ALCALDÍA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTÁ

FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FOPAE

ESTUDIOS Y DISEÑOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES CONTROL DE EROSIÓN Y MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DIFERENTES SITIOS EN LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTÁ

INFORME FINAL
SECTOR 3.1 EL CODITO
DOCUMENTO 51-IF-04-01

CONCURSO 04 GRUPO 03
CONTRATO No. 1314-113-1997

AGOSTO DE 1998

IDROTEC LTDA.
INGENIEROS CONSULTORES

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 3.1 EL CODITO

ÍNDICE

Pág.

REGISTRO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO

1. INTRODUCCIÓN 1

2. MARCO GENERAL 4
2.1 Actividades Realizadas 4
2.2 Infraestructura de Servicios 5
2.3 Planes de la UPES 5

3. ESTUDIOS BÁSICOS 6
3.1 GEOLOGÍA 6
3.1.1 Estratigrafía 7
3.1.2 Tectónica 8
3.1.3 Sismicidad 9
3.2 GEOMORFOLOGÍA 10
3.3. ASPECTOS GEOTÉCNICOS 10
3.3.1 Exploración del Subsuelo 10
3.3.2 Ensayos de Laboratorio 11
3.3.3 Características del Subsuelo 11
3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 15
3.4.1 Análisis Cinemático 16
3.4.2 Análisis de Bloque Crítico 17
3.5 RECOMENDACIONES 18
3.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS 19
3.6.1 Generalidades 19
3.6.2 Precipitación Media 19
3.6.3 Precipitación Máxima 23
3.6.4 Caudales Máximos 24

4. DIAGNÓSTICO 29

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS 31

6 ALTERNATIVA RECOMENDADA 32

7. RECOMENDACIONES URBANÍSTICAS 33

8. RECOMENDACIONES SOBRE USOS DEL SUELO 34

9. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADOS 35

10. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES 36

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 37

ANEXOS:

ANEXO No. 1: MEMORIAS ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARTERAS DE LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

ANEXO No. 2: HIDROLOGÍA

ANEXO No. 3 : REGISTRO FOTOGRÁFICO

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No. 1.1 LOCALIZACIÓN GENERAL DEL SITIO DE ESTUDIO

FIGURA No. 2.1 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS DE ALCANTARILLADO

FIGURA No. 2.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS - VÍAS

FIGURA No. 3.1 REGISTRO DE TRINCHERA – TALUD DUR

FIGURA No. 3.2 LOCALIZACIÓN DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

FIGURA No. 3.3 MODELO GEOTÉCNICO APROXIMADO

FIGURA No. 3.4 DIAGRAMA POLAR DE DATOS ESTRUCTURALES

FIGURA No. 3.5 ANÁLISIS DE FRECUENCIA – DATOS ESTRUCTURALES

FIGURA No. 3.6 ENVOLVENTES DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES – PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

FIGURA No. 3.7 ENVOLVENTES DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES – PROYECCIÓN PLANA

FIGURA No. 3.8 FAMILIAS PROMEDIO DE DISCONTINUIDADES

FIGURA No. 3.9 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE HOEK Y BROWN Y ENVOLVENTE EQUIVALENTE DE MOHR

FIGURA No. 3.10 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE HOEK Y BROWN Y ENVOLVENTE EQUIVALENTE DE MOHR

FIGURA No. 3.11 REPRESENTACIÓN CICLOGRÁFICA – ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA

FIGURA No. 3.12 REPRESENTACIÓN CICLOGRÁFICA – ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO

FIGURA No. 3.13 ANÁLISIS DEL BLOQUE CRÍTICO – LADERA N35W/80SW

FIGURA No. 3.14 ANÁLISIS MODAL PARA LAS JP'S DEL MACIZO ROCOSO – LADERA N35W/80SW

FIGURA No. 3.15 ANÁLISIS DEL BLOQUE CRÍTICO – LADERA N35E/80NW

FIGURA No: 3.16 ANÁLISIS MODAL PARA LAS JP'S DEL MACIZO ROCOSO – LADERA N35E/80NW

FIGURA No. 3.17 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-11 – CONTADOR

FIGURA No. 3.18 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-05 - SAN RAFAEL

FIGURA No. 3.19 SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN P-23 - LA CABAÑA

FIGURA No. 3.20. SERIES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN ESTACIÓN PONDERADA

FIGURA No. 3.21 CURVAS ISOYETAS TOTALES ANUALES

FIGURA No. 3.22 CURVAS DE INTENSIDAD - FRECUENCIA - DURACIÓN; TR = 3, 5, 10 y 25 AÑOS.

FIGURA No. 4.1 SECTORIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No. 3.1 ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

TABLA No. 3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA – LADERAS N35W/85SW; N35E/85NW

TABLA No. 3.3 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO – LADERAS N35W/85SW; N35E/85NW

TABLA No. 3.4 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA PLANAR Y EN CUÑA – LADERAS N55E/85NW; N05W/85SW

TABLA No. 3.5 ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLA POR VOLTEO – LADERAS N55E/85NW; N05W/85SW

TABLA No. 3.6 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

TABLA No. 3.7 PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

TABLA NO. 3.8 ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA COMPLEMENTACIÓN DE LAS SERIES MENSUALES

TABLA No. 3.9 VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES

TABLA No. 3.10 VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL

TABLA No. 3.11 PARÁMETROS DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS

TABLA No. 3.12 VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

TABLA No. 3.13 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TABLA No. 3.14 VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 5 MINUTOS

TABLA No. 3.15 CAUDALES MÁXIMOS

TABLA No. 9.1 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO. ZONA 1

TABLA No. 9.2 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO. ZONA 2

TABLA No. 9.3 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO. ZONA 3

TABLA No. 10.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRAS

TABLA No. 10.2 SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

LISTA DE PLANOS

PLANO No. 1: MAPA BASE

PLANO No. 2: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

PLANO No. 3: MAPA DE PENDIENTES

PLANO No. 4: 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	Todo el documento	Agosto 18/98	Observaciones de la Interventoría
2			
3			

• ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

INFORME FINAL SECTOR 3.1 EL CODITO

DOCUMENTO No.: 51-IF-04-01

APROBACION	NUMERO DE REVISIÓN		0	1	2
	RESPONSABLE ELABORACIÓN (JEFE DE GRUPO)	Nombre:	A. GUTIÉRREZ	A. GUTIÉRREZ	
		Firma:			
		Fecha:	Junio/98	Agosto/98	
	CONTROL CALIDAD (ASEGURAMIENTO CALIDAD)	Nombre:	C. MORALES	C. MORALES	
		Firma:			
		Fecha:	Junio/98	Agosto/98	
	Vo. Bo. DIRECTOR PROYECTO	Nombre:	G. TORRES	G. TORRES	
		Firma:			
		Fecha:	Junio/98	Agosto/98	

1. INTRODUCCIÓN

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 1314 - 113 - 1997, suscrito entre el FONDO PARA LA PREVENCION Y ATENCION 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 3.1, El Codito.

Aunque El Codito responde al cuerpo integral de un barrio, el objeto de estudio se refiere a un pequeño frente de explotación inerme en él. La cantera se establece en una de las amplias exposiciones de la Formación Labor y Tierna, en los cerros nororientales de Santa Fe de Bogotá D.C., cerca del gran complejo de explotación de Soratama en la localidad de Usaquén (Figura 1.1). Consecuencia del mismo entorno geológico es el extensivo uso de las áreas circundantes como fuente de material y por ende como fuente básica de ingreso para los habitantes. Por ello se observan múltiples frentes de explotación en derredor a la zona de estudio, que deja ver una morfología típicamente antropogénica y la voracidad del principal agente morfodinámico, el hombre.

El Codito, localizado a pocos metros de la Avenida 7ª, no presenta los mismos problemas de comunicación que las invasiones del sur-oriente o sur-occidente Bogotano. Esta troncal facilita el acceso a la zona, lo acerca (tal vez mencionar incorpora) al contexto capitalino, y, aunque parezca extraño, lo distancia del desarrollo “tugurial” del sur Santafereño y del abandono institucional.

El proceso colonizador, abanderado por el principio de dignificación de los desplazados y por la necesidad de vivienda, arraigo o pertenencia de los pobladores, ha tenido un carácter más lento y gradual, en comparación con el resto de la ciudad, donde el proceso sólo ha necesitado de unos pocos años. La gradualidad del modelo colonizador y el arraigo al barrio se ve reflejado en el sistema constructivo de las viviendas. Ellas, en general, muestran estructuras aporticadas de una sola planta (la mayor parte), pero con proyección para disponer un segundo nivel; las fachadas, en extremo simples, se destacan por su cuidado; materiales como cartón, asfaltos y otros de tipo desechable no están contemplados en el afincamiento del barrio.

El área de estudio hace parte de una ladera estructural conformada (en superficie) por un banco de areniscas de grano fino a medio y algo friables, poco fracturado. Está enmarcado al oriente y sur por sendos taludes de corte, los que a su vez limitan en la parte baja de la cantera un cuerpo coluvial, retrabajado por fenómenos

de erosión pluvial y recinto de un pequeño núcleo invasor compuesto de 17 viviendas.

El objetivo general de este proyecto es servir de instrumento en la planificación integral del sector de El Codito, 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. La Evaluación de estabilidad contempló, 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 y la implementación de la teoría del bloque crítico en la definición de las unidades de material rocoso inestables.

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 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 adquiere su mayor relevancia.

Pocos proyectos se han llevado a cabo para estudiar las condiciones generales del subsuelo en el área urbana del barrio. En este sentido, es explicable que la evaluación de información se haya focalizado en la cartografía geológica elaborada por el Ingeominas, así como en el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, realizado por Ingeominas y La Universidad de los Andes en Junio de 1997.

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 1980, con base en aerofotos de 1977. Así mismo, del Mapa Digital de Santa Fe de Bogotá, se obtuvieron las planchas F – 35A y F - 45A 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 él se definieron algunos aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. Se determinaron sitios de afloramientos de material rocoso, 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 tratan 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 su saturación.

De acuerdo con el mencionado estudio, El Codito posee una red de alcantarillado sanitario (de cobertura parcial) con tramos de Ø 8" de diámetro, área de drenaje superior a las 7 has, capacidad de saturación en el año 2017 y óptimo funcionamiento hidráulico. El sistema drena al interceptor secundario Codito - Horizonte - Codabas.

El sistema de alcantarillado pluvial está compuesto por cunetas revestidas en concreto y redes de tuberías que drenan a un colector secundario de Ø 27" y pendiente media de 3,40% (Figura 2.1). El colector hace parte, a su vez, del área del Canal de Torca, y presenta serias deficiencias en el transporte del efluente, puesto que muestra déficits mayores a 700 l/s.

La infraestructura vial, de más de 2,0 km de carreteras, presenta cerca del 60% de ellas completamente pavimentadas. El 40% restante, es decir aproximadamente 800 m de vías, poseen una estructura precaria que consta esencialmente de una subrasante esculpida en bancos de arenisca (Figura 2.2). De estas últimas, una proporción aún menor (50%) adolece de un sistema de drenaje superficial.

2.3 PLANES DE LA UPES

Si bien la UPES ha atendido el sector con permanentes visitas técnicas, un primer gran intento, tal vez el primer paso de la cadena, para la solución del contexto es la contratación de los presentes estudios geotécnicos, de cuya necesidad se hace reiterativa mención en los conceptos técnicos.

Durante la historia reciente de la cantera no se ha llevado a cabo tarea alguna de reubicación, y todo intento a este respecto se ha detenido por la falta de una evaluación detallada. En parte, explicado por la enfática negativa de evacuación de los habitantes, quienes sostienen prefieren asumir, inclusive, la pérdida de sus vidas antes que desalojar sus pocos bienes y su mayor pertenencia “su casa”.

3. ESTUDIOS BÁSICOS

3.1 GEOLOGÍA

El Barrio El Codito se localiza sobre el flanco occidental de un anticlinal normal que forma los Cerros Orientales hacia el norte de la calle 134 aproximadamente y el cual delimita por el este la Sabana de Bogotá. (Véase Plano No. 1).

Estratigráficamente el sitio de estudio se encuentra sobre rocas detríticas del Cretácico más superior pertenecientes a la Formación Labor y Tierna del Grupo Guadalupe. La mayoría de las casas del barrio se han edificado dentro de las excavaciones de una antigua cantera. (Foto 1).

El barrio está situado en el borde oriental de la Sabana de Bogotá, unidad estructural localizada sobre la Cordillera Oriental Colombiana, la cual es considerada como un Terreno de basamento continental acrecionado al Escudo de la Guayana en el periodo Jurásico. Durante el periodo Cretácico la Sabana de Bogotá fue el centro de una extensa cuenca de sedimentación marina, que alcanzó espesores hasta de 12.500 m en su parte central En 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 periodo 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 y algunos terciarios, plegados.

3.1.1 Estratigrafía

En el pequeño sector del trabajado sólo se presentan paquetes gruesos de areniscas pertenecientes a la Formación Labor y Tierna que forman las escarpas que encierran la parte del barrio objeto del estudio (Véase Plano No. 2). En la parte central se observan detritos coluvionares formados por bloques, cantos y guijos de arenisca desprendidos de las escarpas dentro de una matriz arenosa.

- **Formación Labor y Tierna (Kslt)**

En la formación se han distinguido tres conjuntos, en la Sabana de Bogotá, que de la base al techo son:

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

- Nivel de Plaeners Superiores, en la parte intermedia. Formado por porcelanitas en capas delgadas de 5 a 10 cm, con intercalaciones de areniscas y arcillolitas en capas igualmente delgadas. El conjunto tiene un espesor variable entre 10 y 15 m.

- Arenisca Tierna, en la parte superior. Constituida por areniscas de grano fino a muy grueso, cuarzosas, 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 Labor y Tierna aflora ampliamente al sur de la falla de Usaquén y forma casi la totalidad de los cerros orientales al norte del Barrio Santa Cecilia, (calle 134 aproximadamente). En la propia zona de estudio solo aparece la Arenisca Tierna.

Una secuencia muy corta, levantada en la escarpa que delimita la zona de interés por el sur, muestra de abajo hacia arriba estratigráficamente:

- Arenisca amarillenta de grano medio a grueso, friable, con planos de estratificación muy cerrados. Espesor 1 m.

- Arenisca amarillenta, algo ferruginosa, de grano medio a grueso, algo friable. Espesor 1,50 m.

- Arenisca amarillenta a gris muy clara, de grano medio, algo friable, cuarzosa, con algo de cemento ferruginoso. Espesor 1,30 m.

- Arenisca gris clara a amarillenta de grano medio a grueso, cuarzosa, con estratificación entrecruzada. Espesor 0,70 m.

- Arcillolita limosa de tonos gris claros a amarillentos. Espesor 0,10 m.

- Arenisca amarillenta de grano medio a grueso, ferruginosa, algo friable. Espesor 0,50 m.

- Arcillolitas y limolitas en capas muy delgadas, de tonos amarillentos. Espesor 0,30 m.

- Arenisca amarillenta, ferruginosa, de grano medio, cuarzosa, algo friable. Espesor 0,80 m.

Esta secuencia de unos 6,30 m de espesor limita la zona de interés por el sur y buza con unos 30° hacia el SW. (Foto 2).

- **Depósito Coluvionar (Qc)**

Lo forman una serie de bloques, cantos y guijos de arenisca, desprendidos de las escarpas orientales y en parte como escombros de la antigua explotación de la cantera (Véase Plano No. 2). En algunos sitios se observa una matriz esencialmente arenosa envolviendo los bloques, pero el depósito es suelto, inconsolidado y en consecuencia inestable. (Foto 3).

3.1.2 Tectónica

El área de estudio forma parte de una estructura anticlinal que se desarrolla desde el Barrio Santa Cecilia hacia el norte, conformando los Cerros Orientales de Bogotá en este sector. La estructura es asimétrica pero el flanco occidental, que es el que constituye la vertiente que da a la Sabana de Bogotá, se presenta normal con buzamientos entre 20 y 30° hacia el SW. En este flanco se encuentra la zona de interés excavada dentro de las areniscas, en una antigua cantera.

3.1.3 Sismicidad

En el estudio de "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá" (1997), en cuyo interior se sintetiza toda la información geológica, sismológica, geofísica, geotécnica y neotectónica del Distrito Capital, el área estudiada cae en la Zona 1 que se describe así:

- **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.

Para esta zona 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.

El estudio de Microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá da una serie de coeficientes espectrales para diseño como son: 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 la zona 1 los valores considerados 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

En el mapa de Zonas Geomorfológicas del convenio D.A.P.D. - INGEOMINAS, el área de interés cae dentro de la Zona XI definida como de topografía abrupta, con

pendientes entre 25 y 70°. Pero ha sido intervenida por acción antrópica dando origen a una escarpa vertical entallada sobre las areniscas y a una zona de depósito muy irregular formada por caída de bloques y por restos de una antigua explotación, siendo estas dos geoformas las que se distinguen.

Arriba de la escarpa existe actualmente una zona de pendiente fuerte que da paso a una amplia explanación en donde se construyó el barrio El Codito Alto el cual está limitado al oriente por una fuerte escarpa originada igualmente por una cantera que explotaba las mismas areniscas. Este barrio alto y su zona aledaña carece de alcantarillado y de control de aguas lluvias, las cuales son en parte recogidas por una zanja que va a drenar directamente sobre el escarpe que delimita el área de interés. Es tal vez uno de los problemas más graves por la desestabilización que dichas aguas pueden causar en el depósito de detritus descrito en el aparte de estratigrafía (Plano 2).

3.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.3.1 Exploración del Subsuelo

El área de estudio hace parte de una ladera estructural que sirve de recinto a una Cantera trabajada sobre un potente macizo rocoso, conformado principalmente por bancos de arenisca de hasta 4,50 m. de espesor, con algunas intercalaciones delgadas de arcillolitas. Así, entonces, 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.

En consecuencia, la investigación del subsuelo involucró la exploración directa mediante trincheras y levantamientos estructurales. Con relación al primer tópico se levanto una columna estratigráfica (Figura 3.1) que permitió globalizar el modelo geotécnico de la zona. Esta labor, aunque reducida en número se consideró suficiente, para la hectárea que encierra el área de estudio, debido a la poca complejidad del marco geológico, expresado en una secuencia homogénea y continua tanto estratigráfica como estructural. 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, de gran importancia en el estudio del comportamiento del macizo.

Este tipo de investigación reveló algunos de los rasgos característicos de las laderas del sector, entre otros, la inclinación casi constante de la estratificación y el comportamiento homogéneo del patrón estratigráfico. También, permitió definir con precisión los rasgos fundamentales de los estratos constatando su continuidad, espesor y fracturamiento. La Figura 3.2 muestra el contexto de la exploración del subsuelo, a la luz de la geología de superficie. Se aprecia la limpieza estructural de la zona de estudio.

3.3.2 Ensayos de Laboratorio

Para la caracterización del material rocoso se realizaron sobre muestras de bloque ensayos de peso unitario e índice de carga puntual (Tabla 3.1). Con el fin de estimar la resistencia al corte en los planos de discontinuidad, se ejecutaron ensayos de bloque deslizante a lo largo del plano de estratificación. 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.

Los valores del índice de carga, comprendidos entre 7 kg/cm^2 y 10 kg/cm^2, muestran una pequeña franja de variación del esfuerzo a compresión simple, entre 100 kg/cm^2 y 200 kg/cm^2 (Tabla 3.1), que destaca los bajos "patrones" de resistencia del material rocoso. Tal vez, como reflejo de su especial condición de friabilidad.

3.3.3 Características del Subsuelo

Con base en la investigación de campo, ensayos de laboratorio y en algunos principios básicos de la geología estructural se elaboró un modelo (aproximado) del subsuelo para la zona objeto de estudio, que destaca la secuencia estratigráfica y la disposición estructural del macizo. En la Figura 3.3 se presenta el modelo geotécnico de la ladera estructural y la caracterización geomecánica de la zona.

A continuación se hace una breve descripción de algunas características geomecánicas de los materiales que componen la zona de estudio, haciendo especial énfasis en el macizo rocoso y sus componentes, por ser éste el ambiente geotécnico en el que ha tenido lugar el desarrollo de parte del barrio El Codito, y el objeto de estudio.

3.3.3.1 Discontinuidades

Las discontinuidades de un macizo rocoso pueden ser descritas mediante la observación de afloramientos, núcleos provenientes de perforaciones y por métodos de fotogrametría terrestre. En este trabajo 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 efectuó únicamente en los frentes de explotación que constituyen el cuerpo central del área de estudio, en los cuales se obtuvieron 41 datos estructurales, con una cobertura de tres (3) estaciones. No obstante, este proceso se consideró insuficiente, puesto que no permitió obtener niveles estadísticos de confiabilidad adecuados. Por ende, el número de datos se consideró poco representativo para el objetivo del proyecto.

La disposición espacial de las estaciones de levantamiento estructural se puede apreciar en la figura 3.2, y 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 en diagramas de polos utilizando la red de proyección equiarial (Figura 3.4 y 3.5) y, en proyecciones hemisféricas y planas que representan las envolventes de las medidas de campo (Figuras 3.6 y 3.7).

El procesamiento de los datos estructurales se llevo a cabo gracias a la aplicación del método del círculo flotante para concentraciones entre 1% y 10% (Figura 3.5). El conteo evidencia una moderada dispersión y relativamente bajos niveles de concentración de polos; sin embargo, es posible delinear la tendencia general de las familias de discontinuidades y definir sus envolventes, así:

Estratificación (E1):	N28W – N49W 22SW – 34SW	Diaclasa (D2):	N28W – N52W 52NE – 80NE
Diaclasa (D3):	N64W – N76W 60NE – 82NE	Diaclasa (D4):	N18E – N36E 74N – 74S

y como familias promedio (Fig. 3.8):

Estratificación (E1) : N40E/28SW

Diaclasas Principales (D2): N40W/65NE
(D3): N70W/72NE
(D4): N26E/82SE
(D5): N26W/82NW

Las familias de diaclasas D2 y D3 se caracterizan por presentar baja persistencia (2 m a 4m), espaciamiento clasificado como espaciado (entre 0,60 m y 2,0 m), abertura desde cerrada hasta muy ancha (1 cm a 10 cm) y relleno principalmente arenoso o arcilloso. La familia D3, aunque posee abertura y espaciamiento similar a las anteriores, su persistencia está clasificada como media (3 m a 4m).

La rugosidad de las paredes de las discontinuidades en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo VII y VIII, es decir rugosa-planar y lisa-planar, 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, asociados a constituyentes minerales como el hierro.

3.3.3.2 Macizo Rocoso

La clasificación del macizo rocoso se hizo con base en la aplicación de los métodos de Bienawsky (1976) y Hoek (1995), teniendo en cuenta algunas características generales del material rocoso, de los planos de discontinuidad, y de la relación entre el estado del macizo y su grado de fracturamiento. Los principales resultados de esta tarea se mencionan a continuación:

El macizo rocoso que compone las laderas está constituido por una secuencia homogénea y monolítica de bancos de arenisca de grano medio a grueso, de color gris claro a amarillo, algo friables, cuarzosas, de estratificación gruesa, comportamiento frágil y resistencia moderada a baja. Presenta un Indice de Resistencia Geológico (GSI) equivalente al $RMR_{(76)}$ que oscila entre 61 - 66. 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 plana. Las orientaciones preferenciales de las discontinuidades se presentan en el numeral anterior y sus implicaciones en la estabilidad se tratan en el aparte 3.4. Aquí tan sólo se mencionan como una característica importante del macizo rocoso.

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 3,6 diaclasas/m^3 y 4,3 diaclasas/m^3, lo que representa un macizo conformado por bloques de tamaño mediano.

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. La determinación de valores confiables de resistencia es una parte

crítica del análisis de estabilidad debido a su alta sensibilidad frente a las características geométricas del talud, y depende no sólo de los datos disponibles sino de la cuidadosa interpretación del macizo, especialmente de los mecanismos de falla.

Los procesos de inestabilidad en los taludes del área de estudio, de acuerdo con las observaciones de campo, han ocurrido a lo largo de discontinuidades preexistentes, poco o nada involucrando la roca intacta, y menos aún describiendo modos de falla combinada. Así, la mayor atención se dio a la determinación de los parámetros de resistencia al corte en los planos de discontinuidad, especialmente el ángulo de fricción, considerando que ellos son constantes en la superficie potencial de falla y despreciando la contribución de las superficies laterales de desprendimiento.

Se asumió, entonces, como plano de movilización crítico la estratificación, puesto que la zona corresponde a una ladera estructural, a lo largo del cual se tomaron diferentes muestras para someterlas a ensayos de bloque deslizante. Éstos arrojaron para un total de 15 pruebas, un máximo de 40°, un mínimo de 30°, y una media aritmética de 38°.

Finalmente, la evaluación de la resistencia del macizo se basó en el criterio de rotura de Hoek y Brown (1980). Contempló la determinación de los parámetros de resistencia (c,ϕ) 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, como parámetros promedios se obtuvieron:

Familias de discontinuidades: cuatro (4)
Peso unitario = 2,1 - 2,2 Ton/m³
Indice de carga puntual = 7 kg/cm² a 9 kg/cm²
Esfuerzo a la compresión simple = 150 kg/cm² a 200 kg/cm²
Angulo de fricción básica = 40° – 30°
RQD = 75% a 90%
JRC = 4 - 6
Jv = 4,0 m³
Ib = 1,15
Apariencia: Tabular

Las Figuras 3.9 y 3.10. muestran las envolventes de falla para los dos tipos básicos de arenisca y algunos parámetros de resistencia para bajos niveles de esfuerzos.

3.3.3.3 Suelos

Corresponden a depósitos de ladera reciente, distribuidos en el cuerpo central de la zona de estudio, están conformados por bloques de arenisca en matriz arenosa. Debido a la constitución de los suelos en la zona, su caracterización geotécnica fue limitada y se concentró en la ubicación espacial y en la determinación de características geométricas como la profundidad.

El depósito principal es potencialmente inestable y puede originar desplomes de bloques por acción de las aguas lluvias y de las aguas que caen procedentes del barrio superior.

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 las componentes del 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, y de la teoría del bloque crítico.

Para el análisis cinemático, se consideró como ángulo de fricción de los planos de discontinuidad, la fricción básica del plano de estratificación (Ø ~ 38°, conservativamente Ø ~ 35°).

3.4.1 Análisis Cinemático

En este análisis se evaluaron los modos probables de falla para los dos frentes mineros que limitan el sector de estudio. De esta forma, se consideraron el talud principal orientado N35W/85SW, y el talud del límite sur N35E/85SE.

Bajo las condiciones mencionadas para los cortes, los cuales representan las superficies libres de movilización, y de acuerdo al patrón estructural reseñado en el numeral 3.3.3.1 (familias promedio), el análisis cinemático permite concluir que no existe configuración de falla planar o en cuña para ninguno de los cortes. Esencialmente, porque tanto el buzamiento del plano de estratificación (N40W/28SW), como los de las líneas de intersección entre las discontinuidades (294/13, 320/0), son menores al ángulo de fricción básica.

Esto explica la aceptable condición de estabilidad presentada por el corte principal, a pesar de su alta pendiente (85° - 90°) y de su desfavorable orientación con relación a la estratificación.

De singular importancia como elemento reductor en la formación de los planos y cuñas potenciales de falla, fue la conveniente selección del rumbo de los cortes existentes. Exceptuando el relativo paralelismo del talud principal con la estratificación y del corte sur con la cuña 294/13, las discontinuidades y cuñas restantes están fuera del patrón cinemáticamente crítico.

El corte con orientación NE/NW presenta posibilidad cinemática de falla por volteo a lo largo del plano N26E/82SE. Este modo de falla es potencialmente crítico a la luz del espaciamiento (0.60m a 2.0m.) y persistencia (3m. a 10m.) que presenta este tren de diaclasas.

De igual manera, para el talud con rumbo al NW existe configuración de falla por volteo a lo largo de los planos orientados N40W/65NE y N70W/72NE. No obstante, de acuerdo con los bajos valores de persistencia reportados, el volcamiento podría considerarse “improbable”. Por tal razón, se recomienda intensificar el levantamiento estructural, enfatizando en la definición de características como orientación y persistencia para esta familia de diaclasas, con el ánimo de corroborar las conclusiones anteriores.

Los resultados mencionados pueden entenderse como una confirmación de las condiciones de estabilidad, y del 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 el talud oriental del barrio. El tamaño del bloque como se aprecia en campo y lo confirma el índice de bloque varía desde mediano hasta grande.

Las Figuras 3.11 y 3.12 muestran la representación ciclográfica del análisis cinemático para los taludes mineros, y las Tablas No. 3.2 a 3.5 lo presentan en términos de proposición lógica.

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 $\underline{n}$ discontinuidades y $\underline{m}$ superficies libres producto de excavaciones, existen teóricamente $2^{(\underline{n+m})}$ 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 3.13 y 3.15 muestran las proyecciones estereográficas de los planos de discontinuidad, las laderas de análisis y el círculo primitivo. Las proyecciones se hicieron usando el punto inferior de la esfera como centro de proyección. Los cuatro círculos mayores y sus intersecciones dan lugar a trece (13) 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 la cara de los taludes, y la Pirámide de Espacio (SP) es el complemento de la EP, o sea el espacio interior al círculo principal de la cara del talud. Al mirar las figuras se descubre que las únicas JPs que no se intersectan con la EPs de los cortes (N35W/80SW y N35E/80NW), o que caen completamente dentro de las SPs de los mismos son los triángulos esféricos JP0101, JP0111 y JP0011 para el talud principal (N35W/80SW) y los JP0101, JP0001 y JP0011 para el talud sur (N35E/80NW), por tanto esas pirámides representan los bloques claves o movilizables para los dos cortes.

El estudio de los modos permisibles de deslizamiento (Análisis Modal) para las JPs con relación a las superficies libres (cortes) se puede apreciar en las Figuras 3.14 y 3.16. Del análisis modal se observan las siguientes formas de movimiento para los bloques críticos:

- JP0101 a lo largo de la intersección de los planos 1 (E1: 230/28) y 3(20/72).
- JP0111 planar por 1, es decir, a lo largo de la estratificación.
- JP0001 por la intersección de los planos 1 (E1: 230/28) y 2 (50/65).

Aunque la JP0011 aparece como bloque clave para los dos cortes mineros, es completamente estable, dado que su modo de deslizamiento es “cero”, lo que significa que no presenta ningún tipo de modo de deslizamiento. Adicionalmente, como el polígono esférico posee un área tan pequeña, su forma seguramente será alargada, difícil de moverse dado que puede “asirse” de cualquier rugosidad.

Así mismo, cabe destacar que como las JP0001 y JP0101 para el talud del corte sur, y la JP0101 en el corte principal, evidencian esquinas muy próximas a las superficies libres, lo que significa que las líneas de intersección que forman los bordes de los bloques son casi paralelas a las superficies libres, puede esperarse que los bloques tengan forma aplanada y requieran fuerzas de soporte moderadas a bajas.

En general, los modos de deslizamiento de los bloques claves muestran serias restricciones cinemáticas, puesto que el ángulo de buzamiento del plano y de las líneas de intersección son menores al ángulo de fricción básica. Esta restricción es

más severa para el caso de las cuñas I_{12} e I_{13}, por lo tanto se considera poco "probable" su movilización.

Los dos frentes de explotación presentan bloques críticos. Sin embargo, los análisis sugieren mejor estabilidad relativa para el talud sur, sin considerar presiones hidrostáticas y fuerzas sísmicas. De esta manera, la falla por las discontinuidades tiene lugar por la pérdida de resistencia en las paredes, gracias a la acción continuada en el tiempo del agua de infiltración, el desarrollo de presiones hidrostáticas, relajación de esfuerzos y pérdida de soporte.

3.5 RECOMENDACIONES

Con base en lo anteriormente expuesto, se recomienda perfilar el talud principal, 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 la cara del talud.

El manejo del agua de escorrentía involucra la disposición de zanjas de coronación en concreto alrededor de la corona del talud, con entregas controladas; y la eliminación y manejo de los vertimientos en el corte principal.

En lo referente al depósito de pie de ladera, se recomienda hacer una reconformación geométrica del cuerpo, dando énfasis al retiro de los bloques que descansan en la superficie del mismo y que pueden movilizarse.

3.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

3.6.1 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.

3.6.1.1 Área de Estudio

El Barrio El Codito, objeto del presente estudio, se encuentra ubicado en el sector Nor-oriental de Santa Fe de Bogotá, D.C., entre las cotas 2.600 y 2.900 m.s.n.m. aproximadamente y al oriente de la carretera central del norte.

Para el análisis pluviométrico mensual y anual se consideró como área de estudio una microcuenca que se extiende en 101 Ha. Su localización y delimitación se puede ver en la Figura 1.1.

3.6.2 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. 3.6.

TABLA No. 3.6

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-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. 3.7 estas estaciones tienen períodos de registros de lluvia mayores de 20 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 20 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 isoyetas corresponden a condiciones de precipitación normales en toda el área de estudio.

TABLA No. 3.7

PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

ENTIDAD	CÓDIGO	ESTACIÓN	AÑOS
EAAB	P-03	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**

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

$$P1 = A * P2 + B.$$

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. 3.8 se presentan las estaciones dependientes e independientes que fueron sometidas al análisis de regresión y, las ecuaciones y coeficientes de correlación obtenidos.

TABLA No. 3.8

ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA COMPLEMENTACIÓN DE LAS SERIES MENSUALES

PI = A * P2 + B

PI	P2	A	B	P2	Ver 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 3.17 a 3.20) 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 937 mm./año (Tabla No. 3.9), con una media aritmética asociada al barrio de 937 mm./año (Tabla No. 3.10).

TABLA No. 3.9

VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES

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

TABLA No. 3.10

VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL

MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm/mes)
Enero	56
Febrero	75
Marzo	102
Abril	118
Mayo	103

Junio	38
Julio	35
Agosto	36
Septiembre	54
Octubre	122
Noviembre	116
Diciembre	75
TOTAL ANUAL	931

El comportamiento de las series 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. 3.21).

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 Contador en el período húmedo de octubre a noviembre de 1987. 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.

3.6.3 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. 3.11 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. 3.12 y la Figura No. 3.22 se consignan los niveles de intensidad máxima en las mismas condiciones.

TABLA No. 3.11

PARÁMETROS DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS

Tr (años)	C_1	D_o	C_2
3	4909.30	35.80	-1.08
5	5542.00	35.50	-1.08
10	6706.00	36.30	-1.09
25	7983.10	36.40	-1.09

TABLA No. 3.12

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	89,43	78,94	70,58	63,78	53,37	35,57	21,04
5	101,77	89,75	80,19	72,42	60,55	40,30	23,80
10	116,17	102,56	91,71	82,87	69,34	46,16	27,23
25	137,92	121,81	108,95	98,46	82,42	54,89	32,39

3.6.4 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 el cálculo del caudal de transporte en forma similar.

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 la Microcuenca**

De acuerdo con la cartografía obtenida del IGAC, planchas escalas 1:2.000 y 1:10.000, y de las fotografías aéreas, correspondientes al vuelo R1181 en escala aproximada 1: 5.000, se delimitó la microcuenca, y se estimaron sus principales características, así:

Área de Microcuenca:	101 Ha
Longitud del Cauce Principal:	1,3 Km
Pendiente Promedio del Cauce:	18%
Cota Superior:	2.600
Cota Inferior:	2.900

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.

Igualmente en las 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. 3.13 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 relacionado:

1. **Bosques:** Corresponde al 30% de la microcuenca, y encierran un área total de 30,30 Ha. Crecen en pendientes que van desde el 10% al 20%. Representan un coeficiente de escorrentía de 0.21.

2. **Potreros:** Cubren un área de 20,20 Ha, que asciende al 20% de la microcueca, y se localizan en general dentro de las zonas urbanas con pendientes fuertes. Se tomó un valor de C igual a 0.20.

3. **Zonas Urbanas:** Ocupa la mayor parte de la microcuenca con un área total de 40,40 Ha, equivalente al 40% del área total. Se toman pendientes ponderadas del 20% y un valor de C de 0.90.

4. **Vías:** Se clasifican en vías pavimentadas, sin pavimentar y en adoquín. Entre ellas suman un total de 10,10 Ha, que corresponde al 10% del área total, siendo este un cubrimiento considerable respecto de los otros usos. Para las vías se tomó un coeficiente C de 0.94.

- **Coeficiente de Escorrentía**

El coeficiente de escorrentía está dado 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 con la diversidad en la cobertura actual de la zona de estudio, se hizo necesario ponderar dicho coeficiente, tal como se muestra en la Tabla No. 3.13.

TABLA No. 3.13

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TIPO DE COBERTURA	PENDIENTE PROMEDIO (%)	ÁREA (a) (Ha)	COEFICIENTE "C"	A * C
1. Bosques	18 %	30,30	0.21	6,36
2. Potreros	18 %	20,20	0.20	4,04
3. Zonas Urbanas	18 %	40,40	0.90	36,36
4. Vías	18 %	10,10	0.94	9,49
TOTAL		**101,00**		**56,25**

Para efectuar dicha ponderación se utilizó la siguiente ecuación:

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

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 ecuación los datos consignados en la Tabla No. 3.13, se tiene:

$$C = \frac{56.25}{101} = 0.56$$

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. 3.21).

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 1000 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

(2900 -2.600) = 300 m.

Luego el tiempo de concentración obtenido es :

Tc = 0,14 Horas = 8,57 minutos ≈ 9 minutos

Se asumen 10 minutos

A continuación se muestran en la Tabla No. 3.14, los cálculos de intensidad, I (mm/hora) para períodos de retorno de 3, 5, 10 y 25 años.

TABLA No. 3.14

VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 5 MINUTOS

Tr (años)	I (mm/Hora)
3	78,94
5	89,75
10	102,56
25	121,81

Finalmente, para cada uno de los períodos de retorno se determinó el caudal máximo de la microcuenca como se relaciona en la Tabla No. 3.15. Al observar el cuadro se revela que el caudal máximo que corre por el cauce principal de la microcuenca presenta valores elevados.

TABLA No. 3.15

CAUDALES MÁXIMOS

TR (años)	I		C	Área	Q
	mm/hora	L/seg Ha		(Ha)	(L/seg)
3	78,94	218,16	0.56	101	22034,16
5	89,75	248,61	0.56	101	25109,61
10	102,56	284,09	0.56	101	28693,09
25	121,81	337,41	0.56	101	34078,41

4. DIAGNÓSTICO

La zona de estudio corresponde a una antigua cantera, de poca extensión, englobada e inerme en las calles de un barrio en proceso de consolidación, con deficiente cobertura de servicios (especialmente en la franja oriental). Está dibujada por un escarpe perimetral con taludes cuasiverticales, y una zona baja, establecida

sobre la pendiente estructural, recinto de un depósito de material estéril sobre el que se erige un foco de desarrollo urbano subnormal.

El índice de ocupación, en la actualidad, se considera de "saturación", por lo que todo intento de construcción debe ser frenado. Sobre el extremo oriental las viviendas cuentan con una red de alcantarillado que entrega al sistema construido sobre la carrera.

Las características básicas y el comportamiento general del área descrita son tratados aquí manteniendo en perspectiva, ante todo, el concepto geotécnico. Para ello se ha dividido el marco de estudio en tres sectores, a partir de los cuales se realiza la correspondiente caracterización con relación al riesgo de cada zona. En la Figura 4.1 se presenta la referida sectorización. La zona 1, encierra la media luna colonizada al norte y oriente del frente de explotación. Está cimentada al igual que la mayor parte del barrio, excepto por la parte superior (oriental), en un potente banco de arenisca, y su ocupación es ligeramente errática, con algunos vacíos en el costado oriental.

Las condiciones de estabilidad para esta zona son aceptables, por lo que se considera este sector de bajo riesgo. No existen posibilidades cinemáticas de que se presente algún modo de falla en el macizo, especialmente planar dado que se trata de una ladera estructural (véase la Figura 3.11). La vegetación existente actúa como elemento protector y controlador del poder erosivo del agua. Razón por la que no se debe permitir la expansión de la frontera urbanizable, es decir la construcción de viviendas adicionales a las existentes.

La Zona No. 2 que comprende el cuerpo del corte principal, muestra un grado de estabilidad aceptable, con presencia de bloques críticos (JP0101 y JP0111) cuyos modos de deslizamiento (E_1 y I_{13}) muestran serias restricciones cinemáticas (véase numeral 3.4). Pero donde no se descartan eventuales caídas de material rocoso (bloques críticos) por efectos de descompresión del macizo o por la acción continuada del agua de infiltración a lo largo de los planos de diaclasamiento, en atención a esta condición de amenaza se caracteriza como de riesgo medio.

Finalmente, la Zona No. 3 corresponde al sector de desarrollo urbano de carácter subnormal. Está emplazada, principalmente, sobre depósitos coluviales y de detritus. En el sitio próximo al escarpe, que hace parte de la zona de mayor espesor de coluvión, se ha elaborado un proceso de siembra de vegetación con resultados positivos, en cuanto se observa cierta protección contra la erosión. El principal proceso denudativo es el relacionado con la caída y arrastre del material rocoso, (desplome) dispuesto en la superficie del depósito el cual puede llegar a comprometer la estabilidad de las viviendas aledañas, en consecuencia se le asigna un tipo de riesgo medio.

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Una primera alternativa de solución, posiblemente la más económica pero la de mayor complejidad social, consiste en la erradicación completa de los núcleos de invasión subnormales en la zona baja, y su consecuente desarrolló como área de reserva y protección, por medio de la siembra de un bosque.

Una segunda alternativa, que cobija y beneficia las 24 viviendas de mayor incidencia en el área de estudio, contempla el manejo (independiente pero complementario) de cada Zona geotécnica de la siguiente manera:

- Para la Zona No. 1 frenar la construcción de más viviendas. En su defecto, ampliar la cobertura y protección arbustiva en el sector, sin permitir la disposición de basuras o de escombros de construcción.

- En el área correspondiente a la Zona No. 2, a falta de espacio para la conformación de una zona de amortiguamiento para la caída de bloques, se deberá proteger el corte con una malla gavionada debidamente pernada y/o anclada. Trabajo que será complementado con la disposición de un sistema de intercepción, manejo y entrega del agua de escorrentía en la corona del talud.

- En la Zona No. 3 se recomienda remover el material rocoso suelto, reconformar el cuerpo del depósito, instalar un canal de drenaje en piedra pegada y, continuar con las actividades de reforestación. La zona de mayor pendiente y contigua al escarpe, también se podría proteger con una malla gavionada debidamente pernada.

6. ALTERNATIVA RECOMENDADA

Como los efectos obtenidos por los habitantes del sector con las actividades de reforestación son claramente efectivos en la protección y mejoramiento, tanto de las condiciones de estabilidad como de la calidad visual del paisaje (que de paso representa el arraigo por su centro de habitación, en contra de la adversidad). Y como las condiciones actuales de estabilidad del macizo rocoso son aceptables, lo que consecuentemente se traduce en que la amenaza por fenómenos de remoción en masa se puede manejar mediante la aplicación de obras de estabilidad sencillas, con bajos costos en su ejecución, de las cuales se tiene buena experiencia en el país. Por lo tanto, se deduce como la perspectiva a seguir la Alternativa No. 2. Esta permite un tratamiento completo del sitio, y evita el costo social que implicaría la reubicación de los habitantes actuales. El Plano No. 4 muestra los esquemas típicos de la alternativa propuesta.

7. RECOMENDACIONES URBANÍSTICAS

Al observar las zonas de influencia al proyecto, especialmente sobre los costados oriental y sur, se determina que estos sitios también corresponden a antiguas canteras en donde la morfología predominante es de escarpes rocosos y taludes muy irregulares que generan espacios que ameritan un manejo especial para la generación de futuros desarrollos urbanos. Estos últimos deberán estar orientados por normas de urbanismo, especialmente en lo relacionado con aspectos como vías y accesos de comunicación con las principales troncales, espacios mínimos para construcción, visibilidad y espacios recreativos-ambientales.

8. RECOMENDACIONES SOBRE USOS DEL SUELO

El diagnóstico presentado y las diferentes propuestas de manejo relacionados para cada Zona, permiten plantear algunas recomendaciones para el uso futuro del suelo.

En las Zonas No. 1 y No. 3 se recomienda detener y prohibir la construcción de más viviendas a las existentes, y aplicar sistemas de reforestación con participación de la comunidad. La Zona No. 2 se puede considerar como un sector de protección y manejo especial.

Las Zonas de influencia alejadas, sectores oriental y sur, deberán tener un uso múltiple enmarcadas dentro de aspectos urbanos, institucionales, de recreación y de reserva ambiental, justificados bajo el manejo de un plan de desarrollo sostenible.

9. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADOS

En las Tablas No. 9.1 a 9.3 se relacionan las cantidades de obra, y el presupuesto aproximado, teniendo en cuenta que su elaboración se presenta a nivel de diseño conceptual, contemplado en éste informe.

10. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

En la Tabla No. 10.1 se relaciona el cronograma de ejecución de obras, diseñado acorde con cada zona del área de estudio. El desarrollo de las actividades constructivas en cada una de ellas se presenta en paralelo, por cuanto cada sector se puede trabajar independientemente. En la Tabla No. 10.2 se indica la prioridad de ejecución, donde se destaca la Zona No. 2 como la de primera instancia y la Zona No. 1 como de última atención.

TABLA No. 10.2

SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

ZONA No.	PRIORIDAD DE EJECUCIÓN
1	ULTIMA
2	PRIMERA
3	SEGUNDA

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona de estudio, con un área aproximada de 2 has, corresponde a una antigua cantera, la cual se establece en una amplia exposición de la Formación Labor y Tierna y sobre la que se identifica tanto el escarpe principal como la zona baja de depósito de escombros del material rocoso explotado. El escarpe corresponde a un afloramiento rocoso de arenisca de grano fino a medio y algo friable, poco fracturada, cuyos estratos presentan una orientación en el sentido de la pendiente topográfica de la ladera principal. En la zona baja se identifican depósitos tipo coluvión (detritus y talus), que modelan un relieve quebrado a abrupto; sobre este sitio se han adelantado actividades de reforestación, con buenos resultados. En la parte más baja, se han adecuado espacios para desarrollo urbano, inicialmente de carácter subnormal, los cuales han llegado a ocupar toda la zona, en la actualidad existen 17 las viviendas. La cresta del talud, es una zona que colinda con la carrera 2 Este y el uso actual del suelo es urbano.

- En general sobre la zona se observa un aceptable grado de estabilidad así como también se detecta la importante intervención antrópica, en cuanto que prácticamente el sector presenta una saturación habitacional, por lo que es recomendable y aún exigible, no permitir ningún tipo de construcciones nuevas.

- Geomorfológicamente es clara la presencia de escarpes rocosos, en donde se observan huellas por caída de material rocoso, también se identifican procesos de escurrimiento y arrastre de suelos. Sobre la zona de cresta del talud se observan cárcavas formadas por acción de la escorrentía, cuya entrega se realiza sobre el cuerpo del talud rocoso.

- Los análisis de estabilidad, para el escarpe rocoso y para las condiciones actuales muestran un aceptable factor de seguridad. No existen posibilidades cinemáticas de que se presente algún modo de falla en el macizo, especialmente falla de tipo planar (véase la Figura N° 3.11). La vegetación existente y las acciones de reforestación que se están realizando actúan como elemento protector y controlador del poder erosivo del agua.

  En atención a lo expuesto y bajo los aspectos existentes y descritos, se considera que no existen condiciones de alto riesgo, y por tanto no se ve la necesidad ni de evacuación ni de reubicación de viviendas. Es claro que existe un riesgo potencial y es el determinado en sí por las características físicas del sector, en cuanto a que su origen y desarrollo urbano fue de carácter subnormal en donde las acciones constructivas fueron realizadas con bajas especificaciones técnicas tanto en el manejo y distribución del espacio como en el uso mismo de los materiales. En función de mejorar las condiciones de estabilidad, se definieron obras de ingeniería para cada uno de los sectores en que se dividió la zona (ver Figura 3.1).

- En general se considera que la prioridad de ejecución de obras esta en la ejecución de sistemas de drenaje y construcción de estructuras de contención, cuyos detalles y ubicación se indican en los respectivos planos de diseño.

- 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 Menor 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 cuales 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 que 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).

- Las soluciones planteadas a nivel conceptual, están determinadas para cada zona, cuya distribución se indica en la Figura N° 3.1 y los esquemas de solución se relacionan en los respectivos planos. Para la zona N°1 se propone la conformación de obras de drenaje superficial por medio de cunetas revestidas y efectuar acciones de reforestación, el costo de las obras para esta zona es del orden de $23 millones. Para la zona N° 2, correspondiente al cuerpo del macizo rocoso, se recomienda la instalación de una malla gavionada debidamente pernada; los sitios de mayor fracturamiento, además de llevar la malla, se recomienda aplicar una protección con concreto lanzado, los costos de estas obras son del orden de $ 158 millones. Para la zona N° 3, correspondiente a la parte baja y habitada, se recomienda la construcción de un canal escalonado, así como la protección de los sitios con mayor cantidad de material suelto, mediante malla gavionada; los costos de las obras para esta zona son del orden de $47 millones.

- Se recomienda una mayor participación a nivel de las respectivas entidades de la ciudad (Upes, EAAB, EEEB, ETB, IDU, DAMA, CAR) 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.

ANEXO No. 1

MEMORIAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y CARTERAS DE LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL

ANEXO No. 2

HIDROLOGÍA

ANEXO No. 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO