

**ESTUDIOS Y DISEÑOS ESTABILIDAD TALUDES Y CONTROL DE EROSIÓN Y
MANEJO DE AGUAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE DIFERENTES SITIOS EN
LA CIUDAD DE SANTA FE DE BOGOTÁ. GRUPO 3**

SECTOR 3.2 - LA AGUADITA

INDICE

	Pag.
REGISTRO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO GENERAL	3
2.1 ACTIVIDADES REALIZADAS	3
2.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS	4
2.3 PLANES DE LA UPES	4
3. ESTUDIOS BÁSICOS	5
3.1 GEOLOGÍA	5
3.1.1 Estratigrafía	5
3.1.2 Tectónica	8
3.2 GEOMORFOLOGÍA	10
3.2.1 Geoformas de Origen Estructural–Denudacional	10
3.2.2 Geoformas de Origen Denudacional	10
3.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS	11
3.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS	12
3.4.1 Levantamientos Topográficos	12
3.4.2 Investigación del Subsuelo	12
3.4.3 El Deslizamiento de La Aguadita Geomorfología y Composición	12
3.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	15
3.5.1 Análisis Paramétrico	16
3.5.2 Análisis Retrospectivo	18
3.5.3 Evaluación de Estabilidad	18
3.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS	19
3.6.1 Generalidades	19
3.6.2 Precipitación Media	20
3.6.3 Precipitación Máxima	22
3.6.4 Caudales Máximos	23
4. DIAGNÓSTICO	28

5.	MEDIDAS CORRECTIVAS	30
6.	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	31
7.	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO	32
8.	CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES	33
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34

ANEXOS

ANEXO No. 1	REGISTRO DE SONDEOS
ANEXO No. 2	MEMORIAS ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO No. 3	TOPOGRAFÍA
ANEXO No. 4	REGISTRO FOTOGRÁFICO

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No. 1.1	LOCALIZACION GENERAL
FIGURA No. 3.1	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA
FIGURA No. 3.2	SECCION ESTRATIGRÁFICA A – A'
FIGURA No. 3.3	SECCION ESTRATIGRÁFICA B – B'
FIGURA No. 3.4	REGISTRO DE SONDEO No. 1
FIGURA No. 3.5	REGISTRO DE SONDEO No. 2
FIGURA No. 3.6	SUPERFICIES DE DESLIZAMIENTO ANALIZADAS
FIGURA No. 3.7	ANÁLISIS PARAMÉTRICO LA AGUADITA - SUBA SECCIÓN A-A'
FIGURA No. 3.8	ANÁLISIS PARAMÉTRICO – SUPERFICIE 4 (MÉTODO DEL BLOQUE)
FIGURA No. 3.9	ANÁLISIS PARAMETRICO DE FALLA COMO TALUD INFINITO
FIGURA No. 3.10	ANÁLISIS PARAMETRICO DE FALLA COMO TALUD INFINITO
FIGURA No. 3.11	SOLUCIONES MÚLTIPLES DE $c - \phi$ PARA EL TALUD FALLADO - LA AGUADITA
FIGURA No. 3.12	SOLUCIONES MÚLTIPLES DE $c - \phi$ PARA EL TALUD FALLADO - LA AGUADITA - SUBA
FIGURA No. 3.13	VARIACIÓN DEL FACTOR SEGURIDAD CON LA PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
FIGURA No. 3.14	DISTRIBUCIÓN DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN P-01. CERROS DE SUBA
FIGURA No. 3.15	ISOYETAS MEDIAS MENSUALES MULTIANUALES
FIGURA No. 3.16	CURVAS DE INTENSIDAD - FRECUENCIA - DURACIÓN

FIGURA No. 4.1 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

FIGURA No. 4.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS AFECTADAS

LISTA DE TABLAS

TABLA No. 3.1	RESUMEN RESULTADOS DE LABORATORIO
TABLA No. 3.2	DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO
TABLA No. 3.3	PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO
TABLA No. 3.4	VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES
TABLA No. 3.5	VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL
TABLA No. 3.6	PARÁMETROS DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS
TABLA No. 3.7	VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO
TABLA No. 3.8	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
TABLA No. 3.9	VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 5 MINUTOS
TABLA No. 3.10	CAUDALES MÁXIMOS
TABLA No. 4.1	INVENTARIO DE VIVIENDAS AFECTADAS

LISTA DE PLANOS

PLANO No. 1	MAPA BASE
PLANO No. 2	MAPA GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO
PLANO No. 3	MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA
PLANO No. 4	MAPA DE PENDIENTES
PLANO No. 5	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. 4	Biblioteca Hidrotec (Original)	1

• ÍNDICE DE MODIFICACIONES

ÍNDICE REVISIÓN	CAPÍTULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0			Versión Inicial
1		18/08/98	Observaciones de la Interventoría
2			
3			

• ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TÍTULO DOCUMENTO: INFORME FINAL SECTOR 3.2 LA AGUADITA						
DOCUMENTO No. : 51-IF-03-01						
A P R O B A C I Ó N	NUMERO DE REVISIÓN		0	1	2	
	RESPONSABLE ELABORACIÓN (JEFE DE GRUPO)		NOMBRE:	A. GUTIÉRREZ	A. GUTIÉRREZ	
			FIRMA:			
			FECHA:	98/04	98/08/18	
	CONTROL CALIDAD (ASEGURAMIENTO CALIDAD)		NOMBRE:	C. MORALES	C. MORALES	
			FIRMA:			
			FECHA:	98/04	98/08/18	
	Vo. Bo. DIRECTOR PROYECTO		NOMBRE:	G.TORRES	G.TORRES	
			FIRMA:			
			FECHA:	98/04	98/08/18	

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 LTDA, 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 Informe Final correspondiente al sector 3.2 La Aguadita, el cual pertenece a la Localidad de Suba. En el Plano No. 1 se muestra la localización general del sitio de estudio.

El objetivo general de este proyecto es servir de instrumento en la planificación integral del sector, 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 y la observación de las expresiones morfológicas de una posible traza de falla que condiciona el comportamiento geotécnico del deslizamiento.

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: el planteamiento de las hipótesis sobre el mecanismo de falla de la ladera, la formulación del modelo geotécnico, el análisis de los modos probables de falla y la estimación de los parámetros movilizados y el empleo del retroanálisis con el fin de definir las posibles causas del movimiento.

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.

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 y superficie de movilización, superficie de rotura y superficie de falla como equivalentes. Sin embargo, esta última acepción distancia mucho de corresponder a la expresión propia de la geología estructural, que involucra el movimiento que afectan las rocas como resultado de fuerzas tectónicas (Billings, 1963).

2. MARCO GENERAL

2.1 ACTIVIDADES REALIZADAS

En éste 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 determinaron la activación del movimiento e influyen en el comportamiento y estabilidad actual de la ladera. 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 del movimiento. En este sentido, es explicable que la evaluación de información se haya centrado en el análisis del "Informe Geológico de Estabilidad del Proyecto Urbanístico Montecello, Calle 128 Av. 62", Cerros de Suba, realizado por Luis Fernando Orozco y Cía Ltda, Julio/96.

Como parte de la investigación geológica y geotécnica se desarrollaron actividades de fotointerpretación sobre pares estereoscópicos de los años de 1955, 1973 y de 1990; correspondientes a los vuelos C - 742 fotos números 941 a 943, R - 667 fotos números 032 y 033 y R- 1131 fotos números 559 a 562, respectivamente. Así mismo, del Mapa Digital de Santa Fe de Bogotá, se obtuvieron las planchas E - 70D y E - 60D 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 tanto de material rocoso como de suelo residual, a partir de los cuales se evaluaron aspectos estratigráficos y elementos estructurales, como por ejemplo, orientación de los sistemas de discontinuidades. Así mismo, se definió el programa de exploración del subsuelo, que contempló la ejecución de sondeos mecánicos, apiques y trincheras, y la realización de 2 sondeos eléctricos (SEV). En el numeral 3.4.2 se trata con algún detalle estos tópicos.

2.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS

La evaluación sobre la infraestructura de servicios de acueducto, de alcantarillado sanitario y pluvial, se determinó con base en el reconocimiento de campo, así como de la información obtenida de los habitantes del sector. La información lograda indica que el sector de la Aguadita posee una adecuada cobertura de servicios de acueducto y alcantarillado sanitario; particularmente sobre la zona de estudio existen servicios de acueducto y alcantarillado sanitario, pero no existe alcantarillado pluvial. Con relación a la infraestructura vial, el acceso principal al sector de estudio, que corresponde a la diagonal 124 y 122, se encuentran a nivel de afirmado; existen accesos secundarios que serían la calle 123A y carrera 84, las que también se encuentran a nivel de afirmado.

2.3 PLANES DE LA UPES

Sobre el sector de interés se ha presentado intervención de la Upes, en cuanto ha que participado en la reubicación de 2 familias, cuyos predios fueron demolidos en atención al alto riesgo que presentaban, similarmente han encontrado otras dos viviendas, las cuales son identificadas con los números 3 y 4 en la Figura No. 4.2 y relacionadas en la Tabla 4.1, las cuales presentan un deficiente estado tanto estructural como a nivel de cimentación. En atención a lo descrito, los planes de la Upes han consistido en la reubicación de las familias cuyos predios fueron demolidos. Los planes de la Upes para las demás familias cuyas viviendas tienen problemas, están condicionados a los resultados y soluciones que se plantean en el desarrollo del presente estudio.

3. ESTUDIOS BÁSICOS

3.1 GEOLOGÍA

El barrio La Aguadita está situado en los denominados Cerros de Suba, que geológicamente corresponden a una elevación de tipo anticlinal que permite que estos se eleven por encima del nivel de la Sabana (terrazas fluvio - lacustres) que los rodea en su totalidad (Plano No. 2). El barrio se encuentra sobre la vertiente occidental de los cerros y está muy próximo a su cima.

Litológicamente en la zona de estudio se identifica una zona de depósito tipo coluvión arcilloso que sobreyace una secuencia de niveles arcillolíticos con presencia de lentes carbonosos y estratos de arenisca de la formación Guaduas. Sobre el lote de la urbanización Montecello se determina la presencia de un importante relleno en material de recebo, el cual cubre un área de aproximadamente 1.000 m².

Estratigráficamente los Cerros están constituidos por la Formación Guaduas de edad Cretácico-Terciaria compuesta por arcillolitas principalmente, con algunos niveles de arenisca de importancia y con presencia de mantos y capas de carbón.

3.1.1 Estratigrafía

En el área solamente aflora la formación Guaduas (Ktg) y algunos depósitos Cuaternarios (Q). La estratigrafía se describe así:

La Formación, en contexto general, está constituida por arcillolitas y limolitas grises hacia la base, y arcillolitas rojizas hacia el techo. En toda la formación se encuentran capas y mantos de carbón, constituyéndose en la unidad productora de este mineral en los yacimientos más importantes de la cuenca Cundiboyasense.

La edad de la formación es Maestrichtiense, pero la parte superior es ya Paleoceno. La formación es de tipo continental y marca el tránsito entre la sedimentación marina del Cretácico y la continental del Terciario.

En el área, de muy reducida extensión, sólo afloran algunos sedimentos, principalmente arcillolitas, que se han indicado en el mapa geológico como Formación Guaduas, Nivel Inferior, y un nivel de areniscas en la cima del cerro, identificado como Formación Guaduas, Nivel Superior.

En el control de campo se visitaron todos los afloramientos del área de interés, los cuales se describen a continuación: (Véase Plano No. 2).

- **Afloramiento 1**

Se presenta sobre la vía que conduce al barrio, en la parte superior de las casas que se han demolido. Está cubierto por un suelo negro de 0,60 m de espesor y se observa inmediatamente al norte un coluvión con cantos de arenisca dentro de una matriz limo - arenosa de color gris - amarillenta.

Está compuesto por arcillolitas grises, fisibles, muy alteradas con colores amarillentos, con fina laminación; con delgadas capas de limolitas; cintas interestratificadas y cortando la estratificación, de limonita. Un dato estructural del afloramiento dio: N - S/ 5° E. No obstante, se considera que este puede ser producto del basculamiento del bloque fallado.

- **Afloramiento 2**

Se encuentra dentro de la urbanización Monticelli y presenta arcillolitas gris - amarillentas, muy alteradas, casi horizontales. Tiene un espesor de unos 2,50 m y está al norte de la gran excavación, en el lote de la urbanización mencionada.

- **Afloramiento 3**

Enmarcado por una Arenisca gris muy clara, de grano medio a grueso, cuarzosa, con matriz arcillosa. Se observa en la parte más norte del lote sin construir de la urbanización Monticelli, hacia la cima del cerro, en posición horizontal, pero inmediatamente al oeste aparece con inclinaciones en este sentido, de tal forma que tienden a formar una pequeña estructura.

Hacia el norte y por fuera del área las areniscas forman la parte alta de los Cerros de Suba y aparecen afloramientos muy importantes al este del parque principal de esta población, en donde fueron explotadas. A todo lo largo del cerro, desde la urbanización Monticelli hasta Suba se observan bloques, cantos y guijos de la arenisca desprendidos de la parte superior.

- **Afloramiento 4**

Arcillolitas gris - oscuras a negras, laminadas, con intercalaciones delgadas (5 a 10 cm de espesor) de limolitas grises que se destacan en el afloramiento por su mayor

resistencia a los procesos erosivos. Presenta alteración y se observan nódulos y láminas de hierro, (limonita). El afloramiento tiene un espesor de unos 5 m, está por debajo de la tapia del convento que delimita, por el sur, el lote estudiado y se prolonga hacia el este siguiendo dicho muro. Se observaron algunas grietas en este afloramiento y se practicó una trinchera que mostró:

- Suelo gris oscuro como capa vegetal. Espesor 0,60 m.
- Arcillolita gris, laminada, con manchas ferruginosas, muy alteradas. Espesor 0,50 m.
- Arcillolita gris oscura laminada con una capa de carbón de 6 cm de espesor hacia la parte media. Espesor 0,80 m.
- La grieta fue cortada por la trinchera pero solo se observa hasta unos 0,70 m de profundidad y no interesa la capa de carbón.

• **Afloramiento 5**

Está localizado en la vía que conduce al barrio en la parte alta del cerro, al sur de la Urbanización Monticelli. Consta en general de arcillolitas laminadas, grises, moradas y algunas de tonos rojizos. Presentan alteración importante. El buzamiento general parece ser hacia el este pero es difícil medirlo.

En resumen la estratigrafía presente en el área está compuesta por : en la parte superior una arenisca gris clara de grano medio a grueso, friable, con espesor reducido (1 a 1,50 m) y por debajo un paquete de arcillolitas grises, laminadas, con delgadas intercalaciones de limolitas más compactas, y nódulos y láminas ferruginosas. Ocasionalmente delgadas capas de carbón.

Los Depósitos Cuaternarios encierran cuatro principales tipos así:

• **Depósito coluvial (Qdp):**

Se observa hacia la parte norte del área estudiada y se extiende casi desde la cima del Cerro prolongándose hacia el oeste hacia el Barrio Los Naranjos (véase Plano No. 1). Consta de bloques muy grandes, cantos y guijos de arenisca gris clara, dentro de una matriz limo - arenosa, o limo-arcillosa, amarillenta. La presencia de grandes bloques de arenisca parece limitarse principalmente hacia la parte alta del cerro, pero es posible encontrar algunos bloques aislados, hacia la parte baja.

Cerca de la cancha de basquet-ball del barrio se observó el coluvión con una matriz muy arcillosa, con cantos esporádicos de arenisca, en una excavación para una

casa que se construye actualmente. Más abajo en otra excavación se ve el coluvión con matriz arcillosa, algunos guijos de arenisca y restos de carbón mineral. Este afloramiento no es claro y puede corresponder al coluvión o a depósitos de botaderos pues todo el sector fue objeto de explotación de los suelos residuales. El carbón puede provenir de las pequeñas capas observadas en los afloramientos o de restos del carbón utilizado en los antiguos chircales.

- **Suelos residuales. (No se cartografiaron):**

Hay algunos afloramientos dispersos de suelos residuales desarrollados sobre las arcillolitas. Se observan sobre la vía de entrada; en algunas excavaciones hechas para la construcción de viviendas; en la calle principal que desciende desde la vía hacia el barrio bajo; cerca de las casas que han presentado problemas serios de estabilidad; en el bosque abajo del convento; y en un apique que se hizo en la parte media del barrio que mostró:

- Suelo rojizo gris- residual. Espesor 1 m
- Arcillolitas negras, laminadas. espesor observado 0,80 m

Estos suelos residuales son importantes en el sector y fueron objeto de explotación para la fabricación de ladrillos. Todo el sector de la Aguadita constituye una zona de chircales de los cuales quedan vestigios importantes en el bosque en la parte baja del convento, y en la misma urbanización Monticelli, como se observa claramente en las fotografías aéreas de la década del 50.

Completan el cuadro los botaderos (Qp) y rellenos (Qr). Los primeros son materiales productos de excavaciones arrojados sobre los taludes, los segundos están localizados dentro de la urbanización Monticelli.

3.1.2 Tectónica

Regionalmente los Cerros de Suba se manifiestan como una zona anticlinal que resalta sobre la Sabana de Bogotá, con su flanco oriental regular y tendido y el occidental más empinado y cortado por una falla regional cubierta por el Cuaternario, detectada con estudios geofísicos; según los proyectos más recientes presentados por UPES - INGEOMINAS, 1.997.

Localmente los Cerros de Suba, al sur del Cerro de la Conejera, presentan una estructura sinclinal principal, con un eje curvo, y algunas estructuras menores anticlinales y sinclinales que rompen la uniformidad del cerro, de tal forma que se presentan buzamientos en varios sentidos, principalmente en los flancos del cerro.

En el sector de estudio, en la cima del cerro, parece culminar una estructura sinclinal que cierra hacia el norte de donde actualmente está la urbanización Monticelli, dibujada por las areniscas que se describieron en el aparte de estratigrafía. En la propia urbanización estas arenisca tienden a formar una pequeña estructura anticlinal en relevo con el sinclinal mencionado. Hacia el sur del área estudiada, en los flancos del Cerro, se observan las rocas (arcillolitas principalmente) buzando hacia el oeste o hacia el este según el flanco, dibujando la gran estructura anticlinal que es la mayor estructura que constituye la zona.

Al oriente del propio municipio de Suba se puede ver claramente la estructura sinclinal mayor y dos estructuras menores. Es muy posible que la estructura sinclinal se prolongue hacia el sur y sea la que presenta un cierre perisinclinal muy cerca de la urbanización Monticelli.

Controles de campo se hicieron en un amplio sector tanto al norte como al sur del barrio de la Aguadita. Los afloramientos, si se exceptúan los que se presentan al oriente del parque de Suba en una amplia cantera, son muy escasos o no hay acceso a ellos porque el Cerro está ocupado por propiedades que no facilitan la entrada. Sin embargo, se pudieron ver y hacer controles en afloramientos en Suba, en la cima del Cerro al sur de la Avenida Suba; al suroeste y noroeste del barrio la Aguadita y en algunos afloramientos aislados sobre el flanco oriental del cerro. No se encontró ninguna evidencia clara de una falla importante que pudiera interesar la zona de estudio. Al norte del barrio y sobre el costado occidental del cerro se observó una pequeña ruptura de pendiente que pudiera corresponder a una falla, pero los controles de campo mostraron que representaba el contacto entre las areniscas que aparecen en la cima del cerro y las arcillolitas que están por debajo, sin que pueda identificarse la presencia de una fractura.

En un estudio anterior del área, realizado por la firma LUIS FERNANDO OROZCO ROJAS & CIA., (Julio de 1.996), se indica la presencia de una serie de fallas de dirección N 70°W que afectan al Cerro muy cerca de la zona de estudio. Una de las cuales penetraría a la zona de inestabilidad y sería la causante de la presencia de una "barrera en la conductibilidad hidráulica de las aguas subterráneas" por poner en contacto niveles arcillosos con niveles de arenisca. Se han revisado las fotografías aéreas de diferentes periodos y morfológicamente no se observan las discontinuidades señaladas por esta firma y en cuanto a la barrera hidráulica es simplemente especulativa pues el trabajo no presenta ninguna prueba concluyente de ella.

En concordancia con lo anterior se concluye que no existen datos de superficie que permitan identificar una fractura importante por el sector estudiado. La ruptura de pendiente a la que se hizo referencia anteriormente y que fue controlada en el campo, tiene, por otra parte una dirección casi norte sur y no coincide con la dirección dada por la firma OROZCO ROJAS & CIA.

3.2 GEOMORFOLOGÍA

En el área se distinguen dos tipos de geoformas: las de origen estructural-denudacional y las forma denudacionales principalmente acumulativas.

3.2.1 Geoformas de Origen Estructural - Denudacional

Son geoformas desarrolladas sobre rocas sedimentarias plegadas y basculadas por procesos tectónicos, sobre las cuales obra posteriormente la denudación. Se distinguen:

- **Zona de topografía abrupta**

Corresponde a geoformas con pendientes entre 25 y 70° dadas por afloramientos de areniscas, y arcillolitas con intercalaciones de arenisca. Esta zona está representada hacia la parte alta del Cerro en donde afloran algunos niveles arenosos y quizá en su borde sur contra la tapia que encierra el convento. El área ocupada por esta geoforma es muy reducida.

- **Zona de Topografía Ondulada**

Es una zona con pendiente topográfica entre 20 y 45°, formada sobre las arcillolitas con intercalaciones menores de arenisca, de la Formación Guaduas. Al igual que la anterior es reducida y corresponde a los pequeños afloramientos de arcillolitas observados.

3.2.2 Geoformas de Origen Denudacional

Son principalmente geoformas de acumulación. Se distinguen:

- **Conos de Deyección (Qc)**

Son zonas de pendientes moderadas a altas, formadas por depósitos coluvionares compuestos de bloques de arenisca dentro de una matriz limo - arenosa, inconsolidados, que pueden permitir cierto flujo de agua la cual desciende hasta el contacto con las arcillolitas fluyendo luego por dicho contacto.

- **Rellenos de construcción y desechos de ladrilleras (Qr)**

Son pequeños depósitos sobre las laderas empinadas, heterogéneos en composición y en el tamaño de sus componentes. Potencialmente inestables y propicios a contener y conducir aguas de infiltración.

3.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Las areniscas observadas son de grano medio a grueso, friables y se observó alta fracturación. Este nivel puede contener y dejar circular agua por permeabilidad primaria (poros interconectados) y por permeabilidad secundaria (fracturación). Este nivel, sin embargo, no se observa sino en la parte más superior del cerro y no desciende sobre la ladera occidental, de tal forma que no tiene influencia en la inestabilidad de la zona ya que es el nivel estratigráfico más alto observado. Es nivel parece descender sobre la ladera oriental pero este sector no está incluido en el estudio.

Las arcillolitas observadas son laminares muy alteradas y son impermeables. Pueden contener alta humedad principalmente en la zona de alteración pero difícilmente dejan circular agua a no ser por grietas o coronas de deslizamientos.

Los depósitos coluvionares o conos, en parte tienen matriz limo - arenosa y en consecuencia pueden contener y dejar circular agua en cantidades no muy grandes.

Los suelos residuales son arcillosos y se presentan con alta humedad, pero son de circulación de agua restringida.

3.4 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

3.4.1 Levantamientos Topográficos

Esta actividad consistió en el levantamiento de 7 secciones topográficas distribuidas sobre la zona de interés, que fueron de gran utilidad en la interpretación de las condiciones morfológicas "a posteriori" al fenómeno (deslizamiento). Con ellas no se elaboró una base cartográfica para presentación, puesto que no poseían el nivel de detalle necesario para tal fin. Adolecían de la localización completa de paramentos y de la vía principal. Es decir, sólo se contaba con una porción de la zona.

El modelo topográfico antes del evento, y tal vez el más importante y necesario para la etapa de análisis, especialmente en lo referente a la evaluación paramétrica y retrospectiva, fue obtenido de la cartografía escala 1:1000 de la zona, realizada por Catastro Distrital.

Complementariamente se colocaron 9 mojones de referencia. La localización de los mojones instalados se presenta en la Figura No. 3.1 y las carteras de campo están compiladas en el Anexo 3. En este último, de igual manera, se incorpora un modelo esquemático de la forma como fueron levantadas las secciones topográficas.

3.4.2 Exploración del Subsuelo

La investigación del subsuelo involucró la exploración directa mediante trincheras y apiques y levantamientos estructurales, e indirecto con sondeos mecánicos y eléctricos verticales (figura No. 3.1) con barrido en profundidad hasta 15 m y 10, respectivamente. Con relación al primer tópico se estudiaron cinco (5) afloramientos en la zona, con el fin de determinar la influencia de las discontinuidades en la estabilidad de los taludes existentes. Con el segundo tópico se pretendió conocer la composición estratigráfica del movimiento, y la localización de la superficie de rotura.

3.4.3 El Deslizamiento de La Aguadita, Geomorfología y Composición

3.4.3.1 Estratigrafía

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 el marco del movimiento en masa, que destaca la secuencia estratigráfica (deducida de las perforaciones) y la disposición estructural del macizo.

Se empleo para la elaboración de este ejercicio la base cartográfica de Catastro, escala 1:1.000, aerorestituída de fotografías escala 1:5.000 del año 1992. Las secciones estratigráficas se levantarán en el mismo sentido del azimut de buzamiento de la estratificación promedio estimada, dirección en la que fueron establecidas las perforaciones, de tal manera que tanto la pendiente, como los espesores de la secuencia estratigráfica aparecieran en verdadera magnitud.

El modelo geotécnico se presenta en las Figuras No. 3.2 y 3.3 en ellas se indica los sondeos realizados por Luis Fernando Orozco (P1,P2) e Hidrotec (S1, S2). A continuación se hace un breve recuento de los resultados obtenidos.

Los apiques se realizaron sobre una zona de agrietamiento y en un plano bajo pantanosa. Los resultados indican que las grietas existentes no son profundas y se limitan al estrato superior que corresponde al suelo orgánico y arcilloso. El apique en inferior muestra la presencia de un nivel freático superficial (hacia los 1,50 m de profundidad), con un importante aporte de aguas negras.

En la parte alta del cerro existen dos perforaciones, una realizada por la firma OROZCO ROJAS & CIA., (Perforación 1) en 1.996 y la otra por HIDROTEC (Sondeo 1) en 1.998. En la primera, el nivel superior del perfil corresponde a un relleno conformado por la firma constructora de la urbanización Monticelli y sólo a los 10 m encontró algo de suelo residual, subyacente por arcillolitas grises oscuras, en partes limosas, hasta los 14,50 m en donde aparecen algunos niveles de arenisca muy oxidados (Anexo 1). La profundidad total de avance fue de 15 m.

En la segunda perforación se observa en la parte más superior, al parecer, una porción del cono y después de 1,55 m de profundidad aparecen las arcillolitas con intercalaciones de limolitas y algunas capas muy delgadas de carbón (Figura No. 3.4). Empero entre los 4.00 y 4.50 m se vislumbra el cambio entre el material fallado y el material in-situ (roca), que prosigue hasta una profundidad de 14,90 m. En ninguna de las perforaciones se encontró un nivel de areniscas importante.

Hacia la parte baja de la zona de investigación se presentan otras dos perforaciones (Perf-3 y Sondeo 2). Localizada la última un poco más alta que la primera. En la perforación (Perf-3) se reporta muy poca información litológica y se indica solamente la presencia de "arcilla gris, arcilla habana y arcilla amarilla" hasta los 10 m de

profundidad, de tal forma que no se puede precisar si se trata de suelo residual, coluvión o roca meteorizada. Esta perforación indica, como dato sobresaliente, la presencia de areniscas friables en un banco importante que fue cortado desde los 10 hasta los 16,10 m de profundidad sin que se señale que a esta profundidad termina (Anexo 1).

En el Sondeo 2 se encontró un suelo amarillo superficial a 1.55 m, coincidiendo con la superficie de falla, luego arcillolitas alteradas y arcillolitas gris oscuras a negras, en parte muy duras y compactas, con algún nivel delgado de limolitas y de arenisca, pero en general se cortó una secuencia arcillosa hasta los 15 m que terminó la perforación (Figura No. 3.5). No se encontró el nivel de areniscas, pero esto se puede explicar porque la perforación se practicó a una cota más alta.

Hay una tercera perforación ejecutada por OROZCO, situada prácticamente en la carretera de acceso, pero no se consiguieron los registros de ella.

Los sondeos eléctricos verticales (2) realizados en la zona de mayor problema, y entre las perforaciones altas y las bajas, indican la presencia de suelo superficial arcilloso con una resistividad de 400 a 500 ohmios – m, arcillolitas (resistividad de 140 ohmios –m), limos saturados y areniscas (resistividad de 170 ohmios – m) por debajo, a profundidades no determinadas con precisión, de tal forma que dejan mucha duda sobre su interpretación. En el anexo 1 se presenta el estudio geoelectrico realizado.

En concordancia con estos estudios y con las observaciones de superficie es claro que en el área de interés afloran arcillolitas y limolitas, con delgadas intercalaciones de areniscas y alguna capa de carbón. A una profundidad, mayor de 10 m en la parte baja, aparece un nivel de areniscas de importancia.

Todo el sector presenta buzamientos suaves hacia el oeste. Cubriendo gran parte del área se presenta un coluvión y suelos residuales desarrollados sobre las arcillolitas. En estas condiciones la circulación de agua se podrá hacer por el coluvión y por el contacto coluvión - arcillolitas. Hay que suponer además que las explotaciones antiguas pudieron ser focos de infiltraciones y que los deslizamientos sucesivos y agrietamientos pueden servir de camino a las aguas de infiltración. Situación que se observa en los núcleos de perforación en donde aparecen abundantes manchas ferruginosas siguiendo posiblemente la superficie de falla (p.e. en el sondeo 1 entre 4,0 y 4,60 m de profundidad). Si el banco de areniscas inferior existe, este serviría de límite entre una zona arcillosa superior, muy húmeda y una zona de mayor resistencia mecánica inferior, que a su vez sería el límite de deslizamiento. No sobra advertir que la presencia de la arenisca friable, como son la mayoría de las areniscas de la Formación Guaduas, por debajo de la zona arcillosa, podría a su vez suministrar agua a dicho contacto acrecentando la inestabilidad.

3.4.3.2 Características Geomecánicas

Las propiedades geotécnicas de los materiales que componen el deslizamiento, fueron obtenidas de muestras de dos (2) perforaciones, (sondeos 1 y 2) las cuales fueron sometidas a pruebas de clasificación y de corte no consolidadas - no drenadas y consolidadas - no drenadas.

El material constitutivo a lo largo del perfil es principalmente arcilloso, los contenidos de humedad son menores al límite plástico, lo que indica alguna tendencia a la sobreconsolidación, es decir al origen lítico de la zona. El índice de plasticidad oscila desde medio hasta alto, y el límite líquido difícilmente alcanza valores superiores a 60%, reflejo de la baja compresibilidad.

Cabe destacar que en proximidad a la superficie de falla se presentan los valores más altos del índice de plasticidad y del límite líquido, y los más bajos de la resistencia a la penetración standard. El peso unitario permanece casi constante, con un promedio aritmético de 2,1 Ton/m³ y variaciones no superiores al 10% con relación a la media.

Las pruebas de corte directo de la capa superficial (esfuerzos totales) dan valores pico promedio de cohesión, $c = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ (0,15 - 0,4 kg/cm²) y ángulo de fricción $\phi = 22$ (19-25°), los parámetros de resistencia residual, aunque de gran importancia, no fueron determinados en laboratorio. Los valores bajos de penetración standard en los primeros metros de exploración correlacionan con la presencia de una capa de material más débil que alcanza un espesor máximo de 5 m. Los estratos adyacentes presentan valores de penetración standard superiores a 40 golpes/pie, con un máximo de hasta 85 golpes/pie, para el nivel inferior (capa 3) de arcillolita

El resumen general de las principales características geomecánicas de los materiales involucrados en el deslizamiento se presenta en la Tabla No. 3.1 y su relación con el modelo geotécnico puede apreciarse en las Figuras No. 3.2 y 3.3. Por último, la totalidad de las pruebas de laboratorio realizadas fueron acopiadas en el Anexo 2.

3.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Las condiciones de estabilidad fueron analizadas considerando como primera hipótesis de falla un deslizamiento traslacional y comportamiento del material como medio continuo (suelo). En este sentido se contó con el apoyo del programa PCSTABLE, y el empleo del modelo de equilibrio límite de Jambu, con el fin de obtener las condiciones probables de ocurrencia del deslizamiento. El método propuesto por Jambu fue escogido gracias a que se basa en hipótesis aceptadas en la mecánica de suelos, además de cumplir con todas las condiciones de equilibrio estático (Sancio, 1995).

Teniendo en cuenta que el movimiento muestra una componente traslacional importante, cerca del contacto geológico entre el material fallado (intercalaciones de arcillolita, limolita y/o arenisca) y la arcillolita gris verdosa, y considerando la disposición estructural del macizo, deducida del trabajo de campo, de las perforaciones y el perfil topográfico, se analizó como segunda hipótesis, la estabilidad de la ladera bajo el modelo de falla planar con grietas de tracción, localizadas en la misma posición de los escarpes y para las mismas condiciones asumidas del modelo anterior.

Así, entonces, inicialmente se realizó un análisis paramétrico, cuyo objetivo era estudiar la influencia de los coeficientes de resistencia en el factor de seguridad, para ello se emplearon los valores fisicomecánicos obtenidos en el laboratorio. Como los parámetros de resistencia fueron determinados a partir de pruebas de corte directo sin medición de presión de poros, el análisis considera únicamente condiciones a corto plazo.

El efecto pseudoestático de la sismicidad y la respuesta en la variación del nivel freático fueron también evaluados, considerando combinaciones específicas de aceleraciones y de posición de la tabla de agua.

3.5.1 Análisis Paramétrico

El deslizamiento "La Aguadita" consiste posiblemente en el desplazamiento de una serie de bloques a lo largo de un plano de ruptura de alrededor de 11° de inclinación, desarrollado aprovechando la configuración estructural de la ladera, que está compuesta por una secuencia de bancos arcillosos con orientación promedio N20E/ 8° a 13° NW. Como el deslizamiento fue activado sin influencia sísmica el grado de estabilidad del movimiento dependió de las condiciones de resistencia de los materiales, de los niveles de presiones de poros y de la configuración geométrica de la ladera.

Con base en las evidencias morfológicas del movimiento (escarpes y abombamientos) y en la secuencia estratigráfica (deducida de las perforaciones) se consideraron dos superficies básicas de rotura con límite inferior cerca a la interfase entre las capas 1 y 2 (Figura No. 3.6). La primera con el escarpe principal localizado inmediatamente al oriente de la vía y aproximadamente a 6 m de ésta, y la segunda supone que el escarpe principal concluye en el extremo oriental del muro en tierra armada.

Para estudiar la acción que desarrolla (y desarrolló en la activación del deslizamiento) la presión de poros en el plano de ruptura se ejecutó un análisis de sensibilidad. Con él se pretendió conocer los parámetros de resistencia movilizados en la superficie de rotura y demostrar que las variaciones del nivel freático constituyen un mecanismo por medio del cual se puede pronosticar el comportamiento del deslizamiento. Esta situación es, además, muy importante

tomarla en cuenta para cuando se pretenda implementar cualquier mecanismo de control del fenómeno, pues será muy difícil su manejo sin intentar reducir las cabezas de presión. Posteriormente se comentara con mayor detalle este tópico.

Bajo las condiciones anteriores y para los modos de falla: planar con grieta de tracción (Comportamiento del material como macizo rocoso) y traslacional con un componente rotacional en la corona (comportamiento del material como suelo), se pudieron establecer como parámetros de resistencia crítica, factor de seguridad F.S. = 1,0, en la capa I, $10 < \theta < 20^\circ$, $0 < c < 1 \text{ Ton/m}^2$ para el primer caso (Figuras No. 3.7 y 3.8) y $15 < \theta < 20^\circ$, $c \approx 1 \text{ Ton/m}^2$ en el segundo (Figura No. 3.9 y 3.10).

Los parámetros de resistencia a movilizar en estado seco, para la condición de equilibrio último (F.S. $\approx 1,0$), indistintos de los modos de falla estudiados, revelan un comportamiento muy conservador, $0 < c < 1 \text{ Ton/m}^2$ y $5^\circ < \theta < 10^\circ$ (Figuras 3.7 a 3.10), con una baja posibilidad de ser los parámetros de resistencia residual. Según las evidencias de campo, el talud es estable en verano, de esta manera se concluye que los parámetros de resistencia promedio del material fallado están comprendidos entre los desarrollados para la condición seca y para la condición de nivel freático superficial, pero más cerca de esta última. Por lo tanto, se considera apropiado, adoptar como parámetros de resistencia crítica probable, del comportamiento actual y futuro de la ladera, los reseñados en el párrafo inmediatamente precedente.

Este resultado concuerda con las evidencias de campo y con las informaciones suministradas por los habitantes de la región. Según los cuales el movimiento fue activado en época de invierno, con la participación secuencial del efluente proveniente de la rotura de una tubería de alimentación de agua blanca ($\theta \approx 12''$) y de los vertimientos originados en la urbanización Monticello.

Considerando el efecto pseudoestático de la sismicidad ($a \approx 0,1 \text{ g}$), los ángulos de fricción internos promedio, en condición crítica $c \approx 0$, son insuficientes para prevenir la falla, sí el nivel freático se encuentra en superficie. Sólo en el caso particular de talud seco, la ladera permanecería estable, cuando el ángulo de fricción sea superior a 20° (Figuras 3.11 y 3.12).

La Figura No. 3.11 destaca la poca influencia del muro en tierra armada en la desestabilización de la ladera. Esto puede deducirse gracias a que las envolventes de los parámetros de falla, con y sin sobrecarga (en estado seco y saturado) para la superficie de rotura 4, presentan diferencias no superiores al 5% en la cohesión, cuando se mantiene el ángulo fricción constante.

3.5.2 Análisis Retrospectivo

El análisis retrospectivo se realizó con base en los parámetros de resistencia obtenidos del modelo paramétrico. De tal forma, se estudio la variación en la condición de estabilidad de la ladera con relación a la posición de la tabla de agua y

del grado de sismicidad, para combinaciones específicas de parámetros de resistencia.

La sensibilidad del comportamiento de la ladera con relación al nivel freático, entendido como directamente proporcional a la presión de poros, se ve claramente revelado, en la Figura No. 3.13. En ellas se observa el drástico aumento del factor de seguridad con la reducción en la cabeza piezométrica.

El retroanálisis, de igual manera, evidencia la reducida posibilidad de considerar la pareja $c=0,4 \text{ Ton/m}^2$, $\phi = 10^\circ$ como parámetros de resistencia críticos. Dado que aún despreciado el efecto sísmico, el factor de seguridad (F.S.) es apenas superior a 1,0 sólo cuando la tabla de agua se encuentra a una profundidad de 2,0 m. Esto significa que el movimiento alcanzaría estados de actividad permanente en condiciones de agua superficial, durante el invierno; y por ende debió haber sucedido lo mismo para el invierno del primer semestre del 98. Sin embargo, las evidencias mostraron durante tal época un estado de reposo del deslizamiento; lo cual deja sin soporte el modelo de comportamiento reseñado y descarta los valores adoptados.

En contraposición, las parejas $c= 0,6 \text{ Ton/m}^2$, $\phi = 15^\circ$ y $c = 0,8 \text{ Ton/m}^2$, $\phi = 20^\circ$, evidencian un patrón de comportamiento que simula adecuadamente la evolución y estado actual de la ladera. No obstante, para dichos valores, el movimiento se reactivaría aún bajo la acción de un efecto sísmico pequeño ($a_h \simeq 0,059$) en condición de nivel freático casi superficial.

3.5.3 Evaluación de Estabilidad

Si la ladera tiene el nivel freático de invierno (estimado equivalente en superficie) y no hay sismo, puede llegar a presentar condición de estabilidad crítica para la menor resistencia. En verano y sin sismo el F.S aumenta notablemente. No obstante, en este caso, el mecanismo de falla planar con grieta de tracción presentó los menores F.S., lo que hace pensar que pudo tener lugar este modo de falla.

Si el material exhibiera los menores parámetros de resistencia crítica ($c= 0,6 \text{ Ton/m}^2$, $\phi = 15^\circ$), lo que podría darse lugar por el remoldeo de la masa, el sismo crítico, que produciría un F.S. = 1.0; sería correspondiente a una aceleración horizontal de 0,05 g.

El movimiento en masa fue activado por aumento en las presiones de poros, generado no sólo por el aporte repetido del agua producto del desempate de la tubería del acueducto (como lo sugieren los habitantes del barrio), y a las variaciones estacionales del nivel freático durante el invierno, si no al posible aporte del sistema de subdrenaje de la urbanización, puesto que inicialmente sus vertimientos se realizaban a superficie libre en lo que hoy constituye el cuerpo del movimiento.

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.

El Barrio La Aguadita, objeto del presente estudio, se encuentra ubicado en el sector de los Cerros de Suba, entre las cotas 2.571 y 2.674 m.s.n.m. ocupando un área de 19,92 ha en su contorno. Es una zona de alta pendiente urbanizada en la mayoría de sus sectores, y con vegetación variada en las franjas baldías. La localización del Barrio y la delimitación de la microcuenca se puede observar en la Figura No. 1.1 del presente informe.

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. 3.2.

TABLA No. 3.2

**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-01	Cerros de Suba	999.320	1.013.550

Como se ilustra en la Tabla No. 3.3 estas estaciones tienen períodos de registros de lluvia mayores a 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 las últimas dos décadas de registro.

TABLA No. 3.3

**PERÍODOS DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES
DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Entidad	Código	Estación	Años
EAAB	P- 01	Cerros de Suba	1948-1995

Para la estación seleccionada se obtuvo en medio magnético, las series mensuales de precipitación en las entidades operadoras (EAAB).

- **Análisis de la Precipitación Media**

La distribución media mensual (Véase la Figura 3.14) 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 asociada al barrio es de 859 mm/año (Tablas No. 3.4 y 3.5).

TABLA No. 3.4

VALORES ANUALES DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ESTACIONES

Estación	Precipitación (mm/año)	Período	No. de años
Cerros de Suba	859	1948 – 1996	47

El promedio aritmético anual de la precipitación es 859 mm.

TABLA No. 3.5

VALORES DE PRECIPITACIÓN MENSUAL MULTIANUAL

MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm/mes)
Enero	33
Febrero	61
Marzo	82
Abril	109
Mayo	97
Junio	42
Julio	39
Agosto	43
Septiembre	64
Octubre	124
Noviembre	108
Diciembre	58
TOTAL ANUAL	859

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. 3.15).

3.6.3 Precipitación Máxima

En esta sección se presenta la caracterización de las precipitaciones máximas en el Barrio La Aguadita, con un dirigido énfasis en las relaciones Intensidad – Frecuencia – Duración.

Para 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 el cual se determinan las ecuaciones IDF para un punto dado mediante una ecuación de la forma:

$$I (D, T) = C_1 (D + D_0)^{-C_2}$$

Donde,

I	=	Intensidad en mm/h
D	=	Duración en minutos
T	=	Período de frecuencia en años
D_0, C_1 y C_2	=	Parámetros de la ecuación

En la Tabla No. 3.6 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. 3.7 y en la Figura No. 3.16 se consignan los niveles de intensidad máxima en las mismas condiciones.

En la Figura No. 3.14 se presenta el hidrograma de las series mensuales de precipitación de la estación Cerros de Suba, donde también se encuentran consignados los valores de precipitación media, máxima y mínima mes a mes y total anual y se señala igualmente uno de los periodos húmedos.

TABLA No. 3.6

PARÁMETROS DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS

Tr (años)	C_1	D_0	C_2
3	5.175,70	29,70	-1,11
5	6.137,80	30,80	-1,11
10	6.861,20	31,30	-1,11
25	8.562,40	32,70	-1,11

TABLA No. 3.7

VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

TR (AÑOS)	INTENSIDAD (mm/h) PARA VARIOS TIEMPOS DE DURACION						
	5 MIN.	10 MIN.	15 MIN.	20 MIN.	30 MIN.	60 MIN.	120 MIN.
3	100.97	86.96	76.23	67.77	55.29	35.19	19.93
5	115.67	100.04	87.99	78.43	64.25	41.17	23.44
10	127.32	110.33	97.19	86.73	71.17	45.74	26.11
25	152.35	132.68	117.34	105.05	86.62	56.12	32.25

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 de cada unidad 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	=	Coefficiente 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 en ella.

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 y de las fotografías aéreas del mismo sector correspondientes al vuelo R1181 en escala aproximada 1:5.000 se delimitó la microcuenca y se estimaron sus características principales:

Área de Microcuenca:	19,92 ha
Longitud del Cauce Principal:	0,60 km
Pendiente Promedio del Cauce:	16,67%
Cota Superior:	2.674 m.s.n.m.
Cota Inferior:	2.574 m.s.n.m.

• Cobertura y Uso Actual

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, urbanas, pocas áreas cubiertas de bosque natural y una buena porción de cubierta en bosque plantado.

Igualmente en las últimas décadas el uso del terreno se ha venido modificando de manera acelerada, las zonas de uso industrial, fueron transformadas en áreas urbanas.

En los siguientes párrafos se presentan las principales unidades cartografiadas de cobertura y uso actual asociado a las mismas, destacando algunas de sus características, fundamentalmente el coeficiente de escorrentía relacionado:

- 1. Bosques:** Enmarcan un área total de 9,96 ha, que corresponde al 50% de la microcuenca. Crecen en pendientes que van desde el 10% al 20%. Contemplan un coeficiente de escorrentía de 0,21.
- 2. Rastrojos:** Cubren un área de 2,99 ha que corresponde al 5% del área de la microcuenca en pendientes del 20%. Se adopta para los rastrojos un coeficiente de escorrentía igual a 0,42.
- 3. Zonas Urbanas:** Ocupan la mayor parte de la microcuenca con un área total de 9,96 ha, el cual equivale al 50% del área total.
- 4. Vías:** Se clasifican en vías pavimentadas y sin pavimentar. Entre ellas suman un total de 1 ha, lo que corresponde al 5% del área total. Para las vías se toman un coeficiente C de 0,94.

- **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 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. 3.8.

TABLA No. 3.8

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TIPO DE COBERTURA	PENDIENTE	ÁREA (a) (Ha)	COEFICIENTE "C"	A * C
1. Bosques	10,20	5,98	0,21	1,26
2. Rastrojos	10,20	2,99	0,42	1,26
3. Zonas Urbanas	10,20	9,96	0,90	8,96
4. Vías	10,20	1,00	0,93	0,94
TOTAL		19,92		12,42

Para efectuar dicha ponderación se utilizó la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum a \cdot c}{A}$$

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. 1.4, se tiene:

$$C = \frac{12,42}{119,92} = 0,62$$

Luego, el C obtenido es el valor a reemplazar en la fórmula racional.

- **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. Para efectos de la evaluación se consideraron períodos de retorno desde 3 hasta 25 años. Los primeros pueden asociarse con 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
 (2.674 - 2.574) = 100 m.

Luego el tiempo de concentración obtenido es:

Tc = 0,09 Horas = 5,36 minutos = 5 minutos

A continuación se muestran en la Tabla No. 3.9, los cálculos de intensidad, (mm/hora) para períodos de retorno de 3, 5, 10 y 25 años.

TABLA No. 3.9

VALORES DE INTENSIDAD MÁXIMA - DURACIÓN DE 5 MINUTOS

Tr (años)	I (mm/Hora)
3	100,97
5	115,67
10	127,32
25	152,35

Finalmente, para cada uno de los períodos de retorno se determinó el caudal máximo de la microcuenca como se relaciona en la Tabla No. 3.10. Al observar el cuadro se revela que el caudal máximo que corre por el cauce principal de la microcuenca presenta valores elevados.

TABLA No. 3.10

CAUDALES MÁXIMOS

TR (años)	I	C	Área	Q
-----------	---	---	------	---

	mm/hora	L/seg Ha		(Ha)	(L/seg)
3	100,97	279,69	0,62	19,92	5.571
5	115,67	320,41	0,62	19,92	6.382
10	127,32	352,68	0,62	19,92	7.025
25	152,35	422,01	0,62	19,92	8.406

4. DIAGNÓSTICO

Como preámbulo al diagnóstico se consideró relevante mostrar el desarrollo histórico del sector, realizado a partir del análisis aerofotográficos de los años 1955, 1973 y 1990. En el año de 1955, la zona era utilizada como chircal, de la cual se extraía material arcilloso para producción de ladrillo; en ese entonces se observaba una alta proporción de frentes de erosión sobre la zona que actualmente es ocupada por el bosque de Eucaliptos. En el año de 1973 se aprecian hay un incremento en el área de explotación y por tanto un aumento de las zonas erosionadas. El abandono de las explotaciones en terrenos vecinos a la urbanización Monticello es dominante. En esta época no existían muestras de desarrollo urbano sobre los predios de Monticello y del Convento, empero se observan algunas viviendas en la zona de interés y en el entorno actual del deslizamiento.

En las aerofotos de 1990, se observa un cambio importante en el paisaje. Las zonas de explotación ya no existen, en su lugar se identifica un bosque de Eucalipto; sobre los costados norte, sur y occidente se aprecia un importante desarrollo urbano; en esta época ya se encuentra construido el Convento; no se observa ningún desarrollo sobre los predios de Monticello y se determina un aumento de viviendas en la zona de interés.

Para la presentación del diagnóstico, se realizó una división de esta porción del barrio atendiendo aspectos litológicos y morfológicos. 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: 1:2.000), la aplicación continuada de un modelo de síntesis determinístico, como cualquiera de los expuestos en el numeral 3.5, para cada una de las laderas de la zona de estudio (en éste proyecto tan sólo se estudia una y única, con un nivel de amenaza alto $F.S \cong 1$). 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 3.5), 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.

En la Figura No. 4.1 se ilustra la división zonal adoptada. El conjunto representado contempla el sector de estudio y sus áreas anexas, clasificado en dos (2) grandes superficies (zonas). La zona 1 cubre las expresiones de la corona del anticlinal, que a su vez corresponde a la divisoría de aguas, recinto del desarrollo urbanístico de Monticelli. La zona 2, hace parte de la pendiente estructural, dominada por las

expresiones morfológicas del deslizamiento y marco receptor del pulso "invasor" de algunas viviendas.

En adelante se hará una breve descripción de cada zona, destacando los aspectos más relevantes de su comportamiento actual. La definición del grado actual o potencial de amenaza, vulnerabilidad, y, en el mejor de los casos, "riesgo específico" o elementos en riesgo, fue atendida con el empleo de métodos estrictamente cualitativos (análisis heurístico), sin dar un riguroso manejo a las variables involucradas. Si bien, la aplicabilidad del análisis heurístico en el caso específico, no es de gran relevancia, si lo es el grado de precisión y objetividad del mismo. Por lo tanto se debe entender la cualificación de cada zona como una primera aproximación al problema, y no como una respuesta absoluta.

En la primera zona el contexto más relevante es la presencia de un relleno que abarca un área de aproximadamente 3.000 m² y una altura que varía entre 2 y 7 m., confinado, y construido para adecuar la divisoria de aguas, que permitirá la culminación del proyecto urbanístico de Monticello, con un muro en tierra armada. Sobre la base del relleno se construyó un filtro cuya entrega se localizó sobre el costado occidental, contiguo al Convento, por medio de 3 tuberías de PVC ϕ 6", que inicialmente vertían las aguas sobre el terreno natural de la ladera existente. En la actualidad existe un pozo eyector, mediante el cual se manejan las aguas del filtro. Durante la construcción y operación del relleno, se determinaron deformaciones y agrietamientos sobre el cuerpo del mismo, como consecuencia del movimiento de la ladera del costado occidental (Zona No. 2). La descripción anterior se obtuvo del Informe Geológico de Estabilidad Proyecto Urbanístico Monticello (Luis F. Rojas & Cía, Julio/96), así como de información suministrada por habitantes del sector y verificaciones de campo.

Sobre la Zona No. 2, el cuerpo del movimiento, algunas de las viviendas afectadas por el deslizamiento han sido demolidas; otras, presentan deformaciones estructurales y grietas transversales o longitudinales de corte, que ponen en entredicho tanto la estabilidad de las mismas unidades como las vidas humanas. La Tabla No. 4.1 contempla el inventario de las viviendas destacando, su identificación predial, propietario, sistema constructivo y estado actual, y la Figura No. 4.2 muestra la localización de los predios, identificados de acuerdo con el número de la primera columna de la Tabla No. 4.1, por lo que se recomienda su desocupación, sin llegar a demolición, por cuanto estas construcciones están sirviendo de contención para las viviendas vecinas.

5. MEDIDAS CORRECTIVAS

Dada las condiciones de falla del talud, se concluye que las medidas correctivas deben orientarse fundamentalmente a incrementar la resistencia al corte del material involucrado en el fenómeno. Para ello, el factor clave a controlar es el agua, puesto que su influencia, como se presentó en el análisis de estabilidad, sobre la resistencia de los materiales es la más importante en comparación con cualquier otro factor. De esta forma, se recomienda la implementación de un adecuado sistema de drenaje superficial y subsuperficial, que permita disminución en la tasa de infiltración, canalización y evacuación rápida de la escorrentía, evite la formación de empozamientos y, favorezca las condiciones de drenaje interno. Esto último, tal vez, por medio de una batería de trincheras drenantes interceptoras.

Como elementos de trabajo complementarios pueden disponerse árboles de alta capacidad de succión que faciliten el abatimiento del nivel freático. Por último, como mecanismo de seguimiento de la tabla de agua se recomienda instalar un grupo de piezómetros que cubran convenientemente el cuerpo del deslizamiento, para de esta forma conocer a ciencia cierta, las condiciones de presiones de poros en la masa fallada y retroalimentar el análisis de estabilidad presentado aquí. De igual manera, continuar con el control topográfico de los mojones instalados y así poder tener un mejor conocimiento de la evolución del movimiento.

6. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En general el concepto básico, consiste en el manejo de las zonas, para hacerlas aptas como plataformas urbanas, por medio sistemas de drenaje y subdrenaje, mejoramiento de los suelos y establecimiento de estructuras de contención.

En éste sentido se plantean dos alternativas. La primera alternativa consiste en darle un uso recreativo a la Zona No. 1, mediante el establecimiento de accesos peatonales, espacios de paisajismo, reforestación y conformación de sistemas superficiales de drenaje con cunetas. Y, para la Zona No. 2, tratar el movimiento gracias a la conformación de un sistema de subdrenaje (tipo filtros francés).

La segunda alternativa consiste en adecuar la Zona No. 1 apoyada en la construcción de un sistema de subdrenaje interceptor ubicado en el sentido de la vía existente, complementado con la remoción y excavación del material movido y, su reposición y compactación. Esta solución implica también el mejoramiento del relleno conformado en la urbanización Monticello. Para la Zona No. 2 se propone el replanteamiento completo, con el fin de ser reutilizada en desarrollo urbano. De esta forma, se realizará la conformación de un terraceo, proyección de sistemas de drenaje superficial (cunetas) y subsuperficial por medio de filtros tipo francés y la proyección de caminos y accesos peatonales, solución que plantea una participación importante de la comunidad.

La Consultoría recomienda la aplicación de la Alternativa 2, por cuanto con ésta se de un manejo de manera integral y de fondo a la problemática existente. Además, teniendo como referencia la generación de empleo y la participación de la comunidad en el mejoramiento y manejo de su entorno, hacen de esta una óptima solución.

7. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO ESTIMADOS

En el Cuadro No. 7.1 se relacionan las cantidades de obra y el presupuesto aproximado, tomando en consideración el tipo de propiedad existente en la Zona No. 1 (Urbanización Montecello), solo se ha presupuestado la construcción del sistema de sub-drenaje (cunetas revestidas y filtro francés), por cuanto la adecuación del relleno y del sector, son temas de consideración para los dueños del predio.

La mayor partida presupuestal se ha determinado para el manejo y adecuación de la Zona No. 1, en donde se observa que los costos relacionados con la construcción de los muros en tierra armada, ítemes 4.2 y 9.1, representan el 64% del presupuesto total. Sin embargo, a cada lote le correspondería un costo de \$15 millones por adecuación y manejo, es decir a un valor por metro cuadrado de \$150.000.

Con relación a la instrumentación considerada, se ha elaborado el presupuesto, con base en unas cantidades mínimas.

En el presupuesto no se ha incluido lo relacionado con los diseños definitivos y las actividades de Interventoría. No obstante, éstos pueden tener un costo aproximado del 8% y 6% del presupuesto determinado, respectivamente.

8. CRONOGRAMA DE OBRAS Y SEÑALAMIENTO DE PRIORIDADES

En el Cuadro No. 8.1 se relaciona el cronograma de ejecución de obras, que también se realizó para cada Zona del área de estudio.

Para la Zona No. 1 el cronograma contempla solo la ejecución de las obras de drenaje y sub-drenaje, sin considerar lo concerniente al manejo de los problemas existentes en predios de la Urbanización Montecello.

El desarrollo de las actividades constructivas de cada zona se presenta para ejecución en paralelo, de este modo cada sector se puede trabajar independientemente; sin embargo la prioridad de ejecución debe aplicarse para la Zona No. 2 y dentro de ésta, se deberán atender los problemas actuales relacionados con el manejo de tuberías posiblemente desempatadas o rotas y la remoción de suelos blandos. Esta actividad atiende a la problemática actual e inmediata, que permite dar un tiempo prudente mientras se decide y diseña el proyecto propuesto.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona de estudio presenta un área de aproximadamente 2 has, limitada al oriente por predios de la Urbanización Montecello, al occidente y norte por el barrio La Aguadita, al sur por predios de las H. H. Agustinos y una alameda de eucaliptus. Litológicamente la zona corresponde a la formación Guaduas (arcillolitas con lentes de carbón e intercalaciones de lentes de carbón), sobre la que se determinan en algunos sitios con depósitos tipo coluvión en matriz arcillosa; geomorfológicamente se identifican procesos erosivos, presencia de grietas, hundimientos y fenómenos de reptación. En principio, por la época de 1955 la zona de interés eran chircales y como tal se produjo una importante intervención antrópica negativa, generándose zonas erosionadas; parte del sector (costado sur) fue tratado y manejado como una zona de bosque, mientras que los demás sectores fueron desarrollados como espacios urbanos, tal como se indica en la Figura 3.1, en la misma figura se presenta la zonificación considerada del área de interés.
- La zona N° 1, de área aproximada de 3 has, son predios correspondientes a la urbanización Montecello; en el extremo sur de esta, esta actualmente construida, y no se detecta ningún tipo de problema; sobre la parte restante, se han adecuado espacios para desarrollo urbano mediante la conformación de rellenos importantes, construidos en un área del orden de 3.000 m² y alturas de relleno variables entre 2m y 7 m; estos rellenos se confinaron mediante un muro en tierra armada y en la base del relleno se instaló un filtro, el cual hacía la entrega de aguas (inicialmente) sobre las laderas de los predios situados en la parte baja (zona No. 1), actualmente existe un pozo eyector. En la parte del relleno, se han reportado la presencia de deformaciones y agrietamientos importantes, lo cual obligó a una remoción de gran parte de este relleno. En atención a lo descrito se determina que la estructura de contención (muro en tierra armada) si ha tenido deformaciones y que por tanto se recomienda una remoción completa del relleno y reconstruirlo adecuadamente, simultáneamente con la reconstrucción del muro en tierra armada. Dado que estos predios son de propiedad privada, la recomendación dada correspondería aplicarla a los dueños de la urbanización.
- La zona No. 2, de área aproximada a 2,5 has, presenta un relieve quebrado con evidencia de fenómenos de reptación, presencia de sitios pantanosos y de escurrimiento de suelos; se determinaron sectores de viviendas con problemas de asentamientos y deformaciones estructurales, que generan condiciones de alto riesgo, por lo cual se recomienda su desocupación; en el inventario realizado y presentado en el Cuadro No. 1 se relaciona el estado de las viviendas, siendo las de alto riesgo, las de estado actual deficiente. En esta zona ha habido intervención de la Upes, en cuanto a que se realizó reubicación y demolición de 2 viviendas por presentar graves problemas de estabilidad a nivel de cimentación y estructural. La problemática existente en esta zona se originó a causa de la acción del agua de infiltración y de escorrentía, a partir de las varias

fallas de una tubería de acueducto y a la depositada por los filtros del relleno sobre la ladera; a partir de la acción del agua, se generó un proceso de ablandamiento del suelo y en consecuencia pérdida de resistencia, a partir de lo cual y por efecto de la sobrecarga del relleno se produjeron deformaciones tanto en el propio relleno como en los suelos de la ladera afectando las viviendas. En atención a la problemática descrita y en consideración al problema social que ocasiona una desocupación de las viviendas afectadas, se recomienda una acción inmediata, relacionada con la reparación de toda clase de tubería de las referidas viviendas, para continuar con una remoción de suelo blando y seguir con un recalce de la cimentación de las casas.

- De acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas, se concluye que la zona de falla no es profunda, pudiéndose ubicar hacia los 4 a 5 metros y que el material superficial corresponde a rellenos de escombros y de cantos de arenisca en matriz arcillosa; en profundidad se identifica al material en sitio de la formación Guaduas. Así mismo y con base en la referenciación y control topográfico (instalación de 9 mojones) se concluye que de acuerdo con las medidas realizadas en marzo 12/98 y marzo 29/98, se han presentado variaciones de 6 mm, lo cual se considera aceptable.
- El concepto básico en el planteamiento de soluciones a nivel conceptual consiste en la adecuación de los sectores para hacerlos aptos para un desarrollo urbano, con aplicación específica para la zona No. 2, por cuanto la zona No. 1 además de ser propiedad privada, fueron los propietarios (Urbanización Montecello) los que realizaron las obras de relleno, por tanto corresponde a estos, realizar la respectiva adecuación y mejora del espacio.
- La alternativa recomendada para adecuación de la zona No. 2 consiste en la remoción del material suelto y/o fallado, continuando con un perfilamiento del terreno a manera de terraceo y estableciendo adecuados sistema para manejo del agua de escorrentía y subsuperficial por medio de cunetas y filtros. Para manejo de la estabilidad y seguridad del sector, se proyectarán estructuras de contención por medio de muros en tierra armada. El desarrollo de la zona atenderá a aspectos arquitectónicos en lo relacionado con la generación de adecuados espacios públicos (vías, accesos, iluminación, servicios), así como aspectos de paisajismo y recreación.
- 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 de las zonas verdes, de los sistemas de drenaje y de las vías, 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 (pequeña empresa).

- En general, en todos los sectores de desarrollo sub-normal, se observa una gran dinámica, en el sentido de que existe una gran demanda de espacios existentes libres, y que por lo tanto generan condiciones de hecho, que implican cambios importantes en el uso de la tierra y que pueden afectar un determinado proyecto. Ante tales situaciones, se recomienda un manejo de información e ilustración a nivel de comunidad, para dar a conocimiento el respectivo proyecto así como para buscar el compromiso de la comunidad en controlar y cuidar los espacios respectivos; así mismo y previamente a la ejecución y materialización del proyecto, se recomienda la verificación y comprobación de que los espacios determinados en el proyecto, correspondan con los realmente existentes en el momento de realizarse las obras. Igualmente se recomienda verificar las condiciones geotécnicas de estabilidad, comprobando el estado actual de la problemática en relación con la descrita inicialmente. De presentarse situaciones adicionales y/o de mayor incidencia y evolución, se recomienda complementar el diagnóstico y así determinar la magnitud, las actividades y presupuestos adicionales para realizar cabalmente las diferentes obras.
- El proyecto de adecuación de la zona No. 2 tiene un costo total del orden de \$ 753 millones, de los cuales la construcción de las estructuras de contención (muros en tierra armada con rellenos) tienen un costo de \$ 476 millones, que representa el 60% del valor total del proyecto; a nivel del diseño definitivo es posible plantear una solución alterna tendiente a eliminar los muros, sin afectar la estabilidad de la zona, con lo cual se logra una economía importante que hace más atractivo económicamente el proyecto.
- Con el objeto de presentar una evaluación económica macro, se ha desarrollado la zona para una distribución de 50 lotes con un área de 100 m² cada lote, con lo cual se obtiene un costo de terreno de \$ 150.000/m² considerándose manejable bajo el concepto de Vivienda de Interés Social. Si se desarrolla la alternativa de remplazar las estructuras de contención y reducir el área de cada lote a 72 m², se tendrían del orden de 60 lotes y el costo del terreno se reducirá a \$ 65.000/m² siendo más favorable y atractivo para manejarlo como solución de interés social.

ANEXO No. 1
REGISTRO DE SONDEOS

ANEXO No. 2

MEMORIAS ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO No. 3
SECCIONES TOPOGRÁFICAS

ANEXO No. 4
REGISTRO FOTOGRÁFICO

PLANOS