CONTENIDO

1 GENERALIDADES 3

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 3
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO. 4
1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS 4
1.3.1 MARCO GENERAL 4
1.3.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS INTRÍNSECOS DE SUSCEPTIBILIDAD DE INESTABILIDAD 4
1.3.3 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INESTABLES 5
1.3.4 EVALUACIÓN DE AGENTES DETONANTES 6
1.3.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES 6
1.3.6 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD 7
1.3.7 ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 7
1.3.8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 7
1.3.9 EVALUACIÓN DE RIESGO 8
1.3.10 CALIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN 8
1.3.11 ESTUDIO DE MEJORAMIENTO URBANO 8
1.3.12 INFORME Y PLANOS 8

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL 9

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS 9
2.2 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO 9
2.3 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 9
2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS 10
2.5 EVALUACIÓN CONCEPTUAL DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DEL ÁREA EN ESTUDIO 10
2.5.1 AMENAZA 10
2.5.2 VULNERABILIDAD 11
2.5.3 RIESGOS 11
2.6 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN 11

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 13

3.1 METODOLOGÍA 13
3.2 EQUIPO UTILIZADO 13
3.3 PROCEDIMIENTO 13
3.3.1 LABORES DE CAMPO 13
3.3.2 LABORES DE OFICINA 14

4 ESTUDIO GEOLÓGICO 15

4.1 INTRODUCCIÓN 15
4.2 GEOLOGÍA REGIONAL 15
4.2.1 GRUPO GUADALUPE (KG) 16
4.2.2 FORMACIÓN GUADUAS (KTG) 17
4.3 GEOLOGÍA LOCAL 17
4.3.1 UNIDADES ARCILLOSAS 17
4.3.2 SUELOS Y DEPÓSITOS CUATERNARIOS 18
4.4 CONDICIONES ESTRUCTURALES. 18
4.5 GEOMORFOLOGÍA DETALLADA. 19
4.5.1 ZONA G I. 19
4.5.2 ZONA G II. 19
4.5.3 ZONA G III. 19
4.5.4 ZONA G IV 20
4.5.5 ZONA G V 21
4.5.6 ZONA G VI 21
4.6 PROCESOS Y ESTABILIDAD NATURAL. 24

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO 26

5.1 CAUDAL SOBRE EL TALUD LOCALIZADO FRENTE AL SANTUARIO DE LA PEÑA.27
5.2 CAUDAL SOBRE EL TALUD LOCALIZADO EN EL SECTOR DE LA ESPERANZA. 28

6 ESTUDIO GEOTÉCNICO 30

6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 30
6.1.1 EXPLORACIÓN 30
6.1.2 ENSAYOS IN-SITU Y DE LABORATORIO 30
6.1.3 PERFIL DE SUELO 34
6.2 ANÁLISIS DE SISMICIDAD Y AMENAZA SÍSMICA 35
6.2.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DE AMENAZA 35
6.2.2 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA 36
6.2.3 SISMOLOGÍA 36
6.2.4 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA 37
6.3 EVALUACION DE ESTABILIDAD 38
6.3.1 MECANISMOS DE FALLA POTENCIALES 38
6.3.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 39
6.3.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES 40
6.3.4 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS 41

7 ZONIFICACION POR AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO 43

7.1 ZONIFICACIÓN POR AMENAZA 43
7.1.1 CONDICIÓN ACTUAL 44
7.1.2 SITUACIÓN FUTURA EN LA ZONA A V 44
7.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 45
7.2.1 INVENTARIO DE VIVIENDAS 46

7.2.2 CONDICIÓN ACTUAL 46
7.2.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS POSIBLES 48
7.2.4 ASIGNACIÓN DE SOLICITACIÓN 48
7.2.5 EVALUACIÓN 50
7.3 EVALUACIÓN DE RIESGO 52

8 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN 53

8.1 CONSIDERACIONES GENERALES 53
8.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES 54
8.2.1 MEDIDAS PREVENTIVAS 54
8.2.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN 54
8.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS. 55
8.3.1 MEDIDAS PREVENTIVAS 55
8.3.2 MEDIDAS DE MITIGACIÓN 55
8.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS. 56
8.5 ALTERNATIVAS A CONSIDERAR 58
8.6 ANÁLISIS DE COSTOS DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS Y DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS 58
8.6.1 CANTIDADES DE OBRA APROXIMADAS 58
8.6.2 PRESUPUESTO APROXIMADO DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS 59
8.6.3 PRESUPUESTO APROXIMADO DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS 59
8.7 ÁRBOLES DE DECISIÓN. 60

9 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA 62

9.1 CONSIDERACIONES GENERALES 62
9.2 DETALLE DE SOLUCIÓN PARA ESTABILIZACIÓN 62
9.2.1 FILTRO EN LA ZONA I. 62
9.2.2 RECONFORMACIÓN Y EMPRADIZACIÓN. 63
9.2.3 ECOMATRIX 63
9.2.4 SELLADO DE GRIETAS 63
9.2.5 PROTECCIÓN DE LOS CORTES EFECTUADOS SOBRE LA ROCA EN LA ZONA V. 63
9.2.6 ARBORIZACIÓN 63
9.3 CANTIDADES DE OBRA 64
9.4 PRESUPUESTO 65

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 66

10.1 CONCLUSIONES 66
10.2 RECOMENDACIONES 66

11 BIBLIOGRAFÍA 67

CUADROS

Cuadro No. 6.1. Cuadro resumen de resultados de laboratorio 32
Cuadro No. 6.2. Perfil promedio, para el sector 1. 34
Cuadro No. 6.3. Perfil promedio, para el sector 2. 34
Cuadro No. 6.4. Parámetros geomecánicos 35
Cuadro No. 6.5. Parámetros de resistencia adoptados 40
Cuadro No. 7.1. Niveles de amenaza por FRM 44
Cuadro No. 7.2. Niveles de amenaza para el área en estudio 44
Cuadro No. 7.3. Clasificación de daños 48
Cuadro No. 7.4. Matriz de índices de daños (ID) 49
Cuadro No. 7.5. Categorización de la vulnerabilidad y el riesgo. 50
Cuadro No. 7.6. Evaluación de vulnerabilidad y riesgo por FRM 51
Cuadro No. 8.1. Factores de seguridad para las medidas de estabilización proyectadas. 56
Cuadro No. 8.2. Alternativas consideradas para minimizar los niveles de riesgo del área en estudio. 58
Cuadro No. 8.3. Cantidades de obra aproximadas. 59
Cuadro No. 8.4. Costos aproximados de las obras. 59
Cuadro No. 8.5. Costos aproximados por alternativa consideradas 59
Cuadro No. 8.6. Riesgo asumido en miles de pesos ($ *1000), para cada una de las alternativas evaluadas... 61
Cuadro No. 9.1. Cantidades de obra. 64
Cuadro No. 9.2. Presupuesto 65

FIGURAS Y GRÁFICAS

Figura No. 1.1. Esquema de localización de los sectores en estudio. 2
Figura No. 5.1. Zonas de drenaje en el sector en estudio 27
Figura No. 6.1. Localización de los puntos de exploración geotécnica 31
Gráfica No. 6.1. Perfil de resistencia del sector en estudio 33
Gráfica No. 6.2. Carta de plasticidad 33
Gráfica No. 6.3. Parámetros de resistencia para F.S.=1.0. 40
Figura No. 8.1. Planteamiento de medidas proyectadas. 57

PLANOS

Plano 1 Plano topográfico
Plano 2 Plano de geología regional
Plano 3 Plano de geología local
Plano 4 Plano de geomorfología e inventario de procesos
Plano 5 Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa
Plano 6 Zonificación de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa
Plano 7 Zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa
Plano 8 Localización de las obras de mitigación y detalles de construcción
Plano 9 Perfiles de diseño
Plano 10 Planteamiento paisajístico y mejoramiento urbano

ANEXOS

Anexo A Carteras, esquemas y certificaciones IGAC del levantamiento topográfico
Anexo B Perfiles geotécnicos
Anexo C Resultados de pruebas de laboratorio
Anexo D Modelos para el análisis de estabilidad actual
Anexo E Resultados de los análisis de estabilidad actual
Anexo F Cuadros resumen de la información de las viviendas
Anexo G Modelos para análisis de estabilidad de las medidas proyectadas
Anexo H Resultados de los análisis de estabilidad de las medidas proyectadas
Anexo I Árboles de decisión
Anexo J Análisis de precios unitarios
Anexo K Formularios para el inventario de edificaciones en zonas inestables
Anexo L Gráficas de recurrencia del análisis de riesgo sísmico
Anexo M Especificaciones técnicas de construcción.

RESUMEN

El sector en estudio se encuentra ubicado en el costado occidental de los cerros orientales y comprenden las laderas ubicadas al occidente del Santuario de La Peña y al sur de la cancha de fútbol La Mina. El área de estudio está localizada en la diagonal 5B con carrera 9ª este, localidad de Santa Fe.

Por fines prácticos y a fin de identificar los sectores en estudio se nombraron estos como 1 y 2, ver plano No. 1.

La problemática de cada uno de los sectores es la siguiente:

En la parte baja del sector 1 se ha presentado un deslizamiento de carácter traslacional con un espesor aproximado de 3.0 m, el cual es actualmente contenido por un muro en gaviones, que fue construido por los urbanizadores de las viviendas que se ubican en este sector.

El sector 2 está afectado por un movimiento superficial de carácter reptacional que involucra un espesor aproximado de 1.0 de material residual, producto de la degradación de la arcillolita de la formación Guaduas.

El estudio se desarrolló en varias etapas, las cuales se describen a continuación y se comentan sus resultados:

Los trabajos se iniciaron con un levantamiento topográfico, el cual se plasmó en el plano No. 1. Durante los trabajos de campo se levantaron en el terreno seis (6) secciones, las cuales fueron posteriormente empleados para elaborar los modelos de análisis para estabilidad de taludes.

La etapa de geología y geomorfología se dividió en dos; la primera consistió en tareas de oficina, las cuales consistieron básicamente en identificar con base en la cartografía, información y fotografías aéreas existente, la geología del sector tanto regional como local así como el planteamiento preliminar de la zonificación geomorfológica del sector. Una vez acopiada tal información, se efectuó la segunda etapa, la cual consistió en visitas de campo, mediante las cuales, se corroboró y complemento la información previamente acopiada. Como resultado de estos trabajos se obtuvieron los planos No. 2, 3 y 4, se complementaron las secciones transversales con la información estructural y se generó el capítulo No. 4, estudio geológico, del informe final del estudio.

De manera general se concluye que el sector en estudio se localiza en su totalidad sobre las arcillolitas de la formación Guaduas, delimitadas lateralmente por los suelos residuales del costado occidental y por los rellenos antrópicos localizados sobre el antiguo cauce de la quebrada La Peña, sector que fue canalizado entre la diagonal 5B y la carretera circunvalación, vía que sirve de divisoria de los barrios la Peña y Los Laches.

Mediante el estudio hidrológico se establecieron los caudales de escorrentía que se presentan en el sector en estudio, encontrando que estos son muy pequeños y se debe básicamente a la pequeñas área en estudio y al tipo de cobertura vegetal del sector. De

igual manera, se estableció que éstos no inciden en la inestabilidad de las laderas estudiadas.

El estudio geotécnico se dividió en dos etapas, la primera de ellas consistió en los trabajos de exploración del subsuelo e identificación y clasificación de los diferentes estratos presentes en el sector. Como resultado de esta actividad se definieron los parámetros de resistencia mecánica de cada uno de los estratos identificados, los cuales se presentan a continuación:

Cuadro No. 1. Parámetros de resistencia de los materiales de los sectores en estudio

Material	Cohesión t/m^2	Ángulo de fricción (°)	Peso unitario t/m^3
Rellenos	0.50	15	1.80
Suelo residual	0.80	20	2.05
Arcillolita (macizo rocoso)	4.60	36	2.19
Arcillolita Reblandecida	2.25	31	2.19

La segunda etapa consistió en la evaluación de estabilidad actual de las laderas en estudio, para lo cual, se contó con secciones características de las zonas geomorfológicas definidas previamente; tales secciones se tomaron de los perfiles levantados en campo por la topografía, las cuales fueron complementadas con los datos estructurales, los espesores de cada uno de los estratos encontrados y los parámetros de resistencia establecidos. Como resultado de estas labores, se obtuvieron los factores de seguridad que caracterizan cada una de las zonas geomorfológicas establecidas.

Los trabajos de zonificación consistieron en la identificación y determinación de los diferentes niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que se presentan actualmente en el sector en estudio, planos No. 5, 6 y 7. De manera general a continuación se describen los resultados obtenidos:

Desde el punto de la amenaza, el área en estudio se dividió en cuatro (4) zonas que de acuerdo con los procedimientos seguidos y descritos en el informe, se les asigno los siguientes valores de probabilidad de falla (plano No. 5):

Cuadro No. 2. Niveles de amenaza para el área en estudio

Zona No.	Probabilidad de falla	Nivel de amenaza
I	0.16	Media
III	0.75	Alta
IV	0.95	Muy alta
V	0.58	Alta

Los niveles de amenaza establecidos se encuentran entre los rangos medio a alto, y se deben básicamente a las altas pendientes de las laderas en estudio y los cortes que los habitantes del sector han efectuado, sobre todo en la parte baja de la ladera ubicada en la zona IV. A pesar de lo anterior, el espesor de material que puede moverse, suelo residual y capa vegetal, es muy pequeño.

Los sectores en estudio se caracterizan por presentar niveles de vulnerabilidad bajos a muy bajos, debido en gran parte a la pequeña magnitud de los eventos amenazantes con poder destructor bajo y cortas distancias de viaje de la masa movilizada; aunque en ocasiones los niveles de exposición de los elementos expuestos sean altos.

El Consultor efectuó un ejercicio en el cual consideró la construcción de viviendas en la zona de amenaza V, ya que en esta área se presentaron los últimos asentamientos humanos, y además, son los que han intervenido de la manera más inadecuada la ladera. Como resultado de esta actividad, se pudo establecer que en esta zona el nivel de vulnerabilidad aumentaría a niveles muy altos (MA), debido al volumen importante de material que se deslizaría y la distancia que estos alcanzarían, a causa de los cortes que se efectuarán durante el proceso de construcción de las viviendas.

a los niveles de exposición a que se vería expuestas tales viviendas, a la gran masa de suelo que se deslizaría, a causa de los cortes que tendrían que hacerse para ubicar las viviendas, y a la distancia de viaje que alcanzarían las masas deslizadas.

Los sectores en estudio presentan niveles de riesgo bajos a muy bajos. En la zona IV y V el nivel de riesgo se asocia a la vulnerabilidad de las viviendas, dada la alta amenaza que presenta la zona y el nivel de exposición directa de las estructuras frente a los eventos; sin embargo, el riesgo es más inminente en la zona V, ya que en este sector la totalidad de las casas se ven expuestas a un potencial deslizamiento de la roca, mientras que en la zona IV, el área expuesta de las viviendas corresponde a los patios y el evento asociado es un deslizamiento traslacional del suelo contenido por el muro en gaviones.

Una vez establecidos los niveles de riesgo y frente a las condiciones de amenaza de cada una de las zonas analizadas, se plantearon varias alternativas, de las cuales el Consultor recomienda emplear las siguientes a fin de: minimizar los niveles de amenaza actuales, atenuar la vulnerabilidad y niveles de exposición de las viviendas, y reducir el riesgo en el sector en estudio.

Protección de los cortes efectuados sobre la roca en la zona V.
Se considera un revestimiento de estos cortes mediante una malla electrosoldada, la cual se sujetará a la roca mediante un arreglo de pernos; la protección de esta solución se hará mediante un recubrimiento de mortero colocado a mano sobre la malla electrosoldada.

Protección con Ecomatrix.
Mediante el empleo del manto sintético Ecomatrix de PAVCO, se busca cubrir, proteger y revegetalizar el escarpe de falla que se observa detrás y a lo largo de los predios que se encuentran ubicados dentro de la zona IV.

Perfilado y empradización.
Con esta medida se busca reconformar dos sectores de la zona III que presentan pequeños escarpes y material suelto.

Filtro en la zona I.
Con el fin de mejorar la estabilidad en las cercanías de la vía, se ha previsto la construcción de un filtro transversal de 15.0 m de longitud, paralelo a ésta, el cual captara y conducirá las aguas de infiltración provenientes tanto de la misma vía como de la cuenca ubicada al oriente de la misma, hacia un filtro que se diseño y que discurre transversalmente por la ladera hacia una caja de inspección existente en las cercanías de la cancha de fútbol. El agua colectada en la caja es llevada al sistema de alcantarillado mediante un colector. La longitud total del filtro diseñado es de 90.0 m.

Sellado de grietas
Dentro del sector en estudio existen una serie de grietas a través de las cuales se infiltra el agua de escorrentía o lluvia; así que se ha previsto el sellado de éstas mediante una mezcla de arcilla del sector y cal.

Arborización
Debe destacarse que los árboles cumplirán una doble función: la primera de ellas, consistirá en dotar de estructura al suelo residual y rellenos a fin de mejorar las condiciones de resistencia del mismo; la segunda, será la de controlar y mantener deprimido el nivel freático que se llegue a presentar.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó dentro del marco del contrato de Consultoría No. CCS-629/99, celebrado ente la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Santa Fe de Bogotá y Civiles Ltda y cuyo objeto es: " Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio La Peña, Localidad de Santa Fe, de Santa Fe de Bogotá D.C.".

El presente estudio se desarrolló durante el periodo comprendido entre el 5 de enero y el 3 de abril de 2000; su finalidad es la determinación de los niveles de riesgos que se presentan en la zona de estudio y el planteamiento detallado de las obras para estabilizar los movimientos en masa que allí se presentan.

Los sectores en estudio se encuentran ubicados en el costado occidental de los cerros orientales y comprende la ladera ubicada al oriente del Santuario de La Peña y al sur de la cancha de fútbol del sector. El área de estudio está localizada en la diagonal 5B con carrera 9A este, localidad de Santa Fe (figura No. 1.1).

En la parte baja del sector 1 se ha presentado un deslizamiento de carácter traslacional y esta actualmente contenido por un muro en gaviones, que fue construido por los urbanizadores de las viviendas que se ubican en este sector.

El sector 2 está afectado por un movimiento superficial de carácter reptacional que involucra un espesor aproximado de 1.0 de material residual, producto de la degradación de la arcillolita de la formación Guaduas.

El trabajo desarrollado tiene como objetivo estudiar los sectores ya referida a fin de proponer las medidas correctivas y de mitigación tendientes a estabilizar el área en estudio. El presente estudio se llevó hasta el nivel de diseño de las obras y medidas recomendadas para garantizar la estabilidad del área.

A lo largo del presente informe, se consignan los resultados obtenidos de las labores ejecutadas a lo largo del estudio. En campo se ejecutaron actividades tales como: levantamiento topográfico, geológico, exploración geotécnica y evaluación de las viviendas. Con la información acopiada de las anteriores actividades mas la colectada de los estudios efectuados en la localidad, se inició en oficina la evaluación hidráulica e hidrogeológica del área, la evaluación geotécnica y geomecánica de los materiales de los sectores, y la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, con lo cual, se identificaron las zonas en las cuales es necesario emprender obras de ingeniería a fin de estabilizar el área en estudio.

Las obras recomendadas para estabilizar el área en estudio se detallan en le capítulo 9.

Figura No. 1.1. Esquema de localización de los sectores en estudio.

1 GENERALIDADES

1.1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La dirección del estudio, a partir de los términos de referencia planteó como objetivos principales los siguientes:

- Caracterizar el área en estudio tanto desde el punto de vista geotécnico como geológico.
- Identificar los fenómenos de movimiento que se están presentando en el área de estudio.
- Identificar y ubicar las diferentes causas que han generado el movimiento reptacional en el sector; de igual manera determinar la evolución a lo largo del tiempo de este proceso.
- Una vez identificados los movimientos presentes en el sector, clasificarlos para obtener una zonificación por amenaza del área en estudio.
- Con base en la información acopiada evaluar la vulnerabilidad de la población y de la infraestructura existente ante los movimientos que se puedan y/o que se están presentando.
- Analizar y establecer la condición y los niveles de riesgos a los cuales están expuestas las personas y la infraestructura del sector.
- A partir de los análisis efectuados, preparar y diseñar soluciones preventivas y/o correctivas a los problemas de estabilidad que afectan el sector en estudio.
- Llevar a cabo un planteamiento arquitectónico y urbanístico tanto de las obras diseñadas como del entorno en general.
- Calcular las cantidades de obra, presupuestos y especificaciones técnicas de las obras y alternativas de mitigación planteadas como solución para estabilizar el sector en estudio.

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO.

El estudio se llevó hasta la etapa de zonificación por amenaza y riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa del área en estudio, y hasta el nivel de diseño de las obras recomendadas para mitigar los problemas de inestabilidad de las laderas.

Definidas y diseñadas todas la obras y acciones posibles a seguir para garantizar la estabilidad del sector, se llevó a cabo una evaluación socioeconómica de las posibles alternativas a emprender y de las cuales el consorcio Consultor recomienda la más viable tanto desde el punto de vista socioeconómico como técnico.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Para alcanzar los objetivos propuestos en los términos de referencia se realizarán las siguientes Actividades:

1.3.1 Marco General

Recopilación de información previa, clasificación y análisis
Se inició con la recopilación y clasificación de la información en los diferentes centros distritales de consulta y las entidades de orden regional y nacional en relación con el área en estudio.

Se llevó a cabo encuestas en cada una de las viviendas del área en estudio, para lo cual, el Consultor diseñó un formato adecuada para las condiciones del problema y en el cual se hizo énfasis en aquellos aspectos puntuales y relevantes de las viviendas que están o puedan ser afectados por los fenómenos de inestabilidad presentes.

Evaluación preliminar del riesgo zonal
Se llevó a cabo una calificación preliminar del tipo y concentración de fenómenos existentes en las laderas, con lo cual se clasificó de manera manual y preliminar el área en movimiento y las zonas aledañas. En esta evaluación preliminar se tuvo en cuenta ante todo las condiciones morfológicas del sector, las cuales resultan muy útiles en la identificación de los potenciales mecanismos de falla.

1.3.2 Análisis de Elementos Intrínsecos de Susceptibilidad de Inestabilidad

En esta etapa se recopiló la información que permite la identificación de los factores inherentes de inestabilidad del terreno.

Cartografía
Se adquirieron fotografías aéreas del sector, a la escala adecuada para los propósitos del estudio. De igual manera se contó con las planchas M-11 y M-12 de 1981 a escala 1:2000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Levantamiento Topográfico
Se realizó una topografía general del sector a estudiar, plano No. 1, y el levantamiento de seis (6) secciones topográficas para los análisis de los principales mecanismos y las tendencias de flujo superficial y profundo. La cartografía desarrollada, a escala 1:500, con

curvas de nivel cada 1.0 m, sirve como base para la ejecución de las diferentes actividades así como para plasmar los resultados derivados de las mismas. Así mismo, permite conjuntamente con las planchas IGAC evaluar el drenaje y las zonas de acumulación.

Para el procesamiento de la información se emplearon los siguientes programas:

TOPOGRAF. Para el cálculo de las coordenadas de los puntos levantados.
EAGLE POINT. Para la interpolación de las curvas de nivel.

Geología e Hidrogeología

Se partió de la cartografía geológica existente y se complementó con la información acopiada del análisis fotogeológico efectuado durante el estudio. En tal estudio se identificaron los contactos litológicos y su geometría, con lo cual se evaluó la posible influencia de tales rasgos sobre los fenómenos evidentes de inestabilidad. Posteriormente se verificó y complementó esta información en campo y con los datos acopiados durante la exploración geotécnica. Como resultado de las labores geológicas se produjeron los planos de levantamiento geológico regional, y locales del sector en estudio, cortes geológicos y una memoria específica de la disciplina.

Se identificaron cursos de agua existentes, afloramientos de agua, acuíferos, zonas de empozamiento e infiltración, con lo cual se propusieron modelos hidrogeológicos de las laderas que permitieron relacionar la presencia de agua en las zonas inestables con la existencia de rasgos estructurales en los macizos rocosos, así como la presencia de materiales permeables. Como resultado de esta actividad se identificaron detalles geológicos e hidrogeológicos de las masas en movimiento, que permitieron interpretar la posible influencia de estos aspectos sobre los fenómenos de inestabilidad.

Los resultados del estudio geológico se plasmaron en los planos No. 2 y 3.

Geomorfología

A partir del análisis de fotografías aéreas se identificaron las formas generales del relieve las cuales se comprobaron en terreno. Como resultado de esta actividad se identificaron los procesos modeladores de las geoformas actuantes en el sector y su incidencia sobre la estabilidad. Se evaluó la existencia de áreas expuestas y/o sometidas a erosión y el grado de afectación de las mismas, de manera que esta información se plasmó en el plano No. 4.

Uso de la tierra

Con base en la información acopiada se identificaron sobre la cartografía las áreas pobladas, tipos de construcciones, zonas verdes, áreas con vegetación y tipos, zonas de rellenos y vertimientos, etc. Posteriormente esta información se analizó para definir la influencia de estos elementos sobre los fenómenos manifiestos de inestabilidad y sobre la degradación del medio geosférico. Esta información posteriormente se empleó en los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgos.

1.3.3 Identificación de Zonas Inestables

La información allegada en las etapas anteriores se estudió y evaluó de manera conjunta por todas las disciplinas que intervienen en el estudio, con lo cual, se identificaron las diferentes zonas en los cuales se presentan situaciones de inestabilidad y en las cuales se concentraron las actividades posteriores del estudio tales como: análisis y zonificación

de amenaza, análisis de vulnerabilidad, evaluación de riesgo y planteamiento de las diferentes medidas de mitigación, prevención y control.

1.3.4 Evaluación de Agentes Detonantes

Paralelamente y bajo la línea metodológica anterior, se llevó a cabo la evaluación de aquellos factores que inciden de manera particular en la generación de fenómenos de inestabilidad, tales como:

Aspectos climáticos, hidrológicos y meteorológicos

Se llevó a cabo una evaluación hidrogeológica de la microcuenca aferente al sector en estudio, para lo cual se colectaron los datos de pluviosidad de estaciones en el área de estudio y en zonas aledañas. Utilizando modelos adecuados para el sito, de acuerdo con su cobertura, se estimaron caudales de escorrentía, con lo cual se evaluó la influencia de las lluvias sobre los niveles piezométricos en las laderas.

Aspectos sismológicos

Se estudió la posible influencia de solicitaciones cíclicas debidas a eventos sísmicos, para lo cual se llevó a cabo un análisis sísmico específico del sector en estudio. El resGultado de este análisis consistió en la estimación de la aceleración horizontal que se empleó en la modelación seudoestática de los taludes y laderas.

Erosión

A pesar de no evidenciarse problemas a causa de la erosión natural en las dos laderas, se verificó si existen zonas afectadas por tal fenómeno. Se prestó especial atención a la socavación provocada por los habitantes en la ladera del sector 1, la cual incide de manera radical en los fenómenos de inestabilidad del sitio.

Factores antrópicos

Se localizaron y cartografiaron todos aquellos factores generados por el hombre que originan y aceleran los procesos de inestabilidad tales como: cortes, rellenos y conexiones o descargas inadecuadas de agua tanto potable como servidas.

La identificación de estos elementos permitió complementar los modelos geotécnicos empleados en la evaluación de estabilidad de los diferentes sectores identificados previamente.

Adicionalmente estos elementos se tubieron en cuenta para el planteamiento de las soluciones.

1.3.5 Caracterización Geotécnica de los Materiales

A partir de la información preliminar y con el propósito de identificar los materiales existentes y su espesor, se llevó a cabo una primera exploración geotécnica mediante dos (2) trinchera y cuatro (4) sondeos con equipo de accionamiento manual en el sector 1; en el sector 2 se efectuaron dos (2) sondeos con barreno y dos (2) trincheras; posteriormente se complemento la exploración con dos (29 sondeos en el sector 1 y dos (2) sondeos y un apique en el sector 2. La localización de los puntos de exploración se indica en la figura No. 6.1.

Durante los trabajos en campo se llevaron a cabo ensayos mecánicos tales como:

- Resistencia a la penetración inalterada con el penetrómetro de bolsillo
- Ensayo de penetración estándar.

Durante los sondeos se recuperan muestras inalteradas mediante el tubo de pared delgada, remoldeadas mediante la cuchara partida y en bolsa. A estas muestras se les practicaron ensayos de laboratorio tales como:

- De clasificación:

  Límites de Atterberg
  Humedad natural
  Peso unitario

- De resistencia

  Compresión inconfinada
  Corte directo

1.3.6 Evaluación de Estabilidad

Una vez efectuados los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y la caracterización geotécnica, se realizó un análisis generales de estabilidad para secciones típicas de la ladera mediante el programa PCSTABLE. Estos análisis permitieron establecer las zonas inestables y así, determinar la zonificación por amenaza del área en estudio.

1.3.7 Análisis y Zonificación de Amenaza

En principio la evaluación de la amenaza se adelantó mediante técnicas determinísticas en términos de Factor de seguridad, la aproximación a la probabilidad de falla se adelantó por el método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth, evaluando la variación de los parámetros de resistencia (cohesión y fricción) y tomando como variables aleatorias los agentes detonantes de los deslizamientos como la lluvia y el sismo. Como resultado se generó el plano No. 5.

1.3.8 Análisis de Vulnerabilidad

Una vez establecida las características principales de los diferentes tipos de falla que se presentan en las diferentes laderas que conforman el área en estudio, se evaluó la vulnerabilidad con base en el modelo establecido por Leone, 1996 y se generó el plano No. 6.

Para lo anterior se adelantó el inventario de los diferentes predios que se encuentran dentro del área en estudio, con base en un formato de toma de datos que permitió de manera muy rápida y sin entrar en detalles, evaluar la condición estructural de las viviendas, densidad de ocupación, establecer el área de construcción y de manera preliminar los costos de las mismas.

1.3.9 Evaluación de Riesgo

Para determinar el nivel de riesgo de cada una de las viviendas en el sector de estudio se combinaron los resultados obtenidos tanto de los análisis de amenaza como de vulnerabilidad. Como resultado de esta actividad se obtuvo la zonificación de riesgo del área en estudio, plano No. 7.

El análisis de riesgo se adelantó para la condición actual.

1.3.10 Calificación y Planteamiento De Medidas de Mitigación

La zonificación realizada por riesgos se analizó a la luz de los criterios ingenieriles buscando medidas capaces de atenuar los factores de riesgo con medidas preventivas, correctivas y de control, orientadas a atenuar la amenaza y reducir la vulnerabilidad.

Las medidas preventivas se orientaron a evitar y/o minimizar el riesgo ante los eventos que se generarían por el colapso de los ya existentes.

También se consideraron las medidas ingenieriles, tendientes a controlar y atenuar los movimientos que actualmente se presentan.

De esta actividad se obtuvieron la figura 8.1, planteamiento de las medidas proyectadas, y los planos No. 8 y 9.

1.3.11 Estudio de Mejoramiento Urbano

Una vez establecidas las obras de estabilización, se llevó a cabo un planteamiento de integración paisajística, obteniendo como resultado el plano de planteamiento paisajístico y mejoras urbanas, plano No. 10, el cual es el producto del concurso de todas las disciplinas que intervinieron en el proyecto.

1.3.12 Informe y Planos

Como resultado de las actividades antes descritas, se obtuvo la cartografía que a continuación se describe y el informe respectivo, en el cual se comentan las actividades desarrolladas durante el estudio y presentan los resultados obtenidos en cada una de las actividades efectuadas.

Plano 1	Plano topográfico
Plano 2	Plano de geología regional
Plano 3	Plano de geología local
Plano 4	Plano de geomorfología e inventario de procesos
Plano 5	Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa
Plano 6	Zonificación de vulnerabilidad por fenómenos de remoción en masa
Plano 7	Zonificación de riesgo por fenómenos de remoción en masa
Plano 8	Localización de las obras de mitigación y detalles de construcción
Plano 9	Secciones de diseño
Plano 10	Planteamiento paisajístico y mejoramiento urbano

2 DIAGNÓSTICO CONCEPTUAL

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

El sector estudio se encuentra ubicado en la localidad de Santa Fe, al sur oriente de Santa Fe de Bogotá y a la altura de la diagonal 5B con carrera 9A. Allí se busca estudiar dos sectores; uno de ellos corresponde a la ladera ubicada inmediatamente al noroccidente de la iglesia de La Peña, sector que comprende aproximadamente 0.5 Ha, y en el cual existen 30 viviendas. El segundo sector a estudiar se encuentra ubicado aproximadamente a 500 m al sur de la iglesia y corresponde a la ladera ubicada inmediatamente al suroriental de una cancha de fútbol del barrio. Esta área abarca aproximadamente 0.350 Ha y contiene en promedio unas 11 casas.

Los dos sectores que conforman el área a estudiar son zonas verdes ubicadas sobre laderas con pendientes fuertes.

En la parte inferior y a lo largo de la ladera ubicada en el sector 1, noroccidente de la iglesia de La Peña, se presenta un deslizamiento de carácter traslacional, el cual se debe a los cortes efectuados en la pata de la ladera por los habitantes de las viviendas ubicadas allí. Este afecta principalmente suelos residuales sobre arcillolitas y algunos rellenos y coluviones locales, que están contenidos por un muro en gaviones.

El segundo sector, ubicado en el costado sororiental de la cancha de fútbol, se ve afectado por un reptamiento de carácter superficial, el cual puede deberse a la meteorización de una capa superficial de la roca parental del lugar, a causa de los grandes flujos de agua lluvia que caen en esta zona de los cerros orientales. El anterior factor asociado a las altas pendientes de las laderas puede ser el efecto detonante del reptamiento.

2.2 DELIMITACIÓN GEOMÉTRICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ver figura No. 1.1. Esquema de localización del sector en estudio, página 2.

2.3 REQUERIMIENTOS DE TOPOGRAFÍA Y EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

A nivel de topografía se requiere un levantamiento detallado del sector a estudiar, en el cual se hace énfasis en aquellos sectores en los cuales se evidencia inestabilidad. Esta

actividad arrojó como resultado un plano a escala 1:500 y seis (6) secciones que caracterizan las laderas en estudio.

Desde el punto de vista de la exploración del subsuelo se consideró necesario efectuar de manera preliminar seis perforaciones con barreno de accionamiento manual, a fin de identificar el espesor del material meteorizado y la profundidad de la roca parental, lo mismo que una trinchera excavada en cada zona. Posteriormente y con base en la información acopiada previamente, se programó la ejecución de apiques para recuperar muestras en bloque.

Las muestras recuperadas durante la exploración se sometieron a ensayos de clasificación y pruebas de resistencia, a fin de obtener los parámetros de resistencia de los diferentes estratos constitutivos del subsuelo.

2.4 MODELOS Y METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS

Una vez ejecutados los análisis de estabilidad mediante los programas Pcstable y Gwedgem entre otros, se llevará a cabo la sectorización por amenaza del sector en estudio, para lo cual se contará con los resultados obtenidos previamente. La asignación de los valores de la probabilidad de falla de cada una de las zonas de amenaza establecidas se hará mediante procedimientos probabilísticos y determinísticos claramente válidos como el Rosenblueth (1975,1985)

Una vez sectorizado por amenaza se procederá a evaluar el sector desde el punto de vista de vulnerabilidad, para lo cual se podrá emplear la metodología de Leone (1996) y las modificaciones planteadas por Gonzáles et al (1998) al respecto. Se adelantan actualmente modificaciones adicionales para adaptar el modelo a las condiciones particulares del sitio en estudio.

Dentro del análisis de vulnerabilidad se hace necesario conocer entre otros aspectos técnicos: tipo y estado de las construcciones, servicios con los que cuenta, etc.; y aspectos sociales como: cantidad de habitantes por predio, ocupación y educación de los mismos, etc. Para conocer éstos y otros aspectos que se consideren relevantes , se aplicarán encuestas directas efectuadas en cada uno de los predios.

El nivel de riesgo se determinará evaluando conjuntamente la información obtenida en os análisis de amenaza y vulnerabilidad efectuados.

2.5 EVALUACIÓN CONCEPTUAL DE LA AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DEL ÁREA EN ESTUDIO

2.5.1 Amenaza

En el sector de la ladera noroccidental de la iglesia, la amenaza esta asociada con el deslizamiento de carácter traslacional que se ha presentado en la pata de la ladera. Allí se han efectuado cortes de manera artesanal por parte de los habitantes de las viviendas

con el fin de construir los patios de sus casas. Estos cortes han desestabilizado la ladera y ocasionado el desprendimiento del material causando el deslizamiento que ahora se presenta en el sector.

En la ladera suroriental de la cancha de fútbol el fenómeno es menos drástico que el anterior, sin embargo, éste se puede degenerar y afectar tanto las casas ubicadas en la parte alta de la ladera como en la cancha de fútbol.

2.5.2 Vulnerabilidad

Considerando que la vulnerabilidad está asociada con el tipo de viviendas del sector y los diferentes elementos de la infraestructura como redes vitales, vías de acceso y demás, el Consultor considera de manera preliminar que el sector donde están ubicadas las viviendas al noroccidente de la iglesia presente un nivel de amenaza alta, debido al tipo y magnitud del deslizamiento presente.

El sector de la ladera suroriental de la cancha de fútbol exhibe niveles de amenaza mucho más bajos debido precisamente al tipo de movimiento que allí se presenta (reptamiento), al tipo y ubicación de las viviendas que pueden verse afectadas por el movimiento presente.

2.5.3 Riesgos

En vista de lo expuesto anteriormente se considera que las casas ubicadas en la pata de la ladera noroccidental de la iglesia presenta niveles de amenaza medios a altos, mientras que en el sector de la ladera suroriental de la cancha de fútbol los niveles de riesgo son bajos.

2.6 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

De manera preliminar se considera que en el sector de la ladera noroccidental de la iglesia se hace necesario recurrir a sistemas de contención en la pata de la misma a fin de contener el material que se ha deslizado, posteriormente se considera necesario la reconformación del cuerpo del deslizamiento y la reforestación del mismo; por último y con el fin de sostener el material de la ladera que puede verse visto afectado por el desprendimiento de materiales en la pata, se puede prever la construcción de elementos puntuales de contención.

En le sector de la ladera del costado suroriental de la cancha de fútbol, se considera necesario efectuar una reforestación con árboles nativos de la zona con el fin de contener el material que esta reptando.

De ser necesario se propondrán medidas tendientes a colectar, conducir y descargar tanto la escorrentía como el agua infiltrada. Para tal fin se considerarán medidas como cunetas experimentales y de coronación, filtros, drenes, etc. De igual manera se verificará si existe incidencia de los sistemas de acueducto y alcantarillado de las casas del sector.

Dentro del alcance del estudio se harán las recomendaciones necesarias para las obras de mitigación sobre aquella infraestructura que no competen al DPAE pero que comprometen tanto la estabilidad de la ladera como la durabilidad y eficiencia de las obras

diseñadas; tal es el caso, por ejemplo, del mantenimiento de la antigua vía circunvalar, vía a cargo del IDU.

Es claro que las medidas que se diseñen dependerán de los análisis de riesgo que se efectúen.

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

3.1 METODOLOGÍA

Para efectuar correctamente el cubrimiento de las áreas a estudiar se empleó el método de radiación a partir de una poligonal básica.

Mediante la aplicación de este método se tomó cada uno de los detalles topográficos de relevancia para el estudio como zonas inestables actualmente, escarpes, linderos de viviendas, caminos peatonales, vías vehiculares, postes y demás elementos de las redes de servicios. Así mismo, se localizaron los sitios de interés especial para las demás áreas involucradas en el proyecto, como son los puntos de exploración del subsuelo para la toma de muestras y su posterior análisis desde el punto de vista de geología y geotecnia.

Igualmente, aprovechando el equipo electrónico utilizado, se incluyó en el proceso de levantamiento la radiación de los puntos del terreno donde se presentan los cambios de pendiente y escalonamientos, para posteriormente conformar el plano de curvas de nivel representativas de la configuración de la ladera en estudio.

3.2 EQUIPO UTILIZADO

Para Las labores de campo se utilizó equipo electrónico de alta precisión, representado en una estación total **TOPKON GTS 210** con memoria incorporada (Cartera electrónica), el cual es operado por personal especializado.

Para las labores de oficina se empleó software especializado, propio del equipo y ayudas **AUTOCAD**, con el apoyo de equipo de computo compatible con estos.

3.3 PROCEDIMIENTO

3.3.1 Labores de campo

El procedimiento que se empleó para el desarrollo de las labores de campo fue el siguiente:

Inicialmente se materializaron dos poligonales cerradas que, en términos generales, rodean el sector a estudiar; con el fin de tener visibilidad de la totalidad de los detalles a levantar. Adicionalmente, con el objeto de facilitar la toma de información y cubrir con mayor detalle el área en estudio, se materializaron puntos auxiliares, externos a la citada poligonal, desde los cuales se efectuó la radiación para información complementaria.

Posteriormente, se efectuó la radiación de los detalles topográficos a partir de los vértices de esta poligonal. Para tal efecto, los diferentes tipos de detalle han sido previamente codificados para facilitar el proceso de la información levantada en el terreno.

Como paso siguiente, se procedió con el amarre de la poligonal a los vértices geodésicos accesibles en el sector así:

CD N° 556 de Coordenadas 98,654.521 m Norte
100,754.970 m Este
Cota 2,821.455 msnm.

Señal de azimut en el **CD N° 557 A** con azimut **38°23´36.804"**

Finalmente, se materializaron puntos de referencia, que permiten el replanteo de la citada poligonal y la localización de las diferentes obras que el Consultor plantee construir como solución al problema de inestabilidad, objeto del presente estudio.

3.3.2 Labores de oficina

Con la información levantada en el terreno se procedió a verificar el cierre de las poligonales configuradas, las cuales arrojan una precisión del orden de 1:30.000, aceptable para este tipo de estudios.

Posteriormente, se incorporó la información referente a las placas de amarre **CD#556** y **CD#567A**, en el sistema para tener las poligonales ligadas al sistema **IGAC**. Con los puntos básicos convenientemente localizados (Sistema de coordenadas) se procede, mediante el software del equipo, a ubicar cada uno de los detalles topográficos levantados, para los cuales se cuenta con coordenadas Norte, Este y su respectiva cota referida igualmente a los **CDs** de amarre.

Una vez se tiene la nube de puntos se procede con la interpretación gráfica y la conformación del plano topográfico propiamente dicho, en el cual se identifican los detalles del terreno, citados en la parte inicial de este texto, y se configuran así mismo las curvas de nivel representativas del área a estudiar.

Como resultado de las diferentes labores descritas, se obtiene el plano topográfico actualizado del sector, ligado a los **CDs** del sistema **IGAC** para Santa Fe de Bogotá.

Anexo al presente documento se envían las carteras de campo, el reporte de la estación electrónica y la certificación expedida por el **IGAC**.

En el anexo A se presentan las carteras, tanto de campo como digitales; los esquemas tomados en campo y las certificaciones IGAC de los puntos empleados para amarrar el levantamiento topográfico.

4 ESTUDIO GEOLÓGICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El estudio geológico se orientó en los siguientes aspectos:

- Determinación de los rasgos litológicos y estructurales a nivel regional y su incidencia en el sector del proyecto.

- Delimitación de las diferentes unidades de roca y suelo que conforman las laderas donde se localiza el Barrio la Peña y la zona del Santuario.

- Identificación y evaluación de las condiciones estructurales del macizo y su influencia en los procesos de inestabilidad que se observan en la parte baja de la ladera, aledaña a las construcciones del Barrio La Peña.

- Identificación y evaluación de los principales factores naturales y antrópicos que han controlado la estabilidad de las laderas del área de estudio.

Mediante la fotointerpretación del registro de fotografías aéreas en un período de 20 años (década de los 70 y década de los 90) y el análisis de información complementada con observaciones en el terreno y resultados de la exploración geotécnica, se elaboró un mapa geológico detallado del sector en estudio, en el cual se ilustran las diferentes unidades litológicas y suelos.

Para la evaluación geomofológica se realizó una delimitación de los diferentes segmentos de ladera que configuran los terrenos del área de estudio con una evaluación de los factores: (litología, suelos, condición estructural y régimen de agua), que han controlado la estabilidad de cada componente del terreno. Como resultado de este análisis se identificaron cuatro segmentos de ladera que son presentados en el mapa de zonificación geomorfológica.

4.2 GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con la cartografía regional elaborada por Ingeocim Ltda (1998) y el mapa geológico del estudio de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá, realizado por Ingeominas (1997), las unidades litológicas expuestas en los sectores en estudio corresponden a las rocas arcillosas de la formación Guaduas de edad terciaria inferior.

En el plano No 2, se presenta un mapa de la geológica regional del área de estudio, de acuerdo con la información cartográfica existente, donde se exponen por el costado oriental las rocas sedimentarias del grupo Guadalupe formando las laderas escarpadas de los cerros orientales. Igualmente en este plano, se presenta la geología regional de acuerdo con los resultados de la fotointerpretación y plasmada en la cartografía 1:2000 del IGAC de 1981.

Por el costado oriental y a una distancia aproximada a 400m de los límites del área de estudio cruza la falla de los cerros orientales con inclinación de 70º a 80º hacía el oriente que pone en contacto las rocas arcillosas de la formación Guaduas con las unidades de areniscas del grupo Guadalupe y determinan el patrón de fracturamiento del macizo.

4.2.1 Grupo Guadalupe (Kg)

Se compone de tres niveles denominados Formaciones de Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca tierna de Labor.

4.2.1.1 Formación de Arenisca Dura (Kgd)

Está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas, de color gris claro, amarillo a blanco, de grano fino, y bien cementadas, con intercalaciones de limolitas y arcillolitas silíceas. Normalmente se encuentra intensamente fracturada, razón por la cual resulta de importancia como acuífero, aparte de su utilidad como fuente de material de construcción para rellenos y capas de pavimento, lo mismo que para piedra de revestimiento y sillares de construcciones.

La Formación de arenisca dura se encuentra entre las Formaciones de Chipaque (inferior) y Plaeners (superior). Se le asigna edad Conaciano-Campaniana y se le atribuye depositación en ambiente litoral a sublitoral.

4.2.1.2 Formación Plaeners (Kgp)

Dentro de ella se diferencian tres conjuntos: el de la base tiene predominio de arcillolitas, arcillolitas silíceas y limolitas; el central presenta alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas, en tanto que el superior muestra predominio de limolitas y arcillolitas silíceas.

Se encuentra sobre la arenisca dura, e infrayaciendo a la Arenisca de Labor o Arenisca Tierna. Es también muy utilizada como material de construcción de rellenos. Se le atribuye depositación en ambiente marino de llanura de lodo, con influencia de sedimentación en barras y canales.

4.2.1.3 Formación Arenisca de Labor o Arenisca Tierna (Kglt)

En la base de la formación predomina un conjunto de areniscas cuarzosas, de color gris claro y de grano muy fino a medio, que esporádicamente varía hasta grueso. Son ligeramente friables a duras y se suelen presentar con delgadas intercalaciones de limolitas y arcillolitas silíceas.

En la porción intermedia de la formación se encuentra un conjunto de arcillolitas silíceas y limolitas.

El conjunto superior está constituido por areniscas cuarzosas y feldespáticas, de color gris claro, friables, con intercalaciones esporádicas de lodolitas y arcillolitas.

Se suele atribuir depositación en ambiente litoral o sublitoral y edad Maestrichtiana inferior a media. Por encontrarse muy fracturadas constituyen el principal acuífero de la Sabana de Bogotá y proporcionan materiales para construcción, en particular para piedras de revestimiento y en la producción de arenas de peña.

4.2.2 Formación Guaduas (Ktg)

Se encuentra entre las Formaciones Labor (inferior) y Cacho (Superior). Consta de tres niveles, entre los cuales el inferior y el superior son esencialmente arcillosos en tanto que el intermedio muestra predominancia de areniscas. En los tres se encuentran intercalaciones de carbón. El contacto inferior con la Formación Labor es normal, si bien se encuentra fallado en el Piedemonte oriental. En cambio, con la Formación Cacho suprayacente se encuentra en contacto disconforme y, en el Flanco occidental del Sinclinal de Usme-Tunjuelito el contacto con la Formación Bogotá es fallado.

Se le atribuye ambiente de depositación marino para la porción inferior y deltaico para las otras dos partes. Se le asigna una edad entre Maestrichtiana Superior y Paleocena Inferior.

Por el costado occidental a partir de la diagonal 15, hacía el Barrio Los Laches, se exponen suelos de origen coluvial conformados por gravas y bloques en matriz limoarenosa con un origen asociado a los procesos de denudación de los cerros orientales.

En el plano No 2 y a escala 1:2000, se observa que el sector en estudio se localiza en su totalidad sobre las arcillolitas de la formación Guaduas, delimitadas lateralmente por los suelos coluviales del costado occidental y por los rellenos antrópicos localizados sobre el antiguo cauce de la quebrada La Peña, sector que fue canalizado entre la diagonal 5B y la carretera circunvalación, que sirve de divisoria de los barrios la Peña y Los Laches.

4.3 GEOLOGÍA LOCAL

4.3.1 Unidades Arcillosas

A nivel local se identifican los siguientes cuerpos de roca pertenecientes a la formación Guaduas, presentados en el plano No 3, Geología local:

- Un nivel inferior de arcillolitas grises, con intercalaciones de areniscas, que se exponen en el costado oriental del Santuario, sobre la carretera de circunvalación. Estratigráficamente estas unidades se localizan en la parte inferior de la formación Guaduas, presenta una disposición estructural hacía el oriente en posición aparentemente invertida.

- Un nivel intermedio de arcillolitas grises y lodolitas, en capas delgadas de 2 a 30 cm, laminadas con algunas intercalaciones de areniscas, niveles de lutitas carbonosas y mantos de carbón que se exponen en el costado norte del campo de fútbol. De

acuerdo con versiones de los habitantes en el campo de fútbol se localizan socavones dejados por las explotaciones de los mantos de carbón.

- Una unidad superior de lodolitas y arcillolitas de color gris, en capas laminadas, fracturadas, oxidadas y muy replegadas. Esta unidad se expone en el costado nororiental, entre el Santuario y el límite de las construcciones del Barrio La Peña, sobre la diagonal 5A, donde se presenta cubierta por las unidades de suelos coluviales. En la superficie, esta unidad de arcillolitas y lodolitas presenta una condición de meteorización moderada, de fácil disgregación en clastos de 1 a 3 pulgadas, en fragmentos oxidados y parcialmente plásticos.

4.3.2 Suelos y depósitos cuaternarios

Dentro del área de estudio se diferencias los siguientes tipos de materiales y que se ilustran en el plano No. 3, geología local:

Rellenos Antrópicos (Ro): Estos materiales se exponen indiscriminadamente en las laderas del área de estudio y están compuestos por arcillas de color gris y escombros de construcción provenientes de los cortes de las vías de acceso y de las construcciones del barrio. Presentan espesores que varían entre 1.5 y 1.0m de espesor, de acuerdo con los resultados de la investigación del subsuelo. Los rellenos de mayor interés se localizan en las laderas del costado norte que delimitan las construcciones del barrio La Peña.

Depósitos de Flujo (Cf): Estos materiales se exponen en el costado suroriental de la cancha de fútbol, presentan una amplitud aproximada de 20m y se asocian a un antiguo drenaje cuyo cauce actualmente se presenta obstruido. Estos depósitos están compuestos por arcillosas con un espesor promedio de 2m , en una condición de saturación generada por la afluencia de aguas de infiltración del drenaje natural.

Suelo Residual (Sr-w5): Estos materiales se exponen superficialmente en cada una de las laderas de estudio y están compuestos por limos arcillosos amarillos de consistencia baja, plasticidad media y de características comprensibles; identificados en los diferentes apiques y sondeos de la investigación del subsuelo y con espesores que varían entre 0.5 y 1.0m. Estos suelos cambian en profundidad a un perfil de arcillolitas meteorizadas, caracterizadas por su disgregación en clastos menores de 3 pulgadas, muy oxidados y parcialmente plásticos, horizonte clasificado en el grado W3 del perfil de meteorización de rocas arcillosas.

4.4 CONDICIONES ESTRUCTURALES.

Las unidades de arcillolitas presentan en general una orientación N30E a N40E, con buzamientos en el sector oriental de 45º al este y en costado occidental de 40º a 60º hacía el noroeste. En el costado norte del proyecto las unidades de lodolitas y arcillolitas presentan un rumbo con orientación N70-80W con buzamientos de 40º a 70º al noreste, condición parcialmente desfavorable a los cortes de excavación observados en la parte baja de la ladera.

La variación en la orientación e inclinación de las unidades obedece a un replegamiento local.

Las observaciones sobre el talud que delimita las construcciones del barrio La Peña identifican los siguientes sistemas de discontinuidades en las unidades de arcillolitas del subsuelo, ver plano No. 3.

F1. N30W / 75ºsw
F2. N40E / 45º -65nw
F3. N20E / 70º w

4.5 GEOMORFOLOGÍA DETALLADA.

Para la geomorfología detallada del área de estudio se delimitaron los diferentes segmentos de ladera, diferenciados de acuerdo con su litología, materiales superficiales, pendiente y régimen de agua. Se diferenciaron las siguientes unidades, las cuales se presentan en el plano No. 4, Geomorfología e inventario de procesos. El Consultor consideró conveniente involucrar completamente las zonas II, III y VI, a pesar de que parte de ellas se encuentra por fuera de los sectores en estudio, ya que de esta manera permite entender con mayor claridad el origen y tipos de eventos que se generan en el sector.

4.5.1 Zona G I.

Esta Unidad se expone en el costado sur y oriental del campo de fútbol, delimitada al occidente por el drenaje de la quebrada la peña, actualmente obstruido por construcciones urbanas. Las unidades del subsuelo de esta unidad corresponden al nivel de arcillolitas grises y de color amarillo, muy meteorizadas (grado W4 del perfil de Wetzel 1991), caracterizado por su fragmentación en clastos menores de 1 pulgada con presencia de suelos residuales de 0.5 a 0.7m de espesor. Presenta un régimen mixto de infiltración y escorrentía superficiales con un proceso de saturación de los suelos superficiales con evidencia de reptación. La condición estructural de las unidades presenta una inclinación de estratificación de 30 a 40º hacía el oriente, condición favorable para la estabilidad natural.

Los procesos identificados en esta unidad corresponden a reptación superficial de los suelos residuales generados probablemente por la alta pendiente de la ladera y por posibles fugas de aguas servidas de las casas que se ubican en la parte alta.

4.5.2 Zona G II.

Este segmento de ladera se localiza en el costado suroriental del campo de fútbol y corresponde a las laderas que delimitan un antiguo drenaje de primer orden que fue obstruido por la Carretera Circunvalación y ha generado un proceso de saturación y reptación de los suelos. Se evidencia que esta zona se ve muy afectada por las aguas de infiltración de la ladera localizada en la parte oriental de la vía.

4.5.3 Zona G III.

Este segmento de ladera delimita el costado oriental del campo de fútbol. Presenta una pendiente promedio de 30º y una longitud de 50m, conformada por la unidad de arcillolitas grises con niveles de lodolitas y mantos de carbón. La disposición estructural se presenta normal con la orientación de la ladera. Superficialmente las arcillolitas se presentan

parcialmente meteorizadas con una disgregación manual en fragmentos de 3 a 9cm, cubiertos por una capa vegetal arcillosa de 0.8m de espesor. Presenta un régimen principal de escorrentía superficial afectada principalmente por las aguas lluvias de influencia directa.
Dentro del área de estudio esta unidad delimita las escalinatas de la diagonal 5B donde se evidencia una condición de saturación de los suelos superficiales y exposición en superficie de aguas de infiltración.



Foto No. 1. Panorámica de las zonas I y II de la zonificación geomorfológica, en las cuales se observan procesos de reptación por afluencia de agua de infiltración de las laderas aferentes y de las viviendas.

4.5.4 Zona G IV

Este segmento de ladera se localiza entre el Santuario y las construcciones de la diagonal 5B, presenta una morfología rectilínea que ha evolucionado hacía una forma ligeramente cóncava con una pendiente de 30 a 35º y longitud de 50m, con un corte en la base de la ladera en el sector aledaño a las construcciones del Barrio La Peña.

Los materiales del subsuelo corresponden a la unidad de arcillolitas y lodolitas laminadas con una inclinación de la estratificación de 40 a 50ºNW, parcialmente desfavorable a la estabilidad natural; con un régimen mixto de escorrentía superficial y de infiltración controlada por la presencia de suelos residuales y el fracturamiento de las rocas arcillosas del subsuelo.

En la base de esta ladera se realizaron para las construcciones del Barrio la Peña cortes de 3 a 4m de altura que han generado continuos desprendimientos controlados por los planos de estratificación y el muro en gaviones.

Los procesos identificados en esta zona corresponden a una reptación de los suelos superficiales e inestabilidad del talud inferior donde los planos de estratificación y sistemas de discontinuidades han generado un procesos continuo de degradación y desprendimientos de las rocas arcillosas.



Foto No. 2. Vista de la zona No. III de la zonificación geomorfológica. Se desarrollan arcillolitas meteorizadas con un horizonte de suelo residual.

4.5.5 Zona G V

Este segmento de ladera delimita por el costado norte por los terrenos planos de la zona de parqueaderos de la iglesia el Santuario presenta una pendiente promedia de 20 a 25º con una longitud de 40m y una morfología rectilínea. Las unidades del subsuelo igualmente corresponden al nivel de arcillolitas y lodolitas laminadas e interceptan en forma normal la orientación de la ladera; con buzamientos de la estratificación de 50º, en condición desfavorable ante cortes de excavación existentes. Se evidencian procesos superficiales de reptación que afectan los suelos residuales y los rellenos presentes en esta área.

4.5.6 Zona G VI

Este segmento de ladera se localiza en el costado sur del Barrio la Peña, entre las graderías de la diagonal 5B y la diagonal 5. Presenta una morfología rectilínea muy uniforme con una pendiente de 15º, desarrollada sobre suelos coluviales de escaso espesos que cubren la unidad de arcillolitas altamente meteorizadas a suelos residuales.(W5) del perfil de Wetzel(1991).

Las construcciones sobre esta ladera se adecuaron sin cortes a la pendiente del terreno sin alterar la estabilidad de la ladera.





Fotos No. 3 y 4.. Vista parcial de la zona III de la zonificación geomorfológica, en la cual se observa un horizonte de capa vegetal de 0.5 a 1.0 m de espesor, el cual cobre las arcillolitas meteorizadas de la Formación Guaduas.





Fotos No. 5 y 6. Zona IV, aledaña a las construcciones del barrio La Peña, en la cual se presentan procesos de inestabilidad que han sido generados por la afluencia de agua de infiltración y por los cortes efectuados en la parte baja de la ladera, zona de patios de las casas.



Fotos No. 7. Vista transversal de la Zona V, en la cual se desarrollan suelos residuales con evidencia de procesos de reptación.

4.6 PROCESOS Y ESTABILIDAD NATURAL.

De acuerdo con la Zonificación geomorfológica, presentada en el plano No 4, los procesos morfodinámicos que afectan las diferentes laderas se pueden clasificar en:

- Procesos de reptación en las laderas tanto del costado norte como sur del área de estudio que afecta preferencialmente las unidades de suelos residuales y los materiales de relleno. Este proceso superficial se identifica principalmente en las laderas I, II Y IV del plano de zonificación Geomorfológica y ha sido generado por la presencia de rellenos saturados y por la acción de las aguas superficiales, que han saturando a la vez los suelos residuales inferiores, así mismo, el vertimiento de aguas servidas provenientes de las viviendas contiguas agrava el proceso.

- Formación de un flujo de tierras en el costado suroriental del campo de fútbol, zonas I y II, involucrando suelos residuales y rellenos arcillosos, el cual ha sido generado por la acción de las aguas de infiltración de un antiguo drenaje que cruza este sector del terreno. Observaciones en el sitio permiten inferir la existencia de movimiento superficiales del suelo.

- Inestabilidad de los cortes de excavación de la parte baja de la ladera en la zona V, adyacente a las construcciones del barrio La Peña, donde se identifica un proceso

acelerado de degradación del talud, con desprendimiento de roca, controlados por los sistemas de discontinuidades del macizo.

- Deslizamientos superficiales de las arcillolitas y lodolitas expuestas en el costado norte del área de estudio, en las laderas IV y V del plano de Zonificación Geomorfológica e Inventario de Procesos. Estos procesos están controlados por los siguientes factores: disposición estructural desfavorable de los planos de estratificación con respecto a los cortes realizados para las construcciones del barrio; presencia de un sistema de discontinuidades con orientación subparalela al talud de corte, con inclinaciones de 45º a 65º; la condición de meteorización de las rocas arcillosas expuestas sobre el talud, con perdida de resistencia de los planos de discontinuidades y su afectación por las aguas de infiltración.

- Deslizamiento traslacional estabilizado y controlado mediante el muro en gaviones de la parte baja de la ladera de la zona IV. De acuerdo con la información suministrada por habitantes de las viviendas de la manzana 9, este muro se construyó al tiempo con las viviendas, y desde entonces se encuentra como se observa actualmente; trabajado de manera muy adecuada, sin deformaciones y conteniendo los materiales que se llegaron a desprender a causas de los cortes efectuados sobre la roca, para poder construir los patios de las casas.

5 ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para la descripción de la precipitación que se presenta en el sector en estudio se ha seleccionado la estación 2120524 Vitelma, la cual es operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – E.S.P., debido a que por su ubicación es la que más se asemeja al sector en estudio debido a que: se encuentra cerca, su elevación es similar al sitio referenciado y por poseer una serie larga de registros históricos.

Dicha estación cuenta con un período de registro de 58 años el cual es suficiente para el objeto que se persigue. La distribución de la lluvia a lo largo del año presenta un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos, uno durante los meses de marzo, abril y mayo y el otro durante octubre y noviembre.

La precipitación media anual es de 965 mm para el período comprendido entre 1941 y 1999, presentándose como máximo multianual 1.403 mm.

El comportamiento de la escorrentía superficial en los sectores en estudio es diferente en uno y otro, tanto por la morfología del área aferente que genera escorrentía superficial, como por la cobertura vegetal sobre la misma. Para el efecto, se pueden distinguir dos zonas que se pueden apreciar en la Figura No. 5.1, así:

La zona de drenaje A corresponde a taludes sobre los cuales solamente fluye el agua proveniente de la lluvia que cae sobre la zona en sí misma y no presenta un cauce definido, ni ingreso de aguas superficiales de zonas adyacentes y están cubiertas por pastos principalmente.

La zona de drenaje B corresponde al talud colindante con un drenaje sobre el cual la escorrentía superficial genera una corriente de agua durante los aguaceros intensos, proveniente de una cuenca que si bien no posee un cauce definido, se puede establecer la existencia de una línea de drenaje. La cobertura vegetal del área aferente corresponde a pastos en la zona más baja, vegetación arbustiva en la zona intermedia y árboles en la zona alta de la microcuenca.

Para el efecto del análisis hidráulico se pueden estimar los caudales que se deben manejar en cada una de las zonas de drenaje, asimilando la escorrentía que se presenta al fluir una pequeña lámina de agua sobre una superficie amplia, en el primer caso y una cuenca pequeña en el segundo caso.

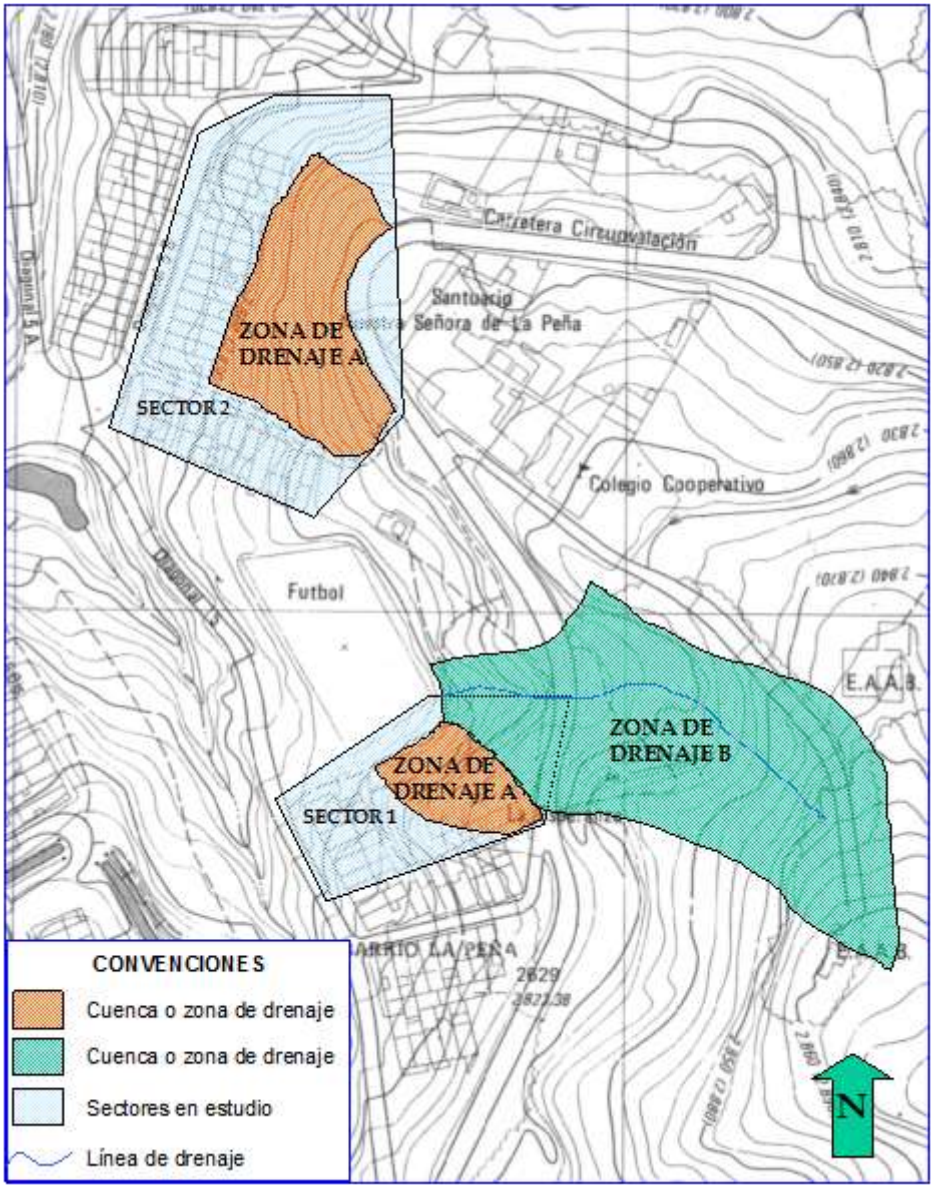


Figura No. 5.1. Zonas de drenaje en el sector en estudio

5.1 CAUDAL SOBRE EL TALUD LOCALIZADO FRENTE AL SANTUARIO DE LA PEÑA.

Este talud corresponde al definido como zona de drenaje A sobre el cual la escorrentía superficial se presenta solamente por una corta distancia, en este caso del orden de 30 m, sin que se llegue a formar un curso definido. El flujo sobre un plano uniforme que está expuesto a la lluvia se puede estimar por medio de la siguiente expresión:

$q_o = (i – f) * L_o * \cos \phi$

donde $\phi = \tan^{-1} S_o$

siendo q_o = Caudal por unidad de ancho de la ladera
i = Intensidad de la lluvia
f = Tasa de infiltración
L_o = Longitud de la ladera.
S_o =Pendiente de la ladera

Se ha seleccionado como período de retorno de interés para los diseños 25 años, para el cual según el Estudio de Tormentas de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P., en el sitio del proyecto la intensidad máxima para aguaceros de 15 minutos de duración es de aproximadamente 110 mm/h. Se ha seleccionado la duración de 15 minutos por ser la mínima que se puede utilizar en la práctica y por ser mayor que el tiempo de concentración del área aferente, lo cual garantiza que genera la mayor escorrentía.

Así mismo, para la condición de período lluvioso, con suelo saturado, la tasa de infiltración es de 0 mm/h, la pendiente promedio de la ladera es del 50%, siendo su longitud 32 m y 98 m su ancho, tendremos que el caudal total que se genera sobre el talud es de 88 l/s.

Como puede apreciarse es un caudal muy pequeño que no exige algún tratamiento especial. Sin embargo; en consideración a las obras de drenaje superficial existentes en la zona, ya que la escorrentía superficial no es la generadora de la inestabilidad del talud.

5.2 CAUDAL SOBRE EL TALUD LOCALIZADO EN EL SECTOR DE LA ESPERANZA.

Sobre este talud se pueden diferenciar dos zonas de drenaje. La primera se encuentra localizada hacia el sur y ha sido clasificada como zona de drenaje A, para la cual se calculó el caudal de acuerdo con la expresión mencionada en los párrafos anteriores, con los siguientes valores.

Se utilizaron por las mismas razones mencionadas la intensidad de 110 mm/h y la misma consideración en cuanto a la tasa de infiltración. La pendiente promedio de la ladera es del 60%, siendo su longitud 22 m y 34 m su ancho, para lo cual tendremos que el caudal total que se genera sobre el talud es de 19 l/s, para las condiciones definidas.

La segunda zona se encuentra localizada al norte de la anterior y ha sido clasificada como zona de drenaje B. En este caso, se puede apreciar que por el límite de la zona de influencia puntual del talud en estudio no existe cauce pero sí se puede definir una línea de drenaje. Para el cálculo se utilizó el método racional, según el cual

$Q = C I A / 360$

Donde:

Q = Caudal pico en m^3/s correspondiente a la escorrentía del área aferente de drenaje estudiada.
C = Coeficiente de escorrentía.
I = Intensidad de la lluvia en mm/h, para un período de retorno dado.
A = Área aferente en Ha.

Se ha seleccionado un coeficiente de escorrentía de 0.5 teniendo en cuenta que la pendiente del terreno es alta, con vegetación ligera y suelo semipermeable y el área aferente para la microcuenca definida es de 0.9 ha. La intensidad de los aguaceros para una duración de 1 hora, es de 46 mm/h, por lo anterior, el caudal pico que se presentará para un período de retorno de 25 años con las condiciones definidas será de 21 m^3/s.

Teniendo en cuenta la situación actual de la vía de acceso al Santuario de la Peña, la cual no cuenta con las obras de drenaje correspondiente, al llegar el caudal mencionado a la misma, éste flujo se amortiguará en la depresión que existe antes del cruce y una vez ésta sea llenada, se iniciará el vertimiento hacia el costado de la vía y el excedente hacia el talud. Por lo anterior, se recomienda, por un lado, proteger la estructura de la vía, para lo cual se sugiere que el IDU adelante las obras pertinentes; por otro lado, y dentro del marco del estudio, se recomienda que el exceso de agua infiltrada que pase al costado occidental de la vía, sea captado mediante un filtro, el cual deberá conducir estas aguas al sistema de aguas lluvias o alcantarillado del sector.

6 ESTUDIO GEOTÉCNICO

6.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

6.1.1 Exploración

En relación con la exploración geotécnica, en una primera etapa y con el objetivo de identificar el estado y composición actual del material del subsuelo, identificar la profundidad a la cual se encuentra la roca, recuperar muestras representativas de cada uno de estos materiales del perfil, evaluar la posición del nivel freático y la condición de saturación de los materiales, se ejecutaron cuatro trincheras, seis sondeos con barreno de accionamiento manual y un apique.

La ubicación de los sondeos, trincheras y apique efectuados se ilustra en la Figura No 6.1.

6.1.2 Ensayos In-Situ y de laboratorio

En campo se llevaron a cabo ensayos de penetración estándar SPT, para el cual se consideró como rechazo cuando para 40 golpes la cuchara no avanza y/o se observa rebote; y de resistencia a la penetración inalterada RPI. Los resultados de estos análisis se encuentran consignados en los perfiles unitarios de exploración, anexo B.

A las muestras recuperadas durante la exploración geotécnica se les practicaron, en laboratorio, ensayos de clasificación y caracterización mecánica con el objeto de obtener los parámetros de resistencia característicos de cada uno de los estratos presentes en el sector en estudio. Los resultados de estos ensayos se encuentran consignados en el cuadro No. 6.1 y en el anexo C, resultados de ensayos de laboratorio.

De manera complementaria y a fin de ilustrar la variación de la resistencia con la profundidad, se elaboró la Gráfica No. 6.1, perfil de resistencia; la Gráfica No. 6.2, carta de plasticidad, permite establecer de manera global el tipo de material presente en el sector en estudio.

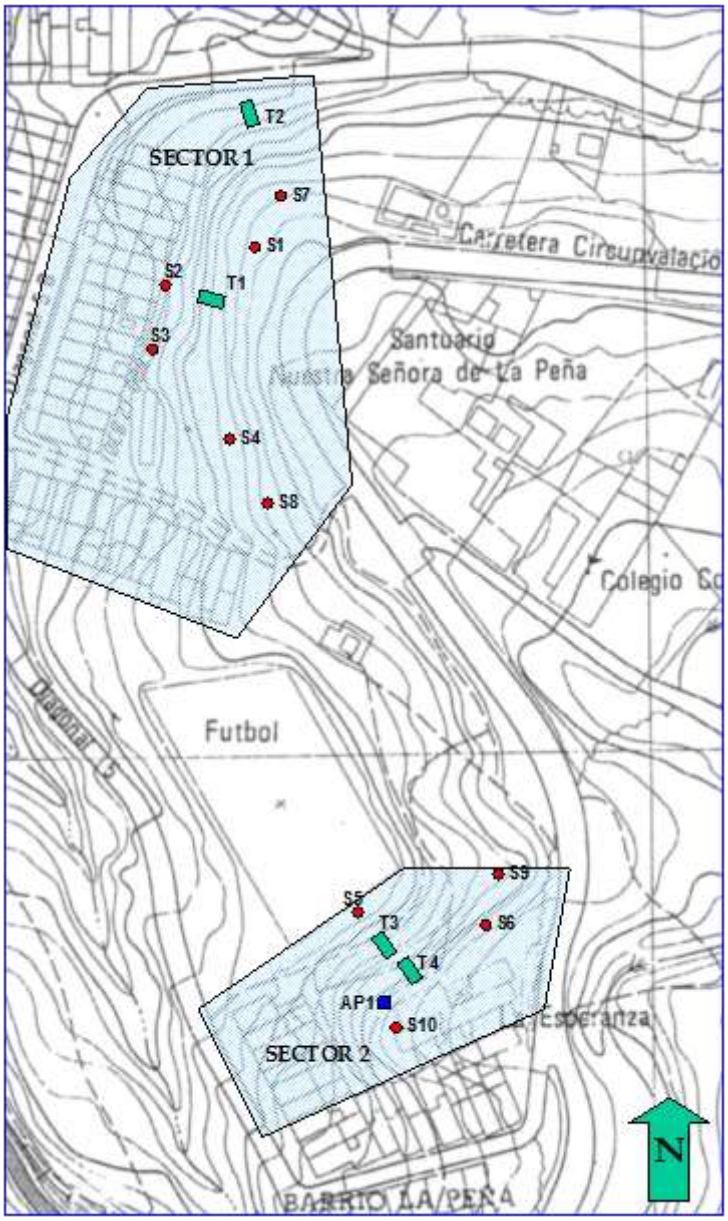


Figura No. 6.1. Localización de los puntos de exploración geotécnica

Para las capas de arcilla y/o limo se estimó el valor de la resistencia no drenada Cu a partir del Ensayo de Penetración Estándar. para lo cual se siguieron las recomendaciones de Décourt (1989) así:

$$C_U\,(t/m^2) = 1.276 * N \quad (7.1)$$

Donde:

N= Número corregido de golpes para penetrar un pie, mediante el ensayo de penetración estándar.

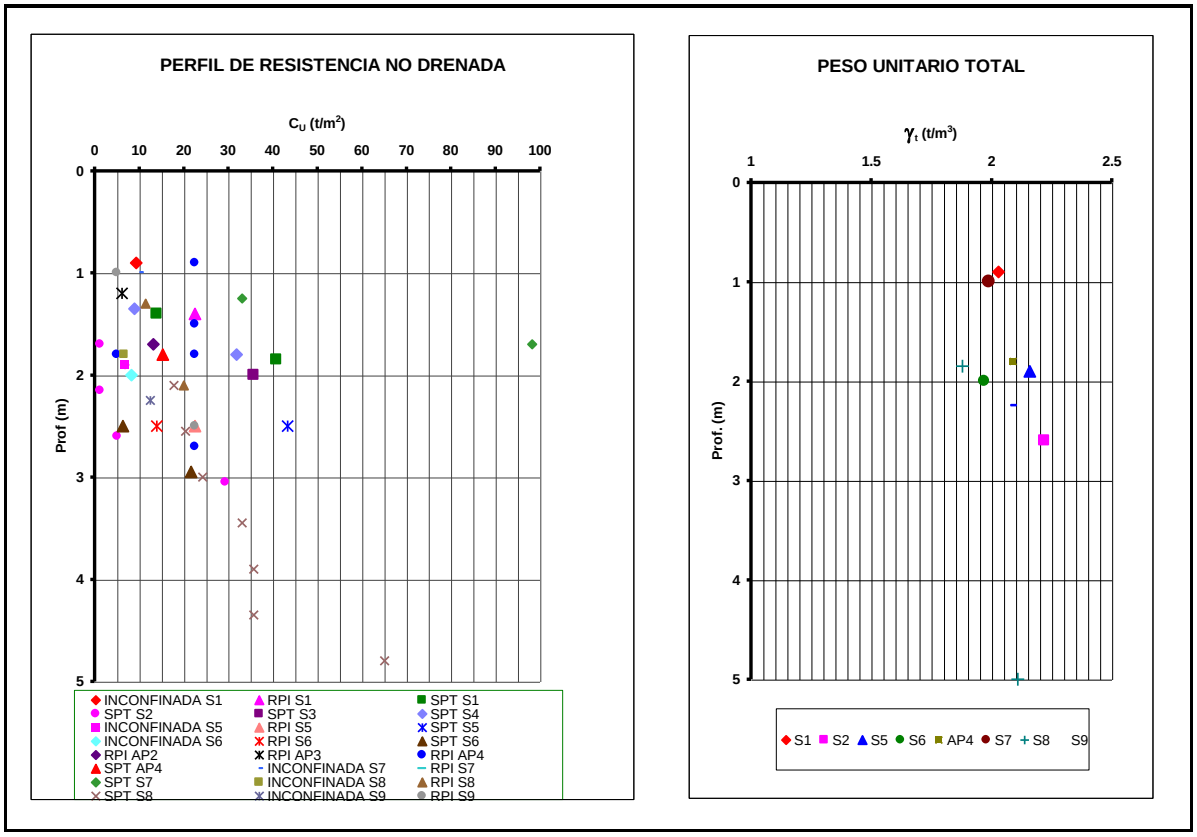
Para corregir el número de golpes tanto por la perdida de energía debido a las limitaciones del equipo como por la energía aplicada se empleó un factor de 0.8. Si bien éste procedimiento puede considerarse disperso para los suelos arcillosos, se consideró importante aportar datos a partir de diferentes caminos para obtener parámetros índice de comportamiento mecánico.

Los valores de la resistencia no drenada C_U determinados de esta manera se ubicaron en la gráfica No. 6.1 y se consignan en los perfiles respectivos.

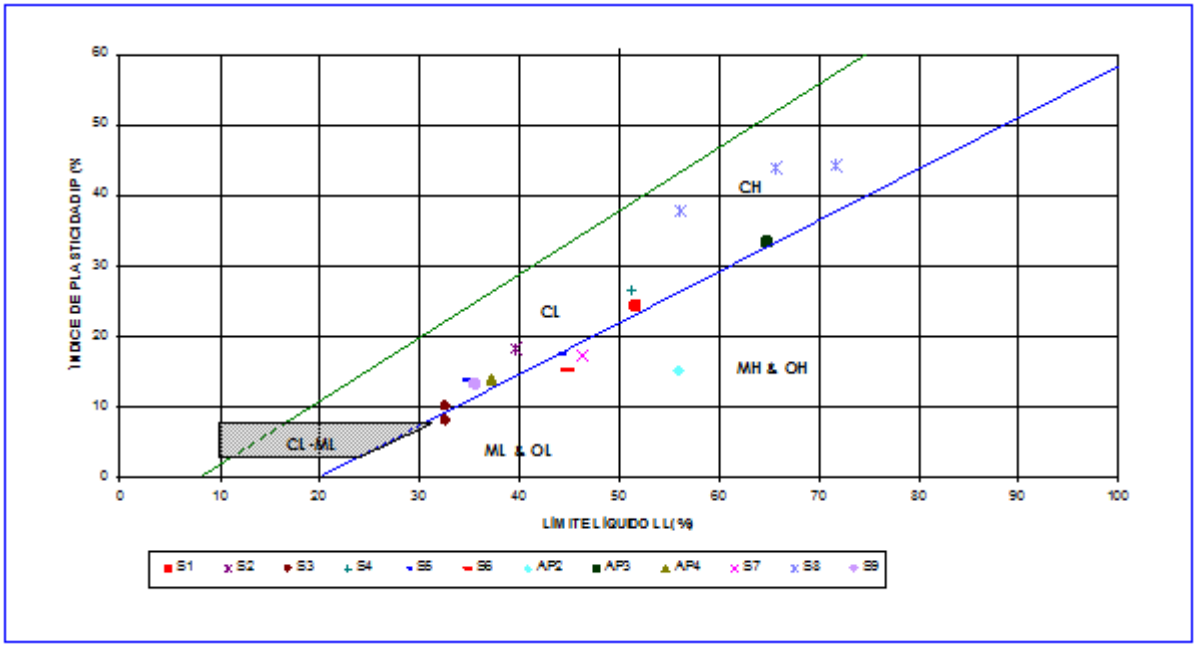
Cuadro No. 6.1. Cuadro resumen de resultados de laboratorio

PERFORACION	S1	S2	S3		S4	S5		S6		S7
MUESTRA	2	2	1	2	2	1	2	2	3	1
PROFUNDIDAD [m]	0.90-1.40	2.60-3.50	1.00-2.00	2.00-2.45	1.35-2.25	0.90-1.60	1.90-2.40	2.00-2.50	2.50-3.40	0.70-1.20
HUMEDAD NATURAL w [%]	26.7	18.4	17.0	63.8	23.9	32.9	13.4	30.6	25.5	16.5
PESO UNITARIO γ_t [Ton/m^3]	2.03	2.22					2.16	1.97		1.99
PESO UNITARIO SECO γd [Ton/m^3]	1.60	1.88					1.90	1.51		1.71
LIMITE LIQUIDO	51.6	39.7	32.6	32.6	51.3	43.9	34.3	44.8		46.3
LIMITE PLASTICO	27.2	21.4	22.5	24.4	24.7	26.3	20.4	29.6		28.9
INDICE DE PLASTICIDAD	24.4	18.3	10.1	8.2	26.6	17.5	13.9	15.2		17.4
INDICE DE CONSISTENCIA	1.019	1.166	1.542	-3.800	1.032	0.624	1.504	0.934		1.710
INDICE DE LIQUIDEZ	-0.019	-0.166	-0.542	4.800	-0.032	0.376	-0.504	0.066		-0.710
CLASIFICACION U.S.C.S.	CH	CL	CL	ML	CH	CL	CL	ML		ML
RESIST. COMP. INCONFINADA [Kg/cm^2]	1.87						1.37	1.66		2.03
PENETROMETRO RPI [Kg/cm2] - LABORATORIO										
PENETROMETRO RPI [Kg/cm2] - CAMPO	4.50						4.50	2.80		
PENETROMETRO DE BOLSILLO RPR [Kg/cm2]	2.57	3.90	2.23	4.50	4.50	0.57		2.50	4.50	
% GRAVAS										
% ARENAS				25.23					18.51	
% FINOS				74.77					81.49	

PERFORACION	S8				S9	T1	T2	T3	T4	AP1
MUESTRA	2	4	6	8	2	1	1B	1	1	3
PROFUNDIDAD [m]	1.60-2.10	2.55-3.00	3.90-4.45	4.80-5.25	2.00-2.50	3.50-4.00	3.00-3.50	0.80-1.20	1.20-1.60	1.80-2.70
HUMEDAD NATURAL w [%]	23.8	18.9	18.9	21.1	21.0	12.3	12.5	43.6	35.4	18.2
PESO UNITARIO γ_t [Ton/m^3]	1.88			2.11	2.08	2.19	2.19			2.09
PESO UNITARIO SECO γd [Ton/m^3]	1.52			1.74	1.72	1.95	1.95			1.77
LIMITE LIQUIDO	71.7	56.0	67.7		35.6			55.9	64.8	37.2
LIMITE PLASTICO	27.3	18.1	21.7		22.3			40.9	31.4	23.2
INDICE DE PLASTICIDAD	44.4	37.9	44.0		13.3			15.1	33.4	14.0
INDICE DE CONSISTENCIA	1.079	0.979	1.063		1.091			0.818	0.881	1.361
INDICE DE LIQUIDEZ	-0.079	0.021	-0.063		-0.091			0.182	0.119	-0.361
CLASIFICACION U.S.C.S.	CH	CH	CH		CL			MH	CH	CL
RESIST. COMP. INCONFINADA [Kg/cm^2]	1.32				2.50					
PENETROMETRO RPI [Kg/cm2] - LABORATORIO										
PENETROMETRO RPI [Kg/cm2] - CAMPO									1.23	4.50
PENETROMETRO DE BOLSILLO RPR [Kg/cm2]								2.07		
ϕ°						35.0	39.0			
c [Kg/cm2]						0.20	0.46			



Gráfica No. 6.1. Perfil de resistencia del sector en estudio



Gráfica No. 6.2. Carta de plasticidad

6.1.3 Perfil de suelo

Mediante la exploración geotécnica efectuada se detectó el siguiente perfil promedio.

Cuadro No. 6.2. Perfil promedio, para el sector 1.

Profundidad	Descripción
0.00-1.10	Relleno. Arcilla limosa habana grisácea con escombros de construcción
1.10-1.80	Arcilla limosa habana grisácea húmeda y fisurada. De alta compresibilidad, plasticidad media y consistencia firme. **MATERIAL RESIDUAL.** **NOTA:** Mediante el sondeo No. 8, se detectó que el suelo residual alcanza un profundidad de 4.8 m; situación que se debe seguramente a la presencia del nivel freático a una profundidad de 0.90 m.
1.80-2.30 Fin explorac.	Arcillolita de color habana grisácea y/o gris plomo.

De la exploración efectuada en la zona desplazada se detectó que la masa con posibilidad de deslizamiento tiene un espesor promedio de 2.00 m, bajo la cual se encuentra el material residual, limo arcilloso y/o arcilla limosa habana grisácea de baja compresibilidad y plasticidad, producto de la meteorización de la arcillolita, la cual se encuentra a una profundidad igual a 2.50 m; con excepción del sector donde se efectuó el sondeo No. 8.

Cuadro No. 6.3. Perfil promedio, para el sector 2.

Profundidad	Descripción
0.00-1.00	Relleno en la ladera y recebo en la cancha de fútbol.
1.00-2.50	Arcilla limosa y/o limo arcilloso habano grisáceo oxidado, fracturado con algunas raíces. De baja compresibilidad, plasticidad media y consistencia firme. **MATERIAL RESIDUAL.**
2.50-3.50 Fin explorac.	Arcillolita de color gris plomo a habana grisácea con arena fina y gravas de arenisca.

6.1.3.1 Parámetros geomecánicos

De la revisión de las gráficas 6.1 y 6.2 se deduce:

- La resistencia no drenada Cu se encuentra alrededor de 1.2 Kg/cm^2 para el suelo residual; para la arcillolita, la resistencia no drenada Cu es superior a 3.0 Kg/cm^2, y con valores hasta de 9.6 kg/cm^2, valor establecido mediante correlación de los resultados del ensayo SPT.

- Del ensayo de corte directo realizado en una muestra de la arcillolita, tomada en un afloramiento, producto de un pequeño deslizamiento en el costado nororiental del sector 1, se establecieron valores de cohesión y ángulo de fricción picos iguales a 4.6 Kg/cm^2 y 39° respectivamente. Los parámetros residuales de la arcillolita son c=2.1 Kg/cm^2 y ϕ=20°.

- De una muestra tomada en la superficie de falla del deslizamiento presente en el sector 1, se establecieron parámetros de resistencia iguales a c=0.2 Kg/cm^2 y ϕ=35°.

- El peso unitario para el material residual es del orden de 2.05 gr/cm^3 y de 2.19 g/cm^3 para la arcillolita.

- Los materiales existentes en el sector en estudio, de acuerdo con la carta de plasticidad, son esencialmente arcillas de plasticidad media y baja compresibilidad; con excepción del suelo residual el cual puede llegar presentar un comportamiento de alta plasticidad y alta compresibilidad.

Una vez recopilada y analizada la información de la exploración geotécnica, se establecieron los siguientes parámetros geomecánicos para cada uno de los estratos:

Cuadro No. 6.4. Parámetros geomecánicos

Prof. (m)	Descripción	γt(t/m3)	γd(t/m3)	c(t/m2)	ϕ°
	Mat. residual	2.05	1.60	2.1	20
	Arcillolita	2.19	1.95	4.6	39

6.2 ANÁLISIS DE SISMICIDAD Y AMENAZA SÍSMICA

En Santa Fe de Bogotá se cuenta con los análisis ejecutados en el marco del estudio de microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, adelantado por INGEOMINAS y la Universidad de los Andes. Para propósitos de comparación se efectuó un estudio específico para este informe.

6.2.1 Alcance y limitaciones del análisis de amenaza

La principal limitación del análisis realizado en el marco del estudio citado y del análisis del ejercicio específico radica en la escasa e incompleta serie de registros sísmicos existente en los catálogos disponibles con que se cuenta en Colombia, dada la juventud de la Red Sísmica Nacional. Adicionalmente se adolece de ecuaciones de atenuación deducidas de registros reales en el país y, por tanto, se recurre a ecuaciones de ambientes sismotectónicos de otras latitudes cuya aplicabilidad puede tener restricciones. Para obviar esta limitación se utilizaron en este estudio tres ecuaciones diferentes deducidas por Donavan (1973), McGwire (1973) y Esteva (1978). Los hechos discutidos influyen sobre la confiabilidad de los análisis, a pesar de lo cual, se pueden considerar de aproximación suficiente para propósitos de este estudio.

De otra parte, cabe aquí citar como limitación adicional, el escaso conocimiento que aún tiene la Sismología sobre los factores que inciden en la distribución espacio temporal de los eventos sísmicos.

Estas limitaciones conducen a la necesidad de utilizar las herramientas probabilísticas en el análisis, de acuerdo con los cánones aceptados actualmente en la Ingeniería Sismológica.

6.2.2 Metodología del estudio de amenaza sísmica

Los enfoques modernos del análisis de amenaza sísmica de una región constituyen una integración de datos geológicos, tectónicos y sismológicos, la cual asigna mayor importancia a las evidencias geológicas de movimiento en las fallas y a la ocurrencia histórica de sismos fuertes en la zona de interés, tanto en el ámbito local como regional.

Con el propósito de establecer la sismicidad de los dos ámbitos considerados, pensando en eventos cercanos e intermedios se consideraron zonas circulares de 50 y 250Km respectivamente concéntricos con el sitio de estudio. Para eventos lejanos se consideró el efecto de la Zona de Subducción del Pacífico. Se recurrió al Catálogo Sísmico Nacional, desarrollado dentro del estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, para establecer los eventos ocurridos en las dos zonas citadas. El estudio de la sismicidad permitió estimar la actividad de los fallamientos, las tendencias de recurrencia y los parámetros sísmicos de las fuentes sismogénicas detectadas.

A partir de una análisis probabilístico utilizando el modelo de la Línea Fuente (Der Kiureghian et al, 1975), y ecuaciones de recurrencia (Esteva, 1978. Donovan, 1973. McGuire, 1977) se produjo una integración probabilística de la influencia de las fuentes relevantes para el sector, y se ajustó utilizando los criterios propuestos en otros estudios ejecutados en la Sabana de Bogotá, para producir recomendaciones de aceleración máxima a utilizar en los análisis de estabilidad.

6.2.3 Sismología

6.2.3.1 Recopilación de Información

Para el sector en el cual se localiza el sector en estudio, en el sur de la Sabana de Bogotá, se han realizado previamente varios estudios específicos en el campo de la ingeniería sismológica. Como información preliminar, para efectos de este estudio, se allegaron los criterios sugeridos en los estudios de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) para el país, y los resultados del Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. De acuerdo con tal información, las aceleraciones máximas recomendadas son las siguientes:

AIS (1984). La ciudad de Santafé de Bogotá está dentro de la zona de amenaza sísmica INTERMEDIA, con un coeficiente de aceleración horizontal Aa de 0,15 g.

AIS (1998). De acuerdo con las previsiones de la última revisión del código, establecido como Reglamento de Construcción en 1998, el sector en estudio está en una zona de riesgo sísmico intermedio, con coeficiente de aceleración de 0.2 g.

Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá (1997). Para sectores de la zona montañosa como el del objeto de este estudio, se sugiere adoptar valores máximos de aceleración de 0.24 g en roca.

6.2.3.2 Sismicidad

Para obtener las recomendaciones de la aceleración máxima para este estudio, se emplearon los registros históricos e instrumentales de fuentes sísmicas que cubren el período 1566-1995, en primer lugar para un área circular con radio de 50Km, para tener en cuenta sismos de carácter local, y luego con radio de 250 Km, para considerar los

eventos regionales que pueden tener mayor influencia sobre el sitio. Los datos de los años 1993 y 1995 obtenidos en la Red Sísmica Nacional de Colombia RSNC están incluidos en este análisis.

De la información anterior se escogieron, para el análisis de sismicidad, los sismos que presentan Magnitud registrada o deducida mayor de 3.0

De los eventos sísmicos registrados, se puede deducir, en el ámbito local, la importancia de las Fallas del sistema Fusagasugá - Usme, y fallamientos del pie de los cerros y en la mayor área, con 250 Km de radio, la Falla Palestina del Sistema Romeral – Cauca, además del Sistema Frontal de la Cordillera Oriental, para el área de 250Km. Para los sismos lejanos, se consideró como única fuente la Zona de Subducción del Pacífico.

En relación con el área de 250 Km de radio, el sistema de Guaicaramo o tren de fallas del Borde Llanero, en el piedemonte de la cordillera Oriental puede considerarse el de mayor actividad.

6.2.4 Evaluación de la amenaza sísmica

El propósito de esta evaluación es determinar la variabilidad de respuesta sísmica que se puede esperar en el área de estudio al ser sometida a un evento de gran magnitud.

6.2.4.1 Recurrencia de Magnitudes

Empleando los datos de los sismos ubicados en la región de estudio se realizó un análisis de recurrencia de magnitudes, ordenando los datos en secuencia creciente a partir de una magnitud mínima Ms=3.0 de la forma propuesta por Gutemberg y Richter:

La evaluación de regresión obtenida para los eventos locales fue:

$$Ms = 6.95 - 2.11 \log N$$

para toda el área local,

$$Ms = 6.96 - 2.13 \log N$$

para los sismos sin fuente asignada, y:

$$Ms = 3.50 - 0.83 \log N$$

para el alineamiento del pie de los cerros.

Para el análisis regional la ecuación de recurrencia obtenida fue:

$$Ms = 7.9 - 1.81 \log N$$

para toda la región, y

Ms =7.18 - 1.72 log N,

Para la falla Frontal de la cordillera Oriental. Por tanto, para el análisis de amenaza a partir de eventos regionales, se decidió incluir una fuente areal, y los alineamientos de la falla frontal, de la Cordillera Central, y de la falla Salinas, aparte de la zona de Benioff profunda, para considerar el efecto de eventos lejanos. Ver gráficas del anexo 3.

6.2.4.2 Evaluación de Amenaza Sísmica para el sitio

La amenaza sísmica está asociada con la probabilidad de superar un parámetro sísmico determinado, en función del tiempo de recurrencia, en el futuro. En Ingeniería sismológica, el parámetro más empleado es la aceleración máxima sobre el terreno en el cual se implantará la construcción de interés, dado que ella permite estimar con facilidad las fuerzas que pueden generarse y ejecutar los análisis mecánicos necesarios.

Utilizando el Modelo de Línea Fuente de Der Kiureghian, el proceso probabilístico de integración arrojó valores de aceleración probable en el sitio de 0.20g en roca, tal como se observa en las gráficas No. L.1 a L.6 del anexo L, confirmando los valores evaluados por el Estudio de Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá. Sin embargo, dado que el área se encuentra en topografía montañosa, y sobre el material residual, se esperan efectos locales de amplificación cuya cuantificación a partir de modelos resulta compleja. Para propósitos de este estudio, se recomienda adoptar un valor de 0.25g y reconocer que los efectos de sitio pueden provocar aceleración de los movimientos existentes.

6.3 EVALUACION DE ESTABILIDAD

Para la zonificación inicial de las laderas desde el punto de vista de su susceptibilidad al desarrollo de fenómenos de remoción en masa se partió del estudio geomorfológico del sector, el cual establece seis (6) zonas o segmentos de ladera diferenciados por su litología, materiales superficiales y régimen de agua. Esta subdivisión será la que se empleé en la zonificación por amenaza de los sectores en estudio.

Sobre cada una de las laderas presentes en el sector en estudio, se establecieron perfiles estratigráficos, Anexo B, a fin de definir los modelos geotécnicos, anexo D, que configuran cada una de las zonas a evaluar y sobre las cuales se modelaron los procesos que están o pueden ocurrir en la ladera. Las características de los materiales presentes en cada sector en estudio se establecieron en numeral 6.1, y en el numeral 6.3.3 se definen los parámetros geomecánicos a emplear en los análisis de estabilidad.

Las Zonas II y VI así como parte de la III no se evalúan desde el punto de vista de estabilidad pues estas no están comprendidas dentro de los sectores en estudio, tal como se estableció en el numeral 4.5.

6.3.1 Mecanismos de falla potenciales

Dadas las características litológicas de los materiales presentes en las laderas en estudio, la naturaleza de los procesos geomorfológicos actuantes en cada zona delimitada, muy pocos de carácter masivo, y teniendo en cuenta la disposición de los materiales en cada una de ellas, así como sobre la ladera en general (ver las secciones representativas en el

anexo D), se formularon escenarios hipotéticos respecto de los modos o mecanismos de falla que, bajo solicitaciones extremas de lluvias y eventos sísmicos, podrían eventualmente desencadenar procesos de inestabilidad en las zonas previamente definidas o sobre la ladera como un todo.

Dentro de este marco se consideraron los siguientes mecanismos potenciales de falla, a saber:

Tipo 1: Deslizamientos superficiales de tipo rotacional que involucran únicamente los materiales arcillosos del suelo residual y/o rellenos antrópicos, y que se detonan como consecuencia tanto por la ejecución de cortes subverticales para acomodar las viviendas como por los altos contenidos de humedad. La magnitud de estos procesos es muy pequeña y en ocasiones se pueden catalogar como desprendimientos de material.

Este tipo de proceso se presenta en la base de los taludes de corte o de las laderas, especialmente en las zonas I y III del plano No. 5.

Tipo 2: Deslizamientos traslacionales que afectan los mismos materiales; sin embargo, tienen mayor extensión y se desarrollan entre puntos con cambios marcados de pendiente; su superficie de falla está controlado por el contacto con el basamento rocoso o roca menos alterada.

Se refieren a movimientos o falla del terreno que involucran la parte central de la ladera limitando el movimiento en la base del corte. Son procesos de mayor magnitud y de poco espesor; éstos se asocian a la zona IV del plano No. 5.

Tipo 3: Deslizamientos traslacionales de mayor profundidad, que involucran al macizo rocoso, controlados por el buzamiento de la estratificación con respecto a la ladera y favorecidos en el tiempo por el proceso progresivo de alteración y meteorización del macizo arcillolítico, que ya se registra en la zona VI, plano 5, y que podría acentuarse en la medida que el basamento sea más expuesto a los agentes de intemperismo.

6.3.2 Análisis de estabilidad

Para evaluar las condiciones generales de estabilidad de la ladera, de los sitios de particular importancia de acuerdo con la cartografía geomorfológica y en sectores identificados como potencialmente inestables y, para los mecanismos de falla considerados, se realizaron análisis de estabilidad por equilibrio límite sobre modelos geotécnicos que cubren el área en evaluación. Los perfiles de análisis se presentan en el anexo D.

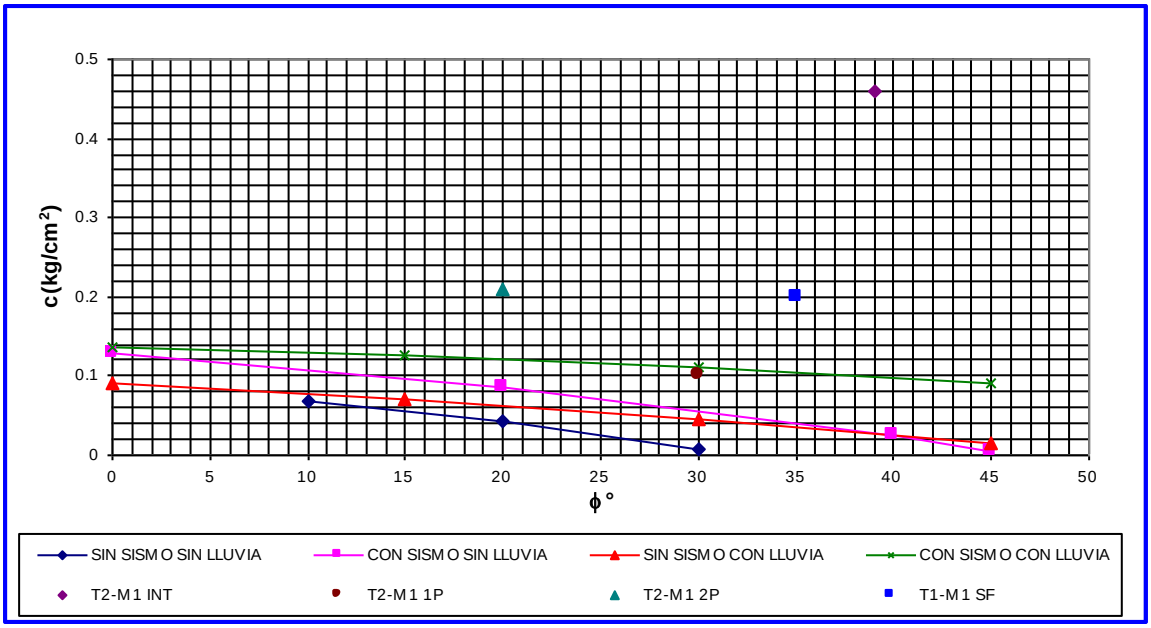
Los análisis de estabilidad se realizaron para cada perfil estratigráfico representativo de cada ladera, variando tanto las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados como los factores detonantes de los procesos. Igualmente dicho análisis se adelantó para diferentes tipos de falla de la ladera: falla de pie (local y total), falla local talud intermedio y falla local sobre parte alta de la ladera.

La evaluación de las diferentes condiciones establecidas se adelantó mediante el uso del programa Stable versión 6, el cual permite el análisis de múltiples superficies de falla de manera eficiente para los mismos parámetros de resistencia y condiciones de agua y sismo constantes.

6.3.3 Caracterización Geomecánica de los Materiales

Desde el punto de vista geomecánico, las propiedades de los materiales se establecieron a partir de las pruebas de resistencia al corte ejecutadas, las cuales se complementaron y compararon con datos reportados en otros estudios realizados por la Firma en el sector, y en estudios de otras empresa en áreas vecinas como son el Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias localidades de Santa Fe de Bogotá, realizado por INGEOCIM (1998) y el Proyecto de Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá, realizado por la Universidad de Los Andes en 1996.

Por otra parte, mediante la comparación morfométrica de las laderas con cartografía IGAC Escala 1:2000, se adelantaron análisis retrospectivos, de los cuales y empleando la sección No. 3, ilustrada en el anexo A, se estimaron parámetros de resistencia para diferentes condiciones de solicitaciones. Ver figura No 7.1.



Gráfica No. 6.3. Parámetros de resistencia para F.S.=1.0.

Los parámetros de resistencia efectivos adoptados para los diferentes materiales involucrados en la estabilidad de las laderas fueron los siguientes:

Cuadro No. 6.5. Parámetros de resistencia adoptados

Material	Cohesión t/m^2	Ángulo de fricción (°)	Peso unitario t/m^3
Rellenos	0.50	15	1.80
Suelo residual	0.80	20	2.05
Arcillolita (macizo rocoso)	4.60	36	2.19
Arcillolita Reblandecida	2.25	31	2.19

6.3.4 Resultados de los Análisis

En los Cuadros del anexo E se resumen los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad en términos de factores de seguridad, para los mecanismos de falla más críticos encontrados para cada zona; los análisis se adelantaron sobre secciones representativas del área de estudio, las cuales se ilustran en el anexo D. Para los análisis se consideraron condiciones extremas, es decir, aceleraciones máxima y mínima esperada de acuerdo con el estudio de amenaza sísmica para este sector y condiciones de suelo seco y saturado total; esta última condición poco probable, si se tiene en cuenta la fuerte pendiente del terreno, los niveles de precipitación y caudales estimados así como el uso actual del suelo en sector en estudio.

Zona G I – Sección 1 (Plano No. 5)

El tipo de falla predominante es el de pata, causado especialmente por la pérdida de soporte efecto de la excavación. Se configuran movimientos de pequeña magnitud del orden de 2 a 3m por metro lineal, con factores de seguridad asociados entre 0.92 y 6.78.

Zona G III – Sección 3 (Plano No. 5)

Se establecen dos tipos de falla críticos: la falla de pata y de la ladera sobre los rellenos y suelo residual arcilloso; como condición crítica para la zona se definió la falla que involucra la ladera. Los factores de seguridad se encuentran entre 0.29 y 1.71 para las condiciones extremas de parámetros de resistencia y agentes detonantes.

Zona G IV – Sección 5 (Plano No. 5)

En esta zona se levantaron dos secciones topográficas (secciones 4 y 5), sin embargo, se empleó la sección 5, ya que ésta es mas representativa que la No. 4.

En esta ladera se configuran dos tipos de falla críticos: el primero de ellos, involucra los materiales sueltos que se encuentran detrás del muro en gaviones y sobre la arcillolita, materiales que puede que hayan sido colocados allí cuando se construyeron las viviendas y el muro o que se han desprendido; se evaluaron también modelos considerando fallas que involucraban el manto rocoso y se estableció que debido a las condiciones particulares de la ladera tales mecanismos no se generan; el segundo tipo de falla, involucra el material residual de la parte alta de la ladera.

El primer mecanismo de falla puede deberse a la alta pendiente que se observa desde la mitad de la ladera hasta la parte baja de la misma, la que limita con el muro en gaviones y los patios de las casas. El segundo mecanismo de falla puede presentarse por desconfinamiento del suelo residual a causa de los cortes que se efectuaron en el momento de la construcción de las viviendas.

Bajo las consideraciones extremas tenidas en cuenta de lluvia, modelada mediante altos niveles freáticos, poco probables debido a las condiciones de impermeabilización de los suelos a causa de su composición y de los bajos caudales de escorrentía que pueden presentarse de, se considera como una ladera inestable con factores de seguridad entre 0.17 y 1.28.

Zona V – Sección 6 (Plano No. 5)

A esta ladera se asocian dos tipos de falla: El primer mecanismo corresponde a la falla de los suelos superficiales y residuales de pequeño espesor con factores de seguridad entre 0.4 y 2.62. El segundo mecanismo esta asociado con la falla del macizo rocoso a lo largo de la estratificación, 330/45, del sistema de discontinuidad, orientado 370/55, y de las

intersecciones de los planos de discontinuidades, orientadas 330/48, 324/45 y 335/45. Los análisis de estabilidad para este segundo mecanismo arrojaron factores de seguridad comprendidos entre 0.52 y 6.04.

7 ZONIFICACION POR AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

7.1 ZONIFICACIÓN POR AMENAZA

La evaluación y determinación de los niveles de amenaza se adelanta mediante análisis cuantitativos determinísticos; tales análisis se basan en los factores de seguridad establecidos en la etapa de evaluación de estabilidad, la variación de las propiedades mecánicas de los diferentes materiales y los factores detonantes como la lluvia y sismo.

La aproximación probabilística de la amenaza se efectúa por medio del método de estimación de punto (PEM) propuesto por Rosenblueth, en el cual se establecen diferentes escenarios de acuerdo con los detonantes (lluvia y sismo), partiendo de una condición de falla de talud sin lluvia y sin sismo hasta llegar a una falla con lluvia y con sismo. Ver cuadros del anexo E.

Para estimar la distancia de viaje o posible área de afectación de los procesos que se desencadenan en cada zona se utilizó el modelo establecido por P. J. Finlay et all, 1998, que tiene en cuenta la morfometría, altura y pendiente de la ladera; así como el espesor de la masa movilizada. El modelo tiene en cuenta el tipo de ladera o talud (si es de corte o de relleno), tipo y presencia de estructuras de contención y la falla de material rodado.

En esta etapa se desarrolló un proceso que permitió llegar a delimitar los diferentes grados de amenaza (alta, media y baja) dentro del área de interés, integrando la información básica hasta aquí obtenida. Para la Categorización de la amenaza se tuvo en cuenta aspectos de magnitud, estado de actividad y tendencia a la propagación de los procesos que actualmente están afectando el área. También se consideran los factores de susceptibilidad intrínseca y de disparo que se relacionan con el desencadenamiento de fenómenos de remoción en masa.

Para la Categorización de la Amenaza actual se estableció un periodo de corto plazo a 4 años, el cual se considera adecuado para la evaluación del riesgo actual y que configura un nivel de probabilidad mayor que para un año.

Se toma como escala de Categorización de la amenaza la establecida en el estudio de INGEOCIM 1998, la cual permite partir de una misma referencia y unificar criterios al respecto.

Cuadro No. 7.1. Niveles de amenaza por FRM

Factor de seguridad	Probabilidad de falla	Nivel de amenaza
<= 0.625	> 0.731	Muy Alta MA
> 0.625 – 1.328	0.731 - < 0.326	Alta A
> 1.328 – 1.936	0.326 - < 0.121	Media M
> 1.936 – 3.408	0.121 - < 0.004	Baja B
> 3.408	<= 0.0004	Muy Baja MB

Este proceso de determinación de la probabilidad de falla se adelanta tanto para la condición actual como para un escenario futuro con obras y medidas de mitigación, tal que se pueda establecer los criterios necesarios para la toma de decisiones.

7.1.1 Condición actual

En el siguiente cuadro se presentan los valores de probabilidad de falla encontrados para cada zona ilustrada en el plano No. 5, así como el nivel de amenaza asociado, de acuerdo con el cuadro No. 7.1.

Se aclara que para la categorización de la zona de amenaza A V, se tuvo en cuenta la situación hipotética futura descrita en el siguiente numeral.

Cuadro No. 7.2. Niveles de amenaza para el área en estudio

Zona No.	Probabilidad de falla	Nivel de amenaza
A I	0.16	Media
A III	0.75	Alta
A IV	0.95	Muy alta
A V	0.58	Alta

Para la zona A II se establecieron niveles de amenaza altos a muy altos debido a los procesos que pueden presentarse; sin embargo, estos movimientos no son de gran magnitud.

En la zona A I se estableció un nivel de amenaza medio, el cual se debe al bajo espesor de suelo residual que puede moverse y a la pendiente moderada de la ladera.

Amenaza media se presenta en la zona I en la cual se presentan movimientos lentos y pequeños. Reptamientos.

Los fenómenos de inestabilidad asociados a las zonas de amenaza alta son básicamente deslizamientos superficiales que comprometen el material residual.

Las zonas de amenaza muy alta se asocian a deslizamientos del suelo residual en zonas de alta pendiente y desprendimientos de pequeños bloques en cortes efectuados artesanalmente por los habitantes del sector sobre el macizo rocoso.

7.1.2 Situación futura en la zona A V

De permitirse la ubicación de más viviendas en esta zona, la estabilidad de la ladera se vería bastante comprometida, pues como se puede observar en el sector, las personas

para ubicar sus casas efectúan cortes en la ladera, con lo cual activan una serie de desprendimientos del macizo rocoso.

A fin de establecer el nivel de amenaza de la zona, se modeló una situación en la cual se simula un corte, de aproximadamente 3.0 m de profundidad para ubicar una vivienda con su patio, efectuado en la ladera y que compromete la estabilidad de la misma (ver Figura No. D.7, del anexo D). La modelación se llevó a cabo teniendo en cuenta dos eventos, uno de ellos en el cual la falla se desarrolla en el suelo residual, el otro en el cual se presentan desprendimientos de bloques del macizo rocoso y caída del suelo encima de los mismos.

De los análisis efectuados se obtuvieron valores del factor de seguridad entre 0.39 y 2.59 para deslizamientos en el suelo residual y entre 0.29 a 2.69 para desprendimientos en la roca. Para los factores de seguridad establecidos y mediante el procedimiento probabilístico empleado, se obtuvieron valores de probabilidad de falla de 0.491 y 0.531 respectivamente; Los resultados obtenidos de los análisis se presentan en los cuadros No. E.6 y E.7, del anexo E.

Como el sector se ve afectado por dos procesos, deslizamiento rotacional en el suelo residual y desprendimiento de pequeños bloque en el macizo rocoso, la probabilidad de falla de esta zona se determina mediante la siguiente expresión:

$$PF = 1 - (1 - PF\{A\}) * (1 - PF\{B\}) \quad (7.1)$$

Donde:

PF: Probabilidad de falla para la zona.
PF{A} Probabilidad de falla debida al proceso A
PF{B} Probabilidad de falla debida al proceso B

De acuerdo con lo anterior y para PF{A} igual a 0.491y PF{B} igual a 0.531, se obtiene un valor de probabilidad de falla para la zona, PF igual a 0.761, el cual corresponde a un nivel de amenaza Muy Alto **MA**.

Como se puede observar, es necesario mantener restringido el asentamiento de personas en esta zona; porque de lo contrario, el nivel de amenaza de la zona aumenta radicalmente.

7.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La evaluación de vulnerabilidad se adelanta siguiendo los lineamientos metodológicos establecidos por LEONE, 1996. Así, en forma semicuantitativa se establece el nivel de vulnerabilidad de las unidades de vivienda en función de los posibles daños que pueden llegar a sufrir los elementos expuestos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno amenazante.

El nivel de daño de los elementos expuestos se define clasificando las viviendas por su tipología establecida en el inventario y sus modos de daño asociados a la solicitación impuesta por los diferentes eventos amenazantes, los que a su vez dependen de los mecanismos de falla y de su distancia de viaje.

7.2.1 Inventario de viviendas

A partir de una visita técnica de reconocimiento al área en estudio, en la cual se pudo observar la tipología general de las viviendas existentes y el nivel de exposición ante la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, se diseñó un formato de inventario incluido en el Anexo No. K de este informe.

En el Cuadro No. F.1, del anexo F, se presenta el resumen general del inventario. Es indispensable recalcar que la información recolectada en cuanto a la tipología estructural de la vivienda es de carácter más cualitativo que cuantitativo buscando aproximarse conceptualmente a la resistencia o capacidad de respuesta de la edificación ante eventos de remoción en masa de diferentes magnitudes. Sobre este aspecto, conviene agregar además, que en general casi ninguna edificación y mucho menos las que ocupan la atención de este estudio son diseñadas, ni construidas específicamente para resistir empujes o fuerzas laterales generadas por fenómenos de remoción en masa y que por tanto la evaluación que sobre el particular puede hacerse con base en el inventario es muy limitada. En conclusión, se busca, de manera más sistemática, evaluar de manera más específica la capacidad intrínseca de las estructuras existentes ante eventos de tal naturaleza.

En un primer nivel (A), se incluyen las casas que de forma aparente cumplen con rasgos y parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, representados en una estructura aporticada o el empleo de muros cargueros confinados por columnas a distancias razonables y con placa de entrepiso en concreto.

En un segundo nivel (B), se clasifican las viviendas construidas con muros cargueros, que tienen placa de entrepiso en concreto e incorporan columnas y elementos de amarre local y esporádica, es decir, son viviendas cuya concepción busca propocionar algún tipo de refuerzo adicional a la metodología tradicional de muros y placas.

En un tercer nivel (C), clasifican todas las demás tipologías de viviendas, es decir, viviendas con muros cargueros, fundados sobre cimiento ciclópeo y viviendas prefabricadas.

En un cuarto nivel (D), se incluyen las viviendas construidas con madera, cartón o tejas metálicas o sus combinaciones informales, es decir, viviendas informales o que normalmente se llaman tuguriales.

Se establece un quinto y sexto nivel para predios en proceso de construcción **(E)** y para los lotes vacíos **(F)** respectivamente.

7.2.2 Condición Actual

7.2.2.1 Descripción de la población del área de influencia directa

El sector en estudio corresponde a un desarrollo habitacional consolidado, en el cual la mayoría de las construcciones tienen edades superiores a los 20 años y en algunos casos

de 40 a 46 años. Predominan edificaciones de uno a dos pisos, con excepción de tres vivienda las cuales presentan tres niveles; en promedio se existe una densidad de ocupación de 7 personas por vivienda, es común encontrar dos a tres familias compartiendo la vivienda.

Desde el punto urbanístico, el barrio cuenta con áreas verdes, campos deportivos y en la actualidad el Distrito está dotando al sector de una infraestructura para la recreación y el deporte. Además, su cercanía con la Iglesia de la Peña le da al sector un interés turístico.

Según las encuestas realizadas los servicios públicos presentan un cubrimiento del 100%, los habitantes cuentan con los servicios de agua, alcantarillado, luz y teléfono; así como vías pavimentadas y vías de acceso en buen estado.

7.2.2.2 Tipología de la vivienda

A partir de la revisión y análisis de la información recolectada en el inventario de viviendas, como se comentó anteriormente, se establecieron seis tipologías de viviendas en función de su capacidad estructural de respuesta ante solicitaciones impuestas por los fenómenos que representan amenaza así:

A – Viviendas con estructura aporticada en concreto.
B – Viviendas con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado.
C – Viviendas de construcción normal y viviendas prefabricadas.
D – Viviendas informales.
E – Edificaciones en proceso de construcción.
F – Lotes vacíos

De tal manera que las viviendas tipo **A** se consideran menos vulnerables que las viviendas tipo **D**, es decir, tienen una mayor capacidad de resistir. La clasificación **E** y **F** se tiene en cuenta por que se asumen que estos predios hacen parte del loteo de los barrios en estudio y de alguna forma representan algún valor para sus propietarios.

En el cuadro No F.2, del anexo F, se presenta la evaluación cualitativa de la condición estructural de las viviendas. La definición de los escenarios espaciales de riesgo se establece en función de los eventos amenazantes estudiados en los numerales anteriores y la localización geográfica de cada predio frente a los mismos.

El tipo de construcción de las viviendas desde el punto de vista de comportamiento estructural, en este sector se puede calificar como regular, predominando edificaciones tipo muros cargueros o portantes, lo que se encuentra acorde con la edad del barrio. Las estructuras de cubierta típicas están conformadas en madera y tejas de asbesto cemento.

7.2.2.3 Principales actividades económicas

La capacidad de los habitantes en cuanto a sus ingresos, se puede catalogar como baja; el ingreso por persona laboralmente activa se encuentra entre 1 y 2 salarios mínimos vigentes; un 45% trabaja independientemente y el restante 55% son empleados.

En cuanto a sus bienes y pertenencias, se considera que tienen lo básico para vivir; 8 familias estiman que sus pertenencias están avaluadas entre 4 y 10 millones de pesos, el resto de las familias consideran que sus bienes pueden tener un costo entre 500 mil pesos y 2 millones de pesos; igual pasa con el valor de su inmueble, para lo cual estiman

que su vivienda o lote esta entre 3 y 50 millones de pesos, predominando valores entre 15 y 20 millones.

7.2.3 Evaluación de Daños Posibles

La estimación cuantitativa de daños posibles se evalúa para cada tipo de vivienda en función de la asignación de una solicitación impuesta por un determinado proceso generador de daño, que a su vez, depende del grado de exposición del elemento expuesto. Este procedimiento se realiza a criterio del experto en evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa tomando como base la siguiente tabla de clasificación de daños propuesta por DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996.

Cuadro No. 7.3. Clasificación de daños

Intensidad de daño ID	Modos de daño	Porcentaje de daño
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada	0,01 – 0,1
2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes	0,2 – 0,3
3	Deformaciones importantes, fisuras en elementos estructurales	0,4 –0,6
4	Fracturación de la estructura, evacuación inmediata	0,7 – 0,8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	0,9 – 1,0

Tomada de Leone, 1996

Donde el porcentaje de daño se define como la diferencia entre el valor inicial del bien antes del evento y el valor final del bien después del evento, dividida por el valor inicial del bien.

7.2.4 Asignación de Solicitación

La asignación de solicitaciones se realiza definiendo una zona de interacción entre el fenómeno y el elemento expuesto para el mecanismo de falla que arroje la condición más crítica en los análisis de estabilidad.

En la Cuadro No 7.6 se presenta la asignación de eventos y solicitaciones para cada predio, predominando los empujes por acción de eventos en la base de los taludes. Igualmente se asigna la tasa de daño y el porcentaje del área del predio afectada, teniendo en cuenta el avance de los movimientos si no hubiese elementos físicos en el recorrido de la masa.

7.2.4.1 Tipo de Movimientos y Solicitaciones

Se establece para el modelo de vulnerabilidad los deslizamientos rotacionales y traslacionales, como los eventos generadores de daño; para los cuales, en cada zona geotécnica o condición local se define de manera cualitativa un área de afectación, teniendo en cuenta tanto la magnitud del evento como la morfometría del frente de viaje del movimiento y su influencia en cuanto al retroceso de la corona del movimiento.

Se definen dos tipos de solicitaciones así:

- Desplazamientos verticales - DV
- Empujes - E

Los desplazamientos verticales son experimentados por los elementos localizados en la zona geomorfológica I, específicamente el predio codificado como Número 20 de la manzana 12, su valoración se hace a partir de la dinámica de los movimientos, que para este caso específico se considera que se desencadenarían de manera lenta con deformaciones sucesivas, de pequeña magnitud.

Las solicitaciones por empuje son experimentadas por los elementos que se encuentran al frente de la masa en movimiento sobre la dirección de avance; su magnitud se establece con criterios geométricos, en función de la relación entre la altura de la acumulación del material movido y la del elemento expuesto, sobre la base de tres niveles:

Alta Altura de acumulación mayor a los 2/3 de la altura del elemento
Media Altura de acumulación entre 1/3 y 2/3 de la altura del elemento.
Baja Altura de acumulación menor a 1/3 de al altura del elemento.

Estas solicitaciones se presentan en las zonas IV, V y VI, actuando principalmente sobre los patios de las viviendas y sobre un muro en gaviones que se encuentra funcionando de manera adecuada. Se asocian eventos de pequeña magnitud sin gran poder destructor.

7.2.4.2 Calificación de los Daños

La calificación de los daños se realiza generando una matriz que permite adelantar la asignación de los índices correspondientes en función de la tipología de las viviendas y el tipo de solicitación.

La tipología de las viviendas representa la capacidad de asimilación de la estructura a solicitaciones impuestas por el fenómeno amenazante, vulnerabilidad física; en el tipo de solicitación asignado se tiene en cuanta la vulnerabilidad por exposición del elemento expuesto.

Con estos criterios se define la siguiente matriz:

Cuadro No. 7.4. Matriz de índices de daños (ID)

Solicitación	Tipología					
	A	B	C	D	E	F
Desplazamiento Vertical (DV)	3	3	3	4		1/3
Empujes(E)	2	2	3	4	1	1
No Solicitación						1

Nota: Indice de daño asociado según DRM. Ver cuadro No. 7.3.

7.2.5 Evaluación

Con base en la matriz de daños se establece el algoritmo de asignación en cada caso en particular, definiendo el índice de vulnerabilidad como el porcentaje de pérdida esperado, evaluado en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño. Como variable discriminante en este proceso se introduce el área de afectación del predio por efectos de la solicitación, ya que los movimientos en masa son de pequeña magnitud.

Los intervalos de clasificación de vulnerabilidad se establecen según el siguiente cuadro:

Cuadro No. 7.5. Categorización de la vulnerabilidad y el riesgo.

Niveles	Vulnerabilidad y riesgo
MB Muy Bajo	<= 0.1
B Bajo	<= 0.3
M Medio	<= 0.6
A Alto	<= 0.8
MA Muy Alto	<= 1.0

Tomada de UPES / INGEOCIM, 1998

La representación de estos resultados sobre la base cartográfica se presenta en el Plano No 6. En el cuadro No 7.8 se muestran los resultados numéricos.

El sector se caracteriza por presentar niveles de vulnerabilidad bajos a muy bajos (índice de daño Id), debido en gran parte a la pequeña magnitud de los eventos amenazantes con poder destructor bajo y distancias de viaje de la masa movilizada cortas, aunque en ocasiones los niveles de exposición de los elementos expuestos sean altos. Los máximos niveles de perdidas esperadas o **Id** son del orden del 20 % del valor del predio, con excepción de dos viviendas (No. 16 y 18 de la manzana 9) que presentan niveles del orden del 45%; predominan valores menores al 10 %.

Si se considera la situación en la cual se permite la construcción de más viviendas en la zona de amenaza V, la vulnerabilidad aumentaría a niveles muy altos (MA) debidos a los niveles de exposición a que se vería expuestas tales viviendas, a la gran masa de suelo que se deslizaría y al alcance que estas tendrían; para esta situación se consideran niveles de pérdida totales e índices de daño (Id) del orden de 0.9.

Cuadro No. 7.6. Evaluación de vulnerabilidad y riesgo por FRM

7.3 EVALUACIÓN DE RIESGO

Una vez definida la amenaza en términos de probabilidad de ocurrencia y establecidos los índices de vulnerabilidad en términos de costo de daño, ver cuadro No 7.6; el riesgo por fenómenos de remoción en masa en términos de costo esperado de falla, se define como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad. Adicionalmente se establece un índice de riesgo -IR- definido como el porcentaje de daño esperado, el cual permita establecer intervalos de riesgo, cuadro No. 7.6.

El sector en estudio presenta niveles de riesgo bajos a muy bajos. El 48% de los predios presenta un índice de riesgo (Ir) menor al 10%, el 23% de las viviendas presenta **Ir** menores al 30% y el 29% de los predios no se ve afectado por ningún movimiento del terreno. En la zona IV y V el nivel de riesgo se asocia a la vulnerabilidad de las viviendas dada la alta amenaza que presenta la zona y a un nivel de exposición directa de las estructuras frente a los eventos; sin embargo, el riesgo es más inminente en la zona V, ya que en este sector la totalidad de la casa se ve expuesta a un potencial deslizamiento de la roca, mientras que en la zona IV, el área expuesta de las viviendas corresponde a los patios de las mismas y el evento asociado es un deslizamiento rotacional del suelo contenido por el muro en gaviones.

Teniendo en cuenta los niveles de amenaza y vulnerabilidad que se alcanzarían si se permite la ubicación de viviendas en la parte baja de la zona V, consultar numerales 7.1 y 7.2, el nivel de riesgo que se alcanzaría sería alto a muy alto, ya que para poder construir en esta zona se necesitaría efectuar cortes en la ladera como los hechos por las personas que en la actualidad residen en los predios No. 16, 17 y 18 de la manzana 9. Estos cortes generan procesos de inestabilidad tanto del suelo residual como de la arcillolita, los cuales se desencadenan en deslizamientos que terminan afectando las mismas casas; tal es el caso de la vivienda No. 16, la cual sufrió recientemente un deslizamiento de algunos pequeños bloques; o una casa prefabricada que se encontraba ubicada en el costado oriental de la vivienda No. 18 de la manzana No. 9, la cual fue afectada en un 50% a causa de materiales que se desprendieron de los cortes que los habitantes de la misma casa hicieron.

Bajo las anteriores consideraciones y a fin de preservar la estabilidad relativa de la ladera en esta zona, el Consultor recomienda evitar la ubicación de viviendas en esta zona, máxime si se piensa que estos cortes pueden activar grandes deslizamientos que podrían afectar incluso la vía que por allí pasa.

8 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

8.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados de la evaluación del riesgo en el área en estudio muestran que los niveles de amenaza actual se generan por los cortes que ha realizado la comunidad para la construcción de sus viviendas, dejando taludes seudoverticales con alturas hasta de 6 m, posibilitando el movimiento de los materiales superficiales, bien sea suelos residuales o rellenos.

Durante la construcción de las viviendas de la manzana No. 9, zona de amenaza IV, se efectuaron una serie de cortes sobre el macizo rocoso a fin de construir el patio de las casas, en su momento se evidenció la posibilidad de deslizamientos de bloques de la roca, para lo cual, el urbanizador construyó el muro en gaviones que en la actualidad se encuentra tras las viviendas. A partir de la inspección realizada al muro y al material que este está conteniendo, se puede concluir que: éste se encuentra en buen estado, que a cumplido su función de contener los materiales y mejorar las condiciones de estabilidad de la ladera en esta área.

En general, la condición de estabilidad de las laderas naturales que conforman el sector tienden a la estabilidad y las zonas inestables se asocian a los cortes y zonas conformadas con rellenos de poco espesor.

Los procesos generadores de la amenaza se caracterizan por ser superficiales y de pequeña magnitud. Los mecanismos de falla de los depósitos superficiales se caracterizan por ser más rápidos en las zonas de pendientes altas y lentos en los sectores de baja pendiente. Estos procesos presentan un poder destructivo dependiendo de su ubicación en el corte (energía potencial); para el caso de la zona IV presentan energías potenciales que pueden llegar a destruir los muros que conforman los patios de las viviendas, pasando por encima del muro de gaviones.

El Consultor aclara que al momento de entrega del presente informe, el IDRD se encuentra adelantando una serie de obras en y alrededor de la cancha de fútbol La Mina; algunas de estas obras, como lo son: un muro en gaviones, tres drenes, cuneta filtro y cuneta de conducción de aguas, se adelantan en parte del sector 2, estudiado por el Consultor para la DPAE. Como el Consultor no conoce los diseños y alcances de tales obras, se sugiere que La DPAE tenga en cuenta esta situación a la hora de efectuar la contratación de las obras diseñadas por el mismo. Para efecto de conocer la ubicación aproximada de tales obras, el consultor las presenta de manera aproximada en el plano No. 8.

8.2 PLAN GENERAL DE ACCIONES

El plan de acciones establece las medidas preventivas y de mitigación que buscan en primera instancia minimizar los niveles de riesgo a que está expuesta la comunidad controlando los procesos, y en segunda instancia, mejorar las condiciones del entorno físico y ambiental que favorecen la ocurrencia de los procesos de inestabilidad.

8.2.1 Medidas preventivas

Dentro de este grupo se proponen:

Obras de protección y control: Básicamente serán obras a nivel de control de la escorrentía y arborización, especialmente en el sector de la vía de acceso a la Iglesia. Con estas obras se busca mejorar las condiciones físicas y ambientales del sector.

Reubicación: Esta medida busca prevenir desastres y/o perdidas humanas a raíz de deslizamientos que afecten viviendas expuestas de manera directa a tales fenómenos, como sucede en la zona V, específicamente con las viviendas No. 17 y 18 de la manzana 9, las cuales se encuentran en una zona de amenaza alta, riesgo bajo y vulnerabilidad media.

8.2.2 Medidas de mitigación

Esta medidas tienden a mitigar en forma directa el riesgo y buscan modificar las características de los eventos amenazantes o las características de los elementos expuestos.

Teniendo en cuenta las características de los eventos amenazantes en el área y que su afectación se limita a las áreas inmediatamente adyacentes, se establecen como medidas de mitigación las obras físicas para la intervención y control de los fenómenos de remoción en masa. Las medidas se subdividen en:

Control De Erosión:

- Perfilado de Taludes, retiro de materiales sueltos y localmente empradización.
- Protección del escarpe principal que se encuentra tras el muro en gaviones de la zona IV de amenaza.

Estabilización:

- Retiro o compactación de masas pequeñas inestables.
- Protección de las paredes de los cortes efectuados en la zona V mediante mortero lanzado, malla y pernos.
- Arborización con fines de mejorar condiciones de amarre de los suelos superficiales.

La puesta en marcha, así como la ejecución de este esquema de medidas de prevención y mitigación, es evidente que debe ser compartida por diferentes entidades del orden Distrital además del DPAE y naturalmente, como actor principal la comunidad interesada. Como caso especial en el área de influencia del estudio el Instituto de Recreación y Deporte está adelantando trabajos alrededor de la cancha de fútbol.

8.3 PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS.

Dentro del esquema presentado anteriormente, el Consultor considera las siguientes medidas:

8.3.1 Medidas preventivas

8.3.1.1 Reubicación de viviendas.

Se consideró esta medida aplicable para los predios No. 17 y 18 de la manzana 9, los cuales están directamente expuestos a desprendimientos de pequeños bloques del macizo rocoso así como deslizamientos del material residual que descansa sobre la roca.

8.3.2 Medidas de mitigación

8.3.2.1 Control de erosión

Perfilado y empradización: Se recomienda en sectores en los cuales se aprecian algunos procesos locales de erosión, o localmente cubiertos por materiales botados o rellenos sueltos.

El retiro de los materiales sueltos y su reconformación mejoran las condiciones de estabilidad así como el entorno físico y será aplicable a la zona III.

Protección del escarpe principal en la zona de amenaza IV: Esta medida busca revegetalizar el escarpe principal mencionado, a fin de controlar la erosión que se pueda generar sobre la arcillolita, así como, evitar la infiltración de la escorrentía a través de la grieta que allí ser presenta.

8.3.2.2 Estabilización

Manejo del agua subsuperficial, zona I: Consiste en una red de drenaje superficial, compuesta por dos drenes interconectados que descargan el agua colectada a una caja que actualmente construye el IDRD, como parte integral del sistema de drenaje alrededor de la cancha de fútbol, sistema que se encuentra actualmente también en construcción. Se considera que esta medida es viable ya que el caudal que se estima aportará este sistema de drenajes será bastante pequeño.

Protección de las paredes de cortes efectuados sobre la roca en el costado norte de la zona V: Esta medida busca proteger del intemperismo los cortes ya efectuados en esta zona; además, la medida busca impedir desprendimientos de pequeños bloques de la roca. Para este fin, se propone la colocación de una malla electrosoldada sujetada a la roca mediante pernos pasivos de una longitud aproximada de 3.00 m; como revestimiento se sugiere el uso de mortero. Además de la función de los pernos ya establecida, éstos sujetarán los bloques que puedan desprenderse.

Arborización: Esta medida se considera para todo el sector en estudio; su objetivo es dotar de estructura al suelo residual a fin de mejorar sus condiciones de resistencia ante eventos de deslizamiento y mantener deprimido el nivel freático que allí pudiera presentarse.

Cortes y terraceo: Esta alternativa apunta básicamente a efectuar cortes (Terraceo) en las zonas de mayor pendiente y con espesores de material residual aproximadamente de 2.00 m, zona de amenaza IV. Esta medida debe complementarse con la colocación de cobertura vegetal a fin de proteger los materiales que resultan expuestos.

8.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS.

Para establecer la viabilidad técnica de las obras recomendadas, se llevó a cabo la evaluación de estabilidad de las medidas de mitigación descritas en el numeral ...8.3.2.2...

Los modelos empleados en los análisis de estabilidad y los resultados obtenidos se presentan en los anexos G y H. Respectivamente.

En el siguiente cuadro, se presentan los factores de seguridad establecidos para las medidas consideradas en las diferentes zonas de amenaza en las que se dividió el área en estudio.

Cuadro No. 8.1. Factores de seguridad para las medidas de estabilización proyectadas.

Medidas	Zona de amenaza			
	I	III	IV	V
	FS(mín)	FS(mín)	FS(mín)	FS(mín)
Control del agua subsuperficial y arborización	3.73	0.92	0.73	1.01
Protección de las paredes con mortero	-	-	-	1.58
Cortes y terraceo	-	-	1.92	-

Figura No. 8.1. Planteamiento de medidas proyectadas.

8.5 ALTERNATIVAS A CONSIDERAR

En vista de los factores de seguridad obtenidos para las medidas evaluadas, el Consultor considera necesario llevar a cabo una combinación de medidas, a fin de establecer alternativas seguras y efectivas para garantizar la estabilidad de las laderas, minimizar los niveles de riesgo y brindar a la comunidad del sector seguridad para sus vidas, viviendas e infraestructura en general.

Las siguientes son las alternativas consideradas:

Cuadro No. 8.2. Alternativas consideradas para minimizar los niveles de riesgo del área en estudio.

Alternativa No.	Descripción
1	Arborización y drenes en el área de estudio, protección de cortes con malla y mortero en la zona V.
2	Arborización y drenes en toda el área de estudio.
3	Terraceo en la zona IV y arborización y dren en el sector 2.
4	Arborización y drenes en el área de estudio, además reubicación de las viviendas No. 17 y 18 de la manzana 9.
5	Terraceo en la zona IV, arborización y dren en el sector 2 y protección de cortes con malla y mortero en la zona V.
6	Terraceo en la zona IV, arborización y dren en el sector 2 y reubicación de las viviendas No. 17 y 18 de la manzana 9.

8.6 ANÁLISIS DE COSTOS DE LAS MEDIDAS PROYECTADAS Y DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERADAS

Para efectuar el análisis costo/beneficio se llevaron a cabo estimaciones bastante aproximadas de las cantidades de obra de cada una de las alternativas consideradas. De igual manera, se establecieron los costos aproximados en que se incurriría al efectuar las obras evaluadas.

8.6.1 Cantidades de obra aproximadas

Los siguientes valores fueron tomados de la gráfica No. 8.1 y de las secciones adjuntas en el anexo G. Estos valores serán empleados en la estimación de los costos aproximados de las obras planteadas que conjuntamente con la información de estabilidad conjugarán la elaboración de los árboles de decisiones.

Cuadro No. 8.3. Cantidades de obra aproximadas.

Ítem	Unidad	Cantidad
Filtro	ml	90
Perfilado y empradizado	m^2	1395
Protección de la roca con mortero	m^2	256
Arborización	UN	87
Excavación y terraceo	m^3	4550
Reubicación	Vivienda	2

8.6.2 Presupuesto aproximado de las medidas proyectadas

Para los ítems presentados en el numeral anterior se establecieron los siguientes valores:

Cuadro No. 8.4. Costos aproximados de las obras.

Ítem	Unidad	V. Unitario	Cantidad	Valor Parcial
Dren	ml	$ 52.000	90	$ 4.680.000
Perfilado y empradizado	m^2	$ 25.500	240	$ 6.120.000
Protección del escarpe principal de la zona IV con Ecomatrix	m^2	$ 7.300	400	$ 2.920.000
Protección de la roca con mortero	m^2	$ 50.000	256	$ 12.800.000
Arborización	UN	$ 22.500	87	$ 1.957.500
Excavación, terraceo	m^3	$ 16.000	4550	$ 72.800.000
Empradizado para terraceo	m^2	$ 3.000	2184	$ 6.552.000
Reubicación	Vivienda	$ 10.000.000	2	$ 20.000.000

8.6.3 Presupuesto aproximado de las alternativas consideradas

Se efectuó un presupuesto aproximado de cada una de las alternativas proyectadas teniendo en cuenta las cantidades de obra y costos aproximados de las mismas, obteniendo los resultados que se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro No. 8.5. Costos aproximados por alternativa consideradas.

ALTERNATIVA No.	OBRA						VALOR POR ALTERNATIVA
	A	B	C	D	E	F	
1	$4,680	$35,573	$12,800	$1,958	-	-	$55,010
2	$4,680	$35,573	-	$1,958	-	-	$42,210
3	$4,680	-	-	$979	$79,352	-	$85,011
4	$4,680	$35,573	-	$1,958	-	$20,000	$62,210
5	$4,680	-	$12,800	$979	$79,352	-	$97,811
6	$4,680	-	-	$979	$79,352	$20,000	$105,011

Valores en miles de pesos

OBRAS

A: Dren
B: Perfilado y empradización
C: Protección de la roca con mortero
D: Arborización
E: Excavación y empradización
F: Reubicación

8.7 ÁRBOLES DE DECISIÓN.

En este numeral se establecen los indicadores que desde el punto de vista de mitigación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, se deben seguir para la atenuación de los efectos que puedan generar la ocurrencia de eventos amenazantes. Dentro de este contexto y desde el punto de probabilidad de falla, solo se tienen en cuenta las obras que buscan estabilizar los movimientos o mejorar los niveles de vulnerabilidad actual; en cambio desde el aspecto económico se tienen en cuenta todos los costos que implicaría cada una de las alternativas consideradas.

Para establecer los criterios de decisión se hace un análisis comparativo entre la condición actual y futura sin obras frente a escenarios actuales y futuros en los cuales se han implementado las alternativas proyectadas. La base de comparación de estos análisis, es el riesgo asumido en términos económicos.

Los valores de probabilidad de falla empleados en los árboles de decisión se especifican en los cuadros 7.2 y los del anexo H. Los valores allí consignados se obtuvieron tanto de los análisis de estabilidad para las condiciones actual y futura con obras y sin ellas; estos valores están consignados en los anexos E y H.

Los valores considerados en los análisis efectuados se tomaron tanto del cuadro No. 8.5 para el valor de las obras en cada una de las alternativas y de una estimación del daño esperado en términos económicos si ocurriera el fenómeno amenazante.

El daño esperado se calculó como la suma de los valores del daño ocasionado en cada predio por el deslizamiento, dependiendo de la condición de evaluación, es decir si se tuvieran en cuenta las obras de estabilización o no.

En el anexos I se presentan los árboles de decisiones para cada una de las alternativas analizadas, ver cuadro No. 8.2. El valor de la ruta en estos árboles se establece así:

- Para las condiciones sin medidas el valor de la ruta es igual al valor del daño esperado si ocurre deslizamiento o cero si este no ocurre.
- Para la condición con obras este valor es igual al valor del daño esperado mas la mitad del valor de las obras si ocurre el deslizamiento, pues se considera que de presentarse el deslizamiento las obras no se verán afectadas en su totalidad. Si no ocurre el deslizamiento, el valor de la ruta será igual al valor de las obras.

En el cuadro siguiente, se resumen los resultados obtenidos de los análisis efectuados a través de los árboles de decisión:

Cuadro No. 8.6. Riesgo asumido en miles de pesos ($ *1000), para cada una de las alternativas evaluadas.

Solución	Condición actual		Condición Futura (20 años)	
	Sin obras	Con obras	Sin obras	Con obras
1	29.717	54.430	43.602	52.602
2	29.717	43.353	43.602	42.334
3	29.717	82.730	43.602	78.934
4	29.717	62.064	43.602	61.770
5	29.717	97.447	43.602	96.081
6	29.717	102.003	43.602	97.000

Del este cuadro se deduce que la alternativa No 2 es la más viable en términos económicos, sin embargo no se está considerando obras para proteger los predios No. 17 y 18 de la manzana No. 9. Por el contrario, la alternativa No. 1 y la segunda más viable en términos económicos frente al riesgo asumido, si contempla solución frente a la amenaza a l que se ven expuestas las viviendas mencionadas frente a los desprendimientos que pueden presentarse del material rocoso. Bajo las consideraciones anteriores, el Consultor recomienda implementar las obras consideradas en la alternativa No. 1.

9 DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

9.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para estabilizar el sector en estudio se escogió la alternativa que consiste en reforestar todo el sector en estudio, construir un dren en el sector 2 y proteger los cortes sobre la roca, localizados en la zona de V. Se recomienda complementar la alternativa seleccionada con la reconformación de dos áreas en la zona III y la protección del escarpe principal en la zona IV.

9.2 DETALLE DE SOLUCIÓN PARA ESTABILIZACIÓN

9.2.1 Filtro en la zona I.

Con el fin de mejorar la estabilidad de la ladera del sector I, se ha previsto la construcción de un sistema de dos drenes interconectados entre sí; el primero de ellos, es un filtro transversal de 15.0 m de longitud, paralelo a la vía, y que se conecta al otro filtro que discurre de manera diagonal por la ladera hacia una caja de inspección existente en la esquina sur occidental de la cancha de fútbol; esta caja se conecta a la red de alcantarillado de aguas lluvias. La longitud total del filtro diseñado es de 90.0 m. Ver plano No. 8.

En la sección del esquema del filtro no se ha previsto la colocación de tubería interna por los bajos caudales que se manifiestan.

Se recomienda colocar un geotextil tipo Pavco NT 3000 no tejido o su equivalente con una permeabilidad de $32*10^{-2}$ cm/s, teniendo en cuenta que se ha asumido el tamaño de la partícula de suelo para el cual el 85% del total de suelo es mas fino, en 0.06 mm.

La selección del tamaño de la apertura del geotextil se basa en el criterio de Carroll, que establece que el tamaño correspondiente al 95% de la apertura del geotextil debe ser menor que 2 o 3 veces el d_{85} del suelo. Para este caso se seleccionó 2.5 veces el d_{85}, o sea, 0.15 mm.

Las características del material filtrante corresponden a las especificadas en el artículo 673 de las especificaciones técnicas del INV.

9.2.2 Reconformación y empradización.

Con esta medida se busca reconformar dos áreas de la zona de amenaza III que presentan pequeños escarpes y materia suelto, tal como se ilustra en el plano No. 8 y las secciones A-A´ y B-B´ del plano No. 9.

Bajo esta medida, deberá perfilarse a mano las zonas ilustradas en el plano No. 8 y posteriormente empradizar la zona reconformar con cespedón, ya sea del lugar o de otro sitio.

9.2.3 Ecomatrix

Mediante esta medida se busca proteger y revegetalizar el escarpe principal que se presenta en la parte baja de la ladera de la zona IV.

Inicialmente se deberá perfilar el escarpe de tal manera de se obtenga una pendiente más suele; para ello, se presentan las secciones B-B´ a D-D´, en las cuales se indica como deberá quedar el perfilado, esto mismo se presenta en el plano No. 8, en el cual se ilustra como deberán quedar las curvas de nivel. Posteriormente se deberá efectuar un sellado de la grita que allí se presente, para lo cual se deberá emplear una mezcla de arcilla y cal. Por último, se colocará el manto sintético Ecomatrix, para lo cual deberán seguirse las especificaciones técnicas al respecto, anexo M.

9.2.4 Sellado de grietas

Existen algunos sectores en los cuales se aprecian grietas, para lo cual se recomienda efectuar un sellado de las mismas mediante una mezcla de arcilla del sector y cal. Los sitios a sellar se indican en el plano No. 8.

Para el sellado deberá retirarse la capa vegetal, efectuar una incisión en el suelo y llenar la grieta con la mezcla arcilla-cal, posteriormente deberá colocarse nuevamente la capa vegetal.

9.2.5 Protección de los cortes efectuados sobre la roca en la zona V.

Se considera un revestimiento de estos cortes mediante una malla electrosoldada, la cual se sujetará a la roca mediante un arreglo de filas de pernos separados 5.00 m; Cada fila contará con uno (1), dos (2) o tres (3) pernos pasivos de una longitud aproximada de 3.0 m, distribuidos verticalmente de acuerdo a la necesidad que de ellos se presente. La protección de esta solución se hará mediante un recubrimiento de mortero colocado a mano sobre la malla electrosoldada.

Deberán dejarse drenes cortos en el recubrimiento a fin de evitar acumulaciones de agua y por ende desprendimiento de la protección.

En el plano No. 8 se indica el área que será cubierta con esta solución; en el plano No. 9 se presentan las secciones G-G´ a M-M´, las cuales se encuentran separadas cada cinco metros una de la otra, y mediante las cuales se ilustra la posición e inclinación de cada uno de los pernos, así como algunos cortes o perfilados que habrá necesidad de efectuar. Se recomienda revisar las especificaciones técnicas al respecto, anexo M.

9.2.6 Arborización

Mediante esta medida se busca dotar al suelo residual y relleno superficial que se encuentra en el sector, de una estructura que le brinde mayor resistencia; esta función la cumplirán las raíces de los diferentes árboles proyectados. La ubicación de los árboles,

así como el tipo a emplear en cada uno de los sectores estudiados se ilustra en el plano No. 10.

Debe destacarse que los árboles cumplirán una doble función: la primera de ellas consistirá en dotar de una estructura al suelo suelto, es decir al residual y a los rellenos que se encuentran; la segunda de ellas, será la de controlar y mantener deprimido el nivel freático que se llegue a presentar.

La elección de los árboles y su ubicación, obedece entonces a los criterios antes expuestos, así como a criterios urbanísticos y paisajísticos establecidos por el arquitecto especialista, ver plano No. 10.

9.3 CANTIDADES DE OBRA

Las siguientes son las cantidades de obra establecidas para la alternativa proyectada:

Cuadro No. 9.1. Cantidades de obra.

	Ítem	Unidad	Cantidad
1	Filtro	ml	90
2	Reconformación y empradización		
2.1	Perfilado a mano	m^3	243
2.2	Empradización	m^2	501
3	Protección escarpe principal de falla en la zona IV		
3.1	Perfilado a mano	m^3	57
3.2	Sello de grietas	m^2	33
3.3	Protección con Ecomatrix	m^2	398
4	Sello de grietas en todo el sector en estudio	m^2	288
5	Protección de la roca con mortero	m^2	225
6	Arborización	UN	87

9.4 PRESUPUESTO

El siguiente es el presupuesto para las obras proyectadas:

Cuadro No. 9.2. Presupuesto

ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Filtro	ml	90	$46,260	$4,163,436
2	Reconformación y empradización				
2.1	Perfilado a mano	m^3	243	$9,000	$2,187,000
2.2	Empradización	m^2	501	$2,900	$1,452,900
3	Protección escarpe principal de falla en la zona IV con Ecomatrix				
3.1	Perilado a mano	m^3	57	$9,000	$513,000
3.2	Sello de grietas	m^2	33	$2,850	$94,050
3.3	Protección con Ecomatrix	m^2	398	$3,181	$1,266,038
4	Sello de grietas en todo el sector en estudio	m^2	288	$2,850	$820,800
5	Protección de la roca con mortero	m^2	225	$37,028	$8,331,188
6	Arborización	un	87	$22,500	$1,957,500
TOTAL COSTOS DIRECTOS					**$20,785,912**
AIU (30%)					**$6,235,773**
IVA SOBRE UTILIDAD					**$155,894**
TOTAL					**$27,177,579**

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

A partir de la evaluación por amenaza de los sectores en estudio, se estableció que se presentan niveles medios a altos, y se deben básicamente a las altas pendientes de las laderas y los cortes que los habitantes del sector han efectuado, sobre en el sector 1. Sin embargo, los eventos amenazantes son de poca magnitud debido al poco espesor de material que puede moverse, suelo residual y capa vegetal.

Los sectores en estudio se caracterizan por presentar niveles de vulnerabilidad bajos a muy bajos, debido en gran parte a: la pequeña magnitud de los eventos amenazantes, los cuales presentan bajo poder destructor; y las distancias de viaje de las masas movilizadas son cortas; aunque en ocasiones los niveles de exposición de los elementos expuestos sean altos.

Si se considera la posibilidad de permitir mas urbanización en la zona A V, el nivel de vulnerabilidad en esta zona aumentaría a niveles muy altos (MA) ya que: los niveles de exposición a que se vería expuestas las viviendas que allí se colocaran serían muy altos; como habría la necesidad de efectuar cortes en la roca la posibilidad de presentarse deslizamientos aumentaría, ya que estos cortes desconfinarían una familia de diaclasas y la estratificación en esta zona; por último, la distancia de viaje que alcanzarían las masas deslizadas podrían afectar las viviendas actuales e incluso la vía existente.

El nivel de riesgo presente en el sector en estudio es bajo a muy bajo, siendo las viviendas de las zonas A IV y A V las más vulnerables ante el riesgo que se presenta.

10.2 RECOMENDACIONES

La solución recomendada comprende la construcción de un sistema de dos filtros en el sector 1, la reconformación y empradización de dos sectores en la zona de amenaza A III, protección y empradización del escarpe principal que se observa en la zona A IV de amenaza, sellado de grietas de tracción en todo el sector en estudio, protección con malla electrosoldada y mortero de los cortes efectuados sobre la arcillolita en la zona de amenaza A V y la arborización de todo el sector en estudio.

El Consultor aclara que a la entrega del presente informe, el IDRD se encuentra adelantando una serie de obras alrededor de la cancha del parque La Mina y que involucran parte del sector 2, que el Consultor estudio para la DPAE. Por lo anterior, se recomienda que al momento de la construcción de las obras que se proponen en el presente informe se tengan en cuenta las que haya construido el IDRD.

11 BIBLIOGRAFÍA

- ASIAN TECHNICAL COMMITTEE ON GEOTECHNOLOGY FOR NATURAL HAZARD IN ISSMFE, **Manual for Zonation on Areas Susceptible to Rain Induced Slope Failure**. Japón 1997.

- ASTÉ J. ET ALL, **Riegos Naturales y Vulnerabilidad. I Simposio Panamericano de Deslizamientos de Tierras**. Guayaquil, 1994.

- BRABB, E. E. **Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping**. Fourth International Symposium on Landslide, Canadian Geotechnical Society, Toronto Canada, 1984.

- D.N.P.A.P. **Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres**. Bogotá,1998.

- FINLAY P. J, ET ALL. Landslide risk assessment: prediction of travel distance. Canada Geotechnic Journal Volumen 36: 556 – 562, 1999

- GONZALEZ G. A. J. **Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos**. IV Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo I. 1990a.

- GONZALEZ G. A. J. **Metodología para la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos a Nivel Intermedio**, VI Jornadas Geotécnicas SCI. Memorias Tomo II, 1990b.

- GONZALEZ G. A. J y MILLÁN, L, JAVIER., **Procedimiento para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.

- GONZALEZ G. A. J y MILLÁN, L, JAVIER., **Resultados de la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en Santafé de Bogotá**, Colombia. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.

- INGENIERÍA DE RECURSOS HÍDRICOS LTDA. **Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá**. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P. 1996

- INGEOCIM Ltda. **Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para varias Localidades de Santa Fe de Bogotá**, UPES - FOPAE. 1998.

- INGEOMINAS, UPES, Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. **Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá**. Convenio Interadministrativo 01-93. 1997.

- LEONE FRÉDERIC, **Concept de Vulnerabilite Applique a L. Evaluation Des Risques Generes par les Phenomenes de Mouvements de Terrain**. Université Joseph Fourier Grenoble; These de Doctorat, grenoble. 1996.

- MILLÁN, L, JAVIER. **Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa**. Tesis de Maestría en Geotecnia, Universidad Nacional de Colombia. 1998.

- MILLÁN J. Y LOZANO J. **La contrastación de mapas en la Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa**. IX Jornadas Geotécnicas, Sociedad Colombiana de ingenieros, Santa Fe de Bogotá 1997.

- MILLÁN J. Y LOZANO J. **La Erosión en los Estudios de Zonificación de Areas Urbanas por Fenómenos de Remoción en Masa**, VI Congreso Colombiano de Geotecnia, Bucaramanga 1996c.

- MILLÁN, L, JAVIER y VESGA LUIS F., **Inventario de Procesos de Remoción en Masa en los estudios de Amenaza y Riesgo**. XI Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Foz do Iguacu, Brasil, 1999.

- SHUK T. Y GONZALEZ A. J., **Cuantificación de Parámetros de Riesgo por Inestabilidad de Taludes y de Costos para Aplicaciones Geotécnicas en una Carretera y un Sitio Regional**. Boletín Colombiano de Geotecnia, No. 5, 1993.

- INGEOCIM LTDA, **Zonificación de riesgo por inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Bogotá, localidad de San Cristóbal**, UPES FOPAE, Santafé de Bogotá D.C., 1998.

- WINTERKON H. , FANG H., **Foundation Engineering Handbook, Litton Education** Publishing inc, U.S.A. 1975

- BOWLES Joseph, **Propiedades Geofísicas de los Materiales**, Ediciones Lerner Ltda, Bogotá-Colombia, 1982

- CHOW, VEN TE, **Open-Channel Hydraulics**, 1960.

- IRH LTDA., **Caracterización de tormentas de la Sabana de Bogotá**, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 1993.