asentamientos existentes.

8. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADOS

El planteamiento de alternativas de solución, descritas en el numeral 5, involucra ítems y actividades específicas como son obras de pavimentación, construcción de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial y manejo de cauces naturales. En concordancia el presupuesto se elaboró para cada tipo de actividad específica. Los datos básicos y predimensionamientos a partir de los cuales se evaluaron las cantidades de obra se describen en los Planos No. 5 y 6. Y los costos unitarios para cada actividad fueron determinados con base en tarifas elaboradas por el Consultor para proyectos de Diseño e Interventoría para la EAAB y el IDU, respectivamente.

El presupuesto está elaborado por capítulos que relacionan las actividades constructivas a desarrollar, y permiten tener un orden de magnitud (en costos) del aporte que debe realizar cada entidad del Distrito (p.e: EAAB e IDU) involucrada con el diseño y ejecución de las obras.

Cabe destacar que en el presupuesto no se han incluido los costos relacionados con los diseños definitivos y las actividades de Interventoría. Sin embargo, se estima que los diseños pueden tener un nivel equivalente al 8% del presupuesto determinado, y los costos de Interventoría son del orden del 6% del valor del presupuesto. Es importante mencionar, que según información obtenida de la EAAB y del IDU, ya existen los diseños de alcantarillado y pavimentos.

En la Tabla No. 8.1 se relacionan las cantidades de obra y el presupuesto aproximado, teniendo como referencia los prediseños y recomendaciones presentados aquí.

9. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

En la Tabla No. 9.1 se relaciona el cronograma de ejecución de obras, el cual se realizó para cada capítulo y actividad constructiva, teniendo en cuenta la prioridad de ejecución. Las obras de alcantarillado ocupan el primer lugar, seguidas de las obras de pavimentación. Como tercera prioridad se determinan las obras de control torrencial.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Santa Cecilia, en su contexto urbano, ocupa la mayor parte de la superficie de una ladera estructural, entallada en las estribaciones de los cerros nororientales del Distrito Capital, en la localidad de Usaquén. Descansa sobre un potente macizo rocoso, conformado principalmente por bancos de arenisca de hasta 4,20 m de espesor, y secuencias de limolitas en bancos con espesores máximos de 2,80 m. Así, el comportamiento geotécnico de las laderas está regido por las propiedades del macizo, es decir por el patrón geométrico de las discontinuidades (claro frente a las superficies libres) y por las características de resistencia del material rocoso, entre otras. Estratigráficamente se presentan rocas pertenecientes al techo del Grupo Guadalupe, depósitos diferentes de origen aluvial y coluvial y suelos residuales de espesores importantes. Tectónicamente el barrio está construido sobre una superficie estructural correspondiente al flanco occidental de una estructura anticlinal asimétrica, lo cual explica que la pendiente del barrio está dada por la inclinación hacia el SW de los estratos del Cretáceo que allí afloran

- En cuanto a servicios, Santa Cecilia tiene un corredor vial que consta de mas de 3,5 km de carreteras, aunadas en un complejo trazado geométrico, compuesto por: tramos rectos de hasta 120 m de longitud con pendientes entre 14 % y 28 %, en la mayor parte del recorrido, radios de curvatura horizontales desde 8 m hasta 80 m, y anchos de calzada heterogéneos que varían desde los 4 m hasta los 9 m. Así mismo posee una red de alcantarillado sanitario (de cobertura parcial) con tramos de Ø8", Ø10", Ø12" de diámetro, área de drenaje superior a las 15 has, capacidad de saturación en el año 2017 y óptimo funcionamiento hidráulico. El sistema drena al interceptor secundario Cerro Norte - San Cristóbal.

- El estudio Geotécnico pretendió la caracterización de los materiales que conforman la zona de estudio y, el análisis general de estabilidad de las diferentes familias de taludes, tanto de la ladera estructural, como de los bordes norte y sur. La Evaluación de estabilidad contemplo, entre otros aspectos: la determinación de las familias promedio de discontinuidades y sus características modales (espaciamiento, persistencia, relleno, etc), el análisis cinemático de los modos probables de falla de las laderas, el empleo del concepto del cono de fricción para el estudio de las cuñas críticas, la implementación de la teoría del bloque crítico en la definición de las unidades de material rocoso inestables, y el análisis estático de la ladera estructural.

  Los resultados mencionados pueden entenderse como una confirmación de las condiciones de estabilidad y de comportamiento de las laderas en la zona de estudio, puesto que no se observa ningún tipo de evidencia de falla planar o en cuña. El fenómeno de remoción en masa más importante es la caída de bloques localizado, casi exclusivamente, sobre los límites sur y norte del barrio (en las márgenes de las quebradas).

- Cabe resaltar, como algunas de las más importantes conclusiones, por una parte el aceptable grado de estabilidad de la zona de estudio, y por otra, el arrogante y desmedido patrón intervencionista de carácter antrópico. Es el hombre quien da lugar al deterioro general de la zona. Su acción, sin un marco planificado, en la expansión de la frontera urbanizable y en el desmedido uso de los recursos es el forjador de los problemas en el sector, y el responsable del deterioro de la calidad de vida. Si bien la acción antrópica

- Aún cuando las condiciones generales de estabilidad son buenas, se puede concluir que existe cierto riesgo de fallas por las discontinuidades de los diferentes macizos rocosos, las cuales tendrían lugar por: la pérdida de resistencia en las paredes, gracias a la acción continuada en el tiempo del agua de infiltración; a relajación de esfuerzos y perdida de soporte que de lugar a la liberación de bloques críticos; o al reflejo de la acción antrópica por la formulación de cortes inadecuadamente orientados, o al vertimiento de efluentes en las paredes de las diaclasas, como es el caso de los frentes norte y sur del barrio. En consecuencia se recomienda la implementación de obras y sistemas de drenaje y en general un manejo adecuado tanto de las aguas de escorrentía como de las servidas; también se recomienda un adecuado manejo de espacios, especialmente los dedicados al desarrollo urbano, para lo cual se deberá prestar la respectiva asistencia técnica específica.

- En forma global, las soluciones se relacionan básicamente con el manejo de aguas, definición y conservación de cauces y rondas de las quebradas, así como perfilamiento (retiro de bloques críticos) y protección de taludes. La solución contempla en primera instancia la construcción de los sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario (de este último existe el diseño elaborado por la EAAB), para continuar con la correspondiente pavimentación en concreto rígido y dentro de un plan general de desarrollo contemplar también el manejo de la torrencialidad de las quebradas con la implementación de las respectivas obras de control y manejo. Se recomienda una mayor participación a nivel de las respectivas entidades de la ciudad (Upes, EAAB, EEEB, ETB, IDU, DAMA, CAR, Alcaldía Menores) en cuanto que se presente información actualizada relacionada tanto con diseños como con planes constructivos a corto y mediano plazo, de tal forma que a nivel de los diseños definitivos se consideren estas soluciones tanto en los aspectos técnicos como económicos, con lo cual la participación del Consultor será más efectiva y no duplicar trabajos, como en el caso de pretender realizar pavimentación de vías, sin tener solucionado el problema del alcantarillado.

- En atención a la sectorización presentada, se han elaborado las respectivas obras por sector, dentro de las cuales, se determina que las obras de alcantarillado sanitario, a cargo de la EAAB, pueden tener un costo del orden de $ 266 millones; la construcción de pavimentos rígidos, obras a cargo del IDU, pueden tener un costo de $ 1204 millones; mientras que las obras de control torrencial, a cargo de la EAAB, pueden tener un costo del orden de $ 150 millones.

- En los cuerpos de agua y de conformidad con los principios de conservación ambiental, tal vez, existe una única solución ambientalmente sostenible, y es la relacionada con la definición y protección de la ronda de la Quebrada San Cristóbal, así como en la proyección y construcción de las correspondientes obras de control torrencial y la descontaminación de sus aguas. En consecuencia la reubicación tanto de las viviendas del costado sur (del barrio Cerro Norte) como del costado norte (del barrio Santa Cecilia).

- Adicionalmente, dada la consolidación urbanística del barrio, se recomienda una evaluación detallada en tal sentido con el objeto de plantear y desarrollar nuevos espacios públicos, así como una redistribución de éstos, de tal forma que se contemplen áreas para recreación, para accesos peatonales y de circulación en general y para implementación de servicios públicos (alumbrado, teléfonos, gas, etc).

- Sobre el costado norte del barrio Santa Cecilia, se han identificado condiciones especiales de uso y desarrollo del espacio, las cuales se relacionan con el desarrollo urbano subnormal del barrio Arauquita y la explotación de canteras. En el primer caso, el barrio Arauquita se ha desarrollado prácticamente sobre la ronda de la quebrada San Cristóbal Norte y están carentes de los servicios de acueducto y alcantarillado, el sector presenta una topografía quebrada a abrupta en donde se determinan problemas de inestabilidad, en consecuencia se recomienda efectuar una caracterización detallada, a partir de la cual formular un diagnóstico claro que permita tomar decisiones sobre las soluciones y manejo de este sitio. Paralelamente y contiguo con la quebrada San Cristóbal Norte, existe una importante cantera en explotación, que definitivamente incide sobre el barrio Arauquita, se recomienda solicitar a los dueños de la cantera, el proyecto de desarrollo general del sector y específicamente el relacionado con obras de drenaje, con el manejo de espacios y de estabilidad.

- Las obras y diseños proyectados se han elaborado considerando la aplicación de sistemas y procesos constructivos convencionales y de amplia experiencia en la ciudad, con la finalidad de generar importante empleo de mano de obra no especializada, recomendando que en su aplicación, se dé prioridad al empleo del personal residente en el sector. Tanto en el proceso constructivo como una vez construidas las obras, se recomienda el establecimiento de brigadas o grupos de personas dedicadas al mantenimiento en especial la de mantener la acción de reforestación de las zonas verdes y de los sistemas de drenaje, cuyos recursos se pueden lograr por medio de la respectiva Alcaldía Menor, Junta de Acción Comunal y/o de los Ediles, bajo control y supervisión de la Alcaldía Mayor y/o de la Upes. Igualmente se recomienda el establecimiento de talleres técnicos, los cuales pueden ser desarrollados por especialistas (arquitectos, ingenieros, técnicos, sociólogo, Trabajador Social), los que estructurarán y enseñarán programas técnicos, administrativos y sociales. La parte técnica puede comprender temas específicos sobre manejo y adecuación de espacios y de

sistemas de drenaje, así como de protección y mantenimiento de taludes, manejo constructivo de sistemas de cimentación, etc.; se puede considerar que estos talleres serán requisitos obligatorios tanto para trabajo comunitario, como para hacerse acreedor a un comité de mantenimiento y/o de manejo de espacios (a nivel de pequeña empresa). La presente recomendación tiene aplicación para la zona puntual motivo del presente estudio; pero esta más enfocada hacía el barrio en general, por cuanto se identifican zonas adyacentes (costados norte y sur) las cuales también fueron zonas de canteras y en las posiblemente se adecuarán espacios para uso urbano, por tanto se recomienda la implementación de unas exigencias de adecuación y manejo de espacios en condiciones estables y arquitectónicamente aceptables (aspectos de espacio público y de paisajismo).

ANEXO No. 1

RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARTERAS DE LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

ANEXO No. 2

HIDROLOGÍA

ANEXO No. 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO