MGL

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN EL SECTOR ORIENTAL DEL BARRIO SANTA CECILIA, PARTE BAJA LOCALIDAD DE USAQUÉN, BOGOTÁ D. C.

Contrato de Consultoría No. 347

INFORME EJECUTIVO

Trabajo No. 062
MOYA Y GARCÍA LTDA.
Ingenieros Consultores

Bogotá, D.C., marzo de 2004.

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN EL SECTOR ORIENTAL DEL BARRIO SANTA CECILIA, PARTE BAJA LOCALIDAD DE USAQUÉN, BOGOTÁ D. C.

Contrato de Consultoría No. 347

INFORME EJECUTIVO

CONTENIDO

1	**INTRODUCCIÓN**	**1**
2	**DESCRIPCIÓN**	**1**
3	**GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA**	**2**
4	**USO DEL SUELO Y EROSIÓN**	**4**
5	**CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y CLIMÁTICAS**	**7**
6	**FACTOR ANTRÓPICO**	**10**
7	**EVALUACIÓN DE AMENAZA**	**12**
8	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	**14**

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA EN EL SECTOR ORIENTAL DEL BARRIO SANTA CECILIA, PARTE BAJA LOCALIDAD DE USAQUÉN, BOGOTÁ D. C.

Contrato de Consultoría No. 347

INFORME EJECUTIVO

1 INTRODUCCIÓN

En éste informe se presenta el resultado del Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa del sector oriental del barrio Santa Cecilia, parte baja, en la localidad de Usaquén de la ciudad de Bogotá D. C. de acuerdo con los Términos del Contrato de Consultoría No. 347 suscrito entre el FOPAE y Moya & García Ltda.

El estudio incluyó la recopilación y análisis de la información disponible, el levantamiento topográfico de 25 Ha, a escala 1:1000 con curvas cada metro, el levantamiento de la cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:1000, la caracterización geotécnica, edafológica e hidrológica del terreno, la determinación de los parámetros de comportamiento geotécnico del terreno, mediante la ejecución de perforaciones, apiques y ensayos de laboratorio, la determinación del tipo de viviendas, la evaluación de la amenaza ante procesos de remoción en masa y el planteamiento de acciones de manejo para el control y mitigación de la amenaza.

2 DESCRIPCIÓN

La zona de estudio hace parte de los cerros orientales de Bogotá y corresponde a los terrenos de la antigua cantera Santa Cecilia, de la cual se han explotado piedra de labor y arena desde antes de 1940. Esta localizada al oriente de la Avenida Séptima entre las calles 164 y 165, tiene una longitud cercana a los 1000 m y 180 m de ancho medio, con una diferencia de nivel cercana a 300 m. Por el norte limita con predios de la cantera Servitá, por el oriente con predios de la cantera Santa cecilia, por el sur con la quebrada Santa Cecilia y la calle 164 y por el occidente con la carrera 13, dentro del Barrio Santa Cecilia, parte baja. En las figuras 1.1 y 1.2 se muestran la localización y delimitación del área de estudio, en la 2.1 el esquema de amarre topográfico y en el plano 1 el resultado del levantamiento topográfico.

El terreno inicial estaba conformado por un depósito coluvial arenoso, subyacido por estratos de lodolitas y areniscas intercaladas, con buzamiento hacia el occidente. La explotación se inició por el extremo occidental, desde la carretera central del norte, (hoy Avenida Séptima) y

se hizo avanzando hacia el oriente. Durante las labores de explotación se presentaron procesos de inestabilidad, algunos de gran magnitud.

Actualmente el terreno esta siendo afectado por un proceso de inestabilidad cuya superficie de deslizamiento se encuentra entre los estratos de lodolita y en el proceso ha sometido a pandeo un estrato de arenisca que suprayace el paquete de estratos de lodolita. Se aprecian otros procesos de inestabilidad en el costado suroccidental del área de estudio, los cuales no están afectando las viviendas, ni la infraestructura de la Ciudad, pero pueden evolucionar y afectar algunos predios y elementos urbanos.

En el costado occidental de la ladera se encuentra el barrio Santa Cecilia, parte baja y en la parte media inferior de la ladera existe un asentamiento urbano informal, el cual está muy cerca de la zona inestable y se encuentra bajo su amenaza directa.

3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La zona de estudio se localiza sobre los cerros orientales que bordean la ciudad de Bogotá, específicamente en el Barrio Santa Cecilia (parte Alta y Baja) de la Localidad de Usaquén. La unidad geológica aflorante en la zona de estudio es la Formación Arenisca de Labor, perteneciente a la parte superior del Grupo Guadalupe. Esta formación presenta muy buenas exposiciones debido a la intensa actividad minera que se desarrolló en la zona desde antes de la década de los 40; al norte de la zona de estudio, aflora la Formación Arenisca Tierna, también del Grupo Guadalupe. En los planos 2 a 6 se muestran las características geológicas del terreno.

La Formación Arenisca de labor en éste sector, para los fines de este estudio se subdividió en tres grandes paquetes de estratos: cuarzoarenita inferior, lodolitas y cuarzoarenita superior, con las siguientes características:

Cuarzoarenita Inferior (Kgl1):

Cuarzoarenita de grano medio, color blanco a crema, bien seleccionada, competente, maciza, algo fosilífera, con cemento silíceo, dispuesta en capas gruesas a muy gruesas, separados por delgados niveles de lodolitas de color gris. Esta unidad aflora hacia el costado sur de la zona de estudio y conforma el valle de la quebrada Santa Cecilia, en donde se encuentra cubierta por vegetación.

Nivel de Lodolitas (Kgl2):

Limolitas, arcillolitas y lodolitas de color gris y violáceo por meteorización, con laminación planar paralela, conforma capas delgadas a medias, presenta algunos niveles fosilíferos y algunas capas delgadas a gruesas de cuarzoarenita de grano medio. Esta unidad conforma la pendiente estructural sobre la cual se presenta el deslizamiento principal de la zona de estudio, aflora a manera de remanentes ya que en su mayoría está cubierta por los depósitos Cuaternarios producto de la actividad minera.

Cuarzoarenita Superior (Kgl3):

Cuarzoarenita de grano medio, color blanco a crema, bien seleccionada, competente, maciza, algo fosilífera, con cemento silíceo, con bioturbación (Ichnofósiles), dispuesta en capas gruesas a muy gruesas, separadas por capas delgadas de lodolitas de color gris, con laminación ondulosa. Esta unidad se aprecia muy bien sobre el gran escarpe (30 m de altura) del costado norte y aunque se encuentra fuera de la zona de estudio se incluyó en la cartografía para facilitar la interpretación geológica.

Los depósitos Cuaternarios están cubriendo una extensa zona dentro del área de estudio, y están asociados en parte a la gran actividad antrópica. Antes de iniciarse la explotación minera, la ladera en donde actualmente se encuentra el barrio Santa Cecilia Alta y sus alrededores, estaba cubierto por un depósito coluvial que se extendía desde la parte alta hasta la carrera séptima, suprayaciendo de manera discordante a las rocas de la Formación Arenisca de Labor.

Las rocas de la Formación Arenisca de Labor se encuentran en posición normal, con rumbo general noreste y buzamiento hacia el noroeste, entre 20 y 25 grados, conformando una estructura monoclinal perteneciente al flanco occidental del Anticlinal de Bogotá. El rasgo estructural más importante lo representa el trazo de una falla geológica con rumbo general oriente-occidente y con su bloque sur levantado (en donde se encuentra el Barrio Santa Cecilia).

La parte estructural tiene incidencia directa en el mecanismo de falla que se presenta en el Barrio Santa Cecilia. La geometría y posición de los estratos con buzamiento hacia el noroeste, es decir paralelos a la pendiente topográfica del terreno, favorece la formación de movimientos de tipo traslacional a lo largo de los planos de estratificación, adicionalmente la presencia de niveles de lodolita aumenta aún mas la posibilidad de falla de la ladera.

Las formas del paisaje y los diferentes procesos que las generaron y que actualmente se presentan en la zona de estudio, están determinados en gran medida por la actividad antrópica (explotación de materiales pétreos) que se desarrolló durante más de cinco décadas sobre estos cerros del nororiente de Bogotá.

En una fase inicial, década de los 40, la ladera se encontraba cubierta por un espeso depósito coluvial que denotaba una morfología suave con inclinación moderada hacia el occidente; la explotación de materiales era incipiente y se ubicaba sobre la parte baja del cerro, contigua a la actual carrera séptima. Con el tiempo la actividad minera se incrementó notablemente, asociado con la expansión de la ciudad y con el impulso de la construcción, lo que produjo un cambio fuerte en el paisaje, aparecieron los grandes frentes de explotación con taludes de corte, terrazas, botaderos y zonas de acopio, cuya extensión fue aumentando progresivamente. A comienzos de la década de los 70, cuando se presenta un deslizamiento en la parte alta, se define la forma general o área de influencia de la zona de explotación la cual se conserva hasta la fecha. En total se identificaron 11 (once) unidades geomorfológicas y varios procesos morfodinámicos los cuales se pueden apreciar en el Plano Geomorfológico y de Procesos Plano 7).

Se identificaron los siguientes procesos de remoción en masa que se presentan en la zona de estudio.

- Deslizamiento Principal: Representa el movimiento de mayor magnitud en la zona de estudio, corresponde a un segmento de ladera en movimiento que involucra la roca (Kgl2) y los diferentes depósitos Cuaternarios que la suprayacen. El deslizamiento de tipo traslacional se produce a través de estratos de roca débil (lodolitas) y tiene una dirección general de desplazamiento hacia el occidente, es decir, en el mismo sentido de la pendiente del terreno.

  La corona del movimiento se encuentra en inmediaciones de la criba (remanente de las antiguas explotaciones) y las grietas de tracción del movimiento retrogresivo se extienden hasta 50m atrás de la corona principal. La pata del movimiento describe un talud en roca que se encuentra en proceso de pandeo y levantamiento en inmediaciones de asentamiento informal, viviendas 1 a 38 del inventario. A lo largo de la masa inestable son comunes las grietas transversales con orientación general norte-sur, sobre sus flancos y en la parte baja del deslizamiento se aprecia caída de rocas y detritos que muestran la actividad del movimiento.

- Deslizamiento antiguo: A partir de las fotografías aéreas se pudo identificar un deslizamiento antiguo que se presentó en la parte alta de la cantera, a finales de la década del 60´, debido a la extracción de materiales hacia la base de la ladera coluvial (Qcl2). Actualmente este movimiento se encuentra estable, aunque su pata ya presenta grietas de tracción del deslizamiento principal.

- Caída de rocas: Este movimiento se presenta en diferentes sectores. Sobre el escarpe del costado norte sobre el lindero de la zona de estudio, en los flancos del deslizamiento principal, sobre el frente de avance del talud levantado del deslizamiento principal. Se trata de caída de bloques de cuarzoarenita principalmente sobre la parte baja de taludes empinados y favorecido por la presencia de discontinuidades que están afectando al macizo rocoso.

- Erosión: Es común encontrar a lo largo de la zona de estudio procesos de erosión concentrada en forma de surcos y cárcavas debido a la ausencia de una cobertura vegetal del terreno, a la inclinación del mismo y a la ausencia de estructuras de drenaje para captar el agua de escorrentía. Por esta razón, los procesos erosivos se concentran en los depósitos no consolidados, aunque también se aprecian algunas cárcavas sobre la roca.

4 USO DEL SUELO Y EROSIÓN

El inventario de uso actual de suelos se realizó siguiendo los lineamientos generales de la clasificación de la Unidad de Suelos y Agricultura del CIAF, con algunas modificaciones. Presenta cuatro categorías: gran grupo, grupo, subgrupo y tipo de cobertura y uso. A nivel de gran grupo las unidades de uso se clasificaron en tres categorías: rasgos culturales, tierras con vegetación nativa y cuerpos de agua. En la Tabla 1 se muestra el resultado y se complementa con el plano 9 de usos del suelo:

Tabla 1 - Clasificación de la cobertura y uso del suelo

Gran Grupo	Grupo	Subgrupo	Tipo
RASGOS CULTURALES	**Rasgos Urbanos**	**Residencial**	Lotes construidos total o parcialmente.
		Comercial	Comercio informal, establecimientos pequeños.
		Servicios	Educación. Recreación y deporte. Servicio religioso.
		Minería abandonada	Escarpe del costado norte.
			Ladera disturbada por la actividad de la cantera.
		Vegetación inducida	Rodal de Acacias en lotes vacíos. Pastos y herbáceas en lotes vacíos.
	Rasgos Rurales	**Actividad Agropecuaria**	Cultivos de pancoger, no tecnificados.
			Praderas dedicadas al pastoreo.
	Transporte y comunicación	**Vías de acceso**	Vías adoquinadas vehículares y peatonales.
			Vías destapadas peatonales.
TIERRAS CON VEGETACION NATIVA	Matorral Arbustivo	Comunidad vegetal "Matas de Monte"	Vegetación adaptada al piso altoandino, con composición florística de bosque muy intervenido, en proceso de recuperación.
	Pajonal	Comunidad vegetal de pajonal asociado con arbustos.	Vegetación pionera, de rápido crecimiento, localizada formando parches sobre reductos de suelo orgánico.
CUERPOS DE AGUA	**Corriente**	**Permanente**	**Cañada con flujo de agua constante.**
		Intermitente	**Drenajes con flujo de agua estacional, determinado por la presencia de lluvias.**

El aprovechamiento de los materiales en la antigua cantera (minería extractiva a cielo abierto) produjo la mayor influencia negativa en la estabilidad de los suelos como consecuencia de la alteración de la estructura de los materiales a lo largo del perfil. Actualmente dicha actividad ha sido suspendida y en el plano de uso del suelo se presenta el área de explotación como "Minería abandonada".

Las unidades de uso "Residencial y Comercial" cuenta con servicio de alcantarillado sólo para las manzanas de la parte baja, al extremo oriental y no existe un sistema "oficial" de alcantarillado para las casas de la parte superior, más cercanas al frente del deslizamiento. Debido a esta situación, las aguas servidas de este sector fluyen por canalización comunitaria hacia la zona baja donde se ubican las plantas de acacia y el pastizal. Este aporte de agua afecta suelos de origen antrópico (rellenos), con diverso grado de compactación, lo que puede generar procesos de inestabilidad e incluso erosión que actualmente se enmascaran con la densa cobertura vegetal. La unidad de uso Servicios (educación y recreación y deporte), por su ubicación y cobertura, no tiene incidencia en la estabilidad de los suelos.

El grupo "Transporte y comunicación" que corresponde a las vías del sector presenta incidencia negativa, en el caso de vías destapadas, por su deficiente cobertura y daños en el

sistema de canalización y recolección de aguas lluvias, favoreciendo la escorrentía superficial y la formación de surcos longitudinales de erosión concentrada, en las mismas vías.

La unidad de uso "Vegetación nativa", en general, tiene influencia benéfica en la estabilidad del suelo al disminuir la incidencia del agua sobre la superficie y por ende, la erosión. Además, sus raíces crean canales a lo largo del perfil, favoreciendo la infiltración, en detrimento de la escorrentía. Sin embargo, en las zonas de pastizales no se cuenta con un sistema de raíces profundas y en las zonas con cobertura vegetal menor al 60% no se cuenta con el efecto protector de la superficie.

En el caso del área dedicada a la "Agricultura" la cobertura de la vegetación sobre el suelo sufre drásticas variaciones durante el ciclo de vida de las plantas sembradas, por lo que el efecto benéfico de la vegetación sólo se presenta cuando el cultivo se ha establecido y el follaje es denso, mientras que las etapas de barbecho y siembra favorecen la erosión. En el Plano 10 se presenta el inventario de uso actual del suelo y cobertura.

Con base en la evaluación edafológica, las pendientes y el uso del terreno se adelanto el estimativo de la pérdida de suelo por erosión pluvial en la zona de estudio, el cual se realizó por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, EUPS, que correlaciona factores de erosión (lluvia - viento), propiedades del suelo y condiciones que afectan el proceso de erosión. A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos que se pueden observar en el plano 10 de pérdida de suelo y en la Tabla 2.

Tabla 2 - Valores estimados de pérdida anual de suelos por erosión pluvial.

ZONA POR RELIEVE	ESCARPE	CAÑADA		URBANO					LADERA			
Uso y cobertura de suelo	Suelo desnudo	Matas de monte	Pastos	Acacias	Pastos	Casas	Vías paviment.	Vías destap.	Cultivos	Matorral	Pajonal	Suelo desnudo
R	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63
K	0.128	0.246	0.092	0.092	0.092	0.128	0.128	0.128	0.246	0.246	0.246	0.128
L S	154.86	81.29	81.29	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	39.74	39.74	39.74	39.74
C	1.00	0.003	0.043	0.042	0.043	0.001	0.001	0.8	0.10	0.003	0.075	1.00
P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
E ton/ha	2232.56	6.76	36.22	6.53	6.68	0.22	0.22	173.00	110.11	13.21	82.58	572.92
Clasific.	Muy severa	Ligera	Severa	Ligera	Ligera	Ligera	Ligera	Severa	Severa	Ligera	Severa	Muy severa

PERDIDA DE SUELO (ton/ha/año)	**GRADO DE EROSIÓN** (Fao - Pnuma - Unesco)
Menor de 10	Ninguna o ligera
De 10 a 50	Moderada
De 50 a 200	Severa
Mayor de 200	Muy severa

5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y CLIMÁTICAS

Para determinar las características y propiedades del subsuelo se adelantó un programa de exploración (plano 12) consistente de 9 perforaciones de profundidad variable entre 1.9 y 15.8 m y 9 apiques/trinchera que permitieron explorar profundidades entre 1.1 y 8.0 m, para un total de exploración de 117.15 m; ésta información permitió complementar los resultados del levantamiento geológico y obtener muestras de los materiales involucrados en los procesos de inestabilidad (Remoción en masa y erosión). En los apiques se tomaron muestras en bloque, algunas de la superficie de deslizamiento; en campo se hicieron ensayos de plano inclinado, sobre fragmentos de roca de la superficie de deslizamiento, para obtener los ángulos de fricción estático y cinemático. Como complemento se hizo la evaluación de fotografías aéreas de diferentes épocas y se pudo establecer la evolución de los procesos a que ha estado sometido el terreno bajo estudio, el resultado se muestra en el plano 11.

El terreno de la zona de estudio está conformado por estratos de arenisca con intercalaciones arcillosas y de lodolitas con intercalaciones de arenisca, cubiertos parcialmente por depósitos coluviales y de escombros de minería. Las rocas se encuentran con un buzamiento general hacia el NWW variable entre 15 y 28º ; muy cerca de la superficie aflora un estrato de arenisca de 0.6 a 0.8 m de espesor, subyacida por estratos de limolita y arcillolita intercalados que conforman un paquete de 2 a 3 m de espesor, seguido por un paquete de tres estratos de arenisca de un espesor total de 6 a 7 m, hacia abajo se encuentran paquetes de estratos de lodolitas y areniscas.

El tercio medio del lote está sometida a un proceso de inestabilidad, donde las superficies de deslizamiento se encuentran dentro del paquete de limolitas que quedan bajo la arenisca superficial; éste proceso ha concentrado esfuerzos de compresión inmediatamente arriba de las viviendas del sector superior y tracciones en la parte alta, arriba del antiguo frente de explotación, en los materiales del cuerpo del deslizamiento de los 60´, hasta éste momento la actividad afecta una longitud de 350 m y un ancho variable entre 50 m, en la parte superior, y 150 m en la inferior, con un espesor variable entre 3 y 15 m, donde el mayor espesor se encuentra en la zona inferior del antiguo deslizamiento, donde se había adelantado la explotación a mayor profundidad.

Desde el punto de vista geotécnico se pueden agrupar los materiales que conforman el terreno en depósitos de desechos de construcción o minería, donde predomina una matriz arcillosa o limosa con una humedad variable entre 5 y 80%, con un valor medio alrededor del 25%; número de golpes por pie en el SPT variable entre 3 y 60 golpes con una media alrededor de 15 golpes por pie. El peso unitario total se encuentra entre 1.85 y 2.0 ton/m^3 ; la resistencia al corte no drenada de la matriz se encuentra entre 1 y 8 ton/m^2 .

Otros depósitos, están conformados por arenas, provenientes de los antiguos deslizamientos, las cuales presentan variado grado de densidad, el número de golpes por pie varia entre 2 y 20 con tendencia al menor valor, la humedad se encuentra alrededor del 10%; la arena es relativamente limpia, con un contenido de finos de alrededor del 25%.

El depósito coluvial es predominantemente arenoso, con un contenido de finos menor del 20%, humedad natural alrededor del 15% con valor mínimo del 8%; el número de golpes por

pie en el SPT varia entre 5 y 40 con valores excepcionales de más de 50 golpes por pie en posibles bloques de arenisca friable.

Para la roca ligeramente removida por el deslizamiento, se tienen areniscas regularmente cementadas, limolitas, lodolitas y arcillolitas intercaladas, a veces formando láminas delgadas; la densidad varía entre 1.95 y 2.5 ton/m^3, dependiendo del grado de alteración que haya sufrido la roca. En los ensayos de corte directo inconfinado (plano inclinado) se encontraron valores del ángulo de fricción estático o inicial de 30 a 32º y cinemático de 27 a 28º para las lodolitas, de 33º para las areniscas y de 26 a 28º para las arcillolitas.

Tabla 3 – Propiedades geotécnicas materiales Barrios Santa Cecilia

Descripción	Humedad natural ω (%)	Peso unitario γt (ton/m³)	Resistencia al corte no drenada Cu (ton/m²)	c´ (ton/m²)	ϕ (º)	Ensayo SPT (golpes/pie)	Contenido de finos %PT200	Recobro (%)	RQD
Depósitos de desechos de construcción, en matriz arcillosa o limosa.	25	1.85 – 2.00	1.00 – 8.00	-	26.8	15	-	-	-
Arenas limpias, provenientes de los antiguos deslizamientos.	10	1.80 - 2.1	-	-	30.5	2	25	-	-
Depósitos coluviales predominantemente arenosos. (Arcillolita arenosa)	15	2.00	-	-	33.3	5 - 40	< 20	-	-
Depósitos coluviales arcillosos, roca ligeramente removida por el deslizamiento, intercalaciones de arenisca regularmente cementadas, limolitas, lodolitas y arcillolitas.	-	1.95 - 2.50	-	-	(1) (2) (3) 30.0 - 32.0 (4) 27.0 - 28.0 (5) 33.0 26.0 - 28.0 28.4 - 41.4	-	-	-	-
Roca arenosa friable.	-	1.95 - 2.29	-	0.60	24.0 - 27.0	-	-	29 - 44	9 - 55
Roca arenosa cementada.	-	2.10 - 2.60	-	6.10 - 6.60	30.3 - 36.0	-	40	18 - 99	52 -141
Lodolitas.	-	-	-	1.00	36.8	-	-	-	-
Roca Intacta.	-	2.12 - 2.30	-	500 - 1000	56.0 - 60.0	-	-	-	-

(1) Condición estática, lodolitas
(2) Condición cinemática, lodlitas
(3) Condición estática, areniscas
(4) Condición estática, arcillolitas
(5) Correlación con ensayo SPT

Teniendo en cuenta el perfil del terreno, el comportamiento del agua subsuperficial en otros sectores vecinos y los resultados de las observaciones realizadas, encontramos que el agua subterránea puede aflorar por algunos sectores siguiendo discontinuidades de la roca, éste podría ser el caso de los manantiales que alimentan a las quebradas y surten el acueducto del asentamiento informal; los otros afloramientos de agua, dentro de la masa inestable posiblemente obedecen al rebose del agua infiltrada en la vecindad.

De acuerdo con los resultados de las pruebas de infiltración, donde la tasa es mayor arriba que abajo, se deduce que el agua infiltrada en la parte superior se almacena durante un tiempo de pronto largo (más de un mes, de acuerdo con lo observado en campo), con lo cual se deben esperar cabezas hidrostáticas importantes sobre las posibles superficies de deslizamiento. En el depósito de arena, vecino a la criba, donde la tasa de infiltración es superior a 2000 mm/hora, toda el agua lluvia se infiltrará hasta lograr la saturación del depósito, lo cual se puede lograr en 72 horas, con la menor intensidad del análisis de frecuencia de las lluvias (56 mm/hora, en el cuadro 1), la correspondiente a 2 años y dado que durante las temporadas de lluvias éstas se pueden dar durante varios días consecutivos es fácil saturar el terreno y alcanzar presiones hidrostáticas críticas para la estabilidad con probabilidad de ocurrencia del 50%.

Con base en los resultados obtenidos, se adelantaron los análisis de estabilidad, teniendo en cuenta procesos de deslizamiento rotacional o planar, este último generando un proceso de pandeo; también se tuvieron en cuenta procesos de caída de rocas, erosión y posibles avalanchas. En el plano 13 se presenta una zonificación geotécnica del área de estudio.

El proceso de deslizamiento que se tiene, siguiendo los planos de estratificación, por los estratos de lodolitas y arcillolitas, continuará, se producirá el pandeo de éstos estratos al sur de los pliegues actuales; los pliegues producirán bloques que rodarán por la ladera y afectarán las viviendas y eventualmente a las personas; al romperse el estrato de arenisca superficial se facilita el desplazamiento del deslizamiento y puede adquirir mayor velocidad. Se incrementará el área afectada hacia arriba, en forma retrogresiva y hacia los lados, especialmente al costado sur, hasta el escarpe de la explotación en el valle de la quebrada.

Al llegar el movimiento al mencionado escarpe, se presentará caída de grandes bloques que pueden obstruir el cauce y eventualmente generar avalanchas que bajarían por aquel y por la calle 164, las cuales afectarían las viviendas existentes en la Ronda de la quebrada, por fuera de la zona de estudio y en la vecindad de la calle 164 (límite sur de la zona de estudio).

Del escarpe del costado norte seguirán cayendo materiales, que ampliarán los depósitos de talus constituyéndose en sobrecarga para el deslizamiento general de la zona de estudio e incrementando su velocidad y amenaza. Ante eventos extremos de sismo o hidrológico severo se presentarán deslizamientos del escarpe norte.

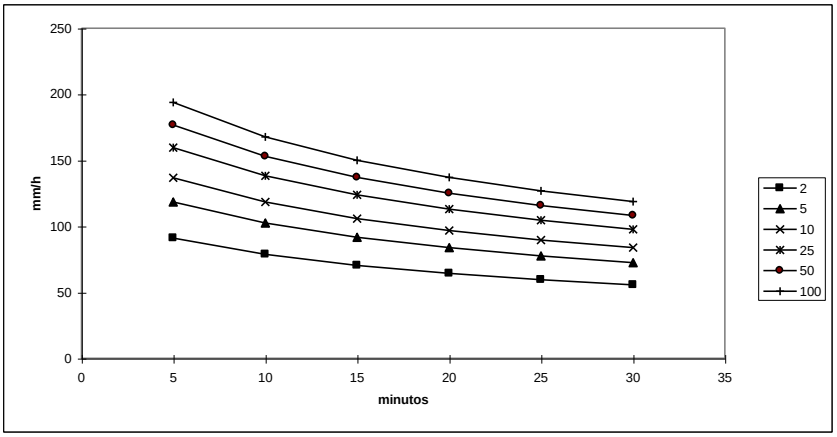
La erosión competirá con ventaja contra la sucesión vegetal, impidiendo su desarrollo, aflojando bloques que pueden rodar por la ladera y ampliando las áreas inestables o creando nuevos puntos de inestabilidad.

En la zona el clima varía entre muy frío, de páramo, en la parte alta y Frío en la parte baja. La temperatura media anual oscila entre 8°C y 14°C. La evapotranspiración real media anual es del orden de 600 mm y la precipitación media anual es del orden de 1100 mm. El régimen es bimodal; las lluvias altas se presentan entre Abril-Mayo y Octubre-Noviembre. Históricamente, la precipitación más baja se registra entre Julio y Agosto. El mes de mayor precipitación es Noviembre y los más secos Julio y Agosto. A continuación se muestran las curvas de intensidad-duración-frecuencia:

Cuadro No. 1
Curvas de Intensidad-Duración-frecuencia
Barrio Santa Cecilia

60	mm	Promedio de las máximas anuales
16	mm	Desviación standard de la serie.
0.7		Relación entre lluvias horaria y diaria.

	Intensidades máximas para duraciones entre 10 y 30 minutos:					
	5	10	15	20	25	30
2	90.9	78.8	70.4	64.3	59.5	55.7
5	118.5	102.6	91.8	83.8	77.5	72.5
10	136.7	118.4	105.9	96.6	89.5	83.7
25	159.7	138.3	123.7	112.9	104.5	97.8
50	176.8	153.1	136.9	125.0	115.7	108.2
100	193.7	167.8	150.0	137.0	126.8	118.6



Con ésta información y la delimitación de las cuencas que se muestra en el plano 14 se adelantaron los análisis hidrológicos que permitieron determinar la magnitud de las posibles crecientes que pueden afectar la zona de estudio.

6 FACTOR ANTRÓPICO

La zona de estudio ha sido afectada en su totalidad, directa o indirectamente, por la actividad antrópica: al comienzo con la explotación forestal, luego con explotación agrícola, a continuación con explotación minera y actualmente con la ocupación con vivienda, explotación artesanal de materiales de construcción y agricultura; para determinar el estado de las viviendas, se adelantó un inventario de ellas, con los siguientes resultados:

En general las viviendas están completamente construidas (63.7%), presentando en la mayoría de los casos un solo apartamento (48.4%); el tipo de construcción predominante es el de pórticos en columnas de concreto (72.5%), con muros no estructurales de bloque, que dan apariencia de una baja calidad en la construcción (57.1%), presentándose un contraste en las viviendas de la parte baja del barrio donde las viviendas (25.3%) tienen mejores condiciones constructivas, ya que han sido construidas de manera propia por sus dueños en varias etapas desde hace más de 20 años.

En cuanto al tipo de cimentación se tiene que el mas empleado por los vecinos del sector el de continuo de piedra (75.8%), por encontrarse el barrio en un área de cantera donde las piedras y rajones son de fácil consecución. La estructura del piso es el concreto reforzado (79.1%) recordando que es una construcción carente de supervisión técnica; el techo de las viviendas puede dividirse en dos grupos aquellos que han construido losa de segundo piso (41.8%) y piensan ampliar su vivienda en un futuro, y los que usan teja de zinc como cubierta de la vivienda (59.3%).

Las viviendas localizadas en la parte media (59.3%) y parte baja de la ladera (39.6%), han sido expuestas en repetidas ocasiones ha daños por fenómenos combinados de deslizamientos, caída de rocas, caída de materiales sueltos e inundación por desborde (81.3%), siendo los más frecuentes los deslizamientos y la caída de rocas. De las condiciones del entorno se advierte la presencia de gran cantidad de rocas y materiales sueltos producto de las labores de explotación de las canteras colindantes con el barrio.

A pesar de esta situación las viviendas (89.0%) no presentan daños considerables en su estructura (vigas, columnas, muros, pisos, cubierta), ni en los elementos no estructurales (86.8%) tales como instalaciones sanitarias, eléctricas, y de canalización de aguas lluvias.

De esta forma los habitantes no temen a lo que les pueda suceder (42.9%), en cuanto a fenómenos de remoción en masa y están de acuerdo con la eliminación del peligro local (60.4%), con medidas como la reforestación del bosque, la prohibición de la explotación en las canteras, y la urbanización controlada.

Los servicios públicos se prestan en el barrio, pero no todas las viviendas hacen uso de ellos, es así como se tiene los siguientes resultados de uso de cada servicio: acueducto (72.5%), alcantarillado (65.9%), energía eléctrica (90.1%), gas natural (31.9%), teléfono (78.0%). La parte baja del barrio es la única en la que se tienen las calles pavimentadas (30.8%).

Una familia por vivienda es el valor típico para el barrio (33.0%), sin embargo se presentan hasta 6 familias en una misma vivienda (1.1%); el núcleo familiar predominante en el barrio lo forman 2 adultos (13.2%) y 2 menores de 18 años (14.3%); los ingresos están a cargo de 1 persona (16.5%), dedicada a trabajos independientes (17.6%).

Se evidencia la falta de relaciones de la comunidad hacía entidades como el Comité Local de Emergencias (86.8%), la Junta de Acción Comunal (73.6%), la Defensa Civil (85.7%); y el desconocimiento de entidades como la DPAE (76.9%), la Cruz Roja (75.8%) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (80.2%).

Muy pocas personas del barrio han recibido algún tipo de capacitación en desastres naturales (3.3%), prevención de desastres y atención de emergencias (2.2%), educación ambiental (1.1%), desarrollo comunitario (1.1%), primeros auxilios (2.2%), reforestación y recuperación de cuencas (1.1%) y construcción sismoresistente (1.1%). Ya sea por que no se ha presentado la oportunidad o por que no les interesan los temas.

Entre los aspectos que mencionan los habitantes como preocupantes para el desarrollo del barrio son: el hurto de las casas, la presencia de marihuaneros y personas extrañas en la ladera, la canalización de las aguas que escurren de la montaña y la pavimentación de las

vías de acceso a la parta alta. Para ello sugieren la participación activa de la Junta de Acción Comunal en planes gubernamentales eficaces.

En el plano 15 se muestra la tipificación de viviendas, donde se tiene en cuenta el tipo de construcción y la integridad de cada edificación.

7 EVALUACIÓN DE AMENAZA

Se considera amenaza a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo, en un periodo específico de tiempo y en un área dada; para éste caso consideraremos el área de la zona de estudio, corto plazo (1 año) y los fenómenos de remoción en masa, tales como deslizamientos, avalanchas y caída de rocas. En el plano 16 se muestra la susceptibilidad del terreno a dichos procesos.

Para calcular la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos considerados se adelantan análisis de estabilidad probalísticos, en los que se tienen en cuenta la variación de los parámetros de resistencia al corte (máximos, medios y mínimos) y la probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas y de sismos.

Se adopta como criterio de categorización de la amenaza aquel en que para probabilidades de falla superiores a 45% se consideran como de amenaza alta, los de 30 a 45% como de amenaza media y los menores de 30% de amenaza baja.

De acuerdo con lo anterior se tiene que la parte central del área de estudio, el escarpe norte (contra Servitá) y el escarpe sur contra el valle de la quebrada Santa Cecilia presentan amenaza alta; el sector del asentamiento informal, el valle de la quebrada Santa Cecilia y una franja de terreno localizado arriba del deslizamiento activo, así como el talud localizado al sur del patio inicial de explotación presentan amenaza media y el sector del barrio Santa Cecilia parte baja y el costado oriental, arriba, presenta amenaza baja. En el plano 17 se muestra la zonificación obtenida.

Para controlar los procesos que constituyen amenaza, es necesario adelantar obras y acciones, que consisten básicamente de la conformación del terreno, de manera que se retiren los materiales susceptibles a la inestabilidad, el refuerzo de algunos sectores para evitar que se propaguen los procesos de inestabilidad y el drenaje superficial y subsuperficial para evitar incrementos en las presiones internas y controlar la erosión, para el control de éste proceso es necesario también dotar al terreno de cobertura, la cual puede ser vegetal o resistente a la erosión. Las obras que se adelanten deben estar asociadas a un uso futuro del terreno, el cual puede ser como de reserva ambiental o urbano, mediante la conformación de un parque de recreación pasiva, para el primero o una urbanización formal para el segundo. En los planos 18 a 23 se muestran las alternativas planteadas y se complementa con el plano 25, donde se indica el estado de la amenaza después de realizar las obras durante un periodo de 50 años.

Mientras se define el uso futuro es necesario adelantar algunas obras de contingencia, que permitan en el corto plazo controlar la amenaza. En el plano 24 se muestran las obras de contingencia propuestas. En las Tablas 4 y 5 se muestran los resultados de los análisis probabilísticos de estabilidad.

TABLA 4

RESUMEN PROBABILIDADES DE FALLA PARA SECCIONES DE ANALISIS POR DESLIZAMIENTO

SECCION DE ANALISIS	ZONA	TIPO DE ANALISIS	PROBABILIDAD DE FALLA (FS < 1.0)
4	VI	Traslacional	0.436
5	VII	Traslacional	0.250
6	I	Rotacional	1.000
7	I	Rotacional	0.809
9	VII	Rotacional	0.364
10	VII	Rotacional	0.311
1	V	Pandeo	0.372
1	II - VII	Traslacional	0.024
3	VIII	Traslacional	0.434
A-A parte inferior	IV	Traslacional	0.271
A-A parte media	IV	Traslacional	0.538
A-A parte superior Falla por contacto coluvión - lodolita	II - IV	Traslacional	0.180
A-A parte superior Falla por estrato de lodolita	II - IV	Traslacional	0.275

TABLA 5 - DISTANCIA DE RECORRIDO PARA BLOQUES DESPRENDIDOS

Sismo (a/g) = 0.25 Masa del bloque: 10000 Kg

SECCION DE ANALISIS	ZONA	TIPO DE ANALISIS	LONGITUD DE RECORRIDO (m)	
			> 60 BLOQUES	< = 40 BLOQUES
2	II	Caída de bloques	90	300
6	I	Caída de bloques	20	65
7	I	Caída de bloques	30	55
8	IV - VII	Caída de bloques	46	65
11	I	Caída de bloques	45	53
12	I	Caída de bloques	10	20

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El terreno en la zona de estudio ha estado sometido a procesos de extracción de materiales que lo han llevado a una situación de inestabilidad.

En el sector del patio inferior de la antigua explotación se ha conformado el barrio Santa Cecilia, parte baja, el cual puede estar amenazado por los procesos de inestabilidad que se desarrollan al oriente. En el costado sur del patio se tienen instalaciones de talleres, las cuales fueron parcialmente apoyadas sobre rellenos de escombros de minería, se encuentran expuestas a una amenaza media.

En la parte media inferior se conformó un asentamiento informal, que ayuda a los procesos de inestabilidad, especialmente por su manejo del agua: con mangueras desde la parte superior para el acueducto y con un sistema de disposición de aguas servidas por la ladera inferior contra el barrio Santa Cecilia. Este asentamiento está expuesto a una amenaza alta en su parte oriental y media en el resto.

Si se mantienen las condiciones actuales, los procesos de inestabilidad se agravarán y probablemente afectarán la integridad del barrio y del asentamiento informal.

Se recomienda impedir a como dé lugar, la urbanización informal del terreno, dado que ésta afectaría aún más la estabilidad y se podría generar una catástrofe.

Se recomienda estudiar la posibilidad de darle un uso racional al terreno, por ejemplo como parque de recreación pasiva o como zona urbana formal mediante la concertación de un Plan Parcial, se considera esta segunda alternativa como la más viable.

Mientras se define que hacer con el terreno se deben adelantar obras de contingencia que mitiguen en el corto plazo la amenaza; dentro de éstas obras se recomienda el refuerzo de algunos sectores en la parte inferior de la ladera y la remoción de los materiales provenientes del plegamiento.

Como medidas para la estabilización del terreno se recomienda su conformación, mediante el retiro de los materiales susceptibles al deslizamiento, la construcción de sistemas de drenaje superficial y subsuperficial, el refuerzo de algunos sectores y la colocación de coberturas vegetales y resistentes a la erosión. En la Tabla 6 se muestra el resultado de la evaluación de amenaza con obras para un período de 50 años y en la Tabla 7 el estimativo de costos de las obras propuestas en cada alternativa.

Bogotá, D.C., marzo de 2004

MOYA Y GARCIA LTDA.

Ing. José Vicente Amórtegui G.
Director del Estudio

TABLA 6

RESUMEN PROBABILIDADES DE FALLA PARA SECCIONES DE ANALISIS POR DESLIZAMIENTO CON OBRAS

SECCION DE ANALISIS	ZONA	TIPO DE ANALISIS	PROBABILIDAD DE FALLA (FS < 1.0)
9	VII	Rotacional	0.041
10	VII	Rotacional	0.041
A-A parte inferior	IV	Traslacional	0.100
A-A. Alternativa paque, parte superior. Falla por contacto coluvión - lodolita	II - IV	Traslacional	0.062
A-A. Alternativa paque, parte superior. Falla por estrato de lodolita	II - IV	Traslacional	0.100
A-A. Alternativa urbanismo, parte superior. Falla por contacto coluvión - lodolita	II - IV	Traslacional	0.100
A-A. Alternativa urbanismo, parte superior. Falla por estrato de lodolita	II - IV	Traslacional	0.100

TABLA 7 - ESTIMATIVO DE CANTIDADES DE OBRA Y COSTOS

ALTERNATIVA	COSTO TOTAL	OBRA	CONFORMACION	ANCLAJES	VIGA ANCLADA	DRENES	CUNETAS	MALLA	GAVIONES	DIQUES DE DERIVACION
PARQUE	$ 3,814,950,000	Cantidad	225000 m³	690 m	155 m³ concreto 975 m anclaje	340 m	1260 m	250 m²	40 m³	160 m³
		Costo	$ 3,375,000,000	$ 124,200,000	$ 208,250,000	$ 30,600,000	$ 56,700,000	$ 8,000,000	$ 3,400,000	$ 8,800,000
URBANISMO	$ 7,798,000,000	Cantidad	510000 m³	660 m	-	100 m	-	250 m²	40 m³	160 m³
		Costo	$ 7,650,000,000	$ 118,800,000		$ 9,000,000		$ 8,000,000	$ 3,400,000	$ 8,800,000
CONTINGENCIA	$ 260,750,000	Cantidad	3500 m³	-	155 m³ concreto 975 m anclaje	-	-	-	-	-
		Costo	$ 52,500,000		$ 208,250,000					