

DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - DPAE

**ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA
PARA LOS BARRIOS CERRO NORTE Y VILLA NIDIA,
DE LA LOCALIDAD DE USAQUEN Y DISEÑO DE OBRAS
DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN**

Informe final

**Trabajo No. 038
MOYA Y GARCÍA LTDA.
Ingenieros Consultores**

Bogotá, D.C., Noviembre de 2002

TABLA DE CONTENIDO

1.	<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
2.	<i>DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL</i>	1
2.1.	Descripción	1
2.2.	Delimitación Geométrica del área de estudio	4
2.3.	Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo	4
2.4.	Modelos y Métodos de análisis	4
2.5.	Evaluación Conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del área de estudio	5
2.5.1	Evaluación de la amenaza	5
2.5.2	Evaluación de vulnerabilidad	6
2.5.3	Evaluación del riesgo	8
2.6	Alternativas de solución	8
3.	<i>LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</i>	8
3.1.	Método de trabajo.	8
4.	<i>ESTUDIO GEOLOGICO</i>	9
4.1.	Método de Trabajo	9
4.2.	Geología Regional	10
4.2.1	Estratigrafía	10
4.2.2	Geología Estructural	11
4.3.	Geología Local	11
4.3.1	Estratigrafía	12
4.3.2	Geología Estructural	13
4.4.	Geomorfología	16
4.5.	Aspectos Hidrogeológicos	17
5.	<i>ESTUDIO GEOTÉCNICO</i>	18
5.1.	Investigación del Subsuelo y Caracterización del Macizo	18
5.1.1	Exploración	18
5.1.2	Ensayos	19
5.1.3	Estratigrafía	19
5.2.	Inventario de Procesos	19
5.3.	Análisis de Estabilidad	22
6.	<i>CARACTERIZACION DE VEGETACION Y SUELOS</i>	23
6.1.	Características del entorno	23
6.2.	Caracterización de Suelos	24

6.3.	Inventario de uso actual del suelo y cobertura	27
6.3.1	Método de estudio	27
6.3.2	Unidades de Uso	27
6.4.	Incidencia de las unidades de uso en la Estabilidad de los Terrenos	29
6.5.	Pérdida de suelos por erosión pluvial	30
6.5.1	Conceptos generales	30
6.5.2	Método de estudio para la estimación de pérdida de suelo por erosión pluvial	31
6.5.3	Base teórica	32
6.5.4	Análisis de resultados	35
6.5.5	Pérdida de suelos E	40
7.	<i>ESTUDIO HIDROLOGICO DE LAS QUEBRADAS</i>	41
7.1.	Generalidades	41
7.2.	Información utilizada	41
7.3.	Clima.	42
7.4.	Precipitación.	42
7.5.	Crecientes.	43
7.6.	Capacidad de las alcantarillas circulares	44
8.	<i>EVALUACIÓN DE LA AMENAZA</i>	47
8.1.	Amenaza por Deslizamiento	47
8.2.	Caída de Rocas	51
8.2.1	Evaluación de la Vulnerabilidad por Caída de Rocas	51
8.2.2	Evaluación de la Amenaza	55
8.2.3	Escenario a 20 Años	59
8.3.	Amenaza por eventos hidrológicos	61
9.	<i>EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR FRM</i>	61
9.1.	Método de estudio y procedimiento empleado para determinar la vulnerabilidad física	62
9.2.	Inventario de viviendas	62
9.2.1	Tipificación de viviendas	63
9.2.2	Calificación de daños	64
9.3.	Solicitaciones	64
9.4.	Intensidad	64
9.5.	Resistencia	65
9.6.	Calificación y zonificación de vulnerabilidad física por FRM	65
9.7.	Conclusiones de la evaluación de la vulnerabilidad física	66
9.7.1	Condición del suelo de fundación	66
9.7.2	Tipo de cimentación	66
9.7.3	Sistema estructural	66
9.7.4	Cubierta	66
9.7.5	Daño actual	66

9.8.	Resultados de la evaluación de aspectos sociales y servicios públicos	66
9.9.	Técnicas de Recolección de Información	67
9.10.	Caracterización Socioeconómica	67
9.10.1	Barrio Cerro Norte	67
9.10.2	Barrio Villa Nidia	69
9.11.	Algunas conclusiones sobre la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica.	70
9.11.1	Vivienda	72
9.11.2	Servicios públicos	73
9.11.3	Aspectos demográficos	73
9.11.4	Actividad económica	73
9.11.5	La comunidad y las entidades del distrito	73
9.11.6	Percepción del riesgo	74
10.	<i>EVALUACIÓN DEL RIESGO</i>	74
11.	<i>PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS</i>	75
11.1.	Disminución de la Amenaza debido a las Obras Correctivas	76
11.2.	Selección de la Alternativa	83
11.3.	Diseño de la Alternativa Seleccionada	83
12.	<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	85

LISTA DE FIGURAS Y PLANOS

No.	CONTENIDO
1	Localización General
2	Area Aproximada de Estudio
3	Topografía Detallada
3A	Diseño de Obras de Control y Protección
3B	Localización de Secciones
3C	Secciones
4	Perfil Geológico generalizado
5	Mapa Geológico Regional
6	Geología Local
6A	Secciones Geológicas
7	Geomorfología y Procesos
8	Uso del suelo y cobertura vegetal
8.1	Zonas de Influencia por caída de rocas
8.2	Curvas de Isoprobabilidad de alcance de bloques
8.3	Zonas de velocidad de impacto crítica para los diferentes tipos de estructura
8.4	Visualización general de las zonas de amenaza por caída de rocas actual
8.5	Alteración topográfica generada por caída de bloques
8.6	Visualización general de las zonas de amenaza por caída de rocas actual dentro de 20 años
9	Exploración del subsuelo
9.1	Registro de Perforación (Apiques No. 1 y 2)
9.2	Registro de Perforación (Apiques No. 3 y 4)
9.3	Registro de Perforación (Apiques No. 5 y 6)
9.4	Registro de Perforación (Apiques No. 7 y 9)
9.5	Registro de Perforación (Apique No. 9)
9.6	Registro de Perforación (Perforación No. 1)
9.7	Apique No.1
9.8	Apique No.2
9.9	Apique No.3
9.10	Apique No.4
9.11	Apique No.5
9.12	Apique No.6
9.13	Apique No.7
9.14	Apique No.8
9.15	Ensayo de corte directo de suelos en condiciones consolidadas y drenadas – Apique 2 – Muestra 2
9.16	Ensayo de corte directo de suelos en condiciones consolidadas y drenadas – Apique 5 – Muestra 1
9.17	Ensayo de corte directo de suelos en condiciones consolidadas y drenadas – Apique 5 – Muestra 1
9.18	Curva de Gradación por Hidrómetro – Perfil 1- Muestra 2

No.	CONTENIDO
9.19	Curva de Gradación por Hidrómetro – Perfil 4- Muestra 1
9.20	Ensayo de Infiltración No. 1
9.21	Infiltración Instantánea 2, Ensayo No. 1
9.22	Ensayo de Infiltración No. 2
9.23	Infiltración Instantánea, Ensayo No.
10	Columna Estratigráfica
11	Mapa de Pendientes
11.1	Zonas de Amenaza por caída de rocas – Alternativa 1
11.2	Zonas de Amenaza por caída de rocas – Alternativa 2
11.3	Zonas de Amenaza por caída de rocas – Alternativa 3
11.4	Zonas de Amenaza por caída de rocas – Alternativa 4
12	Tipificación de viviendas
13	Pérdida de suelo por Erosión Pluvial
14	Cuencas Hidrográficas
14 A	El embalse de San Rafael y Cerro Norte
14B	Secciones entre San Rafael y Cerro Norte
15	Vulnerabilidad
16	Evolución y Análisis de Estabilidad
17-1	Escenario de Amenaza Actual
17-2	Escenario de Amenaza a 20 Años
18-1	Escenario de Riesgo Actual
18-2	Escenario de Riesgo a 20 Años
19	Planteamiento de Alternativas
19.1	Esquema Estructura de contención
20A	Escenario de Amenaza a 20 Años – Alternativa 1
20B	Escenario de Amenaza a 20 Años – Alternativa 2
20C	Escenario de Amenaza a 20 Años – Alternativa 3
20D	Escenario de Amenaza a 20 Años – Alternativa 4
21A	Escenario de Riesgo a 20 Años – Alternativa 1
21B	Escenario de Riesgo a 20 Años – Alternativa 2
21C	Escenario de Riesgo a 20 Años – Alternativa 3
21D	Escenario de Riesgo a 20 Años – Alternativa 4
22	Alternativa Seleccionada
23	Detalles



DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA PARA LOS BARRIOS CERRO NORTE Y VILLA NIDIA, DE LA LOCALIDAD DE USAQUEN Y DISEÑO DE OBRAS DE CONTROL, PROTECCIÓN Y ESTABILIZACIÓN

Informe final

1. INTRODUCCIÓN

En éste informe se presenta el resultado del estudio sobre las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y los resultados de la caracterización geotécnica del terreno ocupado por los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, de la Localidad de Usaquén, donde se presenta un proceso de inestabilidad que afecta dichos barrios y puede amenazar áreas vecinas. El trabajo se adelantó dentro del alcance del Contrato No. CONS-291/2002, suscrito entre el FOPAE y Moya y García Ltda.

2. DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1. Descripción

El área de estudio se encuentra al oriente de la Avenida Alberto Lleras Camargo (Avenida séptima), hasta la carrera 5, entre las calles 156 y 162, en un terreno donde se han adelantado actividades de explotación de materiales de construcción, canteras de Boca Colina (Costado sur) e Ibiza de Bradford-Rodríguez (B&R) en el costado occidental; además en el sector norte del área se han conformado los barrios Cerro Norte y Villa Nidia. En la figura 1 se muestra la localización de la zona de estudio dentro de la Ciudad.

El terreno es de pendiente fuerte (con descenso general hacia el occidente); la ladera se encuentra entre las cotas 2580 y 2810 msnm y tiene una longitud del orden de 700 m, la zona inestable se presentó en un tramo de la ladera que conforma una especie de cono, enmarcado entre dos cañadas, cuya base llega a la Avenida séptima y es el responsable de la curva de ésta hacia el occidente, podría ser un bloque deslizado durante el levantamiento de la cordillera, situación que explicaría la presencia de superficies estriadas; la fotografía aérea 1, de 1940 sugiere esta posibilidad. Las cañadas no tienen nombre, sin embargo para los fines de éste informe las denominaremos Cañada Barrancas la del costado sur y quebrada Cerro Norte la del costado norte.

A principios de junio de 2002, se presentó un deslizamiento de unos 300 m de longitud, con un ancho de 210 m y 20 m de espesor; la corona se presentó a la cota 2750 en un sector del Parque de Cerro Norte (calle 160, entre las carreras 7 y 7A y afectó inicialmente unas 12 viviendas; el pie de la superficie de falla se presentó en la plataforma superior de la explotación de materiales a la cota 2640 msnm, frente a la carrera 10, el deslizamiento presenta una dirección predominante al NWW, tal como puede apreciarse en las estrías recientes observables en el flanco derecho (sobre el valle de la quebrada Cerro Norte), donde aflora la superficie de deslizamiento.

La ladera ha estado sometida a un proceso de explotación de materiales de construcción, el cual se inició durante la década del 40 desde la base de la ladera (2580 msnm) contra la carretera Central del norte, posteriormente se abrió otro frente de explotación en la parte intermedia (2640 msnm), como resultado de este proceso se conformaron dos grandes plataformas: la inferior de 80 a 150 m de ancho y la intermedia de 40 a 100m, con taludes de 50 m el inferior (el cual está terracedo) entre las plataformas, y de 20 m el superior; arriba de este talud se conformó la terraza superior y un talud de baja pendiente y se construyeron cunetas revestidas con mortero. Arriba de la zona reconformada se aprecian escarpes, huellas de antiguos deslizamientos.

Con base en la observación de fotografías aéreas de diferentes épocas, desde 1940, se puede establecer la siguiente cronología:

- Abril 27 de 1940: En la Cantera de B&R se aprecian tres frentes de explotación. La estructura general es rural (fotografía 1).
- Diciembre 18 de 1951: Se conformaron en la cantera de B&R tres escalones y sobre las vías de penetración se ha incrementado la explotación artesanal que facilita procesos erosivos.
- Febrero 6 de 1955: La Cantera B&R se extiende hacia el oriente, hasta la quebrada Cerro Norte, en lo que actualmente es el barrio Villa Nidia.
- Febrero 15 de 1956: Es notable la erosión en la cantera, se mantienen los tres frentes de explotación, en la corona se aprecian procesos de inestabilidad (fotografía 2).
- Diciembre 10 de 1960: La cantera B&R se extiende hacia los costados, especialmente hacia el sur oriente. Se inicia la conformación del barrio Cerro Norte.
- Enero de 1969: Se aprecia la construcción de la vía de acceso a los barrios Santa Cecilia y Cerro Norte y el crecimiento de la población.
- Marzo de 1971: En la Cantera se adelantan explotaciones por debajo del nivel de la carrera séptima. Se incrementan las vías y el desarrollo de los barrios.
- Febrero de 1972: Se aprecia desorden en los múltiples frentes de explotación y la cantera B&R continúa su avance hacia el oriente, se aprecian los frentes de explotación en la terraza intermedia; contra la base del talud de la terraza inferior se observa gran cantidad de escombros de minería (fotografía 3).
- Abril 6 de 1972: La vía suroriental ha generado un gran poblamiento, que se extiende hacia la cima del cerro.
- Enero 16 de 1973: La cantera de B&R ha llegado en sus niveles inferiores hasta la vía de acceso y la explotación avanza con taludes altos y empinados.

- Diciembre 17 de 1977: El frente de explotación de B&R se extiende principalmente hacia el sur, ya se tienen las terrazas intermedia y superior, donde se corta la base de la ladera conformada por un depósito coluvial (fotografía 4).
- Septiembre de 1979: Los taludes de la cantera muestran gran deterioro y es evidente el deficiente manejo de aguas.
- Febrero 15 de 1980: El sector de las grandes cárcavas se encuentra habitado, se notan terraceos de los taludes de la cantera y deslizamientos retrogresivos en el talud superior de la terraza intermedia, que afectan el depósito coluvial (fotografía 5).
- Mayo 5 de 1984: El incremento de las viviendas continúa hacia la parte alta del cerro.
- Diciembre 27 de 1986: Los asentamientos humanos ya llegan a la divisoria de aguas, se observa inestabilidad arriba de los frentes de explotación, que involucra gran parte del depósito coluvial (fotografía 6).
- Febrero de 1998: Se aprecia el terraceo de la parte inferior de la zona inestable y la conformación de la terraza superior, arriba de los frentes de explotación; el acceso a las terrazas intermedia y superior se hace desde la inferior, por una vía que se construyó por el talud inferior, dentro de labores de reconfiguración (fotografía 7).

De acuerdo con las observaciones realizadas y la información obtenida de los pobladores, se tiene que a comienzos de junio/2002 se presentó el agrietamiento en la parte alta de la ladera, que afectó las viviendas localizadas allí, además se detectó en la base del escarpe del frente de explotación (terraceo intermedia), el afloramiento de una superficie de deslizamiento y el desplazamiento del terreno por ésta superficie, posteriormente se desplomó la cara del escarpe cubriendo dicha superficie; sobre el flanco derecho se observaron otros desgarres y la conformación de grandes grietas; por el flanco izquierdo afloró la superficie de falla, removiendo el terreno y facilitando el desprendimiento de bloques. Este movimiento inicial se dio como un todo y ha tenido un avance de alrededor de 5m, con una velocidad inicial de hasta 20 cm/día y una media de 10 cm/día, actualmente (2 meses después) el desplazamiento es apenas de 1 a 2 cm diarios y se está en un proceso de resquebrajamiento del terreno, pudiéndose apreciar múltiples superficies de deslizamiento y grietas longitudinales.

Con base en los antecedentes, se tiene que la zona afectada ya había sufrido un deslizamiento a comienzos de los 90', el cual presentó un escarpe importante, localizado unos 50 m abajo del actual, y agrietamientos en el terreno y algunas viviendas en el sector donde se tiene el actual escarpe. Este deslizamiento fue parcialmente terraceado y empujado y lo que vemos hoy puede ser su reactivación, aunque involucrando más área y mayor profundidad.

De las mediciones de buzamiento de los estratos se puede afirmar que éste es mayor en la parte superior del cerro (al oriente), disminuye en la parte media (donde aflora la pata del deslizamiento) y se incrementa en la parte inferior, en cercanía de la Carrera Séptima. Dado que el movimiento inicial fue total, se puede establecer que el movimiento se inició por la parte superior, debido a la mayor inclinación de los estratos y a la posible pérdida de resistencia de los estratos arcillosos por humedecimiento y falta de confinamiento; el

humedecimiento pudo darse por infiltraciones desde las viviendas, especialmente las que se construyeron en la corona del deslizamiento de 1990 y algunas tuberías de conducción de aguas lluvias en la zona donde hace 11 años se observaron las grietas arriba del escarpe. El escalonamiento de la superficie de falla y los desgarres laterales coinciden con los sectores donde hay cambios en el confinamiento lateral y la posibilidad cinemática del movimiento se dio por la pérdida de confinamiento en la pata, debida a la explotación de la cantera, situación que se mantiene desde hace 50 años. En las fotografías anexas se ilustra la descripción del deslizamiento y sus antecedentes, las fotos aéreas se llevaron a escalas parecidas 1:10000 o mayor, dependiendo de la escala de toma, para facilitar la comparación.

2.2. Delimitación Geométrica del área de estudio

El área de estudio limita por el nor-este con una poligonal que arranca en la parte alta desde la carrera 5, por la calle 160 hasta la carrera 6, por ésta por unos 40 m donde desvía al nor-occidente hasta la carrera 7A, la que sigue hasta la calle 161, por donde desciende hasta la carrera 7B, siguiendo el alineamiento de la calle 161 hasta la confluencia de las carreras 8B y 8C, para continuar por el límite norte del barrio Villa Nidia (calle 162) hasta la carrera 12A, para luego subir por la carrera 12 hasta la calle 160, por donde desciende hasta la carrera 13 para luego llegar a la Avenida Séptima a la altura de la calle 162, sigue al sur por la Séptima hasta frente a la calle 158 donde se gira al sur-oriente por el lindero del predio, hasta llegar a la cañada Barrancas, por la que se asciende hasta la carrera 5, donde cierra la poligonal. En la figura 2, tomada de los Términos de Referencia del estudio, preparados por la DPAE, se muestra la delimitación de la zona de estudio.

2.3. Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo

Para definir las características del terreno a escala 1:1000 se adelantó un levantamiento topográfico del área de estudio, delimitada por la DPAE, mediante el empleo de una Estación Total, con la que se levantaron más de 6000 puntos correspondientes a accidentes del terreno y esquinas de viviendas, que sirvieron para la generación de curvas de nivel cada metro, aunque para fines de revisión se generaron curvas cada 0.5m. En general, el área demarcada por la DPAE es suficiente para el estudio, sólo se amplió en el sector del Edificio North Point, para incluirlo dentro del área de estudio.

Para la caracterización del subsuelo, se llevó a cabo un reconocimiento geológico detallado, y se levantó la columna estratigráfica a escala 1:100, aprovechando que hay exposición de la roca en los flancos y frente de la zona inestable; esta información se complementó con los resultados de 9 apiques y una perforación; En los apiques se destapó la superficie de deslizamiento y se tomaron muestras de ella, las cuales fueron posteriormente sometidas a ensayos de corte directo y clasificación.

2.4. Modelos y Métodos de análisis

Para los análisis de estabilidad se consideró el deslizamiento sobre superficies planas, coincidentes con los planos de estratificación y mediante retro-análisis se obtuvieron los parámetros de resistencia de los materiales involucrados, los cuales se compararon con los

obtenidos en los ensayos de laboratorio. En los flancos se está presentando caída de bloques, la cual fue modelada mediante la topografía y el programa Rock Fall; para la determinación de la vulnerabilidad de las viviendas se siguió el método que se ha puesto en práctica en los estudios anteriores de la DPAE.

2.5. Evaluación Conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del área de estudio

La amenaza está dada básicamente por el deslizamiento y por los problemas que este puede acarrear de continuar presentándose, es decir, caída de rocas desde las partes altas y avalancha por los zanjones que cruzan la zona. En general del deslizamiento podemos decir que al avanzar arrastra y destruye las viviendas que se encuentren en su inmediata vecindad, independiente de la calidad de la edificación, además de los flancos se desprenden materiales que pueden rodar ladera abajo y alcanzar grandes distancias, afectando las viviendas y elementos que encuentre a su paso.

Se tienen como elementos expuestos, las viviendas localizadas sobre el cuerpo deslizado, las que se encuentran en sus flancos, las que se encuentran abajo, tanto en los flancos como en el frente, dentro de éstas se tiene el Edificio North Point y la Carrera Séptima. También están expuestos los Servicios Públicos, especialmente las redes de acueducto, alcantarillado, gas y las de energía y teléfonos; las personas y vehículos que transitan por las vías aledañas también están expuestas. Las instalaciones del Salón Comunal la Escuela y el Jardín Infantil, presentan alguna exposición, especialmente si se considera la posibilidad de una superficie de deslizamiento de mayor profundidad a la observada hasta ahora.

Para la evaluación del Riesgo se estiman los costos de los elementos expuestos y el grado de la amenaza, teniendo como primera prioridad la vida humana, luego las edificaciones Comunales y Públicas, posteriormente las viviendas y finalmente las instalaciones industriales.

2.5.1 Evaluación de la amenaza

2.5.1.1 Inventario de Procesos

Se hace un inventario de los diversos procesos de inestabilidad presentes en la zona de estudio, obteniendo como resultado la zonificación sobre comportamiento geotécnico homogéneo. Para el caso que nos compete se determinaron básicamente tres zonas:

Zona 1: Que corresponde al área afectable por deslizamiento hoy y en un escenario de 20 años.

Zona 2: Que muestra el área afectable por caída de rocas para condiciones estáticas y dinámicos en escenario actual y luego de 20 años.

Zona 3: Esta corresponde a la zona que se vería afectada luego de que se presentara una eventual avalancha por el cauce de la quebrada Cerro Norte.

2.5.1.2 Mecanismos de falla

Se realiza una recopilación y análisis de los posibles mecanismos de falla del talud principal o de deformación excesiva que pueden conducir a daños parciales o totales (colapso completo) de las viviendas en peligro dentro del área estudiada. Con estos mecanismos se hace una predicción de la zona de influencia del deslizamiento para elaborar la zonificación por Solicitaciones.

2.5.1.3 Análisis cinemático de estabilidad

Se efectúa el análisis cinemático de estabilidad tanto de los taludes críticos como de las zonas afectables por caída de rocas en zonas previamente definidas. Se consideran además los mecanismos comunes de falla plana, falla de bloque o cuñas y falla por volteo de bloques, considerando el sistema de discontinuidades que afecta el macizo rocoso.

Se analiza este mecanismo en condiciones estáticas y dinámicas para un período de análisis actual (1 año) y largo plazo (20 años).

Finalmente basados en los análisis efectuados se definen los diferentes niveles de amenaza a los que se encuentra sometida la zona de estudio:

Amenaza alta: Zonas en las que el movimiento presenta actividad y puede generar daño directo sobre las edificaciones.

Amenaza media: Areas adyacente al deslizamiento, donde pueden presentarse desgarres del terreno y producir daños colaterales.

Amenaza baja: Zonas alejadas del movimiento donde la posibilidad de generar daños es mínima.

2.5.2 Evaluación de vulnerabilidad

El estudio de la vulnerabilidad considera dos aspectos esenciales: la relación entre el tipo de construcción, y el nivel de daño que pueden presentar las viviendas para cada una de las amenazas a las que se encuentra expuesta la población de la zona de estudio.

En primer lugar se elabora una tipificación de viviendas con base en una modificación hecha a los criterios de Leone para este estudio en particular. Dicha clasificación se presenta a continuación:

TIPO	DESCRIPCION
A	Casas con buena calidad de construcción y que además presentan un sistema estructural definido.
B	Casas de mampostería o prefabricadas.
C	Tugurios (ranchos).

Como segunda medida se establece una clasificación de daños basada en la evaluación de la vivienda durante la encuesta y en visitas de campo posteriores.

TIPO	DESCRIPCION
1	Casas que en el momento de la evaluación no presentaban ningún tipo de daño.
2	Viviendas que presentan daños estructurales ligeros.
3	Edificaciones que debido a su alto nivel de daño se han hecho inhabitables y por lo tanto se encuentran evacuadas en el momento de la visita.

Luego se procede a determinar la tipificación de cada una de la viviendas encuestadas, basados en la combinación de los dos factores de evaluación que cada estructura presente.

En el Plano 12, de tipificación de viviendas, se presenta la zonificación de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, basados en la siguiente clasificación:

1A: Vivienda sin ningún tipo de daño estructural y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

1B: Construcción sin ningún tipo de daño estructural y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería simple.

1C: Edificación sin ningún tipo de daño estructural y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

2A: Vivienda con daño estructural moderado y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

2B: Construcción con daño estructural moderado y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería simple.

2C: Edificación con daño estructural moderado y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

3A: Vivienda con daño estructural severo y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

3B: Construcción con daño estructural severo y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería simple.

3C: Edificación con daño estructural severo y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

Finalmente para la evaluación misma de la vulnerabilidad, se determina la zona de influencia para cada uno de los tipos de amenaza y se procede a categorizar la susceptibilidad que pueden tener las viviendas localizadas dentro de la zona de afectación con base en la tipificación realizada previamente, obteniendo de esta forma la vulnerabilidad propia para cada tipo de amenaza.

Finalmente y mediante el uso del sistema de información geográfico SPANS se determina la vulnerabilidad general por superposición de la amenazas particulares.

2.5.3 Evaluación del riesgo

Para la determinación del riesgo para la zona de estudio se realiza la superposición de planos de amenaza general y vulnerabilidad general para cada vivienda, nuevamente por medio del programa SPANS, asignando a cada combinación de amenaza y vulnerabilidad un grado de riesgo, de tal manera que las diferentes combinaciones queden agrupadas dentro de tres grados de amenaza: alta, media y baja.

El riesgo se determina para cada una de las edificaciones mediante la determinación de un índice de Riesgo (IR). Después de asignar la categoría de riesgo a cada predio, se procede a delimitar áreas homogéneas para completar así la zonificación.

2.6 **Alternativas de solución**

Actualmente la zona en deslizamiento puede tener unas 3 a 4 Ha, con un espesor variable entre 5 y 20 m, con lo que se tendrían alrededor de quinientos mil metros cúbicos de material en movimiento. Para estabilizar una masa de ésta magnitud se pueden proponer varias alternativas, de acuerdo con el uso que se le vaya a dar al terreno, por ejemplo, si se adopta por la vivienda habría que reconformar el terreno en un área de alrededor de 8 Ha y efectuar movimientos de tierra del orden de un millón de metros cúbicos. Si se adopta por habilitar el terreno como parque, la reconformación abarcaría unas 5 Ha y el movimiento de tierras sería de unos 300.000 metros cúbicos. Para cualquiera de los casos hay necesidad de construir sistemas de drenaje eficientes y adelantar labores de vegetalización.

3. **LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

3.1. **Método de trabajo.**

El levantamiento topográfico del área seleccionada por la DPAE, se adelantó con una Estación total TOPCON GTS 211D, amarrándose de los puntos CD325A, CD324A y el punto geodésico IGAC USAQUEN, los dos primeros localizados a la altura de la calle 170 con Avenida 7ª y el tercero en la cima del cerro. Dentro del área se conformó una red de 7 mojones, 16 deltas y 21 Auxiliares, desde donde se tomaron más de 5500 detalles que permitieran generar un modelo topográfico a escala 1:1000, con curvas de nivel cada metro. Los puntos de detalles incluyeron además de las grietas y escarpes ocasionados por el deslizamiento, puntos donde se observan cambios de pendiente, estructuras, bordes de vías,

esquina de edificaciones y en general, puntos que permitieran generar curvas de nivel con separación de 1 m.

En el documento de topografía anexo, se presenta un ejemplar de la cartera de topografía y del listado de coordenadas de todos los puntos considerados. En el plano 3A se muestran los mojones de amarre del levantamiento topográfico. Las coordenadas se presentan en el sistema IGAC para Bogotá, donde al punto correspondiente al Observatorio Astronómico Nacional (carrera 8 con calle 8), se le asignaron coordenadas planas N100000, E100000 y 2599.59 msnm. El amarre se adelantó partiendo del punto CD325A, utilizando como señal de azimut el punto CD324A y conformando una poligonal con los deltas D1, D2, M3, M2, M4, M5, M6, D20 y cerrando en el punto geodésico IGAC-USAQUEN; se encontró que para la poligonal de 193331.349m, se tuvo una diferencia en el cierre de 30mm en las coordenadas norte, de 25mm en las Este y de 7mm en la elevación, con lo que se obtiene una precisión de cierre de 1:495025, equivalente a precisión geodésica de primer orden.

Con ayuda del programa Eagle Point se generaron las curvas de nivel, las cuales fueron posteriormente ajustadas a mano directamente en campo. Para el área urbana se determinaron las coordenadas de puntos localizados en el borde de las vías, en las esquinas de las edificaciones, en las tapas de los pozos del alcantarillado y en los postes de la energía y teléfonos. Posteriormente se adelantó el levantamiento detallado de un perfil longitudinal, siguiendo la dirección general del movimiento (NW), tal como se pudo observar en las estrías recientes que dejó el movimiento en varios de los escarpes del costado norte; ésta segunda campaña incluyó alrededor de 1100 nuevos puntos y se apoyó en los mojones materializados durante la campaña inicial.

En el plano 3 se presenta el modelo topográfico a escala 1:1000, con curvas de nivel cada metro y se complementa con las secciones mostradas en los planos 3B y 3C y con el Anexo 1, de topografía donde se muestra además del plano resultante, las carteras de campo, los archivos con la cartera electrónica, los cálculos de coordenadas de los puntos del levantamiento y el calculo del error de cierre.

4. ESTUDIO GEOLOGICO

4.1. Método de Trabajo

Con base en el plano topográfico y mediante reconocimientos de campo y análisis de fotografías aéreas, un geólogo, especialista en geología para ingeniería, realizó la cartografía geológica de la zona de estudio a escala 1:1.000, así mismo elaboró el plano geomorfológico y de procesos a la misma escala. Mediante el uso de brújula Brunton se hizo el levantamiento de discontinuidades (planos de estratificación y diaclasas) y levantó la columna estratigráfica a escala 1:100, midiendo de esta manera el espesor y la disposición de los estratos en los múltiples afloramientos existentes en el área de estudio. Para la geología regional se adoptó el plano geológico de la Localidad de Usaquén, elaborado para la UPES por INGEOCIM Ltda. en 1999.

A continuación se relacionan las fotografías aéreas utilizadas para el presente estudio, indicando la escala, año de toma y el número de la foto:

VUELO	ESCALA	FECHA	FOTOGRAFIA No.
C – 61	1 : 15.000	Abril/1940	454-455
M – 46	1 : 60.000	Febrero/1955	4515-4516
C – 1402	1 : 11.000	Febrero/1972	098-099
C – 1796	1 : 7.800	Diciembre/1977	63-64
C – 1950	1 : 8.800	Febrero/1980	017 a 019
C – 2265	1 : 23.400	Diciembre/1986	12 y 13
SAV - 415	1 : 21.000	Febrero/1998	171 y 172

4.2. Geología Regional

En este numeral se enuncian las principales unidades geológicas y rasgos estructurales presentes en la zona de estudio. Es importante anotar que la cartografía geológica Regional fue tomada del mapa geológico de la Localidad de Usaqué (UPES-INGEOCIM, 1999) y que a dicha cartografía no se le hizo un control de campo detallado, su empleo está enfocado a la referencia de la nomenclatura estratigráfica de la zona y para identificar las estructuras más importantes. El sector correspondiente de dicho plano se muestra en la figura No. 5.

4.2.1 Estratigrafía

Desde el punto de vista estratigráfico la única unidad aflorante en el área de estudio es la Formación Arenisca de Labor (de origen sedimentario y ambiente marino de depositación), la cual presenta buenas exposiciones debido a la actividad minera desarrollada en la zona, y en ocasiones está cubierta por depósitos Cuaternarios los cuales se describirán detalladamente mas adelante.

4.2.1.1 Formación Arenisca de Labor (Ksgl)

El término Labor fue utilizado por primera vez con sentido estratigráfico por Hubach (1931), para designar la parte arenosa superior del Guadalupe; el mismo autor eleva el término a la categoría de miembro de la Formación Guadalupe Superior. Pero es Renzoni (1962, 1968) quien le asigna el rango de Formación y establece como sección de referencia, la sección que aflora por la carretera Choachí-Bogotá. En este sector vecino a Choachí, está formada por 65m de areniscas con muy pocas intercalaciones lutíticas, aunque en otras áreas éstas pueden ser mayores y el espesor también mayor (mas de 100m en Usaqué, Julivert, 1961). En el sector bajo estudio no se consideró relevante la determinación de éste espesor.

La Arenisca de Labor se caracteriza por la constancia del tamaño de grano; los valores de la mediana se sitúan constantemente alrededor de 0,25 mm, en capas medias a gruesas, con geometría lenticular, con intercalaciones de lodolitas y limolitas de cuarzo. La bioturbación es un rasgo constante, del tipo Thalassinoides sp. y Arenicolites sp. En estas areniscas faltan la estratificación cruzada y los "ripple marks" lo cual es determinante para diferenciarla de la Arenisca Tierna. Hacia su parte media son frecuentes los cementos de calcita y en cuanto a minerales pesados presenta la asociación circón-turmalina-rutilo propia de las cuarzoarenitas y es frecuente la presencia de gran cantidad de minerales opacos por alteración y de minerales de titanio.

4.2.1.2 Depósitos Cuaternarios (Q)

Los depósitos Cuaternarios están cubriendo un área extensa de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia y se encuentran suprayaciendo de manera discordante las cuarzoarenitas o las lodolitas de la Formación Arenisca de Labor. El Cuaternario está representado por una serie de depósitos poco a no consolidados, dentro de los que se encuentran coluviones, talus, rellenos antrópicos (botaderos y depósitos propios de la actividad minera que hubo en la zona de estudio) y están conformados principalmente por bloques de arenisca en matriz limo-arenosa.

4.2.2 Geología Estructural

La zona de estudio se localiza sobre los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, en donde predominan rocas sedimentarias de edad Cretácea pertenecientes al Grupo Guadalupe las cuales se disponen en posición normal y con buzamiento general hacia el occidente. Estas rocas conforman el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá el cual representa la principal estructura del área. Este pliegue amplio presenta un rumbo general norte-sur y sobre sus flancos son comunes las fallas de tipo inverso que afectan las rocas cretácicas del Guadalupe, como es el caso de la Falla Mirador (UPES-INGEOCIM,1999) localizada al oriente del área de estudio.

Adicional a los fallamientos norte-sur, se encuentran una serie de fallas y lineamientos diagonales con orientación general nor-occidente-sureste, con componente de rumbo que están desplazando las unidades litológicas y ejercen un control estructural muy evidente sobre el drenaje, ejemplo de ello son las fallas de San Cristóbal (al norte) y La Cuchilla II (al sur) identificadas en la cartografía geológica del estudio UPES-INGEOCIM, 1999.

De la observación de las fotografías aéreas y la topografía general, se infiere que el bloque donde se localiza la zona de estudio pudo haberse desprendido de la parte alta del Cerro, durante el levantamiento de la cordillera, y quedar en la base de la ladera; esto podría explicar las estructuras sinclinal y anticlinal presentes en la base, la no continuidad lateral de dichas estructuras y la presencia de superficies estriadas. La otra hipótesis es la del bloque limitado por fallas y con plegamientos locales mostrado en el plano de INGEOCIM.

4.3. Geología Local

Se levantó una columna estratigráfica a escala 1:100 (Ver la Figura 10) con el fin de definir las diferentes litologías a cartografiar en el mapa geológico. La columna se levantó sobre el flanco sur o izquierdo del deslizamiento, en donde hay una buena exposición de la roca gracias a un antiguo talud de explotación sobre una cantera abandonada (Boca Colina). Se levantaron en total 45m de columna sobre la Formación Arenisca de Labor, a partir de la cual se identificaron tres litologías o miembros informales que se describen a continuación.

4.3.1 Estratigrafía

4.3.1.1 Cuarzoarenita Inferior (Kglai):

Cuarzoarenita de grano fino, color gris claro a blanco, con granos subangulares a subredondeados, bien seleccionada, competente, maciza, dispuesta en capas medias a muy gruesas (de 0.2 a 1.5m de espesor), presenta ichnofósiles. Esta secuencia de cuarzoarenitas aflora en la cantera abandonada del costado sur (Boca Colina) y en el parque del Barrio Villa Nidia y aparentemente se encuentra estable ya que no presenta huellas ni evidencias de movimiento (Ver el Mapa Geológico, plano 6). El espesor total medido fue de 9.0m aunque puede ser mayor ya que su parte basal está cubierta.

4.3.1.2 Secuencia de Lodolitas (Kgll):

Lodolitas de color gris y abigarradas por meteorización, dispuesta en capas delgadas a medias con estratificación ondulada paralela y laminación plano paralela discontinua. En ocasiones es maciza y presenta fractura concoidea y nódulos. Hacia la base presenta capas medias a gruesas de cuarzoarenita indicando un cambio transicional entre la cuarzoarenita inferior y la secuencia de lodolitas.

La lodolita tiene variaciones texturales, en ocasiones se hace más limosa y arenosa, lo que le confiere un carácter más competente y resistente ante los procesos erosivos. Hacia el tope esta secuencia presenta intercalaciones de capas delgadas a medias de arcillolita de color gris, húmeda, con laminación plano paralela (ver la Columna Estratigráfica). En algunas de estas capas de arcillolita se reportaron estrías de falla que evidencian el movimiento del terreno, es decir, se trata de superficies de despegue o planos de falla activos o potenciales a lo largo de los cuales se está presentando el desplazamiento del terreno en el barrio Cerro Norte. El mecanismo de deslizamiento a través de dichos estratos plásticos, es planar y sigue los planos de estratificación y por consiguiente el buzamiento. En la columna estratigráfica se pueden apreciar 3 (tres) superficies de deslizamiento activas con huellas de movimiento reciente y una potencial. El espesor total medido de esta secuencia fue de 23m.

4.3.1.3 Cuarzoarenita Superior (Kglas):

Cuarzoarenita de grano fino, color gris claro y amarillo a café por meteorización, con granos subangulares a subredondeados, bien seleccionada, muy competente, con cemento silíceo, maciza, dispuesta en capas gruesas a muy gruesas (de 0.6 a 2.0m de espesor). Esta capa ha sido extraída casi en su totalidad, tan solo aflora de 1 a 2m de su parte basal, la cual se encuentra en movimiento y constituye la parte alta o superior de la zona inestable del Barrio Cerro Norte. Ver el Plano 6 con la Geología. El espesor total medido fue de 10m.

4.3.1.4 Depósitos Cuaternarios :

Dadas las características del estudio y la escala de trabajo, en la cartografía geológica se identificaron seis (6) tipos diferentes de depósitos cuaternarios, los cuales se describen brevemente a continuación:

Zona Cubierta (Zc): Corresponde a las zonas construidas, principalmente las viviendas de los barrios Villa Nidia y Cerro Norte, en donde no se aprecian afloramientos de roca la cual se encuentra seguramente cerca de la superficie del terreno y su composición es predominantemente lodolítica hacia la mitad inferior del cerro y arenosa hacia la parte superior del mismo.

Botaderos (Qb): Material dispuesto sin ninguna especificación técnica, compuestos por residuos de construcción, escombros y en ocasiones basuras. Se localizan sobre las vertientes de las quebradas y están cubiertos por pastos.

Rellenos Antrópicos (Qra): Rellenos de bloques y gravas en matriz limoarenosa, construidos para reconformar los antiguos taludes de las zonas de explotación de material y construir viviendas.

Depósitos de actividad minera (Qam): Bloques, gravas y arenas dispuestos en montículos como material de acopio; también se incluyen los grandes bloques de roca caídos sobre los antiguos frentes de explotación, producto de la extracción de material.

Depósitos de Talus (Qt): Bloques y fragmentos de roca de composición arenosa y lodolítica, localizados hacia la base de los taludes que delimitan el costado sur y occidental del deslizamiento.

Depósitos Coluviales (Qcl): Depósito matriz soportado, conformado por bloques, guijos y gravas de cuarzoarenita, en una matriz limo-arenosa de color café y rojizo por meteorización, se encuentra ligeramente densa; al parecer la meteorización a contribuido a darle algo de resistencia al depósito por cementación.

4.3.2 Geología Estructural

Como se mencionó anteriormente la principal estructura la constituye el Anticlinal de Bogotá con rumbo general norte-sur. En la zona de estudio se encuentra el flanco occidental en posición normal, definiendo sobre la parte alta del cerro pendientes estructurales de rumbo general **noreste** y buzamiento promedio **25 grados** hacia el noroeste. Sobre este flanco se aprecian dos pliegues menores, paralelos entre sí, hacia la parte media y baja del cerro; estas estructuras están conformadas por un anticlinal y un sinclinal amplios, de rumbo norte-sur y con separación de 500m entre sus ejes. (Ver el Plano Geológico y el Perfil Geológico, planos 6 y 6A). La estratificación en la parte superior, arriba del deslizamiento, muestra un rumbo variable entre N30W y N39W y buzamiento de 20 a 26 grados hacia el NW; por el flanco derecho la estructura sinclinal es amplia y el buzamiento de los estratos varía entre 30 grados, en la parte alta, hasta 10 grados en la inferior con dirección hacia el W, el rumbo, en general se mantiene entre N18E y N45E, con algunos puntos, en el frente intermedio de explotación donde el rumbo es de N55W; por el flanco izquierdo, la estructura sinclinal es más clara y los estratos, en la parte del patio superior de la explotación, muestran buzamiento hacia el Este de 5 grados.

Por su geometría y carácter local, la formación de estos pliegues puede estar asociada con el mecanismo expuesto por Julivert (1961) para explicar la inversión total o parcial de los estratos en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá, en la cual se forman pliegues de gravedad debido al deslizamiento, siguiendo el buzamiento, de un nivel arcilloso muy bien

estratificado que se sitúa entre las areniscas del Guadalupe Superior. En este caso particular los niveles lodolíticos de la Formación Arenisca de Labor.

En la cantera de Soratama, más al norte de la zona de estudio, no se aprecia la continuidad de estos pliegues y la roca forma un monoclinal con buzamiento constante hacia el noroeste, lo anterior infiere la presencia de una falla geológica diagonal al rumbo de los estratos que corta los pliegues e interrumpe su continuidad hacia el norte y que correspondería a la Falla de San Cristóbal (como se indicó en el numeral 4.2.2.). En el costado sur no es clara la continuación del anticlinal y el sinclinal, a partir de las fotografías aéreas y en el terreno sobre los afloramientos de antiguas canteras, no se aprecian dichas estructuras lo que indicaría la presencia de otra falla geológica posiblemente dicha estructura corresponda a la Falla La Cuchilla II (UPES-INGEOCIM, 1998), por lo cual los pliegues están restringidos únicamente al sector del barrio Cerro Norte. A su vez, estas dos fallas presentan un claro control estructural sobre los principales drenajes de la zona de estudio.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que la zona de estudio conformada por los Barrios Villa Nidia y Cerro Norte, la constituye un bloque estructural independiente, delimitado por fallas tanto al norte como al sur, en el cual se presenta un plegamiento suave, amplio, definido por un anticlinal y un sinclinal cuyos ejes se disponen paralelos y están truncados por la presencia de fallas con rumbo NNW. En cuanto al mecanismo de formación de dichas estructuras, se puede asociar con los fenómenos gravitatorios del tipo “collapse structures” expuesto por Julivert (1961) para explicar las inversiones en algunos sectores del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá-Usaquén sobre los cerros orientales de Bogotá.

Durante el reconocimiento de campo se midieron varios planos de diaclasa sobre los paquetes de arenita y en las lodolitas, estos planos presentan las siguientes características generales (según Bieniawski, 1989) y su localización se encuentra en la columna estratigráfica:

Rugosidad : Rugosa a ligeramente rugosa

Apertura : Entre 1 y 5 mm.

Persistencia : Entre 1 y 3 metros

Espaciamiento : Entre 0.6 y 2.0 metros

Todos los datos de diaclasas fueron analizados mediante el método vectorial (Ver cuadros Adjuntos) para definir las familias más representativas del macizo rocoso. A partir del análisis se determinaron cuatro (4) familias:

D1: N05E/67SE

D2: N65W/78NE

D3: N28E/81SE

D4: N54W/84SW

De los datos anteriores, la familia de diaclasas D1: N65W/78NE ejerce control estructural sobre el flanco derecho de la zona inestable, en donde se aprecian grietas de desgarre y separación de bloques del macizo rocosos a lo largo de dicho plano, así mismo esta discontinuidad se dispone paralela a la Falla de San Cristóbal, aunque también puede estar asociada al borde del barranco. La familia D4, con orientación N54W se encuentra paralela al trazo de la falla de La Cuchilla II; lo anterior indica el control estructural tanto en el macizo rocoso como en el drenaje, que pueden ejercer dichas fallas sobre la zona de estudio.

**METODO DE ANALISIS VECTORIAL PARA LOS DATOS ESTRUCTURALES MEDIDOS EN CAMPO
BARRIO CERRO NORTE**

Azimut Buzamient	Buzamiento	α (Rad)	β (Rad)	SEN α	COS β	COS α	COS α COS β	SEN α X COS β	SEN α		
90	68	1.5708	1.1868	1.0000	0.3746	0.0000	0.0000	0.3746	0.9272		
100	82	1.7453	1.4312	0.9848	0.1392	-0.1737	-0.0242	0.1371	0.9903		
92	64	1.6057	1.1170	0.9994	0.4384	-0.0349	-0.0153	0.4381	0.8988		
100	68	1.7453	1.1868	0.9848	0.3746	-0.1737	-0.0651	0.3689	0.9272		
95	67	1.6581	1.1694	0.9962	0.3907	-0.0872	-0.0341	0.3892	0.9205		
94	55	1.6406	0.9599	0.9976	0.5736	-0.0698	-0.0400	0.5722	0.8192		
								ΣN	ΣE	ΣZ	
								-0.1786	2.2801	5.4831	
				R	n	e	z			β	α
				5.94	-0.0301	0.3838	0.9229	Radianes		1.18	1.41
						DIACLASA : D1		Grados		67	95

Azimut Buzamient	Buzamiento	α (Rad)	β (Rad)	SEN α	COS β	COS α	COS α COS β	SEN α X COS β	SEN α		
26	80	0.4538	1.3963	0.4384	0.1736	0.8988	0.1561	0.0761	0.9848		
20	81	0.3491	1.4137	0.3420	0.1564	0.9397	0.1470	0.0535	0.9877		
30	76	0.5236	1.3265	0.5000	0.2419	0.8660	0.2095	0.1210	0.9703		
20	70	0.3491	1.2217	0.3420	0.3420	0.9397	0.3214	0.1170	0.9397		
28	81	0.4887	1.4137	0.4695	0.1564	0.8829	0.1381	0.0734	0.9877		
								ΣN	ΣE	ΣZ	
								0.9721	0.4410	4.8702	
				R	n	e	z			β	α
				4.99	0.1950	0.0885	0.9768	Radianes		1.36	5.12
						DIACLASA : D2		Grados		78	25

Azimut Buzamient	Buzamiento	α (Rad)	β (Rad)	SEN α	COS β	COS α	COS α COS β	SEN α X COS β	SEN α		
105	80	1.8326	1.3963	0.9659	0.1736	-0.2588	-0.0449	0.1677	0.9848		
115	72	2.0071	1.2566	0.9063	0.3090	-0.4226	-0.1306	0.2801	0.9511		
125	84	2.1817	1.4661	0.8191	0.1045	-0.5736	-0.0600	0.0856	0.9945		
130	88	2.2689	1.5359	0.7660	0.0349	-0.6428	-0.0224	0.0267	0.9994		
110	80	1.9199	1.3963	0.9397	0.1736	-0.3420	-0.0594	0.1632	0.9848		
115	86	2.0071	1.5010	0.0350	0.0262	0.0006	0.0005	0.0000	0.0000		
125	88	2.1817	1.5359	0.0381	0.0268	0.0007	0.0005	0.0000	0.0000		
125	85	2.1817	1.4835	0.0381	0.0259	0.0007	0.0005	0.0000	0.0000		
								ΣN	ΣE	ΣZ	
								-0.3159	0.7233	4.9146	
				R	n	e	z			β	α
				4.98	-0.0635	0.1453	0.9873	Radianes		1.41	1.66
						DIACLASA : D3		Grados		81	118

**METODO DE ANALISIS VECTORIAL PARA LOS DATOS ESTRUCTURALES MEDIDOS EN CAMPO
BARRIO CERRO NORTE**

Azimut Buzamient	Buzamiento	α (Rad)	β (Rad)	SEN α	COS β	COS α	COS α COS β	SEN α X COS β	SEN α		
190	76	3.3161	1.3265	-0.1737	0.2419	-0.9848	-0.2382	-0.0420	0.9703		
200	85	3.4907	1.4835	-0.3420	0.0872	-0.9397	-0.0819	-0.0298	0.9962		
230	88	4.0143	1.5359	-0.7661	0.0349	-0.6428	-0.0224	-0.0267	0.9994		
220	88	3.8397	1.5359	-0.6428	0.0349	-0.7660	-0.0267	-0.0224	0.9994		
240	82	4.1888	1.4312	-0.8660	0.1392	-0.5000	-0.0696	-0.1205	0.9903		
215	80	3.7525	1.3963	0.0655	0.0244	0.0011	0.0004	0.0000	0.0000		
								ΣN	ΣE	ΣZ	
								-0.4385	-0.2415	4.9555	
				R	n	e	z			β	α
				4.98	-0.0880	-0.0485	0.9949	Radianes		1.47	1.46
						DIACLASA : D4		Grados		84	216

4.4. Geomorfología

La morfología presente en la zona de estudio está condicionada principalmente por el resultado de los procesos denudativos que han afectado a las rocas sedimentarias aflorantes en el área, y ante todo, del factor antrópico determinado por la actividad minera de la zona, la cual se mantuvo activa hasta el primer trimestre del presente año.

La explotación de materiales se inició desde la década de los 40 y se incrementó notablemente desde los años 50 hasta hoy día. Esta actividad ha dejado una serie de taludes de alta pendiente y altura variable, desprovistos de obras geotécnicas de protección y materiales de acopio a manera de montículos y una serie de bloques de gran tamaño y de detritos caídos sobre los antiguos frentes de explotación cuyo origen está definido por la forma de explotación (excavación en la pata y posterior caída del material). Todo lo anterior ha cambiado drásticamente la morfología original de la parte baja del cerro y ha favorecido el desconfinamiento en este mismo sector de la ladera.

A partir del reconocimiento de campo y de la expresión morfológica del terreno, se identificaron 9 (nueve) unidades geomorfológicas que se describen a continuación (Ver el Plano 7: Geomorfología y Procesos):

- Laderas cubiertas por vegetación (Lv) : Laderas sobre los valles de los cauces, conformadas por material botado, escombros y residuos de construcción, cubiertos principalmente por pastos y algunos arbustos; los depósitos asociados a ésta geoforma generalmente son de poco espesor.
- Cuesta o pendiente estructural (Ce) : Pendiente definida por los planos de estratificación de la roca (predominantemente cuarzoarenitas), localmente está revegetalizada con cespedón.
- Depósitos de ladera (DI) : Representados por antiguos movimientos de remoción en masa (coluviones).
- Depósitos de Talus (Dt) : Acumulaciones por caída de bloques y detritos sobre la pata de los antiguos taludes de explotación. Actualmente presenta flujos de detritos.
- Laderas reconformadas por actividad minera (Lr) : Presenta bermas y taludes de alta pendiente y altura variable, desprovistos de vegetación y con procesos de erosión concentrada (surcos y cárcavas).
- Laderas cubiertas (Lc) : Zonas cubiertas por material caído, botado o acumulado durante la actividad minera, está sometida a procesos de erosión.
- Laderas reconformadas por la actividad minera y revegetalizadas con árboles y arbustos (Lrr).
- Antiguo patio de explotación (Pe) : En este sector se inició la explotación de materiales, actualmente es un patio extenso que sirve de acopio y carga.

Ladera de pendiente homogénea (Lh) : Asentamientos humanos de los barrios Villa Nidia y Cerro Norte sobre la pendiente estructural.

4.5. Aspectos Hidrogeológicos

Es evidente que en el proceso de inestabilidad de la ladera en estudio la presencia de agua ha contribuido de manera importante, principalmente desde el punto de vista de ablandamiento (pérdida de cohesión) de los materiales lodolíticos. Durante el levantamiento de la columna estratigráfica se identificaron varias superficies de deslizamiento activas y potenciales, la mayoría de las cuales presentaban un grado de humedad importante, en general mayor a las demás capas de lodolita.

El origen de dicha agua tiene dos fuentes principales y es complejo definir cual de ellas tiene más incidencia o ha contribuido más sobre la inestabilidad de la ladera:

Agua sub-superficial proveniente de la recarga desde la parte alta de la ladera, cuya infiltración es favorecida por la orientación o buzamiento de los estratos (paralelos a la pendiente del terreno) sobre el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá. Esta agua se infiltra a través de las diaclasas y fluye por los estratos de mayor permeabilidad como las cuarzoarenitas. Este tipo de recarga se puede presentar en las capas más inferiores (basales) de cuarzoarenita de la Formación Arenisca de Labor o de otra unidad más inferior, ya que en las capas de arenita cartografiadas no se reportaron niveles freáticos, ni en la perforación realizada. De presentarse nivel freático en las capas de cuarzoarenita superior, la condición de estabilidad sería más crítica que la actual. Sólo se evidenciaron 3 puntos de afloramiento o mantenimiento de agua, uno de ellos dentro del cuerpo del deslizamiento, del cual se surte la casa existente dentro del predio de la Cantera, frente al Salón Comunal de Villa Nidia y de acuerdo con la información de los moradores de dicha vivienda cuentan con ésta agua desde hace cerca de 40 años, cuando se establecieron allí, y que ha permanecido a pesar de los dos eventos de inestabilidad importantes que han afectado la ladera.

Agua proveniente de fugas o escapes de agua de la red de acueducto y alcantarillado de las viviendas de la parte superior del deslizamiento (Viviendas 17, 18 y 29 a 39 de la manzana 36), especialmente las construídas en la corona del deslizamiento de 1990. El aporte de esta agua es permanente y durante los últimos años se ha infiltrado por las discontinuidades de la cuarzoarenita superior y se concentra en la parte alta del nivel de lodolitas, favoreciendo de esta manera el ablandamiento de la roca.

Se ha insinuado la presencia del embalse San Rafael como posible causante del aporte de agua al subsuelo afectado por el deslizamiento de Cerro Norte, en las figuras 14A y 14B se muestra en planta y secciones la posición del Embalse con respecto al deslizamiento y se tiene que el Embalse se encuentra a 4 km del deslizamiento y prácticamente al mismo nivel. Si tenemos en cuenta que el Embalse se encuentra contenido por el valle de San Rafael, el cual está constituido por suelos arcillosos de baja permeabilidad, las fugas serían mínimas; además el cerro en éste sector está conformado por las rocas de la Formación Arenisca Dura, del Grupo Guadalupe y en el costado oriental de la estructura Anticlinal, y dado que ésta Formación presenta una permeabilidad secundaria alta, siempre se ha considerado como el mejor acuífero de la cordillera Oriental, se constituye en una trampa para al agua

que se pueda infiltrar desde el Embalse e imposibilita la ocurrencia de un flujo de agua sub-superficial hacia el occidente. Además en el costado oriental siempre ha habido agua, se recuerda que los barrios Santa Cecilia y Cerro Norte tenían desde hace más de 40 años un acueducto, surtido por el agua captada en nacederos localizados arriba de la zona del deslizamiento.

De acuerdo con lo anterior, el agua que mayor influencia ha tenido en el reblandecimiento de los niveles lodolíticos, por donde se han generado las superficies de deslizamiento, es la proveniente de las viviendas localizadas en el escarpe del deslizamiento de 1990.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

El estudio Geotécnico se adelantó mediante reconocimientos detallados por parte del Ingeniero Especialista y el Geólogo, inicialmente para determinar el mecanismo de deslizamiento y la posibilidad de agravamiento del problema; posteriormente se excavaron apiques en la vecindad de la superficie de deslizamiento, donde se tomaron muestras en bloque, que se llevaron a la laboratorio para someterlas a ensayos de clasificación y resistencia al corte.

5.1. Investigación del Subsuelo y Caracterización del Macizo

5.1.1 Exploración

La exploración se adelantó mediante el levantamiento de la columna estratigráfica, la excavación de 9 apiques y de una perforación; la columna se midió especialmente en el talud sur, donde hay una buena exposición y se complementó y verificó en los costados occidental y norte, en total se levantaron 45 m de una serie de estratos de arenisca y lodolita intercalados, donde la parte superior lo constituye un banco de arenisca de 10 m de espesor, el cual ha sido parcialmente explotado, luego una serie de lodolitas de 23 m de espesor, en éste paquete se presentan las superficies de deslizamiento, y en la base una serie de areniscas y lodolitas intercaladas, donde el espesor de las areniscas varía entre 0.5 y 3 m y el de las lodolitas entre 0.3 y 1.5 m, en la figura 10 se muestra la columna levantada y se complementa con las secciones geológicas del plano 6A, donde se muestra el eje (denominado en otros apartes del informe “perfil longitudinal”) y los flancos de la zona inestable.

Los apiques se distribuyeron alrededor de la zona inestable, buscando las superficies de deslizamiento, para lo cual se aprovecharon los sitios de desgarre; la profundidad de los apiques fue variable entre 1.6 y 5.5 m y en cada uno de ellos se levantó el perfil estratigráfico, se midió la consistencia de los materiales con penetrómetro manual y se tomaron muestras de los materiales más débiles. Con los apiques se buscó la presencia de potenciales superficies de deslizamiento por debajo de la inicial.

Con el objeto de determinar la presencia de superficies de deslizamiento profundas se realizó una perforación de 15 m, en la parte occidental, frente a la masa deslizada, la cual fue adelantada con corona de diamante, obteniendo núcleos en toda su longitud y posteriormente se le colocó un revestimiento con tubería PVC para que en las labores de

monitoreo se pueda determinar la ocurrencia de movimientos en profundidad. La perforación se adelantó con broca NX y se obtuvieron recobros variables entre 25% y 93%, con una media alrededor del 65%, el índice de calidad de la roca RQD varió entre 8 y 60, indicando un alto grado de fracturamiento de la roca. En los núcleos obtenidos no se apreciaron evidencias de superficies de deslizamiento activas o potenciales.

La localización de los apiques y la perforación se muestra en el plano 9, donde además se indican las grietas principales y los sitios donde aflora o se mantiene agua. Los registros de los apiques y la perforación se muestran en la figuras 9.1 a 9.14.

5.1.2 Ensayos

En los apiques se determinó la consistencia de los materiales con penetrómetro manual, las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio donde fueron descritas y sometidas a ensayos de clasificación: humedad natural y densidad, se seleccionaron algunas muestras de la superficie de falla y se sometieron a ensayos de corte directo a presiones normales de 1.0, 2.0 y 4.0 kg/cm², del mismo orden a las que están sometidos los materiales en vecindad de las posibles superficies de deslizamiento, buscando hacer coincidir la superficie de falla de la muestra con la de la caja de corte, labor complicada, dado que la superficie de deslizamiento corresponde a una banda arcillosa de espesor superior al de la caja de ensayo. Los resultados de los ensayos se presentan en las figuras 9.7 a 9.17.

5.1.3 Estratigrafía

Como resultado de las etapas anteriores se prepararon perfiles longitudinales, por el eje y los flancos, donde se muestra la conformación del terreno, en el plano 6A se muestran las secciones o perfiles nombrados y en la Tabla 5-1 la caracterización geotécnica de los materiales involucrados.

5.2. **Inventario de Procesos**

Con base en la simple observación de fotografías aéreas de diferentes fechas y la información suministrada por los habitantes del sector, se puede establecer que el terreno bajo estudio ha sufrido en el pasado procesos de inestabilidad.

Durante el levantamiento de la cordillera pudo presentarse el deslizamiento de un gran bloque, siguiendo los planos de estratificación, tal como se evidencia con la presencia de estrías en muchos planos, además este bloque modificó el alineamiento de la base del cerro y se manifiesta con la curva que tiene la Avenida Séptima, la cual en su inicio (carretera central del norte) se trazó por el piedemonte oriental de la Sabana; éste deslizamiento podría ser el responsable de los plegamientos observados en el terreno y descritos en el capítulo de Geología; en la fotografía 1 se muestra el estado del terreno en 1940 y se puede apreciar esta situación.

Más recientemente, en la década del 50, con motivo de la explotación de la cantera, donde el proceso de excavación se hace desde la parte baja, para provocar la caída de los materiales se presentan desprendimientos de gran tamaño que comprometen la estabilidad de la ladera, la cual en los '60 facilitó la generación de un gran deslizamiento cuya corona coincide

con el actual escarpe inferior. Por ésta época se inicia la explotación de la parte media de la ladera, con acceso por la vecindad del actual salón Comunal de Villa Nidia y sistema de explotación similar al seguido en la parte inferior.

A comienzos de los ´70 se presentó un deslizamiento, arriba del frente de explotación intermedio, por lo que se amplió la explotación al cuerpo del deslizamiento, con acceso por la curva vecina al paso de la quebrada, situación que se mantuvo hasta mediados de los ´80.

Estos deslizamientos hicieron que las labores de minería se ampliaran a otros sectores vecinos.

En 1990 se presentó un deslizamiento traslacional (ver fotografía 32) que afectó la ladera arriba de las áreas de explotación antes nombradas, destruyendo algunas viviendas y de acuerdo con lo observado durante el estudio efectuado por Ingeniería y Geotecnia Ltda. en 1991 existían algunas fisuras arriba del escarpe del deslizamiento y afectaban tanto a las edificaciones como al terreno. Sin embargo al preguntar por éstas fisuras a los vecinos, estos manifestaron desconocer su presencia y no recordaban que se hubieran presentado.

Posterior al deslizamiento, se adelantó un proceso de recuperación morfológica de las áreas afectadas por la actividad minera, donde en el sector del deslizamiento se hizo la reconfiguración de la parte inferior del mismo, mediante labores de conformación del terreno, con las que se retiró casi todo el deslizamiento, dejando sólo la parte correspondiente a la cabeza, donde se construyeron las viviendas 29 a 39 de la manzana 36; esta conformación implicó el retiro de la base de la ladera en una longitud de 100 m y 15 a 20 m de espesor, tal como puede deducirse de la comparación de las secciones levantadas en 1991 y el levantamiento topográfico actual (ver comparación en las secciones del plano 16), así como del análisis de las topografías del IGAC (1987) y la actual, cuya comparación se muestra en las secciones del plano 16, esta situación se puede observar también mediante la comparación de las fotografías 15 (tomada en 1991) y la 26 (del 2002); con esta actividad se pudieron remover más de 400.000 m³ de material predominantemente arenoso, dispuesto en la zona donde el buzamiento es menor y que actuaba como bloque resistente dentro de la estabilidad de la ladera.

A comienzos de junio de 2002, se presentó un fuerte agrietamiento del terreno en el sector de la calle 160, abajo de la carrera 7, en el sector del parque, y rápidamente se conformó un escarpe, el agrietamiento se propagó en ambas direcciones, especialmente por el costado norte, donde se evidenció una superficie de deslizamiento que le dio la vuelta a la ladera, se destaca el desplazamiento de la parte superior del talud de explotación intermedio, donde fue evidente la posición de la superficie de deslizamiento.

A los pocos días de presentarse el agrietamiento inicial, en la parte de arriba se presentó otro frente de agrietamiento que acabó de afectar las viviendas de la parte alta y conformó un nuevo escarpe y una grieta profunda por el lado norte de la ladera, arriba del valle de la quebrada.

El movimiento inicial siguió los planos de estratificación por los niveles arcillosos, en la parte alta inmediatamente por debajo del estrato de arenisca; luego, unos 80 m abajo, frente a la carrera 8, se presentó un escalón por desgarre de la roca, y la superficie continuó por otro plano de estratificación localizado unos 2m más abajo; unos 45m más hacia el occidente se

presentó otro escalón por desgarramiento de la roca y la superficie de deslizamiento continuó por otro plano de estratificación localizado unos 4 m abajo, éste plano continúa hacia el occidente y aflora en el talud del corte localizado al sur del Salón Comunal de Villa Nidia, continúa hacia el sur por el talud y luego se refunde por entre acopios de materiales y se nota un levantamiento del patio de explotación. Un poco más al sur aflora en la base del talud (donde se evidenció al comienzo el desplazamiento del terreno) y continúa por la cara del talud ascendiendo hacia el sur, para situarse en un estrato por debajo del nivel de arenisca y continuar hacia el oriente por el flanco (antiguo escarpe), hasta empatar en la zona de parque con la corona del movimiento.

En las fotografías 11, 12, 16, 17, 19 a 25 se aprecian diferentes sectores de la superficie de deslizamiento y las zonas de desgarre.

Posteriormente, uno a dos meses después, se presentó un fuerte agrietamiento del terreno movido, iniciándose un proceso de “desgranamiento” del terreno hacia los flancos y el frente, dando origen a procesos de caída de bloques, que han enmascarado parcialmente la superficie inicial de deslizamiento (fotografías 29 y 34).

En el costado norte, flanco derecho del deslizamiento, al evidenciarse la posibilidad de caída de bloques y ante la presencia de las viviendas y el Salón Comunal de Villa Nidia y la parte baja de Cerro Norte, la DPAE dentro de sus labores de prevención, decidió instalar parapetos para contener los posibles bloques que al desprenderse pudieran rodar por la ladera, antes de que afectaran a las personas o a las viviendas, así mismo se evacuaron algunas viviendas donde se consideró que los parapetos podrían no ser suficientes; se complementaron estas acciones con el fracturamiento y retiro de algunos bloques de gran tamaño que estaban propensos a caer.

En el flanco izquierdo, costado sur, se observan indicios de potenciales superficies de falla por debajo de la inicial, que tienden a corresponder con los niveles del costado norte; en las fotografías 27, 34, 36 y 37 se aprecian estas superficies secundarias. Los bloques caídos de éste flanco fueron retenidos por una de las bermas de la explotación y dado que la ladera se encuentra arborizada y no hay viviendas en su inmediata vecindad, la DPAE no consideró urgente construir parapetos o adelantar labores de evacuación.

En el plano geomorfológico se presenta el inventario de procesos actuales, entre los que se destacan la caída de bloques, la erosión y el deslizamiento, este último tiene posibilidad cinemática de involucrar la parte oriental, hasta la mitad del camino entre las carreras 7 y 6 y con el flanco derecho por la calle 160 A (manzana 2).

Por las condiciones de falta de confinamiento, existe la posibilidad de generación de una posible superficie de deslizamiento más profunda, con lo que se incrementaría el área de afectación hasta la quebrada (calle 160 B) y se involucrarían las viviendas de la manzana 12 del barrio Villa Nidia, incluyendo el Salón Comunal, el Jardín Infantil y la Escuela Popular; esto es apenas una hipótesis que habría necesidad de verificar o descartar con ayuda del monitoreo.

5.3. Análisis de Estabilidad

Se seleccionaron 11 secciones (ver la localización en el plano 3B), que podrían ser representativas del comportamiento de las laderas y se adelantaron análisis de estabilidad y de trayectoria posible de bloques caídos; para éstos se adelantaron los análisis bajo una condición estática ($V_i=0$) y dinámica ($V_i=2\text{m/seg}$) correspondiente al desprendimiento que puede generar el sismo de diseño asignado para Bogotá; se hicieron los análisis para masas de 1, 10, 100, 1000 y 10000 kg y los resultados se presentan en las figuras del Anexo 6 del Análisis de Caída de rocas y una descripción y análisis de resultados se presenta en el capítulo 8 de Amenaza.

Para los análisis del deslizamiento se partió de la sección longitudinal levantada en campo (plano 16) y con base en las observaciones de campo sobre posición de la superficie de deslizamiento y la presencia de dos afloramientos de agua y las características geotécnicas de los materiales involucrados, con ayuda del programa STABLE se analizaron, inicialmente la superficie de deslizamiento identificada y otras con posibilidad cinemática de falla; con los resultados de la primera se calibran los parámetros que se van a emplear en las otras y se completa la calibración con el análisis de los resultados de los ensayos de corte directo. Los resultados de los análisis de estas posibles superficies de falla se presentan en las figuras del Anexo 5 -análisis de estabilidad de laderas.

En forma general se tienen en la tabla 5-1 las características de los materiales, que serán usadas en el modelo de estabilidad, con el programa STABLE.

TABLA 5-1. Características geotécnicas de los materiales involucrados

Material	Descripción	Parámetros			Fuente
		γ_t (kN/m ³)	ϕ' (°)	C (kN/m ²)	
Suelo 1	Coluvión	22	26.5	15	*IGL
Suelo 2	Arenisca fracturada rompiendo el estrato.	23	30	500	Literatura
	Arenisca fracturada por grietas.	23	30	0	
Suelo 3	Lodolitas rompiendo el estrato.	23	26	200	Literatura
	Lodolitas rompiendo por plano de estratificación grietas.	23	18	20	
	Lodolitas en condición reblandecida.	22	16	0	Ensayos de corte directo.
Suelo 4	Arenisca inferior rompiendo el estrato.	23	30	500	Literatura
	Arenisca inferior rompiendo por fracturas o planos de estratificación.	23	30	100	

- El valor corresponde a ensayos realizados en el área de estudio, por IGL hace 11 años.

Los parámetros para los casos en los cuales la superficie de falla rompe la estratificación, se justifican ya que en el estrato aún existe una gran cohesión, mientras que para los casos en que la falla se da por el contacto entre los planos de estratificación esta cohesión no existe.

Con estos valores se analizaron diferentes superficies de falla, los resultados de estos análisis se muestran en el anexo 5 al final del informe.

6. CARACTERIZACION DE VEGETACION Y SUELOS

6.1. Características del entorno

Morfológicamente, el área de estudio presenta zonas de relieve escarpado en las márgenes de los zanjones y en el frente de explotación de la cantera, con pendientes superiores a 45%; ondulado a quebrado, con pendientes entre 10 y 30% en las laderas donde se localiza el barrio Cerro Norte; y plano a ligeramente ondulado, con pendiente menor al 10%, en la zona más baja, donde se encuentra un sector del barrio Villa Nidia. En el Plano 11 se presenta el mapa de pendientes, en el cual se pueden diferenciar claramente cada una de estas zonas.

En cuanto a la presencia y distribución de los suelos en el área de estudio, se encontraron perfiles de suelo con sus horizontes completos en lotes abandonados y en algunos cortes de la vía principal; son suelos típicos de montaña, de la serie Monserrate, derivados de areniscas, moderadamente profundos, de textura franco arenosa en el primer horizonte, limitado por capas de arenisca y arcillolitas intercaladas en el resto del perfil, o capas de lutitas altamente fracturadas, con buen drenaje tanto interno como superficial, erosión moderada a severa y afloramiento de horizontes sub-superficiales, debido a la remoción del horizonte superficial durante el proceso de construcción de las viviendas.

En la zona aledaña al borde de los zanjones se encontró suelo antrópico producto de rellenos, con presencia de alta cobertura vegetal pero con abundantes poros y grietas, lo que sumado al deficiente manejo de aguas lluvias, podría propiciar la aparición de deslizamientos. En general, la capa orgánica superficial ha desaparecido en el área de estudio, dejando a la vista horizontes sub-superficiales y, en algunos casos, el material parental, con características físicas favorables para el proceso de erosión.

En cuanto a la vegetación, el bosque natural ha sufrido un intenso proceso de deforestación y actualmente subsiste, en las laderas de los zanjones, una comunidad vegetal de especies oportunistas, de rápido crecimiento, con plantas de laurel (*Myrica* sp.), chilco (*Baccharis* sp), gaque (*Vallea stipularis*), encenillo (*Weinmania* sp), tuno esmeraldo (*Miconia* sp), retamo (*Citrus* sp), chusque (*Chusquea* sp) y pajonal (*Festuca* sp. Y *calamagrostis* sp) en el sector aledaño al deslizamiento y un estrato arbóreo, con especies como sauco (*Sambucus* sp), sauce (*Salix* sp), cedro (*Cedrella* sp), pino abeto (*Pinus radiata*), pino de agujas (*Pinus pátula*), acacia negra (*Acacia Melanoxilum*), cerezo (*Prunus* sp) y papayuela en el escarpe del zanjón norte. El área del deslizamiento propiamente dicho presenta una cobertura vegetal superior al 70%, compuesta por pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) principalmente.

En el resto del área, especialmente en los lotes vacíos y sitios sin construir, se encuentra vegetación secundaria y de jardín, conformada por árboles de eucalipto (*Eucalipto* sp.), cerezos (*Prunus* sp.), pinos (*Pinus* sp), sauce (*Salix humboldtiana*) y sauco (*Sambucus* spp). En el estrato inferior se encuentran algunas herbáceas como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*), bella a las once, bella helena, rosas, geranios y plantas espontáneas como el diente de león (*Taraxacum* sp.), las malvas (género *Malvaceae*) y escobas (*Sida* sp.), con cobertura del suelo entre 40 y 90% en algunos sitios, mientras que en otros no hay vegetación y aflora material parental.

6.2. Caracterización de Suelos

Para caracterizar los diferentes suelos encontrados en el área de estudio se levantaron 4 perfiles edafológicos, cuya localización se presenta en el Plano 13 y por solicitud de la INTERVENTORIA se muestra también e el plano 9, de exploración geotécnica del subsuelo.

Los suelos del barrio Cerro norte, en general, presentan características morfológicas comunes como son los colores pardos, las texturas arenosas y estructura migajosa, con regular cohesión. Estas características están asociadas con buen drenaje natural, nivel freático profundo y poco fluctuante y material parental derivado de areniscas y arcillolitas. En el barrio Villa Nidia se presentaron suelos de colores más oscuros, con textura limosa, presencia de residuos de lutitas desde la superficie y estructura apedal suelta, con poca cohesión entre sus agregados.

Los suelos de los rellenos están conformados por diversos materiales, con residuos de rocas y escombros de tamaños variables. La textura de la matriz es limosa con colores oscuros, y arcillosa en algunas ocasiones, con colores claros. Se observa baja capacidad de retención de humedad y una velocidad de infiltración moderadamente rápida.

Las características morfológicas de cada perfil se describen a continuación:

- **Perfil 1** (similar al mostrado en el registro del apique 3, figura 9-9):

Fecha de descripción:	14 de Agosto de 2002
Localización:	Barrio Cerro Norte, frente a la tr.4 161-15 .
Relieve:	Quebrado. Pendiente: 30%.
Drenaje natural:	Bien drenado
Vegetación actual:	Cultivo de maíz, haba y frijol en asociación, con Pasto Kikuyo, diente de león y botón de oro.
Uso Actual:	Lote vacío, cultivado.
Material parental:	Arenisca no consolidada.
Horizontes diagnósticos:	Superficial, ócrico Subsuperficial, material parental.
Taxonomía del perfil:	Entisol.

Descripción del perfil:

0 a 50 cm Au	Color pardo gris muy oscuro (10YR3/2); textura franco arenosa; estructura grumosa, de agregados medianos y grado moderado; presencia de grietas verticales de tamaño fino y mediano; consistencia suelta, friable, ligeramente plástica y no pegajosa; abundantes poros finos; actividad de edafofauna regular, raicillas abundantes, finas y medias; no presenta carbonatos (reacción al HCl negativa), con muy poca o nula materia orgánica (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y sin contaminación de cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa); límite abrupto, de topografía ondulada.
50 a 180cm C	Material parental, arenisca suelta, no consolidada, color amarillo pardo (10YR6/8) con manchas de oxidación, estructura apedal, suelta, de grado débil, consistencia suelta, friable, no pegajosa y no plástica. No se observa nivel freático.

- **Perfil 2** (similar al mostrado en el apique 1, figura 9-7)

Fecha de descripción:	14 de Agosto de 2002
Localización:	Zona del deslizamiento, sobre la ladera del zanjón.
Relieve:	Quebrado.
Pendiente:	30%.
Drenaje natural:	Bien drenado
Vegetación actual:	Pasto Kikuyo.
Uso Actual:	Corte para construcción.
Material parental:	Arenisca no consolidada.
Taxonomía del perfil:	Entisol.

Descripción del perfil:

0 a 120 cm Au	Color pardo gris muy oscuro (10YR3/2); textura franco arenosa; estructura grumosa, de agregados medianos y grado moderado; presencia de grietas verticales de tamaño fino y mediano; consistencia suelta, friable, ligeramente plástica y no pegajosa; abundantes poros finos; actividad de edafofauna regular, raicillas abundantes, finas y medias; no presenta carbonatos (reacción al HCl negativa), con muy poca o nula materia orgánica (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y sin contaminación de cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa); límite abrupto, de topografía plana.
120 a 190 cm B	Color pardo oscuro (10YR3/3), textura matriz franco arcillosa con grava gruesa y mediana; estructura grumosa, fina y débil; de consistencia suelta, friable, ligeramente plástica y no pegajosa; no presenta carbonatos (reacción al HCl negativa), con muy poca o nula materia orgánica (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y sin contaminación de cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa)
50 a 180cm C	Material parental, arenisca suelta, no consolidada, color amarillo pardo (10YR6/8) con manchas de oxidación, estructura apedal, suelta, de grado débil, consistencia suelta, friable, no pegajosa y no plástica. No se observa nivel freático.

- **Perfil 3:**

Fecha de descripción:	14 de Agosto de 2002
Localización:	Barrio Cerro Norte, Ladera del zanjón en la cuadra con soga
Relieve:	Ondulado. Pendiente: 25%.
Drenaje natural:	Bien drenado
Vegetación actual:	pasto Kikuyo.
Uso Actual:	Urbano, mixto comercial.
Taxonomía del perfil:	Entisol.

Descripción del perfil:

0 a 90 cm Au	Color pardo gris muy oscuro (10YR3/2); textura franco arenosa; estructura migajosa, mediana, débil; consistencia de la matriz firme, friable, ligeramente plástica y no pegajosa; poros pequeños, abundantes; actividad de edafofauna regular, raicillas abundantes, finas y medianas; no se detectan carbonatos (reacción al HCl negativa), la materia orgánica es muy baja (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y no se detectan cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa); Límite gradual, de topografía ondulada.
90 a 175 cm B	Color pardo oscuro (10YR3/3), textura matriz arcillosa con grava gruesa y mediana; estructura grumosa, mediana y débil; de consistencia suelta, friable, ligeramente plástica y pegajosa; con grietas verticales medianas, poros abundantes y raicillas regulares; no presenta carbonatos (reacción al HCl negativa), con muy poca o nula materia orgánica (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y sin contaminación de cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa)
175 a profundidad C	Material parental, arenisca consolidada, color amarillo pardo (10YR6/8) con manchas de oxidación, estructura apedal, masiva, de grado muy fuerte. Con grietas verticales. No se observa nivel freático.

- **Perfil 4** (similar al mostrado en el apique 4, figura 9-10):

Fecha de descripción:	14 de Agosto de 2002
Localización:	Barrio Villa Nidia, costado sur de parque.
Relieve:	Ondulado. Pendiente: 30%.
Drenaje natural:	Imperfectamente drenado
Vegetación actual:	Pasto Kikuyo.
Cobertura:	Superior al 90%
Uso Actual:	Pradera, zona verde.
Taxonomía del perfil:	Entisol.

Descripción del perfil:

0 a 30 cm Au	Color pardo gris muy oscuro (10YR3/2); textura matriz limo arcillosa; estructura grumosa, fina, débil; consistencia de la matriz suelta, friable, ligeramente plástica y pegajosa; poros pequeños, abundantes; actividad de edafofauna regular, raicillas abundantes, finas y medianas; no se detectan carbonatos (reacción al HCl negativa), la materia orgánica es muy baja (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y no se detectan cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa); Límite gradual, de topografía ondulada.
30 a 120 cm BC	Color pardo muy pálido (10YR7/3), textura matriz arenosa con grava gruesa y mediana; estructura apedal, suelta y débil; de consistencia suelta, friable, no plástica y no pegajosa; no presenta carbonatos (reacción al HCl negativa), con muy poca o nula materia orgánica (reacción al H ₂ O ₂ negativa) y sin contaminación de cenizas volcánicas (reacción al NaF negativa)

6.3. Inventario de uso actual del suelo y cobertura

A continuación se describe la forma como se realizó el inventario de uso actual del suelo y los resultados del mismo.

6.3.1 Método de estudio

La evaluación del uso del suelo y su cobertura se realizó por medio de una inspección al área de estudio, durante la cual se identificaron y cartografiaron las diferentes unidades de uso, de acuerdo con la clasificación de la Unidad de Suelos y Agricultura del CIAF, que consta de cuatro niveles:

- Gran grupo
- Grupo
- Subgrupo
- Tipo de cobertura y uso

6.3.2 Unidades de Uso

A nivel de gran grupo las unidades de uso se clasificaron en tres categorías:

- Rasgos culturales
- Rasgos vegetales
- Cuerpos de agua

- **Rasgos culturales**

Esta unidad integra los grupos “Urbano” y “Transporte y comunicación”; En el grupo Urbano se presentan los subgrupos residencial, comercial, industrial y servicios. Para el grupo Transporte y comunicación se presentan los subgrupos Vías pavimentadas: vehiculares y peatonales y vías destapadas.

El tipo de uso “vías pavimentadas vehiculares” comunica los barrios de la parte baja hacia la parte alta, y es la principal vía de acceso y está formada por la Diagonal 160C, calle 160D, carrera 11, diagonal 161, diagonal 162, carrera 10, transversal 9, carrera 8B, carrera 8, transversal 8, carrera 7B y carrera 7A.

Las vías pavimentadas peatonales son vías secundarias, construidas por la Comunidad, con drenajes y alcantarillado en buen estado y corresponden a la carrera 10, acceso al parque de Villa Nidia, carrera 8C, calle 161, carrera 8 y calle 160B.

El tipo de uso “vía destapada” es exclusivamente peatonal, presenta erosión laminar y concentrada, deficiente sistema de drenaje, en algunos casos se encuentran rotos los tubos del alcantarillado o tiene uniones defectuosas. De éste tipo se tienen la carrera 9, carrera 8, calle 160, calle 160A y las vías de acceso al Parque de Cerro Norte y algunas afectadas por el deslizamiento.

Los subgrupos residencial y comercial se integraron en el subgrupo de uso “mixto-comercial” debido a la complejidad del uso en cada vivienda, donde se presentan comercios (tiendas, panaderías y mercados pequeños, entre otros) en muchas de las casas de habitación.

Los lotes vacíos se agrupan en ése tipo de uso, en el plano 8 se identifican con la palabra “lote”. En el plano se muestra hasta el nivel de sub-grupo, omitiendo el nivel de tipo de uso.

El sub-grupo “servicios” es representado por las áreas recreativas: Parque Cerro Norte y Parque Villa Nidia y por los centros educativos: Escuela y comedor infantil en Cerro Norte y Salón Comunal, Escuela Popular y Asociación Pro-defensa del niño en Villa Nidia.

El sub-grupo “industrial” sólo se presenta en el área de la cantera, con su actividad minera a cielo abierto; está localizada al occidente de la zona de estudio. Esta área coincide con el sub-grupo de “suelos desnudos” descrito en rasgos vegetales.

- **Rasgos vegetales**

Se identificaron dos grupos: suelo con cobertura vegetal y suelo sin cobertura vegetal. A nivel de sub-grupo, en “suelos con cobertura vegetal” se presenta vegetación espontánea y vegetación inducida por prácticas de reforestación o en manejo de jardines y lotes dentro del área urbana.

La vegetación espontánea es representada por comunidades vegetales de “mata de monte”, arbustos de rápido crecimiento y buena cobertura, bajo los cuales crecen diversas hierbas invasoras: pastos de los géneros *paspalum* y algunos escobos (*sida sp.*). En general ésta comunidad vegetal tiene una fisionomía característica y en altura llega hasta 2m, formando una cobertura moderadamente densa.

Como vegetación inducida se identificaron zonas con siembra de pasto kikuyo, especialmente en los parques y lotes; otro tipo de vegetación inducida es la colocada en jardines, patios y solares de las viviendas. En éste sub-grupo se identifican árboles y plantas de jardín, que por diferentes motivos, como el manejo deficiente de residuos de construcción, la vecindad de las edificaciones, etc. Se encuentran torcidos e inclinados, dando la impresión del fenómeno de reptamiento, el cual puede descartarse al observar la vegetación espontánea, donde sus troncos se aprecian perfectamente verticales.

El grupo de “suelos sin cobertura vegetal” reúne los escarpes del borde de la quebrada y de la zona de cantera. En el escarpe de la quebrada se presenta buena competencia de los materiales, por su alta cohesión entre partículas, lo cual unido a la poca superficie real expuesta, explica la poca o inexistente erosión que allí se presenta, mientras que en los escarpes de la cantera donde se encuentran materiales sueltos y pendientes “moderadas” se favorece la erosión en diversos grados.

- **Cuerpos de agua**

El caño limítrofe entre los barrios Cerro Norte y Villa Nidia se agrupo en esta unidad como drenaje colector de aguas negras (tipo de uso y cobertura) debido a que las aguas residuales producidas en su cuenca son vertidas en el.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las unidades de uso, respecto de la clasificación descrita.

Tabla 6-1 - Clasificación de la cobertura y uso del suelo

Gran Grupo	Grupo	Subgrupo	Tipo
Rasgos culturales	Urbano	Mixto comercial	<ul style="list-style-type: none"> • Lotes construidos total o parcialmente. • Comercio informal, establecimientos pequeños
		Industrial Servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Minería extractiva a cielo abierto (Cantera) • Educación • Recreación y deporte
	Transporte y comunicación	Vías	<ul style="list-style-type: none"> • Vías pavimentadas vehiculares • Vías pavimentadas peatonales • Vías destapadas peatonales.
Rasgos vegetales	Con cobertura vegetal	Vegetación espontánea Vegetación inducida	<ul style="list-style-type: none"> • Herbácea (pastizal) • Arbustiva (matorral) • Arbórea • Herbácea (Pradera de Kikuyo)
	Sin cobertura vegetal	Suelos desnudos	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión en grado diverso
Cuerpos de agua	Corrientes		<ul style="list-style-type: none"> • Drenajes

6.4. Incidencia de las unidades de uso en la Estabilidad de los Terrenos

La unidad de uso **Mixto** (residencial - comercial) tiene efecto negativo en la estabilidad de los suelos de dos maneras: una es el aporte de agua debido a la deficiente canalización y entrega de aguas servidas (tubería rota, tapada o con uniones defectuosas), situación observada en las vías peatonales destapadas aledañas al sector del deslizamiento, humedad que penetra hacia capas más profundas del perfil, gracias a la capacidad de infiltración de los materiales de los suelos, acumulándose en capas semi-impermeables más profundas, lo que provoca reblandecimiento de los materiales arcillosos.

La segunda es el proceso de construcción de las viviendas, con corte de la pendiente y construcción de rellenos confinados por muros ciclópeos para nivelar la superficie, provocando alteración de la estructura del suelo, fracturamiento de rocas y pérdida de soporte en las partes bajas, lo cual puede desestabilizar localmente los suelos, afectando algunas casas. Además, el proceso de construcción genera gran cantidad de materiales como suelo orgánico, escombros y residuos de construcción que son dispuestos hacia el final de las vías en los bordes del zanjón, generando rellenos locales que luego pueden presentar procesos de remoción en masa; sin embargo, la alta densidad de las construcciones enmascara los aspectos negativos de la unidad de uso mixto.

La unidad de uso **Industrial**, con su actividad de minería extractiva a cielo abierto, tiene influencia negativa en la estabilidad de los suelos, principalmente por que favorece el proceso de erosión superficial, especialmente en las áreas de disposición de residuos por falta de cobertura vegetal; en éstas áreas desprotegidas se favorece la infiltración de aguas.

La unidad de uso **Servicios** (educación y salones comunales), tiene el mismo efecto negativo de la unidad de uso mixto. En el grupo de **recreación y deporte**, el parque aledaño al deslizamiento presenta numerosas fallas y fisuras de su sistema colector de aguas lluvias, ocasionando infiltración de agua en las grietas y escorrentía superficial. El parque ubicado en la parte baja, sector de Villa Nidia, tiene incidencia negativa en la estabilidad de los suelos por que la capacidad del sistema de drenaje no es suficiente, situación que se evidencia en el relleno de la base del talud, el cual presenta pequeños escurrimientos, socavación y reptación.

El grupo **Transporte y comunicación** que corresponde a las vías del sector presenta varios aspectos negativos para la estabilidad de los suelos; Algunas vías se encuentran destapadas, con severas deficiencias en el sistema de canalización y recolección de aguas lluvias, en su mayoría de construcción comunitaria, favoreciendo las fugas de agua que se infiltran sobrecargando capas más profundas del suelo; además por no contar con cobertura se presenta erosión superficial.

La unidad de **Vegetación**, en general, tiene influencia benéfica en la estabilidad del suelo al evitar la acción del agua sobre la superficie, lo cual minimiza la erosión, dependiendo del porcentaje de cobertura. Sin embargo, debido al tipo de vegetación predominante (pastos y arbustos) no se cuenta con un sistema de raíces profundas que absorban el exceso de agua en las capas inferiores del suelo.

En algunos lotes vacíos, con humedad superficial, también se presenta vegetación de pastizal con cobertura sobre la superficie bastante alta, pero no cumple su función protectora contra la erosión por no existir continuidad de un lote al otro.

En el Plano 8 se presenta el inventario de uso actual del suelo y cobertura.

6.5. Pérdida de suelos por erosión pluvial

6.5.1 Conceptos generales

Los edafólogos distinguen entre erosión geológica o desgaste natural de la tierra sin influencia humana y erosión acelerada o pérdida de suelo como consecuencia de la alteración del sistema natural debida al tipo de uso del suelo.

La erosión es un fenómeno natural que abarca la separación, el transporte y el depósito de los materiales que componen el suelo y es causada, principalmente, por el agua (erosión hídrica) por escorrentía o por infiltración y por el viento (erosión eólica). La erosión hídrica comienza con la caída de las gotas de lluvia que pueden desprender las partículas de suelo; parte del agua que cae se infiltra, pero dependiendo de la intensidad del aguacero y del tipo y condiciones del suelo superficial, hay una parte que no alcanza a infiltrarse y fluye sobre el terreno arrastrando los materiales sueltos.

La intensidad del proceso de erosión avanza en secuencia desde el lavado superficial difuso, a la erosión laminar, la formación de hilos o canalículos, surcos y en casos más graves, zanjas, cárcavas y barrancas. En el extremo se degradará el terreno en alto grado, con la ramificación de cárcavas y eliminación de las capas u horizontes del perfil de suelos en toda

el área afectada; se hablará entonces de calvas o “bad-lands”. El volumen de suelo removido aumenta a tasa enorme de una etapa a la otra.

Esta acción del agua lluvia sobre el terreno se puede resumir de la siguiente forma (García et al, 1988 modificada 2000):

Modos de acción de la lluvia sobre el terreno

Erosiva directa o indirecta de la lluvia	Mecanismo de acción	Efectos erosivos, directos o indirectos
Impacto de las gotas	Disgregación	Erosión por escurrimiento laminar.
Escurrimiento superficial	Disgregación Transporte	Erosión diferencial, por diferentes resistencias al fenómeno en las distintas capas del terreno.
Infiltraciones	Nivel freático colgado Elevación del nivel freático Corrientes subterráneas Saturación	Deslizamientos de tierra. Erosión interna, tubificación, etc. Lavado interno (Lixiviación); disolución
Humedecimiento y secado	Expansión y contracción	Fisuramiento Pérdida de cohesión. Flujos estacionales.

El análisis y predicción de la pérdida de suelo por efecto de la erosión pluvial en una cuenca, se realiza aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, EUPS, aceptada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, USDA, que se describe a continuación.

6.5.2 Método de estudio para la estimación de pérdida de suelo por erosión pluvial

Para la estimación de la pérdida de suelo por erosión pluvial en los barrios Cerro norte y Villa Nidia se utilizó, 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.

La expresión matemática del modelo EUPS es:

$$E = R \times K \times LS \times P \times C$$

donde:

- E: Pérdida de suelos (ton/ha/año)
- R: Erosividad de la lluvia, en función de su energía cinética (J/m²), si la lluvia se expresa en mm y (MJ/m²), si se expresa en cm.
- K: Erodabilidad del suelo (adimensional), con valores entre 0.1 y 1.0 cuando la lluvia se expresa en cm; o valores entre 0.01 y 0.001, cuando la lluvia se expresa en mm.
- L: Longitud de la pendiente, expresada en m.
- S: Grado de pendiente, expresado en %.
- P: Prácticas de conservación de suelos (mecánicas, biológicas).
- C: Cobertura vegetal.

Para estimar cada uno de los factores involucrados en la ecuación anterior se realizaron las siguientes actividades:

- Revisión de información básica:
- Plano topográfico del área de estudio
- Información meteorológica: Precipitación total mensual
- Información referente al medio físico: clima, vegetación, suelos, geología, hidrología.
- Información relacionada con la aplicación del modelo USDA para la estimación de la pérdida de suelo.
- Reconocimiento del terreno y ensayos de campo, el cual incluyó una visita técnica a la zona de estudio para realizar descripción de suelos, toma de muestras, ensayos de infiltración y localización de procesos de erosión, así como identificación de tipos de vegetación.
- Cartografía analítica o superposición de planos temáticos de vegetación y de pendientes, que permitió detectar zonas homogéneas en cuanto a cobertura vegetal, pendiente, prácticas de control de erosión y suelos.

6.5.3 Base teórica

- Factor R: *Erosividad*.

Como se dispone sólo de información pluviométrica se utiliza el modelo de Fournier, para la determinación del factor R, erosividad.

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{p^2}{P}$$

Donde R es el índice de erosividad; p es la precipitación momentánea (horaria, diaria, mensual), P es la precipitación total del período estudiado y n es el número de años.

- Factor K, *Erodabilidad*.

La erodabilidad, facilidad o susceptibilidad que tiene el suelo a ser erosionado, depende de sus propiedades físicas, que determinan la velocidad de infiltración y la resistencia del suelo a la dispersión y arrastre del agua lluvia y de escorrentía.

Para hallar el valor K, se emplean 5 propiedades del suelo, que se relacionan mediante el modelo matemático cuya expresión es:

$$1000K = (2.1 M^{1.14} \times 10^{-4})(12-a) + 3.25 (b-2) + [2.5 (c-3)]$$

donde:

K:	Índice de erodabilidad
M:	(%limo + Arena Muy Fina)(100 - %Arcillas)
a:	% de Materia orgánica

- b: Estructura del suelo
- c: Velocidad de infiltración
- 1000: Factor de conversión cuando la lluvia está referida en milímetros; 100 cuando la lluvia está en centímetros.

El factor K, erodabilidad de los suelos, se clasifica según se muestra en la tabla siguiente (Montenegro, 1985).

Tabla 6-2 - Calificación de la erodabilidad de los suelos

Valores de Erodabilidad Factor k	Clasificación
Menor de 0,20	Bajo
Entre 0,20 y 0,30	Medio
Entre 0,30 y 0,50	Alto
Mayor de 0,50	Muy alto

Los componentes de la ecuación para estimar el factor K se obtuvieron de la siguiente manera:

- Granulometría: Sobre muestras obtenidas en campo se realizaron ensayos de granulometría por hidrómetro y por tamizado y con los resultados se obtuvieron las curvas de gradación presentadas como Figuras 9.18 y 9.19
- La materia orgánica se determinó por el método de quemado al horno.
- La estructura se determinó en campo, durante la descripción de perfiles.
- La velocidad de infiltración se determinó en campo, y el método se describe a continuación.

La infiltración se determinó realizando un apique en el sitio de interés, de 0.25m de profundidad y 0.25 o 0.3m de diámetro, dentro del cual se aplicó agua hasta un determinado nivel. Enseguida se registró el descenso del agua por medio de una escala graduada en centímetros y el tiempo transcurrido desde que se inició la infiltración.

La lámina acumulada que penetra en el suelo se expresa por la ecuación general:

$$D = C T^n$$

En la cual:

- D = Lámina de agua infiltrada acumulada (cm)
- T = Tiempo acumulado (min)
- C y n = Coeficientes que varían de acuerdo con el tipo de suelos.

La infiltración promedio se expresa como:

$$D_p = D/T = 60C T^{n-1}$$

Y la tasa de infiltración instantánea será:

$$D_i = dD/dT = 60Cn T^{n-1}$$

El factor 60 convierte los centímetros por minuto a centímetros por hora. En la tabla 6-5 y las figuras 6.3 a 6.6 se presentan los datos obtenidos en las pruebas de infiltración en campo y su análisis gráfico. Para este último se realizaron las siguientes etapas:

- Representación en papel logarítmico de los valores de lámina acumulada (D) y tiempo (T), obteniéndose una línea recta, aproximadamente.
- Se determinó gráficamente la pendiente de la recta resultante; este es el valor de “n”
- En las ecuaciones dadas anteriormente.

n = dD/dT = d/t

- Conocido el valor de “n”, del gráfico se toma un valor de D y su correspondiente valor de T. Con éstos tres valores se determinó el valor C de la ecuación:

D = C Tⁿ ⇒ C = D / Tⁿ

- Con los valores determinados se dedujeron las ecuaciones de lámina infiltrada, Infiltración promedio e Infiltración instantánea y se dibujaron en el mismo gráfico
- Se realizó un gráfico de la ecuación de Infiltración instantánea vs tiempo en escala aritmética
- Se determinó la tasa de infiltración básica, I_b, sobre ésta última curva, teniendo presente que la I_b es aquella tasa de infiltración que luego de un cierto tiempo se mantiene constante.

El valor de Infiltración básica de los suelos, se clasifica según se muestra en la tabla siguiente (Montenegro, 1985).

Tabla 6-3 - Clasificación de la Infiltración básica de los suelos

Conductividad hidráulica		Infiltración básica	Clasificación
cm/hora	m/día	cm/hora	
Menor de 0.1	0.03	Menor de 0.1	Muy lenta
0.1 a 0.5	0.03 a 0.12	0.2 a 0.5	Lenta
0.6 a 1.5	0.13 a 0.38	0.6 a 2.0	Moderadamente lenta
1.6 a 5.0	0.39 a 1.2	2.0 a 6.3	Moderada
5.1 a 12	1.3 a 2.9	6.3 a 12.7	Moderadamente rápida
12.1 a 18	3.0 a 4.3	12.7 a 25.4	Rápida
mayor de 18	mayor de 4.3	mayor de 25.4	Muy rápida

- Factor LS, *Longitud y grado de pendiente*.

Este factor combina dos aspectos del relieve que determinan la facilidad de escurrimiento del agua y la velocidad y energía cinética alcanzada por la escorrentía. Así, a mayor grado y longitud de pendiente corresponde mayor erosión, ya que en longitudes pendientes muy largas y pronunciadas, la escorrentía aumenta tanto en volumen como en velocidad y profundidad.

Para la determinación del factor que mide el efecto de la longitud y grado de pendiente (LS) se utilizó el mapa de pendientes de la zona de estudio y se aplicó la siguiente ecuación:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{a}\right)^m \left(\frac{b + cS + dS}{e}\right)$$

Donde:

- λ : Longitud de la pendiente en m
- m Constante que depende del grado de pendiente
- S Grado de pendiente
- a, b, c, d y e constantes.

- Factor C, *Cobertura del suelo*.

Relaciona el tipo y extensión de la cobertura del suelo con la erosión originada por la lluvia; en el caso de la cobertura vegetal, el efecto sobre la erosión se observa en cuatro aspectos:

- Intercepción de la lluvia por la cubierta vegetal
- Disminución de la velocidad de escurrimiento y acción cortante del agua.
- Aumento de la granulación del suelo por efecto de las raíces, además del aumento de la porosidad y la actividad biótica.
- Incremento de la transpiración, conducente a desecación del suelo.

En el caso de cobertura por construcciones el efecto es anular la erosión en las áreas construidas, aunque por mal manejo del agua pueden desencadenarse procesos erosivos en áreas aledañas. Cuando el suelo no presenta cobertura, como es el caso de las vías destapadas, lotes vacíos sin vegetación y el área de la cantera, el proceso de erosión no se atenúa, por lo que el factor C es inoperante.

- Factor P, *Prácticas de manejo o protección*.

La erosión acelerada o antrópica puede ser disminuida hasta el equilibrio con la erosión geológica con obras que disminuyan la superficie expuesta, como revegetalización y cubrimiento con asfalto o cemento, y obras de Ingeniería para el manejo del agua superficial, como canales, desagües, etc, que reducen el carácter agresivo del agua. Cuando no se han realizado, el factor P no es importante.

6.5.4 Análisis de resultados

A continuación se presentan y analizan los resultados obtenidos.

- Factor Erosividad (R):

Se utilizó información pluviométrica, de la estación Usaquen Santa Ana (EAAB), reportada como precipitación total mensual (mm), para un periodo de 11 años (1990 a 2000). El valor

calculado para el Factor Erosividad usando el modelo de Fournier, fue de 112,63. Este valor muestra condiciones de lluvias intensas, con apreciable capacidad de erosión.

- Factor erodabilidad (K):

Para la evaluación del Factor K, se utilizaron los resultados de los análisis de laboratorio realizados sobre muestras representativas de los materiales expuestos a la acción de la lluvia, así como el análisis en campo de la infiltración.

- Granulometría.

Los suelos del área de estudio poseen alto contenido de arena y contenido moderado de limos y arcillas, con una textura franco arenosa en la superficie y arenosa en profundidad, especialmente en la parte media y superior de la ladera y textura franco limosa en la parte baja. El contenido de materia orgánica es bajo para el horizonte superficial (1.90%) y para los horizontes subsuperficiales (1.0%), lo que confirma la reacción negativa de los suelos ante la aplicación de peróxido de hidrógeno, en el proceso de descripción de perfiles.

En la Tabla 6-4 se presenta la distribución granulométrica de las muestras tomadas en campo.

Tabla 6-4. Distribución granulométrica de los materiales

Tamaño de las partículas (mm)	PORCENTAJE	
	Muestra P1M2	Muestra P4M1
Mayor a 2.0	2.0	4.0
2.0 a 1.0	1.0	2.5
1.0 a 0.5	3.0	2.5
0.5 a 0.25	20.0	5.5
0.25 a 0.1	32.0	12.0
0.10 a 0.05	8.0	4.0
0.05 a 0.02	8.0	8.0
0.02 a 0.002	7.0	9.5
menor a 0.002	19.0	16.0
Arena	64.0	62.5
Limo	15.0	17.5
Arcilla	19.0	16.0
APRECIACION	Franco arenosa	Franco arenosa

La estructura depende del tipo de material y varía desde migajosa media hasta migajosa fina, con agregación débil a moderada, según lo expresado en la descripción de perfiles. Todos los suelos presentan buen drenaje.

En cuanto a la infiltración, se realizaron dos ensayos en diferentes zonas del área de estudio, cuya localización se presenta en el Plano 13, los resultados en las figuras 9.20 a 9.23 y la descripción de los mismos en la Tabla 6-5.

Tabla 6-5. Datos obtenidos en los ensayos de infiltración

Ensayo No. 1				Ensayo No. 2			
Localización	Lote vacío en el costado Oriental del barrio Cerro Norte.			Costado nororiental del parque lineal del barrio Cerro norte, parte superior del deslizamiento.			
Suelos	Suelo natural, descrito en el perfil 1, con pendiente fuertemente inclinada (50%) y cobertura vegetal de pasto denso.			Material de relleno, regularmente compactado, con grava gruesa y residuos de construcción en matriz limo arenosa, pendiente fuertemente inclinada (45%) y cobertura vegetal de pasto denso.			
Tiempo acumulado (min)	Lectura de la escala	Lámina infiltrada (cm)	Infiltración acumulada (cm)	Tiempo acumulado (min)	Lectura de la escala	Lámina infiltrada (cm)	Infiltración acumulada (cm)
0	19.0	0	0	0	23.5	0	0
2	15.5	3.5	3.5	2	18.0	5.5	5.5
5	13.0	2.5	6.0	5	12.5	5.5	11.0
10	9.7	3.3	9.3	10	10.0	2.5	13.5
20	8.7	1.0	10.3	20	7.2 (14.5)	2.8	16.3
50	(19.5)	9.2	19.5	50	5.7	8.8	25.1
100	10.3	–	–	100		–	–
Infiltración básica (cm/hora)	6.5			7.5			
Apreciación	Moderadamente rápida			Moderadamente rápida			

Es frecuente encontrar en el área de estudio pequeños rellenos en los cimientos de las construcciones, confinados con un muro continuo de piedra, al construir la explanación para las viviendas. Por esta razón, los materiales del subsuelo son heterogéneos en cuanto a tamaño, textura, consistencia y no forman una unidad propiamente dicha y el fenómeno de la infiltración se presenta de manera diferencial en suelos naturales que en suelos de relleno. Sin embargo, la apreciación general es infiltración moderadamente rápida.

En la tabla 6-6 se presentan los resultados de la evaluación del factor de erodabilidad K para diferentes sitios en la zona de estudio.

Como se aprecia en la tabla, los valores del Factor K para los suelos y materiales de la zona, oscilan entre 0.019 y 0.005, indicando materiales con baja susceptibilidad al efecto erosivo de la lluvia. Este resultado es debido a la velocidad de infiltración, moderadamente rápida, indicando que una gran parte del agua lluvia penetra a través del perfil de suelos hacia capas profundas mas impermeables y muy poca fluye superficialmente como escorrentía.

Otro aspecto importante es el tamaño de las partículas, un alto porcentaje tienen diámetro mayor de 0.1mm, que les confiere resistencia al efecto de arrastre de la lluvia a pesar de los bajos contenidos de materia orgánica. Esto se evidencia en la estabilidad de los cortes de la vía y cortes practicados en la ladera para la construcción de las viviendas, con una edad aproximada de 25 años, desde la fundación del barrio. El hecho de no registrarse evidencia

de procesos erosivos en grado moderado a severo en el área de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, confirma el resultado del factor K, erodabilidad.

Tabla 6-6. Valores estimados del factor K, erodabilidad

DETERMINACION	MUESTRA	
	P1M2	P4M1
% materia orgánica	1.0	1.9
% Arcillas ($\phi < 0.002$)	19.0	16
% Limo más arena muy fina ($0.002 < \phi < 0.1$)	42.0	21.5
100-% Arcillas	81.0	84
Apreciación	Arenoso	Arenoso
Estructura	Migajosa fina	Migajosa fina
Calificación USDA	1	1
Permeabilidad	6.5 cm/h Moderadamente rápida	7.5 cm/h Moderadamente rápida
Calificación USDA	2	2
Factor K	0.019	0.005
Clasificación	Bajo	Bajo

- Factor de pendiente (LS):

En un 70% del área de estudio predomina la pendiente fuerte, con relieve ondulado, quebrado y escarpado, hacia el área de uso mixto residencial comercial y hacia el extremo oriental de la ladera. Sólo un 30 % presenta relieve plano a ligeramente ondulado, con pendiente suave, en los patios de disposición de materiales de la cantera y el extremo occidental de la manzana 13, en el barrio Villa Nidia.

En la Tabla 6-7 se resumen las pendientes y longitudes en el área de estudio, así como el factor Ls calculado.

Tabla 6-7. Valores de longitud, pendiente y factor LS

Pendiente %	Longitud Promedio M	Factor L	Factor S	Factor LS
0 a 10	321.6	3.812	0.617	2.351
10 a 20	414.3	4.326	2.371	10.259
20 a 30	264.3	3.456	5.425	18.750
30 a 45	381.2	4.150	4.171	17.312
mayor de 45	388.9	4.192	4.192	17.573

De la tabla anterior se destaca el alto valor de LS para las zonas de pendientes superiores a 20%, lo que refleja una situación que favorece el incremento de la escorrentía; Sin embargo,

a pesar de los resultados, en campo se observa que los taludes con pendientes superiores a 45% no tienen evidencia de erosión, debido a la poca superficie real expuesta a la acción de la lluvia.

- Factor de Cobertura superficial (C)

De acuerdo con lo expuesto en el aparte de uso del suelo se determinaron cuatro tipos de cobertura sobre el suelo: vegetación espontánea, vegetación inducida, construcciones y pavimento o cemento.

La vegetación espontánea presenta cobertura superior al 75% en la mayoría de los casos y corresponde a los matorrales de la ladera en la parte superior del deslizamiento y en los márgenes del zanjón. La vegetación inducida se localiza sobre el relleno del parque lineal y en algunas laderas de la cantera y la cobertura sobre el suelo oscila entre 45 y 85%, según el estado del pasto.

Las construcciones en los lotes tienen diversos grados de cobertura dependiendo del área real construida en cada lote, por lo que se acepta una cobertura del 50% como promedio para el área de uso mixto (residencial – comercial). La vía principal de acceso al barrio, así como algunas peatonales de sector norte de los barrios presentan adecuada cobertura ya sea de asfalto o de cemento, mientras que las vías peatonales aledañas a la zona del deslizamiento no tienen cobertura. En esta misma situación se encuentra gran parte de la cantera.

De este modo el área que se encuentra más expuesta a la acción de los agentes erosivos se encuentra en las zonas sin cobertura de ningún tipo.

En la Tabla 6-8 se muestran los valores del factor C en cada caso.

Tabla 6-8 Valores del factor C - Cobertura

COBERTURA	FACTOR C
Vegetación espontánea con C.V. mayor al 75%	0.011
Vegetación inducida con cobertura mayor al 75%	0.003
Vegetación inducida con cobertura entre 45 y 70%	0.40
Zonas pavimentadas o cementadas	0.003
Sin cobertura, suelo desnudo	1.0

- Factor Prácticas de conservación (P)

No se evidencia prácticas de conservación de suelos ni de manejo del agua de escorrentía, por lo que a éste factor se le asignó el valor de 1 para el modelo de predicción de pérdida de suelo y no es importante en el resultado final.

6.5.5 Pérdida de suelos E

La zonificación de pérdida de suelo en la zona de estudio se realizó por superposición de mapas temáticos de uso del suelo y cobertura (plano 12) y mapa de pendientes (plano 11). Con base en el análisis de cada factor se construyó la matriz de la Tabla 6-9, donde se muestra el resultado al aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), el cual se presenta gráficamente en el plano 13.

Tabla 6-9. Resultados totales de los factores de la EUPS

Uso del suelo	Suelo desnudo, Minería		Urbano			Vegetación espontánea	Vegetación inducida
	Plano	Quebrado a escarpado	plano	ondulado	Quebrado a escarpado	Quebrado a escarpado	ondulado
Factor R	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63	112.63
Factor K	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Factor P	1	1	1	1	1	1	1
Factor LS	2.351	17.312	2.351	18.750	17.312	17.312	18.750
Factor C	1	1	0.4	0.4	0.4	0.011	0.003
E (Ton/ha/año)	5,031	37,047	2,012	16,05	14,82	0,407	0,120
Clasificación	Moderada	Muy severa	Ligera	Severa	Severa	Ligera	Ligera

La pérdida de suelo se clasifica de acuerdo con lo indicado en la siguiente tabla (Soil Survey Staff 1981, citado por Montenegro, 1985):

Tabla 6-10. Clasificación de la pérdida de suelo

PERDIDA DE SUELO (ton/ha/año)	CLASIFICACION
0	Ninguna
Menor de 2.5	Ligera
De 2.5 a 10	Moderada
De 10 a 25	Severa
Mayor de 25	Muy severa

La alta pendiente y la falta de cobertura superficial son factores determinantes de la pérdida de suelos en la zona de estudio. Las características físicas de los suelos, en especial la velocidad de infiltración, hacen que sean poco susceptibles a la acción erosiva de la lluvia, aspecto que no tiene relevancia cuando el suelo está completamente desnudo o con cobertura inferior a 45%.

En los taludes rocosos de pendiente escarpada (por ejemplo en los flancos de la zona inestable) no se presenta evidencia de erosión pluvial, debido al material duro que los compone y a que ofrecen poca superficie a la acción del agua lluvia. En las zonas de pendiente moderada se presenta evidencias de erosión, como cárcavas y canalículos (cantera) y socavación de la pata de los taludes (relleno del parque de Villa Nidia) debido a la falta de cobertura y al mal manejo del agua de escorrentía.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que el mayor porcentaje de pérdida de suelos por erosión pluvial se concentra en las zonas sin cobertura, que

corresponden a los frentes de explotación minera (donde hay materiales sueltos o muy fracturados), a los lotes vacíos sin vegetación y a las vías peatonales sin pavimentar.

También puede decirse que las zonas de rellenos (bordes de zanjones) presenta un comportamiento irrelevante en cuanto a pérdida de suelos, debido a la buena cobertura vegetal. En este caso se pueden presentar movimientos por procesos de remoción en masa, por la alta infiltración, pero no se presenta erosión ya que la superficie está cubierta.

Adicionalmente, gracias al análisis de la pérdida de suelos se puede concluir que para la Zona de la cantera la ausencia de cobertura en la mayoría del terreno, la pendiente y las fuertes precipitaciones son los factores que promueven el proceso de erosión y el sobre empujamiento de los taludes, que junto con el lavado de finos, pueden desencadenar desprendimiento de bloques.

7. ESTUDIO HIDROLOGICO DE LAS QUEBRADAS

7.1. Generalidades

Hay dos quebradas pequeñas que atraviesan el Barrio Cerro Norte, el cual está localizado arriba de la Avenida 7ª con calle 161 de la ciudad de Bogotá, como se observa en el plano adjunto.

La primera, quebrada Barrancas, pasa por el costado sur y está formada por dos tributarios que confluyen en el punto C del plano 14.

La segunda, quebrada Cerro Norte, atraviesa las calles del Barrio y está compuesta de tres tributarios que llegan al punto K del plano 14.

Las quebradas tienen áreas vertientes pequeñas pero son de muy alta pendiente y conducen caudales considerables durante los aguaceros intensos que son frecuentes en la zona.

El estudio hidrológico está orientado a la determinación de los regímenes de caudales de creciente en las quebradas anteriormente mencionadas y a evaluar las capacidades de las alcantarillas circulares que reciben las aguas lluvias del sector.

7.2. Información utilizada

Sobre un mapa a escala 1:5000 se delimitaron las cuencas vertientes y se midieron las características morfométricas principales: Área, Longitud del cauce y Pendiente.

En el IDEAM y en la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB, se recolectó la información pluviométrica que existe en la parte alta del sector oriental de Bogotá, debido a que no existen registros directos en las hoyas vertientes de las quebradas.

En el **cuadro 7-1** se incluyen las características principales de las estaciones pluviométricas que se seleccionaron para el estudio.

En las estaciones pluviométricas se obtuvieron registros de lluvias totales mensuales y lluvias máximas en 24 horas.

No hay registros de caudales en las quebradas que son objeto del estudio.

**CUADRO No. 7.1.
BARRIO CERRO NORTE
INFORMACION PLUVIOMETRICA**

Estaciones Pluviométricas.

Valores registrados :

Código	Nombre	Municipio	Elevación msnm	Coordenadas N - W	Período años	Pmedia mm	Pmax 24 h mm
2120032	El Granizo	Bogotá	3125	04-43 74-40	1948-99	1157	94
2120066	La Vieja	Bogotá	2720	04-43 74-40	1958-90	1024	85

7.3. Clima.

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.

7.4. Precipitación.

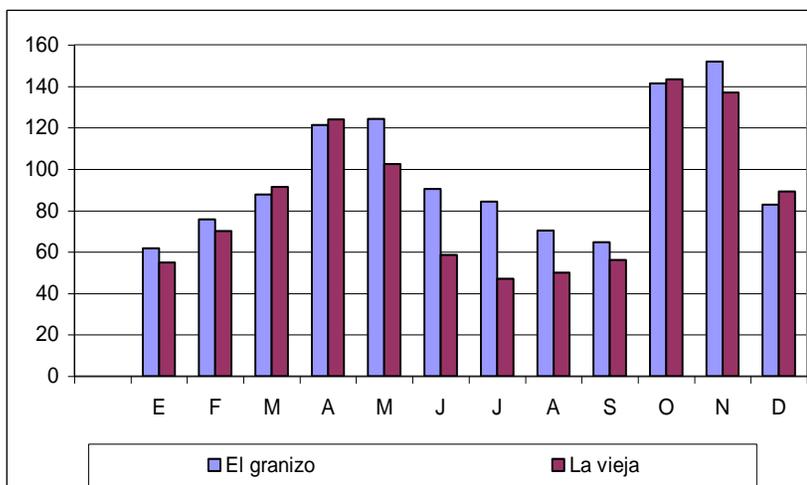
Los registros de las estaciones pluviométricas muestran que la precipitación media anual es del orden de 1100 mm.

En el **cuadro 7-2** se observan los histogramas medios mensuales registrados en las estaciones El Granizo (3125 msnm) y La Vieja (2710 msnm).

CUADRO 7-2

**BARRIO CERRO NORTE
LLUVIAS MEDIAS MENSUALES, mm**

Código	2120032	2120066
Elevación	3125	2720 msnm
Mes	El granizo	La vieja
E	61.8	54.8
F	75.6	70.1
M	87.7	91.4
A	121.3	124.0
M	124.3	102.5
J	90.5	58.5
J	84.3	47.1
A	70.3	50.0
S	64.8	56.0
O	141.3	143.3
N	152.0	136.9
D	82.9	89.3
Anual	1156.8	1023.9



Las variaciones temporales de la precipitación a lo largo del año son similares en las 2 estaciones. 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 el más seco es Julio.

7.5. Crecientes.

Para determinar las magnitudes de las crecientes de las quebradas se utilizó el método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service de los Estados Unidos, el cual es apropiado para cuencas rurales de características similares a las de las quebradas.

En desarrollo del método las cuencas principales se dividieron en subcuencas, como se aprecia en el **cuadro 7-4**.

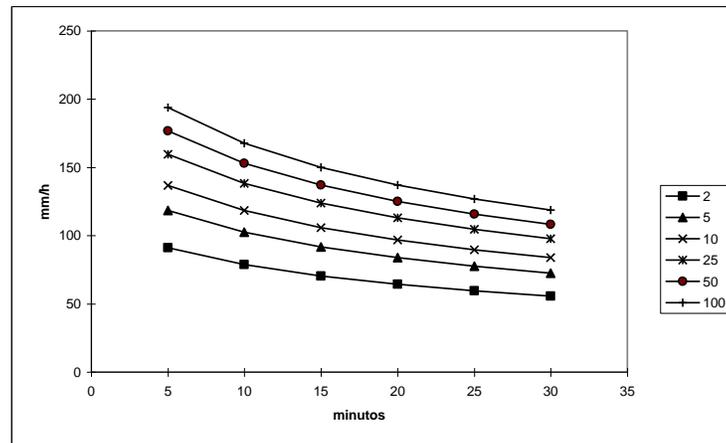
Se determinaron las características morfométricas: Area, Longitud, Pendiente y Tiempo de concentración y se calcularon los hidrogramas unitarios particulares de cada subcuenca.

A continuación se hizo un análisis de lluvias de corta duración, utilizando los registros de las estaciones pluviométricas, para determinar las ecuaciones de Intensidad-duración-frecuencia, utilizando el método de Curvas Normalizadas propuesto por F. Bell. Las curvas obtenidas se presentan en el **cuadro 7-3**.

CUADRO 7-3

CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA
QUEBRADAS CERRO NORTE - BOGOTA

	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 min.					
		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



Se aplicaron las lluvias intensas a los hidrogramas unitarios y se determinaron los picos de creciente que se generan a la salida de cada subcuenca.

Por último se integraron los valores individuales para determinar los picos de creciente acumulados a lo largo de las quebradas.

El procedimiento está sistematizado y es de uso frecuente en cuencas pequeñas, como las del estudio.

Los valores obtenidos se presentan en el **cuadro 7-4**. Los picos de creciente individuales para frecuencias de 25 y 100 años en los puntos señalados en el mapa anexo son los siguientes:

Quebrada	Q 25 años	Q 100 años	
Sur. Punto A	1.7	2.0	m ³ /s
Sur. Punto B	2.5	3.1	m ³ /s
Sur. Punto C	4.2	5.1	m ³ /s.
Norte. Punto D	2.5	3.0	m ³ /s
Norte. Punto E	3.2	3.9	m ³ /s
Norte. Punto F	7.5	9.1	m ³ /s
Norte. Punto G	10.7	13.0	m ³ /s
Norte. Punto H	11.0	13.4	m ³ /s
Norte. Punto J	8.5	10.3	m ³ /s
Norte. Punto K	19.5	23.7	m ³ /s

Debido a que se trata de quebradas de alta pendiente existe la posibilidad de que durante las crecientes extraordinarias se presenten arrastres de material sólido hacia los cauces. Estos sólidos pueden ocasionar obstrucciones al libre flujo del agua, las cuales generan represamientos, inundaciones y posibles avalanchas.

CUADRO 7-4

**QUEBRADAS DEL CERRO NORTE
CRECIENTES**

Subcuenca	Area km ²	Longitud Km	Pendiente m/m	Tconcentracion minutos	Duración minutos	Intensidad mm/h	Coficiente	Q2 m ³ /s	Q10 m ³ /s	Q25 m ³ /s	Q50 m ³ /s	Q100 m ³ /s
A	0.10	0.60	0.50	10.0	20	62.16	0.704	1.0	1.4	1.7	1.8	2.0
B	0.16	0.75	0.47	10.0	20	62.16	0.669	1.5	2.2	2.5	2.8	3.1
C	0.26	0.75	*	*	*	*	*	2.4	3.6	4.2	4.7	5.1
D	0.15	0.60	0.47	10.0	20	62.16	0.704	1.4	2.1	2.5	2.8	3.0
E	0.19	0.90	0.40	10.0	20	62.16	0.704	1.8	2.7	3.2	3.5	3.9
F	0.60	1.30	0.35	10.0	20	62.16	0.528	4.3	6.4	7.5	8.3	9.1
G	0.79	1.30	*	*	*	*	*	6.1	9.2	10.7	11.9	13.0
H	0.84	1.50	0.35	10.0	20	62.16	0.561	6.4	9.5	11.0	12.3	13.4
J	0.75	1.50	0.30	10.0	20	62.16	0.475	4.8	7.3	8.5	9.4	10.3
K	1.59	1.50	*	*	*	*	*	11.2	16.8	19.5	21.7	23.7

De acuerdo con los valores del **cuadro 7-5** se observa que las alcantarillas circulares funcionan parcialmente llenas, en condiciones hidráulicas adecuadas, para los siguientes caudales máximos:

Tubería simple de 36 " :	1.25 m3/s
Dos tubos de 36 " :	2.50 m3/s
Tubería simple de 1.20 m :	2.00 m3/s

Cuando se exceden los caudales máximos se presentan represamientos a la entrada, en magnitudes que pueden ocasionar desbordamientos sobre las vías adyacentes.

**CUADRO No.7-5
CAPACIDADES DE CONDUCTOS CIRCULARES**

CAPACIDAD DE UN TUBO DE 36"

Diámetro:	D	0.91 m
Pendiente:	S	0.01
Rugosidad:	n	0.015

Q Caudal m3/s	Y Profundidad m	V Velocidad m/s	Ze Z entrada m	Ze - D Represamiento m	
1.20	0.59	2.75	1.04	0.13	
2.00	0.91	3.10	1.66	0.75	Tubo lleno
2.50	0.91	3.90	2.11	1.20	Tubo lleno
3.00	0.91	4.60	2.56	1.65	Tubo lleno
4.00	0.91	6.16	3.80	2.89	Tubo lleno

Profundidad: Profundidad del agua dentro del tubo.
 Velocidad: Velocidad del agua a la salida del tubo
 Zentrada: Profundidad del agua antes de entrar al tubo.

$Z_e = Y_c + 1.5 V_c^2 / 19.6$ **Si $Y < D$** **$Y_c =$ Profundidad crítica**
 $Z_e = D + 1.5 V^2 / 19.6$ **Si $Y = D$** **$V_c =$ Velocidad para Y_c**

Represamiento: Altura de agua por encima de la clave del tubo.

RECOMENDACION:

En cada uno de los puntos E y D debe haber por lo menos dos tubos de 36".

CON 2 TUBOS DE 36":

Caudal m3/s	Profundidad m	Velocidad m/s	Z entrada m	Represamiento m	
2.50	0.59	2.75	1.04	0.13	
3.00	0.70	2.82	1.32	0.41	
4.00	0.91	3.10	1.66	0.75	Tubo lleno

CAPACIDAD DE UN TUBO DE 1.20 m

Caudal m3/s	Profundidad m	Velocidad m/s	Z entrada m	Represamiento m	
1.20	0.50	2.73	1.00	0.00	
2.00	0.67	3.11	1.30	0.10	
2.50	0.77	3.27	1.50	0.30	
3.00	0.88	3.40	1.70	0.50	
3.50	1.03	3.45	1.90	0.70	
4.00	1.20	3.54	2.20	1.00	Tubo lleno

En el paso de la Quebrada Cerro Norte, en la frontera entre los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, se tiene una alcantarilla de 36" de diámetro, la cual puede ser superada por crecientes de un periodo de diseño superior a 25 años, cuando se pueden presentar desbordamientos que afectarían las vías y edificaciones de Villa Nidia, constituyéndose en otra amenaza. Para controlar la situación se debe aumentar la capacidad de paso de la alcantarilla.

8. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

8.1. Amenaza por Deslizamiento

Se efectúa el análisis cinemático de estabilidad de los taludes críticos en las zonas previamente definidas. Se consideran además los mecanismos comunes de falla plana, falla de bloque o cuñas y falla por volteo de bloques, considerando el sistema de discontinuidades que afecta el macizo rocoso.

Finalmente basados en los análisis efectuados se definen los diferentes niveles de amenaza a los que se encuentra sometida la zona de estudio:

Amenaza alta: Zona activa del movimiento.

Amenaza media: zona perimetral del movimiento donde se pueden presentar desgarres del terreno.

Amenaza baja: Zonas alejadas del deslizamiento.

Para definir la amenaza se uso la información obtenida por la exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio de corte directo en condiciones consolidadas y drenadas, que corresponde a los parámetros c' y ϕ' ; y un análisis de estabilidad ejecutado en el programa STABLE, con el cual se obtiene una serie de factores de seguridad para las diferentes condiciones analizadas, como son el caso estático, y los casos dinámicos con 0.1 y 0.23 de aceleración de la gravedad, de acuerdo con el mapa de microzonificación sísmica para Santa Fe de Bogotá.

También se recopiló información de un estudio realizado hace 11 años por la firma IGL, en el sitio del presente estudio, del cual se extrajeron los valores de los parámetros c' y ϕ' para muestras de arcilla superficial alterada.

En todos los casos se adoptaron los parámetros necesarios considerando las propiedades del suelo para mantener los resultados de los análisis de estabilidad y recomendaciones de trabajo con suficiente margen de seguridad. La recopilación de información utilizada para el presente estudio se presenta en la Tabla 8-1.

Este análisis de estabilidad se realizo con base en el método de Janbu, obligando el paso de las diferentes superficies de falla a través de puntos “fijos” dados por evidencias de campo (grietas, fisuras, etc.) o por el mecanismo de falla predominante.

El modelo del perfil de suelo para el cálculo de la inestabilidad es:

Material	Descripción
Suelo 1	Arenisca fracturada, relleno y coluvión.
Suelo 2	Intercalaciones de lodolita. En la que se encuentran las superficies potenciales de falla.
Suelo 3	Arenisca con intercalaciones de arcillolita.

Analizando los resultados de los ensayos de laboratorio se encontraron los siguientes parámetros, tanto para las envolventes generales de cada ensayo como para cada presión de confinamiento, de las que se puede determinar los parámetros c' y ϕ' para las condiciones pico y residual del ensayo, como se muestra en las tablas 8.1 y 8.2 respectivamente.

Tabla 8-1. Parámetros de envolventes generales

c (kN/m ²)	ϕ' (°)
60	9.8
45	11.2
7	17.6
*15	26.56

Tabla 8-2. Parámetros individuales para cada presión de confinamiento

σ_v (kN/m ²)	Pico		Residual	
	c (kN/m ²)	ϕ' (°)	c (kN/m ²)	ϕ' (°)
*30	0	45.5	0	40.3
*60	0	37.7	0	36.5
	0	34.1	-	-
100	0	30.3	-	-
	0	20	-	-
*120	0	29.9	0	27
	0	20.4	-	-
200	0	24.7	0	19
	0	20	0	16.5
	0	16.3	0	14.9
400	0	17.1	0	10.4
	0	18.1	0	17

* El valor corresponde a ensayos realizados en el área de estudio, por IGL hace 11 años.

Una vez procesada la información de campo, esta fue usada para generar los parámetros que actúan en el deslizamiento a través de un retroanálisis para condiciones secas y estáticas, del cual se obtienen los parámetros en la falla, y luego con comparación de los resultados de laboratorio (ensayos de corte directo), se determinan los parámetros que se usaron en el modelo de análisis de estabilidad para las alternativas de protección. Estos resultados se muestran en la tabla 8-3.

Tabla 8-3. Resultados análisis de estabilidad para condiciones secas y estáticas

Superficie de falla	Nombre archivo STED	Parámetros					Fs
		Tipo suelo	γ_t (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	
SF- 2	038AL1N	1	22	22	0	15	0.98
		2	22	22	0	21	
		3	23	23	500	30	
	038AL2N	1	22	22	0	12.5	0.99
		2	22	22	0	21	
		3	23	23	500	30	
	038AL3N	1	22	22	0	11.7	0.97
		2	22	22	0	21	
		3	23	23	500	30	
	038AL4N	1	22	22	0	11	0.98
		2	22	22	0	15	
		3	23	23	500	30	
SF- 3	038AL1N	1	22	22	0	15	0.97
		2	22	22	0	19	
		3	23	23	500	30	
	038AL2N	1	22	22	0	11.5	0.98
		2	22	22	0	17	
		3	23	23	500	30	
	038AL3N	1	22	22	0	11.7	0.99
		2	22	22	0	19.3	
		3	23	23	500	30	
	038AL4N	1	22	22	0	15	0.98
		2	22	22	0	17	
		3	23	23	500	30	

Teniendo en cuenta el nivel de esfuerzos de la masa de suelo sobre la superficie de falla actual, en parte por su gran extensión y espesor como se puede observar en la plano 6-A, y los resultados anteriores se determino usar los siguientes parámetros para el tipo de suelo 2 en la modelación de las alternativas de protección, tanto para la condición seca como para la condición de perdida total de la cohesión o reblandecimiento de la masa de suelo:

Material	Condición	Parámetros	
		c (kN/m ²)	ϕ' (°)
Suelo 2	Pico (seco)	20	18
	Reblandecida	0	16

Con los anteriores valores de los parámetros c y ϕ' se procedió a evaluar el modelo de análisis, por medio de dos escenarios, que corresponden a:

Escenario 1: estado actual: se tiene en cuenta la superficie de falla 2.

Escenario 2: estado del área en 20 años sin realizar obras de protección y que corresponde a la superficie de falla 3.

Los resultados de esta primera aproximación al comportamiento del deslizamiento para los escenarios de falla, considerando los efectos estáticos y dinámicos se muestran en la tabla 8-4.

Tabla 8-4. Resultados análisis de estabilidad para los escenarios de falla

Superficie de falla	Nombre archivo STED	Parámetros					Sismo		Fs
		Tipo suelo	γ_t (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	gh	gv	
SF- 2	038SF2	1	22	22	0	12.5	0		0.945
		2	22	22	20	18	0.1		0.720
		3	23	23	500	30	0.23		0.54
	038SF2	1	22	22	0	12.5	0		0.720
		2	22	22	0	16	0.1		0.549
		3	23	23	500	30	0.23		0.409
SF- 3	038SF3	1	22	22	0	12.5	0		1.299
		2	22	22	20	18	0.1		0.985
		3	23	23	500	30	0.23		0.739
	038SF3	1	22	22	0	12.5	0		0.957
		2	22	22	0	16	0.1		0.722
		3	23	23	500	30	0.23		0.537

Se comprueba observando los factores de seguridad para las distintas superficies ($FS < 1.0$) que los dos escenarios analizados fallan para todas las condiciones tanto estáticas como con sismo.

Con base en los resultados obtenidos y las observaciones de campo se determinaron las manzanas mas susceptibles a sufrir daño por el deslizamiento en roca, siendo las siguientes: 39, 36, 35 y 22, y que corresponden a la zona 1 (cuerpo en sí del deslizamiento) y a la zona 2 (comprendida por los flancos del movimiento). Con lo cual se clasifican como áreas de Amenaza Alta.

La Amenaza baja se asigna a la zona 3 (áreas que no se han visto afectadas por el fenómeno), y corresponde a las siguientes manzanas: 37, 33, 32, 31, 30 , 26, 24, 21, 20 y 18.

Para las superficies de falla a largo plazo, se tiene que se verían afectadas las zonas 1 y 2, así como la zona 3, convirtiendo la totalidad del área de estudio en zona de Amenaza alta.

8.2. Caída de Rocas

Durante el desarrollo del trabajo de campo, a se observó como, uno de los dos factores de riesgo más evidentes por fenómeno de remoción en masa a los que se encuentra sometida la población del los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, es la caída de bloques de diversos tamaños desde dos zonas principales (R1 y R2), como se observa en al plano de amenaza por caída de bloques. Estas dos zonas se encuentran diferenciadas básicamente por el mecanismo de generación del fenómeno. En la zona R1, lo bloques podrían caer como resultado de la perdida de soporte de las areniscas que afloran en la parte superior del actual deslizamiento durante la eventual evolución del mismo; mientras que en la zona R2 la caída podría generarse por la puesta en marcha ladera abajo de los bloques que actualmente se localizan en esta zona, como consecuencia de la acción de un sismo de magnitud razonable y por efecto de la pérdida de suelo por erosión.

8.2.1 Evaluación de la Vulnerabilidad por Caída de Rocas

Clasificación de las viviendas

Para la evaluación de la vulnerabilidad de viviendas ante este fenómeno, se procedió a discriminar los tipos de vivienda presentes en la zona de estudio solamente por la resistencia de los materiales que la componen, ante el impacto de rocas que presentaron en el momento de la visita de campo, sin tener en cuenta el estado actual de la misma. De tal modo que se obtuvieron tres grupos principales correspondientes como se muestra en la tabla 8-5.

Tabla 8-5. Clasificación de viviendas según los materiales de construcción

Categoría	Descripción de materiales de construcción
A	Estructuras de mampostería con mortero de cemento y ladrillos de arcilla.
B	Estructuras de mampostería con mortero de cemento y ladrillos de cemento.
C	Estructuras de mampostería con mortero de cemento y bloques de concreto.

Estimativos de resistencia de las viviendas ante impacto por caída de rocas

A cada uno de los tres tipos de viviendas se le asignó un valor de resistencia al impacto de los materiales considerados como críticos que componen las viviendas. Esta asignación fue realizada de manera arbitraria, pero dentro de lo rangos razonables (tabla 8-5), con el fin de comparar dicho valor de resistencia contra el esfuerzo de impacto generado por el eventual desprendimiento de estos materiales en las zonas R1 y R2.

Tabla 8-6. Resistencia de los materiales críticos para cada tipo de vivienda

Tipo de vivienda	Materiales críticos	Resistencia
A	LABO	5
B	ANID	1
C	MBA	0

Estimativos del esfuerzo de impacto de los bloques sobre las viviendas.

Para la estimación de dichos esfuerzos se recurrió a dos de los principios básicos de la física, el primero corresponde al principio de conservación de la energía, y el segundo al principio de conservación de la cantidad de movimiento.

- *Principio de conservación de la energía:* Este principio fue empleado con el propósito de estimar la velocidad que desarrollan bloques de diferente masa durante su recorrido a lo largo de las trayectorias y las distancias de alcance determinadas previamente mediante el empleo del programa Rock Fall para una serie de perfiles extraídos de las zonas de que presentan susceptibilidad ante este fenómeno (R1 y R2). La localización de dichos perfiles se aprecia en el plano 4 y en la figura 8-1.

Por conservación de la energía tenemos:

$$E_p = E_c$$

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

Despejando la velocidad de la anterior ecuación se observa como la velocidad con la que los bloques pueden impactar las viviendas durante su recorrido, y por lo tanto la fuerza del impacto, es independiente de la masa de las rocas.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Donde:

v= velocidad de impacto

g= aceleración de la gravedad

h= altura desde la cual se desplazan los bloque con respecto al lugar de impacto.

- *Principio de conservación de la cantidad de movimiento:* Se empleó este principio con el fin de determinar, a partir de la velocidad estimada mediante la conservación de la energía, la fuerza de impacto desarrollada por los bloques contra las viviendas.

$$F \cdot dt = m \cdot (v_o - v_f) \quad (3)$$

En donde se requiere conocer el tiempo que dura la colisión y la velocidad final del bloque luego del impacto.

Para la realización de los cálculos se asumieron valores razonables de estas dos incógnitas.

$$t = 0.005 \text{ segundos}$$
$$v_f = 0 \text{ m/s}$$

reemplazando en la ecuación 3 tenemos que:

$$F = \frac{m \cdot v_0}{0.005} \quad (4)$$

Donde:

F = Fuerza en newtons

m = Masa en kg

v_0 = velocidad de impacto (m/s)

Una vez determinada la fuerza de la colisión se procedió a asignar una superficie de impacto de tal forma que dicha fuerza fuera transformada en esfuerzo y de este modo conocer las sollicitaciones a las que estarían sometidas las viviendas ante el impacto de bloques desprendidos de partes altas.

Para la asignación de área de contacto de las diferentes masas de bloque se empleó el siguiente procedimiento:

- Asignar una densidad de 2.5 ton/m³ a los bloques deslizados.
- Despejar el volumen para cada tamaño de roca.
- Calcular un cubo correspondiente al volumen de cada roca.
- Asumir como área de contacto la mitad del lado del cubo equivalente.

Determinación de la velocidad de impacto resistida por los diferentes tipos de vivienda.

Basados en el procedimiento anteriormente descrito, se procedió a estimar la velocidad de impacto necesaria para vencer la resistencia de los materiales críticos característicos de los tres diferentes tipos de viviendas, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 8-6 a 8-8.

Cabe anotar que resultados obtenidos durante todo el proceso de cálculo resultaron bastante coherentes, lo que hace pensar que las magnitudes de resistencia, tiempo y velocidad final asumidos, fueron aceptables.

Tabla 8-7. Cálculo de la velocidad de impacto para dañar viviendas del tipo A: 15 Mpa

Índice	Velocidad (m/s)	Impacto (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
1	10	10	10	10
0	15	15	15	15
0	20	20	20	20
0	25	25	25	25
0	30	30	30	30

Tabla 8-8. Cálculo de la velocidad de impacto para dañar viviendas del tipo B: 1 MPa

Índice	Velocidad (m/s)	Impacto (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
1	10	10	10	10
0	15	15	15	15
0	20	20	20	20
0	25	25	25	25
0	30	30	30	30

Tabla 8-9. Cálculo de la velocidad de impacto para dañar viviendas del tipo C: 0.01Mpa

Índice	Velocidad (m/s)	Impacto (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
1	10	10	10	10
0	15	15	15	15
0	20	20	20	20
0	25	25	25	25
0	30	30	30	30

8.2.2 Evaluación de la Amenaza

Una vez determinada la velocidad necesaria para causar daños severos en los diferentes tipos de vivienda se procedió a generar un procedimiento mediante el cual se pudieran identificar superficies de isovelocidad a fin de determinar las zonas donde la velocidad de viaje de los bloques sea suficiente para causar daños a los diferentes tipos de vivienda.

Distancias de recorrido

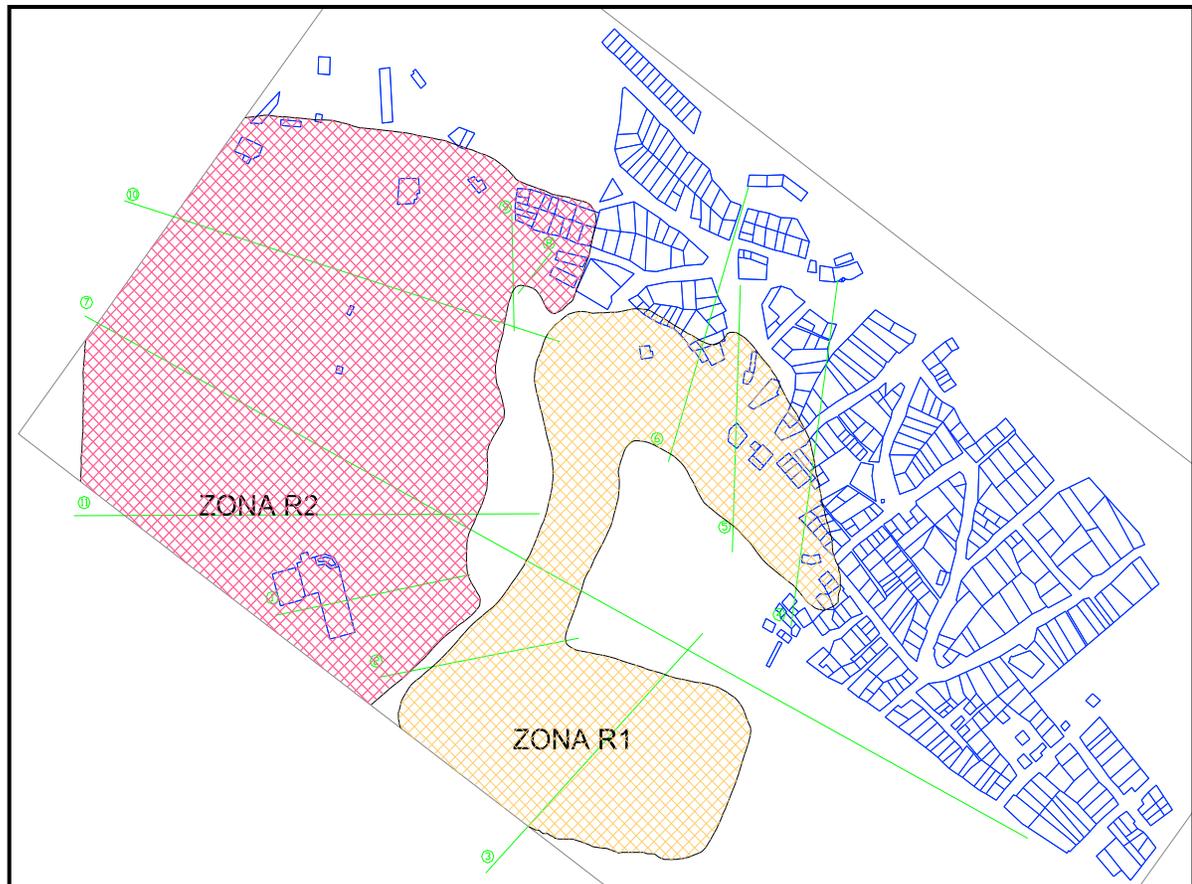


Figura 8-1. Zonas de influencia por caída de rocas

Basados en los resultados del programa Rock Fall empleado para el análisis de desplazamiento de bloques de masa variable entre 1 y 10000 kg y para casos estáticos (velocidad inicial 0 m/s) y dinámicos (velocidad inicial 2.0 m/s) para los 11 perfiles distribuidos en las dos zonas de caída, se determinaron las máximas distancias de recorrido para cada uno de los perfiles en ambas condiciones, con el fin de determinar las 2 zonas de influencia ante la eventualidad de caída de rocas como se muestra en la figura 8-1.



Figura 8-2. Curvas de isoprobabilidad de alcance de bloques

Probabilidad de alcance

Para determinar la probabilidad de alcance de rocas se procedió a correr el programa Rock Fall para 100 análisis de tal manera que el número de rocas localizado a cierta distancia del punto de origen nos dará inmediatamente la probabilidad de alcance de bloques hasta este punto a lo largo del recorrido propio de cada perfil. De esta forma y teniendo en cuenta lo once perfiles analizados (figura 8-1) se logró llegar a las curvas de isoprobabilidad mostradas en la figura 8-2.

Vale la pena recordar que dicha probabilidad para el caso de la zona R2 se refiere a la eventualidad de un sismo que ponga en movimiento los bloques ladera abajo, mientras que la probabilidad en la zona R1 se encuentra condicionada por el avance del movimiento y la pérdida de soporte de los estratos rocosos.

Velocidad de impacto

Como ya vimos, para cada tipo de vivienda existe una velocidad de desplazamiento de bloque a partir de la cual se puede superar la resistencia de los materiales críticos y en consecuencia generar daños severos. Por tal razón se debieron determinar las zonas para las cuales la velocidad desarrollada por los bloques, puede superar dicho rango.



Figura 8-3. Zonas de velocidad de impacto crítica para los diferentes tipos de estructura

Se analizaron las gráficas de velocidad contra distancia recorrida generadas por el programa Rock Fall para determinar los intervalos de recorrido en los cuales las velocidades desarrolladas por los bloques superan los rangos establecidos (tablas 8-9 y 8-10). Finalmente, con base en estos análisis se desarrolló un mapa de amenaza por velocidad de desplazamiento para cada tipo de construcción, como se muestra en la figura 8-3.

Cabe hacer la aclaración que al igual que para las curvas de isoprobabilidad se analizaron los casos dinámicos para la zona R2 y estático para la zona R1.

Tabla 8-10. Distancias recorridas para velocidades de impacto críticas en la zona R1

NUMERO DE HIL	DESPLAZAMIENTO CRITICO (m)	FESENCIA DE RIZO ABLANCADO (m)
2	26	5
	335	1
	431	01
3	208	1
	702	01
4	205	1
	431	01
5	57	1
	324	5
	824	1
6	102	01
	263	1
	64	5
	733	1

Tabla 8-11. Distancias recorridas para velocidades de impacto críticas en la zona R2

NUMERO DE HIL	DESPLAZAMIENTO CRITICO (m)	FESENCIA DE RIZO ABLANCADO (m)
1	387	5
	43	1
	409	01
8	84	1
	204	5
9	435	1
	374	1
	454	5
10	835	1
	514	5
11	217	1
	841	1
	927	5
	2331	1

Finalmente, luego del desarrollo de los procedimientos anteriormente descritos, se identificó plenamente la amenaza por impacto para las viviendas y la respectiva probabilidad ocurrencia del fenómeno de caída de rocas dentro de la zona de estudio.

Mediante la superposición de los planos correspondientes a las figuras 8-2 y 8-3 se logró visualizar en un solo plano la amenaza generada por las rocas corriendo a diferentes



Figura 8-4. Visualización general de las zonas de amenaza por caída de rocas actual

velocidades ladera abajo, afectada directamente por la probabilidad de alcance de los bloques en cada una de las zonas. (figura 8-4).

8.2.3 Escenario a 20 Años

La evaluación de la amenaza descrita anteriormente corresponde a las condiciones actuales presentes en la zona de estudio, sin embargo es necesario determinar el estado de riesgo futuro que presentaría la zona si no se realizaran obras de ningún tipo y se permitiera eventualmente la ocurrencia del fenómeno de caída de rocas.

Con base en lo anterior se realizó el mismo análisis elaborado para las condiciones actuales, pero esta vez en un escenario futuro de 20 años, de tal manera que se pudiesen identificar la evolución de la amenaza luego de este periodo, tiempo durante el cual no se realizaría ningún tipo de obra correctiva y en consecuencia la zona estaría expuesta constantemente a la ocurrencia del proceso de caída de rocas, con los cambios urbanísticos y topográficos que estos eventos generarían; aclarando de antemano que los cambios urbanísticos consistirían en la demolición y reubicación de viviendas afectadas por este fenómeno durante este periodo, y los cambios topográficos debidos a la depositación de bloques en zonas en las que dicho fenómeno propiciaría una mejora sustancial en las

condiciones de pendiente y recorrido para la ocurrencia y el alcance de los bloques desprendidos desde las zona R1 y R2. En la figura 8-5 se describe dicho proceso.

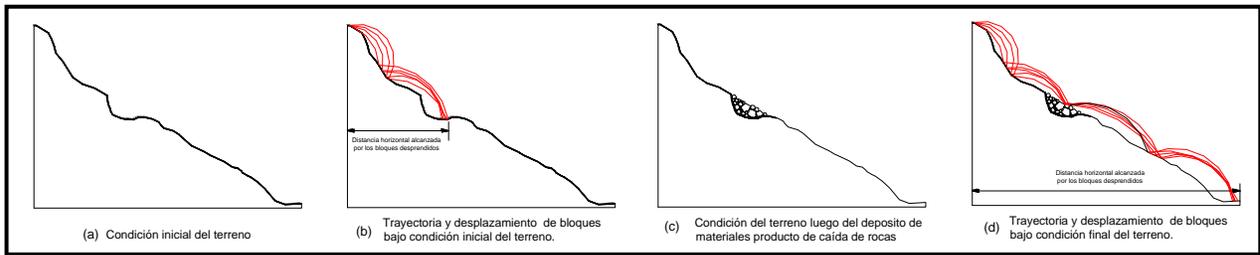


Figura 8-5. Alteración topográfica generada por caída de bloques

En consecuencia y luego de identificar las zonas en las cuales la topografía de la zona sería afectada por la depositación de los materiales desprendidos desde zona altas, ya en las terrazas naturales presentes actualmente, o en las zonas de ronda de los zanjones de la zona, se determinaron las curvas de isoprobabilidad de ocurrencia, teniendo en cuenta que durante este periodo de tiempo ya habría ocurrido un sismo de magnitud razonable, y del mismo modo se identificaron las zonas de velocidad crítica, asumiendo que por el nivel

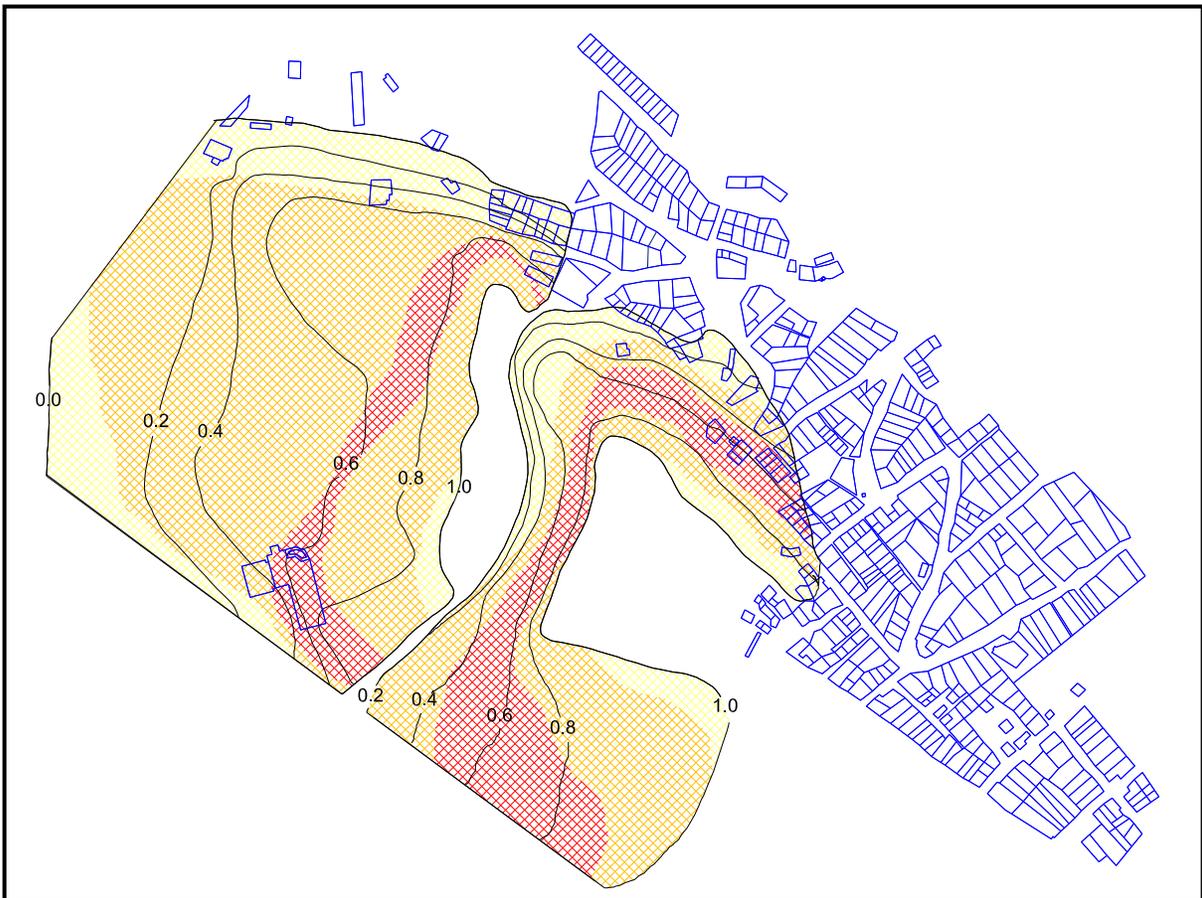


Figura 8-6. Visualización general de las zonas de amenaza por caída de rocas dentro de 20 años

económico de la población y por la edad de la urbanización las mejoras a las viviendas en este lapso de tiempo no serían significativas, de tal manera que la vulnerabilidad de las viviendas ante este tipo de fenómenos determinada para el escenario actual no se viera afectada. En la figura 8-6 se presenta la superposición de los planos de probabilidad y de velocidad crítica para un escenario futuro de 20 años.

8.3. Amenaza por eventos hidrológicos

De acuerdo con la evaluación hidráulica de las estructuras de paso de la quebrada Cerro Norte, se tiene que en el punto localizado arriba del Salón Comunal de Villa Nidia, la capacidad de la alcantarilla de 36" de diámetro puede ser superada durante crecientes de periodo de recurrencia inferior a 25 años; al superarse esta capacidad el agua se embalsaría y rebosaría por la calle 160B pudiéndose presentar inundaciones que afectarían las viviendas aledañas a ésta vía. Además, dado que por esta quebrada pueden bajar junto con el agua, sedimentos y material flotante, el taponamiento parcial de la alcantarilla puede hacer que con crecientes menores se presente la superación de su capacidad y si el aporte de sedimentos es importante se generarían avalanchas que afectarían las viviendas localizadas en su área de influencia.

9. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR FRM

La vulnerabilidad puede definirse en términos generales como la susceptibilidad que tiene un elemento expuesto (personas, viviendas, obras de ingeniería, cultivos, industrias, etc.) de ser afectado por la manifestación de algún evento físico externo (deslizamiento, sismo, lluvia, erupción volcánica, contaminación ambiental, erosión, accidentes industriales, etc.), afectación que implica necesariamente una pérdida material, la cual se expresa en última instancia como una pérdida económica.

En este capítulo se presentan los conceptos básicos, método utilizado y resultado del análisis de vulnerabilidad física de las viviendas de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, localidad de Usaquén; el enfoque conceptual utilizado para este estudio ha seguido en líneas generales lo propuesto por Flageollet (1999) y Soler et al (1999), quienes a su vez utilizan en alto grado conceptos de Leone (1995, 1996); estas propuestas planteadas por Flageollet y Soler han sido adoptadas en Bogotá en varios estudios de riesgo por dichos fenómenos. Sin embargo, aunque el alcance del estudio está referido, como ya se dijo, a la evaluación de la vulnerabilidad física de las viviendas del área considerada, se intenta también describir algunos componentes socioeconómicos y de percepción de riesgos que tiene la comunidad del sector, con el fin de darle un enfoque más global al análisis de la vulnerabilidad, de acuerdo con algunos de los planteamientos propuestos por G. Wilches-Chaux (1999).

9.1. Método de estudio y procedimiento empleado para determinar la vulnerabilidad física

Siguiendo la metodología propuesta por Leone⁽¹⁾, modificada por Soler et al (1999) y ajustada a las condiciones de vulnerabilidad propias de las zona de estudio, la valoración de los posibles daños que podrían causar en las viviendas la ocurrencia o manifestación de los dos tipos de FRM (deslizamiento y caída de rocas), presentada como la vulnerabilidad física de las viviendas en el área de estudio, se ha realizado con base en los siguientes elementos:

- Inventario y evaluación de las condiciones actuales de vulnerabilidad tanto física como social de las viviendas y residentes del sector, mediante la realización de encuestas.
- Clasificación de la tipología de las viviendas y determinación del nivel de daño actual (tanto en elementos estructurales como no estructurales), y el daño potencial que puede ocasionarse en caso de la materialización de eventos amenazantes.

El alcance del daño ante un fenómeno de deslizamiento depende entre otros aspectos de la magnitud de la deformación superficial del terreno, la profundidad de la superficie de falla o rotura, y el contacto entre la masa en movimiento y la edificación. Para el caso de caída de rocas el daño depende del peso de la masa desprendida, de la energía cinética alcanzada por ésta y del alcance o distancia de recorrido que tengan los bloques al llegar al suelo.

Otros factores que influyen o determinan directamente el daño que puede sufrir una vivienda expuesta ante un fenómeno amenazante, están relacionados con el tipo de estructura, la calidad de los materiales de construcción y el proceso constructivo aplicado, así como las características estructurales del muro o cubierta que debe resistir el empuje de la masa en movimiento o el impacto de los bloques desprendidos, variables relacionadas con la resistencia técnica de la construcción.

- Grado de exposición de las viviendas ante la amenaza, obviamente en aquellas situadas en el área de influencia de los tipos de amenaza.
- Relación sollicitación - resistencia o daño estructural que puede sufrir la vivienda ante la magnitud del fenómeno materializado.
- Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Física (IVF) de cada vivienda, según el tipo de movimiento, la intensidad del fenómeno (o sollicitación) y las características de los elementos expuestos.

9.2. Inventario de viviendas

Con el fin de recoger la información necesaria para la evaluación de la vulnerabilidad del sitio de estudio, tanto desde el punto de vista físico de las viviendas como de los factores

¹¹ Leone, F. (1996) Concept de vulnérabilité appliquée L'évaluation des risques généraux par les phénomènes de mouvements de terrain. Tesis de doctorado, Universidad J. Fourier, de Grenoble.

socioeconómicos de la comunidad, se adelantó entre los moradores del área una encuesta de 44 preguntas.

El formato para la encuesta fue elaborado a partir de formularios empleados durante el desarrollo de trabajos similares, y ajustado de acuerdo con las necesidades específicas del presente estudio; fue por esta razón, y con la intención de involucrar de alguna manera algunos tópicos indispensables en la gestión del riesgo, que se desarrolló en la última parte de la encuesta.

9.2.1 Tipificación de viviendas

En el ajuste del formulario para el inventario de viviendas, se planteó la posibilidad de conservar la caracterización de tipología de viviendas propuesta por Leone y empleada en el desarrollo de estudios similares para la DPAAE; en dicha propuesta se clasifican las viviendas desde el tipo C (tugurios o ranchos) hasta el tipo A (casas con estructura bien definida y buena calidad de construcción), pasando por las casas en mampostería o prefabricadas (tipo B). Sin embargo, debido a que las características socioeconómicas del área de estudio difieren de las de los estudios anteriores, y también a que en los estudios anteriores se presentaron algunas diferencias de opinión con la Interventoría relacionadas con la "tipología de viviendas que debería utilizarse para los estudios detallados", se optó para el presente trabajo emplear una categorización o clasificación de viviendas según el tipo de materiales de construcción y con la cual en cierta forma se hace referencia tácita a la resistencia de las mismas ante manifestaciones de los diferentes FRM típicos o de ocurrencia más probable que pueden afectarlas; dicha clasificación se presenta en la **Tabla 9-1**.

Tabla 9-1 Tipificación de viviendas

TIPO	DESCRIPCION
A	Casas con buena calidad de construcción y que además presentan un sistema estructural definido.
B	Casas construidas en mampostería sin refuerzo o prefabricadas.
C	Tugurios (ranchos).

Durante el desarrollo del inventario de viviendas y la tipificación de la mismas se tuvo en cuenta el estado actual de los daños y el tipo de fenómenos que en el pasado pudieron afectarlas. El posible grado de afectación (o porcentaje de daños) que podría alcanzar cada vivienda ante la ocurrencia de un nuevo evento amenazante pudo establecerse no solo a partir del nivel de daños sufridos anteriormente, sino también con la ayuda del registro fotográfico que se tiene del área de estudio, especialmente en la zona en que las viviendas pueden verse afectadas (y que de hecho actualmente lo están) por desprendimiento y caída de bloques; dicho registro también fue utilizado para calificar cualitativamente la vulnerabilidad.

En total se evaluaron 356 viviendas. La distribución de la tipología de viviendas se presenta en el plano 12; la tabulación de las encuestas, presentadas en gráficos de barras, se muestra en las **Figuras del Anexo de Encuestas**; en éstas se resumen los principales aspectos del formato aplicado relativo a las condiciones físicas de las viviendas en la zona

de estudio, las condiciones estructurales y el nivel de daño registrado en algunos elementos particulares.

9.2.2 Calificación de daños

Para calificar los daños producidos en las viviendas por la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, se establecieron las 5 categorías indicadas en la **Tabla 9-2**, siguiendo el criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs).

Tabla 9-2 Calificación de daño actual

CALIFICACION	TIPO DE DAÑO	% DE DAÑO	CARACTERISTICAS
1	Leve	0 – 10	Eventualmente, daños leves en elementos no estructurales.
2	Fuerte	60 – 80	Deformación o fracturación en la estructura.
3	Severo	80 – 100	Desplome parcial o total de la estructura.

9.3. **Solicitaciones**

Para el presente estudio se entiende como "solicitud" la forma o modo de acción que, sobre las edificaciones existentes, pueden tener los diferentes procesos de remoción en masa en el área de estudio.

Como ya se ha dicho, los fenómenos encontrados en el sitio corresponden a deslizamiento y caída de rocas; en la primera denominación se incluyen los casos de deslizamiento. La magnitud e intensidad de la acción de un deslizamiento depende del volumen de la masa, el sentido y la velocidad del movimiento y las presiones que puede ejercer sobre las edificaciones, mientras que para la caída de rocas, esta acción depende de la energía, tamaño y alcance horizontal que pueden tener los bloques que se desprenden desde la parte alta de los taludes. Con base en estas solicitudes, los daños que pueden sufrir las viviendas se relacionan principalmente con presiones laterales e impactos.

9.4. **Intensidad**

La intensidad de los dos tipos de solicitud identificados se asocia, como se indicó en el numeral anterior, con el empuje que pueden generar los deslizamientos sobre las viviendas o con el impacto de los bloques sobre las viviendas.

9.5. Resistencia

La resistencia hace referencia a la oposición que ofrece la vivienda (a través de su estructura) ante las sollicitaciones o movimientos que pueden afectarla. Esta resistencia u oposición se concentra principalmente en los siguientes elementos estructurales o componentes de las viviendas.

- Zona de afectación por deslizamiento

- Tipo y profundidad de la cimentación.
- Tipo de terreno de fundación (relleno, suelo residual, roca meteorizada).
- Materiales de construcción de la vivienda y el trabajo de conjunto que puedan ofrecer.

- Zona de afectación por caída de roca

- Sistema estructural
- Materiales de construcción empleados en la cubierta y muro posterior

9.6. Calificación y zonificación de vulnerabilidad física por FRM

Para cada una de las posibles sollicitaciones asociadas a la amenaza (empujes laterales e impactos) se evaluó la vulnerabilidad los diferentes tipos de vivienda con base en los materiales constitutivos de la edificación. La calificación de la vulnerabilidad en términos cualitativos (alta, media o baja), se realizó con base en la resistencia de las viviendas ante los diferentes FRM presentes en la zona de estudio.

Tabla 9-3 Valor cualitativo y cuantitativo de la vulnerabilidad

Categoría de la vulnerabilidad	Nivel de daño
Alta	Severo: Destrucción de la vivienda.
Media	Fuerte: Daño en elementos estructurales.
Baja	Moderado: Daño en elementos no estructurales

Los resultados de la evaluación de vulnerabilidad física actual ante la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa se presentan en el **Plano 15: vulnerabilidad de viviendas**.

9.7. Conclusiones de la evaluación de la vulnerabilidad física

Para el barrio Cerro Norte, la vulnerabilidad física de las viviendas, afectables por deslizamiento y caída de rocas, está relacionada directamente con el tipo y estado del sistema de cimentación, con la condición del suelo de fundación y con los materiales constitutivos de las viviendas. Para las viviendas de Villa Nidia, afectables por caída de rocas, la vulnerabilidad física se asocia con el sistema estructural y las condiciones (o materiales) de la cubierta y el muro posterior de la vivienda; para el barrio Cerro Norte (afectación por deslizamiento y por caída de bloques) tiene incidencia importante el estado de daño actual.

9.7.1 Condición del suelo de fundación

Solo el 3.5% de las viviendas del área de estudio se encuentran cimentadas sobre un relleno y el 96.5% restante se encuentran cimentadas sobre roca.

Como era de esperarse, y debido al tipo de material, solo en el 3.5% del área se presentan problemas de inestabilidad en suelo de fundación, relacionados principalmente con hundimientos.

9.7.2 Tipo de cimentación

El tipo de cimentación de la mayoría de las viviendas (más del 60%) es continuo de piedra o concreto ciclópeo, y solo el 10% de los habitantes encuestados afirmaron haber cimentado su vivienda sobre zapatas o vigas de amarre.

9.7.3 Sistema estructural

El 40 a 50% de las viviendas tienen su sistema estructural compuesto por muros en bloque o ladrillo, y solo el 30% tiene una estructura de pórtico en concreto.

9.7.4 Cubierta

La cubierta del 34% de las viviendas afectables por caída de rocas es de placa de concreto, mientras que el 63% restante tiene cubierta en teja, bien sea plástica o de zinc. En el resto del área, la cubierta de las casas en su gran mayoría es también en teja.

9.7.5 Daño actual

En la zona de estudio pudo establecerse que por lo menos el 75% de las viviendas no presentan daño actual, el 15% tiene daños leves a moderados, y tan solo el 2% presenta daños fuertes a severos.

9.8. Resultados de la evaluación de aspectos sociales y servicios públicos

Se presentan en este capítulo los resultados del diagnóstico social realizado para la zona de estudio.

9.9. Técnicas de Recolección de Información

Se realizaron encuestas persona a persona, con un cuestionario estructurado aplicado a los residentes en el área demarcada en la figura 2.

El formato de la encuesta diligenciada y los resultados de ésta se encuentran en el anexo de Encuestas de este informe.

9.10. Caracterización Socioeconómica

9.10.1 Barrio Cerro Norte

9.10.1.1 Vivienda y Servicios

Propiedad :

La casi totalidad de los predios están ocupados por sus propietarios, que en su mayoría pertenecen a núcleos familiares extensos, con lo cual la irregularidad en el área de los predios es notoria. Además la escritura que acredita la propiedad de los predios, se encuentra en trámite por motivos de herencias.

Construcción que predomina:

Las viviendas están construidas en su mayoría en bloque de arcilla no reforzado. También se encuentran viviendas aporricadas de 2 a 3 niveles, pasando por las casas prefabricadas que constituyen un porcentaje importante.

Las viviendas como característica general, cuentan con los servicios de cocina, baño , sala y habitaciones en apartamentos separados; que da muestra del mejoramiento continuo que le dan los dueños a sus viviendas.

Servicios Públicos:

Los predios del Barrio Cerro Norte, gozan de los servicios de: energía eléctrica, acueducto, teléfono y gas natural.

El servicio de alcantarillado es deficiente en la zona, ya que muchas de las tuberías se encuentran en mal estado, rotas o no hacen entrega directa a los pozos de inspección. A esto se suma que los habitantes parte alta, desaguan directamente a la ladera.

Cocina:

En la mayoría de las viviendas se utiliza para la cocción de los alimentos el gas natural el resto lo hace con gas propano.

Manejo de Basuras:

Este servicio es prestado por la empresa Ciudad Limpia, dos días por semana, los días lunes y viernes. También hay presencia de contenedores para la colocación de las basuras.

Capacitación en temas de atención y prevención de desastres:

Se determinó en la comunidad, que un alto número de los encuestados (80%) manifiesta no haber recibido ningún tipo de capacitación en temas relacionados con la prevención y atención de desastres; manifiestan a su vez, que les gustaría recibir dicha capacitación. Cabe anotar que la comunidad en general no es consciente del posible avance del deslizamiento del terreno hacia sus viviendas, en parte por la escasa participación de los habitantes en los talleres que sobre el tema se han dictado.

Interacción y confianza en las instituciones:

Se identifica claramente que la mayoría de los habitantes del sector (78%) manifiestan únicamente haber interactuado con la Junta de Acción Comunal, la Defensa Civil y el Cuerpo de Bomberos. Se evidencia claramente la escasa participación de la comunidad en las labores del Comité Local de Emergencias.

En cuanto a la confianza que deposita la comunidad en entidades estatales, se encontró, que las familias afectadas por el deslizamiento agradecen y confían en la intervención de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, mientras que el resto de los habitantes esta entidad es desconocida.

Nivel de daño de las estructuras:

Durante la recolección de información en campo se encontraron y relacionaron nueve niveles de daño según el tipo de construcción y estado actual de la misma.

En cuanto a la construcción de edificaciones se encontraron tres tipos principales:

- Viviendas construidas con sistemas aporricados o con mampostería estructural.
- Casas prefabricadas o construidas con mampostería no estructural.
- Edificaciones clasificadas como tugurios en mampostería, cartón, madera o tejas de zinc.

Por otra parte encontramos dentro de los tipos de afectación por el fenómeno tres tipos de daños:

- Ninguno: Cuando la vivienda no presenta ningún tipo de daño de tipo estructural o en los acabados.
- Moderado: Cuando se evidencian cambios en el estado de las construcciones como consecuencia del deslizamiento.
- Severo: Cuando las viviendas debido a su alto nivel de daño se han hecho inhabitables y por lo tanto se encuentran evacuadas en el momento de la visita.

Al combinar los dos factores de evaluación de vulnerabilidad (tipo de construcción y estado actual) para cada edificación se encuentran nueve posibles calificaciones que se encuentran descritas a continuación y señaladas según convenciones de color y textura en el plano de vulnerabilidad de viviendas.

1A: Vivienda sin ningún tipo de daño estructural y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

1B: Construcción sin ningún tipo de daño estructural y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería estructural.

1C: Edificación sin ningún tipo de daño estructural y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

2A: Vivienda con daño estructural moderado y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

2B: Construcción con daño estructural moderado y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería estructural.

2C: Edificación con daño estructural moderado y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

3A: Vivienda con daño estructural severo y construida con un sistema aporticado o en mampostería estructural.

3B: Construcción con daño estructural severo y cuya construcción es prefabricada o compuesta por mampostería estructural.

3C: Edificación con daño estructural severo y clasificada como tugurio en mampostería, cartón, madera y tejas de zinc.

Población: Con base en las encuestas efectuadas a las viviendas del barrio Cerro Norte se encontró, que un 20.4% de las familias del sector no superan los 2 adultos por edificación, de los cuales sólo un 25.6% manifiestan trabajar ya sea empleados (29.6%), de manera independiente (35.2%) o en forma ocasional (4.8%).

9.10.2 Barrio Villa Nidia

9.10.2.1 Vivienda y Servicios

Propiedad :

Los habitantes de este barrio son en su mayoría residentes en el desde la fundación misma del barrio, razón por la cual han adquirido de manera definitiva los predios y cuentan con su respectiva documentación en orden.

Construcción que predomina:

Las viviendas en su mayoría están completamente construidas, y se presentan en mampostería no reforzada, por lo general se encuentra vigas de amarre y continuo de piedra como estructura de cimentación superficial debido la firmeza del terreno que declaran los habitantes, en cuanto a los acabados estos son regulares.

Servicios Públicos:

Se encuentran características iguales a los servicios prestados en el Barrio Cerro Norte.

Capacitación en temas de atención y prevención de desastres:

Para el caso de esta parte de la zona de estudio se encontró un 79.5% de familias que manifiesta no haber recibido ningún tipo de capacitación en estos temas.

Interacción y confianza en las instituciones:

Los habitantes del Barrio Villa Nidia manifiestan únicamente haber interactuado con la Junta de Acción Comunal, pues desconocen cualquier otra entidad del distrito.

Nivel de daño de las estructuras: La clasificación del nivel de daño se procedió de la misma manera que para el Barrio Cerro Norte.

Tipo de amenaza más probable:

Población: Con base en las encuestas efectuadas a las viviendas del barrio se encontró, que el número de adultos por familia se encuentra entre 2 a 9, de los cuales un 58% manifiestan trabajar ya sea empleados (17%), de manera independiente (27.3%) o en forma ocasional (11.4%).

En el barrio Villa Nidia hay alta presencia de hogares infantiles, en los cuales la ocupación es de 18 niños en promedio, con alto hacinamiento por la poca área construida de las viviendas, que en su mayoría son no reforzadas.

Del mismo modo se estimó que en la mayoría de las viviendas (11.4%) el número de menores no supera los 3 habitantes; quienes reclaman mayor seguridad en los parques y más colegios.

9.11. Algunas conclusiones sobre la evaluación de la vulnerabilidad socioeconómica.

Se presentan a continuación algunas conclusiones sobre este aspecto, realizadas con base las características encontradas en el sitio de estudio, especialmente relacionadas con las carencias identificadas en el sector, no solamente en el cubrimiento de servicios públicos e ingresos económicos familiares, sino considerando también aspectos relacionados con la capacitación o preparación que posee actualmente la comunidad para evitar o mitigar los riesgos naturales o para atender las situaciones de emergencia que se puedan presentar.

Para T. Horlik-Jones y D.K.C. Jones (1993), los riesgos impuestos por las llamadas amenazas “naturales” solo pueden entenderse en términos de sus dimensiones humanas y socioeconómicas. Ellos provienen de la interacción entre los fenómenos físicos y la vulnerabilidad de los sistemas humanos.

Quizás el uso continuado de los términos “amenaza natural” falla en notar la interacción de doble vía entre el ambiente físico y los sistemas humanos, lo cual ha llevado a que varios fenómenos amenazantes cambien en términos de su extensión espacial y sus características de magnitud y frecuencia (ej. deslizamientos, inundaciones, sequías). Como hay pocos desastres realmente naturales, o aquellos que ocurren independientemente de la acción humana (terremotos, erupciones volcánicas, tormentas tropicales), se considera preferible por los tratadistas citados el término amenaza ambiental, puesto que no solo resalta el carácter ecológico esencial de la amenaza, sino que también enfatiza el papel de los humanos en contribuir a la naturaleza amenazante de un lugar.

La vulnerabilidad deriva de la interacción compleja de un rango de factores socioeconómicos y culturales. La importancia relativa de estos factores y la forma en la cual la vulnerabilidad resultante depende de ellos, son aun materia de debate continuo. Se debe prestar mayor atención a la vulnerabilidad asociada con la falta de información pública y las formas en que los procesos de comunicación pueden contribuir a la reducción de la vulnerabilidad; en particular la posible existencia de barreras culturales para una comunicación efectiva del riesgo.

La investigación de las ciencias sociales en países tecnológicamente avanzados ha revelado la importancia esencial jugada por las creencias, la actitud y los juicios subjetivos en el modelamiento del comportamiento humano y su respuesta ante amenazas.

Las comunidades en áreas propensas a amenazas naturales pueden adoptar un rango de medidas designadas para reducir el nivel de riesgo. Se ha reconocido que los procesos pueden ser bastante insatisfactorios en el sentido de que la gente con frecuencia parece ignorar el potencial de consecuencias serias o parece dispuesta a tomar riesgos innecesarios. Su comportamiento está constreñido por factores socioeconómicos y culturales, y los problemas del día a día, y la gente por lo tanto actúa de acuerdo con la lógica de sus circunstancias. La toma de decisiones individuales está asociada al menos con cuatro factores:

- 1.Experiencias anteriores con la amenaza.
- 2.La riqueza material de los individuos.
- 3.Características de la personalidad.
- 4.El papel percibido del individuo en un grupo social.

También se distinguen cuatro patrones distintos de comportamiento observados en la respuesta de la gente en lugares amenazados:

1. Negación del riesgo, con resultados dependientes de la resiliencia de sus formas de vida.
2. Aceptación pasiva del riesgo.
3. Acción para reducir pérdidas futuras.
4. Cambio drástico en uso de la tierra o forma de vida (escoger el cambio).

Mientras que la acción del estado puede controlar acciones con respecto a localización, uso de la tierra y forma de vida, la percepción y decisión individuales son de todas maneras fundamentales en la determinación de la respuesta a las advertencias sobre eventos específicos, y son, por lo tanto, de relevancia continua en las estrategias de reducción de desastres.

Los resultados que se presentan a continuación se ajustan a las características que le imprime al área de estudio el hecho de pertenecer a un estrato socioeconómico 2, condiciones que difieren considerablemente con los resultados obtenidos en estudios anteriores (como en los barrios La Paz o La Carbonera), adelantados en zonas de estrato 0 y 1 para barrios subnormales en áreas de invasión y por lo tanto de alto riesgo per se.

9.11.1 Vivienda

•Propiedad

Aproximadamente el 95% de las viviendas en el área de estudio son ocupados por sus propietarios, y tan solo el 5% de las viviendas por arrendatarios.

•Tipo de construcción predominante

Con base en la tabulación de las encuestas, pudo establecerse que el 75.5% de las viviendas han sido construidas en mampostería no reforzada, el 9.5% de las viviendas corresponde al tipo de estructura aporticada y solo el 7.5% de las viviendas son tugurios en mampostería.

Estas viviendas son de 1 ó 2 pisos, y aunque muchas de ellas se encuentran en su interior en obra negra, pues sus propietarios no han tenido el dinero para terminarlas o se encuentran en el procesos de construir en un futuro el segundo o tercer piso, sus fachadas se encuentran en condiciones agradables a la vista.

•Densidad de la construcción

De los 356 lotes evaluados, solo 12 de ellos se encuentran vacíos, resultando una densidad de construcción cercana al 97%.

•Edad de las construcciones

El rango empleado en la encuesta para determinar la edad de las construcciones fue definido con base en la aparición de las Normas de Construcción Sismo Resistente (en 1984 y 1998), las cuales debieron seguirse durante el diseño y construcción de las urbanizaciones.

Sin embargo, y a pesar de que la gran mayoría de la viviendas (más del 50%) fueron construidas entre 1984 y 1998, sus habitantes afirmaron que ninguna de ellas era sismo resistente. Las viviendas construidas hace más de 16 años son aproximadamente el 30%, y para el restante o sus habitantes no sabían el año de construcción o ha sido construido en los últimos dos años.

- Condiciones generales de la calidad de la construcción

9.11.2 Servicios públicos

El cubrimiento de los servicios públicos básicos (acueducto, alcantarillado y energía eléctrica) es prácticamente del 100%; poco más del 50% de las viviendas poseen conexión a gas natural y el cubrimiento de teléfonos supera el 90%.

En cuanto a las vías del sector, casi el 100% de éstas se encuentran pavimentadas y en buen estado.

9.11.3 Aspectos demográficos

- Densidad de la población

En el área viven poco más de 1400 personas, de la cuales el 65% son adultos (mayores de 18 años) y el 35% niños.

- Composición del núcleo familiar

En promedio, las familias están integradas por los dos padres y dos o tres hijos, y en algunos casos, las madres solteras adolescentes y sus hijos conviven en casa de los padres.

9.11.4 Actividad económica

En general, en las familias por lo menos hay una persona que trabaja dependiente o independientemente. En el caso de eventual desempleo del responsable del hogar (usualmente el padre), acuden a la economía informal (por ejemplo, ventas ambulantes) para obtener el sustento. En aproximadamente el 5% de las viviendas se llevan a cabo actividades económicas, tales como comercio e industria.

9.11.5 La comunidad y las entidades del distrito

Para establecer la interacción o confianza de la comunidad con las diferentes entidades del distrito, organizaciones no gubernamentales o asociaciones comunitarias, se diseñó la última parte de la encuesta. Pudo establecerse que tan solo el 18% de los habitantes ha tenido algún vínculo con la Junta de Acción Comunal (JAC), y casi el 95% declaró no conocer o no haberse relacionado nunca con entidades como la DPAE, la Cruz Roja o la Defensa Civil, menos aún con la Policía u otras instituciones; aún así, la gran mayoría de los habitantes tienen la confianza en que estas entidades, especialmente la Cruz Roja, la Defensa Civil o la EAAB, actuarán oportuna y adecuadamente en caso de ser necesario. La institución en que los habitantes menos confían es la JAC, y sobre la DPAE recae un poco el escepticismo de la comunidad, pues declaran que, a pesar de que es esta institución la contratante del presente estudio.

Sobre capacitación en diversos temas relacionados con la gestión de riesgos o prevención y mitigación de desastres, el 95% de los habitantes declaran no haberla recibido, pero

igualmente por lo menos el 97% de ellos muestra interés en recibir capacitación al respecto, especialmente en temas sobre prevención de desastres y primeros auxilios.

9.11.6 Percepción del riesgo

Como ya se ha mencionado a lo largo del estudio, los fenómenos que afectan el área son: deslizamiento rotacional, y caída de rocas. Los habitantes del área de influencia de estos fenómenos son conscientes del peligro al que están expuestos, pero declaran que otro factor de alto riesgo para ellos es la inseguridad, ya que en las zonas de la cantera favorece la presencia de ladrones y drogadictos.

Como posibles soluciones a los problemas relacionados con la ocurrencia de FRM, la comunidad propone el desarrollo de estudios técnicos detallados, la construcción de muros de contención y otras medidas estructurales, así como la reforestación. Para solucionar los problemas "sociales" los habitantes insisten en un incremento en la vigilancia, no solo por parte de las autoridades sino también de los mismos vecinos.

9.11.7 Afectación Socio-económica

Las actividades económicas desarrolladas dentro de las viviendas incrementan la vulnerabilidad de las personas afectadas, dado que podrían quedar sin vivienda y sin posibilidad de sostenimiento, dado que las ayudas generalmente en arriendos no mitigan esta situación.

10. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Con base en la evaluación de las diferentes amenazas a que está expuesta el área y teniendo en cuenta la vulnerabilidad específica para cada tipo de amenaza, con ayuda del programa SPANS y mediante el cruce de información se obtuvieron los planos de riesgo, los cuales se presentan como la sumatoria de los riesgos específicos. Se incluyen dentro de la modelación el Edificio North Point y la Avenida Séptima, que aunque no se incluían en el área solicitada por la DPAE se encuentran expuestos a la amenaza de caída de rocas.

En el análisis no se tuvo en cuenta la diferencia en el costo de los posibles daños en el Edificio con respecto al de las viviendas de Villa Nidia, tampoco se consideró el costo del trauma vehicular que se puede presentar en la Avenida Séptima, cuando llegue un bloque a la Avenida; se asumió un costo similar al del daño que puedan sufrir las viviendas para el daño que pueda sufrir un vehículo, considerando que no haya víctimas.

Este análisis se adelantó para el escenario actual y para un escenario probable dentro de un período de 20 años, asumiendo que no se adelanten acciones de mitigación y se permita la evolución de los procesos que afectan el área. Los resultados de éste análisis se presentan en los planos 18-1 y 18-2.

11. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Para el control del deslizamiento que afecta a los barrios Cerro Norte y Villa Nidia se proponen 4 alternativas:

Alternativa 1: Conformación ligera,

Consiste en la conformación del flanco derecho del deslizamiento (costado norte), para evitar la caída de bloques que amenaza a las viviendas localizadas al sur de Cerro Norte y las de Villa Nidia; se complementa con la conformación del escarpe superior y el anclaje de las capas inferiores para evitar que el deslizamiento se propague y afecte las viviendas localizadas entre las calles 160 y 160A y entre las carreras 6 y 7. En la base del talud inferior, frente a la Avenida Séptima, se deben colocar parapetos con barreras arbóreas para disminuir la amenaza de caída de bloques, ante eventos sísmicos, sobre la Avenida. En la parte media del valle de la quebrada Cerro Norte se colocarían Parapetos y barreras arbóreas para evitar que los bloques lleguen hasta la vecindad de las viviendas.

Con ésta alternativa se mantiene la amenaza alta sobre el predio de la cantera y el terreno conformado debe habilitarse como zona de reserva. No requiere intervenir nuevas áreas urbanas.

Alternativa 2: Conformación intermedia,

Consiste en la descarga del deslizamiento, mediante el retiro de la parte superior del material deslizado (bloque activo) y la conformación del flanco derecho del deslizamiento para evitar el desprendimiento y caída de bloques que amenazan las viviendas. Se debe complementar con el refuerzo de los estratos inferiores para evitar la propagación de la zona inestable y proteger las viviendas localizadas arriba del escarpe principal. En la base de la ladera, frente al talud inferior, se deben colocar parapetos con barreras arbóreas para mitigar la caída de bloques durante eventos sísmicos

Con ésta alternativa se disminuye la amenaza sobre el predio de la cantera, pero se mantiene en un nivel medio. El terreno conformado no puede utilizarse para vivienda, pero puede alojar parques mixtos (recreación activa y pasiva). No requiere afectar nuevas viviendas.

Alternativa 3: Conformación severa,

Consiste en el retiro de todo el material deslizado y el susceptible de deslizarse, incluyendo el morro de roca existente al sur del Jardín infantil. Se afectarían 32 nuevas viviendas, pero el terreno conformado puede integrarse a la urbanización y reemplazarse las viviendas afectadas, tanto las afectadas por el deslizamiento, como las afectadas por la conformación del terreno.

Se elimina la amenaza por deslizamiento para el predio de la cantera, sólo se mantiene la amenaza por caída de bloques ante eventos sísmicos, la cual puede controlarse con el retiro o fijación de los bloques propensos a caer.

Alternativa 4: Contención y refuerzo del terreno,

Con ésta alternativa se mantiene la forma general del terreno, sólo se hace una ligera conformación del flanco derecho del deslizamiento para evitar el desprendimiento de bloques, y la conformación del escarpe principal, para facilitar la colocación de los anclajes que refuercen los estratos inferiores e impidan la propagación del deslizamiento.

En la parte baja, frente al afloramiento de la superficie de deslizamiento, se considera colocar una estructura de contención conformada por caisson, vigas y cortinas de concreto, con la capacidad suficiente para contener la masa deslizada y coser cualquier otra posible superficie de deslizamiento que se puede presentar en profundidad.

En la ladera del flanco izquierdo del deslizamiento, se deben retirar los bloques propensos a caer; además en el talud inferior, frente a la Avenida Séptima, se recomienda retirar los bloques sueltos y anclar algunos bloques con mallas y pernos. Se debe retirar el morro de roca existente al sur del Jardín Infantil. En la base del talud inferior, frente a la Avenida Séptima se debe colocar un parapeto con barrera arbórea para controlar la eventual caída de bloques, ante eventos sísmicos.

Con ésta alternativa se controla la amenaza y se puede habilitar el predio de la cantera para uso urbanístico y no se afectarían nuevas viviendas en el barrio Cerro Norte.

11.1. Disminución de la Amenaza debido a las Obras Correctivas

Los planteamientos de las cuatro alternativas de mitigación se dan en el plano 19.

Por último se procedió a analizar la estabilidad al deslizamiento las alternativas 1, 2 y 4. La alternativa 3 no fue considerada en los análisis ya que la conformación del terreno elimina las superficies de falla 2 y 3.

Los parámetros utilizados en el análisis de las alternativas y sus respectivos factores de seguridad para las casos seca y reblandecida, teniendo en cuenta tanto las condiciones estáticas como las producidas por sismos de 0.1g y 0.23g, se muestran en la tabla 11-1.

Tabla N° 11-1. Resultados análisis de estabilidad para las alternativas de mitigación.

Superficie de falla	Nombre archivo STED	Parámetros					Sismo		Fs
		Tipo suelo	γ_t (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	gh	gv	
SF- 3 caso seco	038AL1 completa	1	22	22	0	13	0		1.089
		2	22	22	20	18	0.1		0.813
		3	23	23	500	30	0.23		0.601
	038AL1 parte inferior	1	22	22	0	13	0		1.170
		2	22	22	20	18	0.1		0.873
		3	23	23	500	30	0.23		0.646
	038AL1 parte superior	1	22	22	0	13	0		6.940
		2	22	22	20	18	0.1		3.150
		3	23	23	500	30	0.23		1.810
	038AL2 completa	1	22	22	0	13	0		1.410
		2	22	22	20	18	0.1		1.040
		3	23	23	500	30	0.23		0.768
	038AL2 parte inferior	1	22	22	0	13	0		1.570
		2	22	22	20	18	0.1		1.140
		3	23	23	500	30	0.23		0.880
	038AL2 parte superior	1	22	22	0	13	0		2.450
		2	22	22	20	18	0.1		1.780
		3	23	23	500	30	0.23		1.300
	038AL4	1	22	22	0	13	0		1.610
		2	22	22	20	18	0.1		1.182
		3	23	23	500	30	0.23		0.869
SF- 3 caso reblandecido	038AL1 completa	1	22	22	0	13	0		0.862
		2	22	22	0	16	0.1		0.640
		3	23	23	500	30	0.23		0.471
	038AL1 parte inferior	1	22	22	0	13	0		0.884
		2	22	22	0	16	0.1		0.657
		3	23	23	500	30	0.23		0.483
	038AL1 parte superior	1	22	22	0	13	0		4.200
		2	22	22	0	16	0.1		1.890
		3	23	23	500	30	0.23		1.070
	038AL2	1	22	22	0	13	0		1.090
		2	22	22	0	16	0.1		0.801
		3	23	23	500	30	0.23		0.586
	038AL2 parte inferior	1	22	22	0	13	0		1.175
		2	22	22	20	18	0.1		0.854
		3	23	23	500	30	0.23		0.621
038AL2 parte superior	1	22	22	0	13	0		1.422	
	2	22	22	20	18	0.1		1.021	
	3	23	23	500	30	0.23		0.727	
038AL4	1	22	22	0	13	0		1.350	
	2	22	22	0	16	0.1		0.989	
	3	23	23	500	30	0.23		0.725	

El análisis de disminución de riesgo por ejecución de obras de estabilización y control, esta orientado básicamente a le eliminación de la amenaza por caída de bloques en las zonas pobladas de la zona de estudio, mediante la ejecución de obras de conformación del terreno así como a la puesta en práctica de obras de contención. De tal forma que las áreas inicialmente amenazadas por caída de rocas, se verían drásticamente disminuidas en su extensión una vez realizadas las obras correspondientes en cada una de las alternativas planteadas.

ALTERNATIVA 1

Esta alternativa consiste en una pequeña conformación del terreno y adicionalmente la colocación de barreras vivas como se muestra en el plano 19 de planteamiento de alternativas. Esta alternativa disminuye la amenaza en la zona noroccidental de la zona R1, disminuyendo el riesgo ante este fenómeno para las viviendas de las manzanas 31 y 32 del barrio Cerro Norte y 20 del barrio Villa Nidia como puede observarse en la figura 11-1.

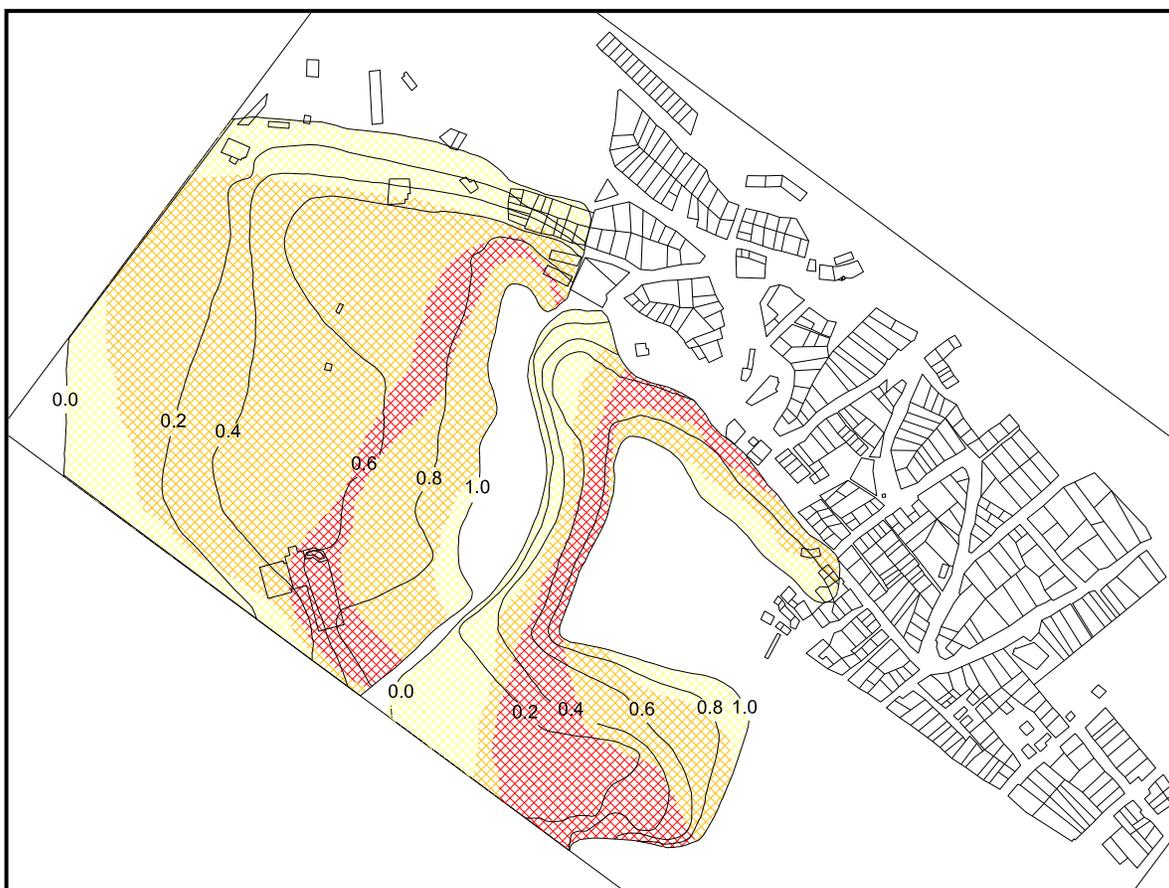


Figura 11-1. Zonas de amenaza por caída de rocas resultado de la ejecución de obras correspondientes a la alternativa 1.

ALTERNATIVA 2

La alternativa número 2 que consiste en una reconfiguración del terreno y en consecuencia la eliminación de los bloques potencialmente inestables en la parte noroccidental de la zona R1, con lo que las viviendas afectables inicialmente por este fenómeno en las manzanas 31, 32, 35 y 36 del barrio Cerro Norte y 20 del barrio Villa Nidia aparecerían ahora sin ningún riesgo por caída de rocas. En la figura 11-2 se muestran las zonas de amenaza resultantes luego de la ejecución de las obras.



Figura 11-2. Zonas de amenaza por caída de rocas resultado de la ejecución de obras correspondientes a la alternativa 2.

ALTERNATIVA 3

Esta alternativa básicamente elimina la amenaza por caída de rocas para la zona R1 y gran parte de la zona R2, ya que por medio de conformación del terreno acaba por completo la fuente de bloques para la parte alta de la zona R1 y la parte sur de la zona R2. En la figura 11-3 se muestra la zona de amenaza luego de la ejecución de las obras correspondientes a esta alternativa.

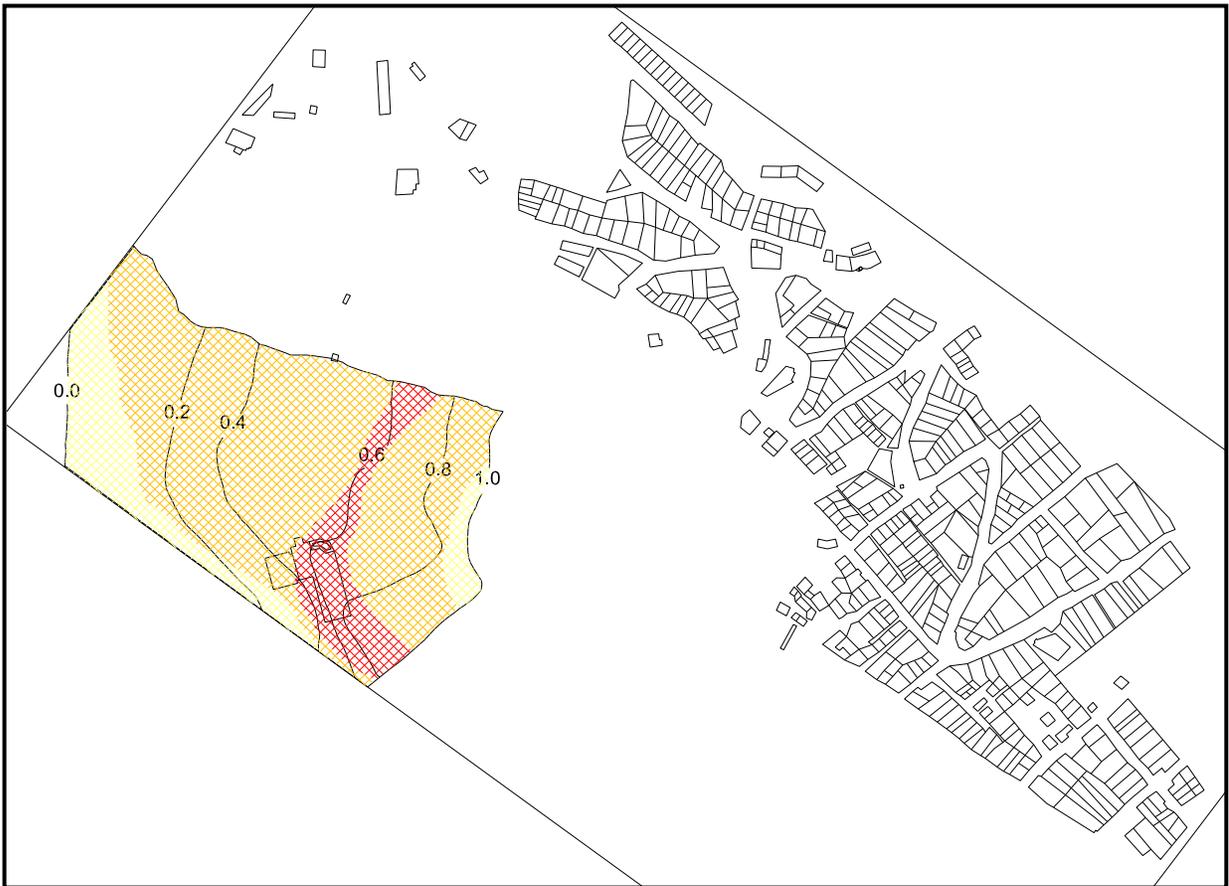


Figura 11-3. Zonas de amenaza por caída de rocas resultado de la ejecución de obras correspondientes a la alternativa 3.

ALTERNATIVA 4

Esta alternativa por recomendar obras de contención y estabilización del deslizamiento, 3399 implica el control de la caída de bloques, por lo que la totalidad de la amenaza por caída de bloque desaparecería en toda la zona de estudio, como puede observarse en la figura 11-4.



Figura 11-4. Zonas de amenaza por caída de rocas resultado de la ejecución de obras correspondientes a la alternativa 4.

CUADRO 11-1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	VIVIENDAS AFECTADAS	OBRAS					Valor Daños *	COSTO (ESTRUCTURA + DAÑO) (Millones de pesos)	Uso	BENEFICIO (Millones de pesos)	Relación BENEFICIO/COSTO
		Conformación (m ³)	Anclajes (m) Pernos (m)	Drenaje	Estructuras	Costo					
Dejar como está	89	0	0	0	0	\$0	\$3,670,000,000	\$3,670	Reserva 20 Ha - afectada por deslizamientos	\$2,000	0.54
Conformación ligera	20	22,800	4,800 1,500	Cunetas 800 m	Barrera arbórea 600 m	\$974,000,000	\$300,000,000	\$1,274	Recreación pasiva 1 Ha, y reserva ambiental 19 Ha	\$23,900	18.76
Conformación media	20	147,000	4,800 1,500	Cunetas 800 m	Barreras 400 m	\$2,210,000,000	\$300,000,000	\$2,510	Recreación 3 Ha y reserva 17 Ha	\$48,200	19.20
Conformación severa	45	785,000	0 1,500	Cunetas 800 m	Barreras 300 m	\$8,011,000,000	\$900,000,000	\$8,911	Urbanismo 7 Ha y reserva 13 Ha	\$83,000	9.31
Obras de contención	20	22,800	7,400 1,500	Cunetas 800 m	Bareras 300 m Caisson + vigas 3780 m	\$9,412,000,000	\$300,000,000	\$9,712	Urbanismo 7 Ha y reserva 13 Ha	\$83,000	8.55
* Incluye las viviendas afectadas por el deslizamiento.											

11.2. Selección de la Alternativa

Para las alternativas planteadas se adelantaron análisis de Amenaza y Riesgo, con los mismos criterios que para los análisis de la situación actual y del escenario a 20 años, los resultados se presentan en los planos 20 y 21, para cada alternativa.

La evaluación de las alternativas se adelantó atendiendo a criterios de daños a las viviendas y edificaciones, costo de las obras propuestas para cada alternativa y beneficios relacionados con el uso del terreno afectado. En cuanto a los costos de los daños a las viviendas se adoptó un valor medio de 15 millones por vivienda afectada y para las obras se emplearon costos del mercado; en cuanto a los beneficios se partió de algunos indicadores propuestos por Pava y Amórtegui en su artículo publicado en las memorias del III Simposio Panamericano de Deslizamientos, Cartagena, 2001, donde se propone que para áreas de reserva ambiental se podría obtener un beneficio ambiental (calidad de aire y paisajismo) del orden de 100 millones de pesos por Ha al año, para zonas de recreación pasiva el beneficio socio-ambiental puede llegar a ser de 245 millones anuales por hectárea y para parques de recreación activa el beneficio social puede alcanzar los 540 millones por hectárea al año. Para las áreas urbanizables se consideró un valor final del terreno urbanizado de un millón por metro cuadrado.

Con estos parámetros, y considerando que la zona de reserva puede demorar unos años en conformarse y si se adopta la alternativa de permitir que la naturaleza se recupere sin ayuda, el tiempo sería mayor, por lo cual se considera que el beneficio de la zona de reserva sería del 50% para unos casos con intervención y del 25% para el caso de recuperación espontánea; se calcularon los daños, los costos de las obras y los beneficios potenciales que se pueden percibir con cada alternativa, cuyos resultados se presentan en el cuadro 11.1

De acuerdo con el análisis anterior se tiene que las alternativas más convenientes para El Distrito son las de conformación ligera y media donde la relación beneficio/costo es más favorable, con la primera se mitiga la amenaza sobre los barrios Cerro Norte y Villa Nidia, con unas obras ejecutables a bajo costo. Sin embargo si se pretende adelantar la urbanización del predio Ibiza, donde está la cantera, las alternativas 3 ó 4 pueden considerarse y llegar a un acuerdo con los propietarios para su adopción.

11.3. Diseño de la Alternativa Seleccionada

Con base en el análisis de alternativas se recomienda adoptar la primera, la cual consiste de una descarga en la cabeza del deslizamiento actual, la colocación de una serie de anclajes desde el talud de corte de la descarga, que penetren por debajo de la posible superficie de falla profunda y refuercen el terreno, para que cuando se presente el reblandecimiento del terreno los anclajes suplan esa pérdida de resistencia y se impida la generación del deslizamiento profundo en la parte superior donde están las viviendas de la manzana 39, especialmente las identificadas con los números 40 a 50. Esta obra de conformación y anclaje se presenta en los planos 22 y 23.

Para el control de la caída de bloques se tienen los parapetos y barreras arbóreas, adicionales a la conformación ligera del flanco derecho del deslizamiento, los detalles y localización de éstas estructuras se presentan en los planos 22 y 23.

En la tabla 11.2 se muestra el presupuesto de las obras básicas recomendadas.

PRESUPUESTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Conformación	m ³	22,800.0	\$10,000	\$228,000,000
Anclajes	m	4,800.0	\$120,000	\$576,000,000
Box-culvert	m ³	25.7	\$450,000	\$11,565,000
Barreras arbóreas	m	330.0	\$30,000	\$9,900,000
Cunetas	m	930.0	\$40,000	\$37,200,000
Empradización	m ²	8,000.0	\$8,000	\$64,000,000
Parapetos	m	100.0	\$65,000	\$6,500,000
Concreto para dados	m ³	15.0	\$450,000	\$6,750,000
VALOR TOTAL (SIN IVA)				\$939,915,000

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inestabilidad del terreno se ha ido incrementando por efecto de las actividades humanas en el sector: inicialmente con la explotación de los materiales en la parte baja de la ladera, especialmente en la terraza intermedia, donde se retiró el material que podía contener la parte superior, por efecto de la estructura geológica; esta situación fue agravada con las labores de reconfiguración, donde se retiró otro volumen importante de material de la parte inferior de la ladera, dejando prácticamente intacta la corona del deslizamiento que había ocurrido en 1990, y finalmente la urbanización de la corona del deslizamiento que facilitó el aporte de agua al subsuelo, permitiendo la pérdida de resistencia de los materiales arcillosos por reblandecimiento.

Si se mantienen las condiciones actuales el proceso de inestabilidad puede incrementarse, por reblandecimiento de estratos arcillosos más profundos, con lo que se afectarían nuevas viviendas del barrio Cerro Norte.

Para controlar la situación y mitigar la amenaza se recomienda adoptar la primera alternativa: Conformación ligera, con lo cual se protege a la población, adicionándole el cambio de la estructura de paso de la quebrada Cerro Norte en la Transversal 9, donde actualmente se tiene una alcantarilla de 36" de diámetro y se requiere de una alcantarilla de mayor capacidad, se recomienda una estructura en cajón de concreto de 1.5 X 1.5 m de sección.

El terreno conformado y el cuerpo del deslizamiento se recomienda protegerlo con una cobertura vegetal de pastos y arbustos y la conformación de barreras arbóreas para proteger las edificaciones y la Avenida Séptima del impacto de los bloques que puedan caer. Además por prudencia y para recuperar la zona de Ronda de la quebrada Cerro Norte se recomienda adquirir las viviendas vecinas a las obras y a la quebrada.

Con ésta alternativa se mantienen las condiciones de amenaza alta por deslizamiento y caída de bloques en el predio de la cantera.

Para las labores de revegetalización se incluye un Anexo con las recomendaciones para adelantar esta actividad, donde se tienen en cuenta las condiciones edafológicas del sector y son válidas para cualquiera de las alternativas que se adopte.

Bogotá, D.C., Noviembre de 2002

MOYA Y GARCIA LTDA

ING. JOSÉ VICENTE AMÓRTEGUI GIL
Director del Proyecto

Referencias.

- Bell, F. Generalized Rainfall-duration-frequency relationships. Proceedings ASCE. Journal of Hydraulics. Jan. 1969.
- Bell, F. Generalized Rainfall-duration-frequency relationships. Proceedings ASCE. Journal of Hydraulics. Jan. 1969.
- Blair E. Y Paedo G. Manual de Riegos. Incora, 1969.
- Borgheresi Eliana y Raúl Silva. Jardinería Básica No. 1. Plantas y flores. Ed. Andrés Bello. Chile, 1985
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Información hidrológica.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Información hidrológica.
- Espinal, T. Y Montenegro, E. Formaciones vegetales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá D.C., 1963.
- Founier, F. Conservación de suelos. Madrid, 1975
- Frye, A. El análisis de suelos en la evaluación de su fertilidad para la aplicación de fertilizantes y correctivos. En: Ciclo de conferencias sobre fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Universidad del Tolima. Ibagué, 1971.
- IDEAM: Anuarios meteorológicos. Régimen de la Precipitación en Colombia.
- IDEAM: Anuarios meteorológicos. Régimen de la Precipitación en Colombia.
- Jardín Botánico “José Celestino Mútis”. Bogotá se viste de verde. Fichas divulgativas, 2000.
- Li, R. M. y Stevens, M. A. Solutions to green – ampt infiltration equation. Journal of the irrigation and drainage division, ASCE, paper 12196, June.
- Malagón, D. Y Montenegro, H. Propiedades Físicas de los Suelos. IGAC, 1990.
- Pava, J. y J.V. Amórtegui, Uso sostenible de terrenos inestables urbanos, III Simposio Panamericano de Deslizamientos, Cartagena, 2001.
- Silva M, G. Hidrología básica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional. Bogotá. 1998.
- Silva M, G. Hidrología básica. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional. Bogotá. 1998.

- Silva M, G. Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa / Tratamiento de cauces / Erosión pluvial y Transporte de sedimentos en ríos. www.geocities.com/gsilvam
- Silva M, G. Hidrología en cuencas pequeñas con información escasa / Tratamiento de cauces / Erosión pluvial y Transporte de sedimentos en ríos. www.geocities.com/gsilvam
- Soil Conservation Service. US Department of Agriculture. National Handbook. Section 4. Hydrology. 1972.
- Soil Conservation Service. US Department of Agriculture. National Handbook. Section 4. Hydrology. 1972.
- Stevens, David. Guías prácticas de Jardín: Planificación y diseño. Ed. Blume. Barcelona, 2001.
- Suarez, J. Control de Erosión en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander, 2001.