

**ALCALDIA MAYOR DE SANTA FE DE BOGOTA, D.C.  
DIRECCION DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS  
DPAE - FOPAE**



**CONTRATO  
No. CCS.319 DE 1999**

**ESTUDIOS DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS  
DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA  
ESTABILIZAR EL SECTOR SUR DEL BARRIO EL DORADO. LOCALIDAD DE SANTA FE.**

***RESUMEN EJECUTIVO***

**CONSORCIO  
INNOVA INGENIERIA LTDA. - CGRS**

**SANTA FE DE BOGOTA, D.C.,  
DICIEMBRE DE 1999**

**RESUMEN EJECUTIVO**  
**CONTRATO CCS.319 DE 1999**

**ESTUDIOS DE RIESGOS POR REMOCION EN MASA, EVALUACION DE ALTERNATIVAS  
DE MITIGACION Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS OBRAS RECOMENDADAS PARA  
ESTABILIZAR EL SECTOR SUR DEL BARRIO EL DORADO. LOCALIDAD DE SANTA FE**

**1. INTRODUCCION**

La zona de interés hace parte del barrio El Dorado, localizado en la Localidad de Santafe, al suroriente de Santafe de Bogotá. Limita al norte con el barrio El Dorado Bajo, al sur con el barrio Vitelma y la planta del acueducto del mismo nombre, al oriente con el barrio El Consuelo y al occidente con el barrio Cartagena.

El área objeto del estudio está circunscrita por el camino a Vitelma - Carrera 5 Este y Diagonal 6 A sur, la Transversal 9 Este, la Diagonal 5 Sur hasta la Transversal 8 Este, esta última hasta la Diagonal 6 Sur, la Diagonal 6 Sur hasta el camino a Vitelma y el sector occidental a partir de la carrera 7B Este y el camino de la Peña.

Se determinó que aproximadamente el 25% del área del sector sur del barrio El Dorado se encuentra urbanizada con edificaciones construidas en mampostería no reforzada y parcialmente confinada que en su gran mayoría son de uno y dos pisos. Existen algunos sectores con viviendas de características subnormales.

En cuanto a infraestructura de servicios públicos básicos, el barrio cuenta con cubrimiento de redes formales de acueducto, energía eléctrica y teléfonos. Adicionalmente, en el sector se encuentran redes informales de alcantarillado sanitario y no existen sistemas de alcantarillado pluvial ni redes de distribución de gas.

**2. ANTECEDENTES**

La zona está conformada por una ladera de alta pendiente sobre la cual se construyeron algunas viviendas semiconsolidadas, edificadas con ladrillo y en su gran mayoría con láminas de zinc y madera.

En el costado derecho de la carrera 7A, existe un muro de concreto de 3.5 m de altura y 50 m de longitud, construido con el fin de habilitar la mencionada carrera como vía vehicular de acceso al barrio. La cimentación del muro que es de tipo superficial, corresponde a un cimiento corrido que está apoyado en el suelo natural a menos de 1.5 m de profundidad con respecto al nivel original del terreno.

El primero de marzo de 1999, se observó que este muro estaba dividido en dos módulos verticales por una grieta uniforme de aproximadamente 20 cm de espesor. Las inspecciones de campo de la DPAE estableció que el módulo sur del muro presentaba un cabeceo de 25 cm que ponía en inminente riesgo las viviendas que se encontraban al frente de dicha estructura. Posteriormente, los días 1 y 2 de marzo, se observaron diversos desgarres del terreno que evidenciaron el movimiento del mismo. Estos movimientos dejaron pequeños escarpes con alturas variables entre 30 y 50 cm. A lo largo del escarpe principal se encontraba una tubería de alcantarillado sanitario de 12 pulgadas de diámetro que se rompió, causando infiltraciones que generaron un pequeño flujo de lodos. Este primer fenómeno afectó principalmente la vivienda del señor Gonzalo Alberto Vásquez, construida con láminas de zinc y madera. A lo largo de toda la ladera se observaron diversos desgarres, alto grado de humedad del terreno y agrietamientos con aberturas variables.

En el costado sur de la ladera, se presentó un deslizamiento de suelo arcillo limoso superficial y bloques de roca con espesores aproximados entre 20 y 40 cm. Este material amenaza con caer sobre las viviendas construidas contra la base del talud. Debido a lo anterior, ocho viviendas que presentaban el mayor grado de exposición frente a la posible caída del muro y a probables fenómenos de remoción en masa, fueron evacuadas.

El día 9 de marzo se presentaron dos deslizamientos. El primero de éstos que correspondió al evento más grande, se sucedió en el costado sur de la ladera. Tratándose de un flujo de lodos que tapó completamente dos viviendas, destruyó parcialmente una tercera y dejó cerca de otras 10 viviendas en grave amenaza. Este flujo se inició en la carrera 7A y llegó prácticamente hasta la parte media de la ladera inferior. El escarpe que este movimiento dejó es aproximadamente de 25 m de longitud. El segundo deslizamiento, también de flujo de lodos, se presentó en el costado noroccidental de la ladera, destruyendo parcialmente cuatro predios, sin causar daños físicos a sus moradores. Se detectó un tercer sector, localizado en la parte baja del muro de contención (sector central de la ladera), con grietas de tracción de más de 15 cm de abertura y ligeros movimientos que están afectando directamente alrededor de cinco casas. Para esta fecha (9 de marzo), el desplazamiento en la corona del muro de contención fue de unos 60 cm y la grieta de separación entre módulos estaba cercana a los 70 cm.

### **3. ALCANCES ESPECIFICOS DEL ESTUDIO**

El estudio zonificó desde el punto de vista de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, el sector sur del barrio El Dorado y elaboró con diseños detallados, cantidades de obra, presupuestos y especificaciones técnicas de las obras de mitigación recomendadas para estabilizar este sector.

Los objetivos específicos cubiertos por el estudio son:

Caracterización de la zona desde el punto de vista geotécnico y geológico.

Identificación de los diferentes procesos y mecanismos de falla que se presentan en la zona.

Identificación de los agentes detonantes de los fenómenos de inestabilidad de la zona.

Zonificación de la zona por amenazas de remoción en masa.

Evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura y de la población de la zona, frente a cada fenómeno amenazante.

Análisis de la condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa para la infraestructura y la población del sector.

Determinación y evaluación de las diferentes alternativas de mitigación, entre ellas evacuación de algunas áreas, aplicación de obras de protección y/o control y aprovechamiento del espacio para crear zonas verdes y de recreación.

Diseño y establecimiento de las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de las alternativas de mitigación para el sector, desde los puntos de vista técnico, económico, urbanístico y social.

### **4. DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD**

Independientemente de los eventos en la zona del muro de concreto, se establecieron otros dos movimientos activos en los sitios denominados "Bosque Borracho" y "Vía a Vitelma". Por lo tanto, se identificaron un total de tres zonas inestables dentro de los límites del área de estudio.

La primera zona inestable activa, mencionada anteriormente, se encuentra localizada en el sector norte del área de estudio, en el sitio donde se realizó la construcción de un muro de contención de concreto reforzado de aproximadamente 3.5 m de altura. En marzo de 1999 se registraron varias emergencias ocasionadas por flujos de tierras. Estos flujos se sucedieron como consecuencia de la saturación del suelo como resultado de lluvias intensas, aguas servidas descargadas libremente sobre la ladera y filtraciones provenientes del sistema de alcantarillado sanitario. A raíz de lo anterior, varias viviendas subnormales fueron afectadas por lo cual se hizo necesario la reubicación de familias y la demolición tanto de algunas viviendas como de una parte del muro que presentaba un alto riesgo de colapso.

La segunda zona inestable de carácter activo, que corresponde al sector del Bosque Borracho, se encuentra en el sector sur contiguo a la inestabilidad anterior y tan solo los separa un afloramiento grueso de arenisca masiva. El movimiento se puede calificar como de reptación, visible en el terreno por tener una serie de escalones o arrugas y por la inclinación que presentan los árboles afectados por el movimiento. Este movimiento puede afectar algunas viviendas subnormales recientes y una fábrica de tuberías de gres para alcantarillado localizadas en la parte baja de la ladera.

La tercera zona inestable activa, se ubica en la parte sur de la zona de estudio afectando el Camino de Vitelma. De acuerdo con la información suministrada por la comunidad, este movimiento tiene origen en los trabajos de construcción de una vía entre la Diagonal 6 sur y el Camino a Vitelma que tenían como finalidad dar salida a los vehículos de carga de una de las fábricas de tubería y en las aguas servidas que son descargadas directamente sobre la ladera, las cuales provocan la erosión del estrato superficial del suelo y dejan expuesta la roca.

El mecanismo de los movimientos, en principio es el mismo para todos los casos arriba descritos, variando sólo la velocidad del deslizamiento. La masa de suelo involucrada es roca in situ fracturada y depósitos de suelos sueltos a moderadamente aglutinados por arcillas plásticas maleables con espesores entre uno y dos metros en las partes alta y media, y hasta 5 metros en la parte baja. Los materiales son afectados por infiltraciones incontroladas de aguas que provocan un movimiento traslacional de estos suelos plásticos sobre la roca dura y que es lento o rápido, dependiendo del grado de saturación del material.

## **5. GEOLOGIA GENERAL**

La zona de estudio se encuentra enmarcada en el flanco occidental de los cerros orientales de Bogotá, se caracteriza por tener hacia el noreste un relieve de pendiente alta conformado por

cuestas estructurales cortas. Presenta un terreno escarpado hacia el flanco occidental con algunos depósitos coniformes producto de movimientos en masa anteriores.

Se identifican rocas constituidas por una secuencia sedimentaria interestratificada de areniscas y arcillolitas. En la zona se aprecian una serie de depósitos cuaternarios que corresponden a coluviones (Qdp), suelos residuales de arenisca y arcillolita (Qrs) y rellenos antrópicos (Qr y Qrh).

Estructuralmente la zona está emplazada en un sector plegado entre fracturas locales y regionales, transversales y longitudinales. La principal de ellas es la denominada Falla Bogotá.

## **6. EVALUACION Y ANÁLISIS DE AMENAZA POR FRM**

La evaluación del grado de amenaza en la zona de estudio se determinó mediante la definición de la probabilidad de falla de las laderas teniendo en cuenta los agentes detonantes naturales que condicionan el comportamiento de estas.

Las características del movimiento se ajustaron satisfactoriamente al modelo teórico de análisis conocido como "talud infinito", el cual se adoptó como básico para el estudio.

Los agentes detonantes identificados son tres a saber :

Lluvias. Cuya influencia se estimó por medio de la modelación de la infiltración de las aguas en un medio no saturado. Se adoptaron las simplificaciones de talud totalmente drenado y no lluvia y la segunda simplificación en donde el talud está saturado por efecto de la lluvia, condición esta que abarca las fugas en tuberías que se presentan actualmente y que ya han demostrado los efectos desestabilizantes que producen.

Sismos. se consideró como una aceleración horizontal igual a 0.24g de acuerdo de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá.

Factor Antrópico. Este factor implica las excavaciones para la explotación de materiales para fabricación de tuberías de gres y ladrillo, rellenos no técnicos y la explotación minera ; adicionalmente la modificación en el patrón de drenaje de aguas lluvias, la deforestación y las fugas de los sistemas de aguas conllevó a fenómenos erosivos importantes.

Los factores determinantes identificados para la estabilidad de los taludes, son la pendiente del terreno y el espesor de la capa de suelo.

El factor de seguridad para cada combinación se obtuvo por medio de análisis de estabilidad con las posibles combinaciones de eventos condicionantes y parámetros de resistencia (Pico y Residual) por el método de talud infinito.

Para cada combinación se calculó la probabilidad condicional de falla, la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de falla total por deslizamiento y el coeficiente de variación del factor de seguridad.

En las zonas con procesos activos, se estudiaron superficies de falla circular en talud infinito con parámetros de resistencia residuales.

Tal como se previó en todos los casos el factor de seguridad para el caso de falla planar en talud infinito resultó menor pero de igual orden de magnitud que el obtenido con las superficies circulares en talud infinito.

Los valores de factor de seguridad ajustados a la probabilidad de falla se prepararon en forma de una base de datos en función del ángulo de inclinación del talud y el espesor del suelo.

Con la contrastación del mapa de pendientes e igual espesor de suelo se generó un tercer mapa con el cual se determinó el factor de seguridad en cada punto de la zona de estudio.

Zonificación de la Amenaza. Teniendo en cuenta los intervalos de factor de seguridad empleados en estudios anteriores se determinó la clasificación de las zonas de amenaza como :

Alta para Fs menores de 1.1, Media con Fs entre 1.1 y 1.9 y Baja para aquellos Fs superiores a 1.9

El mapa 6 del Informe Principal indica los contornos finales de las diferentes zonas de amenaza para un periodo de exposición de 25 años, encontrando que aquellas con amenaza alta a los fenómenos de remoción en masa concuerdan en buen grado con los definidos en el inventario de procesos de inestabilidad.

## **7. EVALUACION Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR FRM**

Modelos y Metodologías de Análisis. Para el análisis de vulnerabilidad se evaluaron tres grandes grupos:

Elementos Corporales  
Elementos Estructurales  
Elementos Funcionales

Para los elementos corporales (personas), se adoptaron índices de daño en función de daños Ligeros, Importantes y Graves dentro de un escenario de ocurrencia del evento nocturno para el cual se encuentra la mayor población en el área de estudio

Para los elementos estructurales, los índices de daño dependen del tipo de movimiento, la intensidad de las sollicitaciones y las características de los elementos expuestos.

Para la zona de estudio, el Consultor determinó que los fenómenos de remoción en masa que se pueden presentar son deslizamientos de tipo translacional de los depósitos de suelos superiores y el flujo de lodos, ambos fenómenos de volúmenes limitados.

La intensidad de las sollicitaciones esta en función de la rapidez del movimiento y de las presiones laterales.

En cuanto a las características del elemento expuesto se adoptó la tipología de viviendas definida por Leone (1996), en donde se diferencian tugurios, Casas en Mampostería y Casas de buena calidad.

Con todo lo anterior se generó la matriz de vulnerabilidad en donde se calificó el tipo de sollicitación (Rapidez de movimiento y Presión Lateral) de acuerdo al tipo de vivienda definiendo finalmente una clasificación en función del Índice de Daño y del Índice de Afectación con la que se zonifica la vulnerabilidad dividiéndola en tres categorías básicas : Alta, Media y Baja.

En resumen se realizó el reconocimiento directo de 122 viviendas comprendidas dentro del área de estudio y se registró la información en fichas técnicas. De lo cual se estableció lo siguiente:

#### Tipología de vivienda

De acuerdo a la metodología explicada atrás se identificaron desde ranchos (B1), casas en mampostería (B2), hasta casas de buena calidad de uno a tres pisos (B3 y B4). El 77% de las edificaciones están constituidas por un solo apartamento, seguidas en segundo lugar (15%) por edificaciones de dos apartamentos, el tipo de construcción en su gran mayoría (80%) es



unifamiliar y en mampostería, con estructura de piso en concreto reforzado (42%) o en cemento (37%).

Debe destacarse que de acuerdo a las evaluaciones, la comunidad expresó ante el tema de daños en sus viviendas, que el fenómeno predominante (33 viviendas) ha sido el de deslizamiento, seguido por el de inundación (19 viviendas).

#### Condiciones sociales y económicas de la población amenazada.

Se encontró que el 63% de la población tiene ingresos mensuales entre \$100.000 y \$300.000, el 10% entre \$300.000 y \$500.000. En lo correspondiente al costo estimado del inmueble, se determinó que el 41% consideran que sus viviendas fluctúan entre \$15'000.000 y \$30'000.000, seguidas por un 17% cuyas viviendas están entre \$10'000.000 y \$15'000.000, finalmente un 4% consideró que sus propiedades costaban más de \$30'000.000.

El 65% de las construcciones tienen más 10 años de antigüedad seguidas por aquellas que tienen entre uno y tres años de construcción (12%). El número ponderado de personas por familia es de 4 a 7 personas.

#### Calidad de las líneas de servicios públicos y puntos vitales que puedan ayudar a mejorar la capacidad de respuesta de los habitantes del sector.

Entre el 55% el 63% de las viviendas del área del estudio cuentan con servicio oficial de agua, alcantarillado, energía eléctrica y teléfono. En lo que respecta a calles pavimentadas solamente el 20% de las viviendas tienen acceso por medio de calles constituidas por pavimento rígido en estado aceptable.

#### Evacuación

La evaluación de vulnerabilidad finalmente indicó que deben evacuarse 18 propiedades, a saber : Manzana No. 1, las casas 6,7,8,9,10,11,12,13,14,15 y 24. De la Manzana No.2, las casas 20 y 21. De la Manzana No.4, las casas 20 y 21. Y por último de la Manzana No.5, las casas 5 y 7.

## **8. EVALUACION Y ANÁLISIS DE RIESGO**

Dados los resultados del estudio de amenaza y la inspección y caracterización de los elementos expuestos, la evaluación del riesgo se dividió en dos, de acuerdo con el tipo de pérdidas: (1)

afectación física (Valor económico directo); y (2) afectación social (número de muertos y heridos).

En ambos casos, el riesgo se calculó en función de : Probabilidad de falla total, Índice de Daño y del Costo de las viviendas como de personas afectadas.

Con los cuales se definió el Índice de Riesgo, para la zonificación de la zona. Las categorías utilizadas son : Alta para Índices de Riesgo superiores a 0.675, Media para Índices de Riesgo entre 0.375 y 0.675 y Baja para Índices de Riesgo inferiores a 0.375.

El mapa No. 8 del Informe Principal, indica que las viviendas 1-15, 2-21, 4-21, 4-22 y 5-5 quedan calificadas en riesgo Alto. El anterior resultado debe manejarse bajo el criterio de la metodología empleada, explicada atrás, ya que la decisión de evacuación no estará regida por este resultado sino por el del mapa No.7 de Vulnerabilidad en donde la determinación del número de viviendas por evacuar está en función de los índices de Daño y de Afectación y no está afectada por la variable "Costo de las Viviendas" tal como ocurre en el análisis de Riesgo.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo con la investigación geológica y geotécnica, se determinó que las rocas predominantes en el sector del área de estudio están constituidas por intercalaciones de arcillolita rojiza a magenta y arenisca, limosa habana a carmelita rojiza. Estas rocas están cubiertas por depósitos de pendiente como coluviones, derrumbes recientes, suelos residuales, y suelos orgánicos limoarcillosos que presentan espesores variables entre 1.0 m y 4.0 m. Con la caracterización del suelo, los análisis de estabilidad y los cálculos de probabilidad de falla, se pudo establecer que los actuales factores detonantes de los movimientos son las aguas de infiltración y la intervención antrópica. En lo referente a las aguas de infiltración, se tiene que estas tienen lugar en vertimientos indiscriminados de aguas negras que se suceden en la ladera y a fugas de alcantarillado combinado (lluvias y negras) existente en la zona. En lo que respecta a la intervención antrópica, se tiene que el hombre ha excavado en la zona para extraer materiales de construcción, y ha rellenado estos sitios y la propia ladera con materiales heterogéneos, consistentes en escombros de construcción y suelos de excavación.

Finalmente dada las características de los materiales de relleno y de los suelos de origen cuaternario que presentan un grado de compactación media a baja o a una consistencia media a blanda, se tiene que un factor muy importante de inestabilidad futura son los sismos.

- Los movimientos registrados el pasado mes de marzo de 1999 en la zona del muro, se produjeron por la infiltración de agua dentro del suelo de la ladera. Estos movimientos ocasionaron el desplazamiento del suelo de conformación del relleno posterior del muro en forma de flujo, lo cual afectó en forma directa las viviendas de la parte baja. Así mismo, el muro en concreto que descansa sobre la Carrera 7A se agrietó como consecuencia del movimiento y adicionalmente, se sucedió la pérdida de la banca de la vía que dejó al descubierto la arcillolita sobre la cual están cimentadas las casas 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5 y 4-12.
- En la zona donde se encuentra localizada la fábrica de tubos (sector del llamado Bosque Borracho), se registran escarpes de ladera y escarpes de talud que presentan huellas de flujo lento de material (creep). Estos movimientos han sido facilitados por la antigua explotación de la arcilla como materia prima de la producción de tubos.
- En la generalidad del área de estudio se registran coronas de deslizamientos menores cuyos contornos en proceso de reptación involucran suelos y depósitos de ladera.
- Para facilitar la interpretación de las áreas de movimiento, el estudio determinó tres sectores de movimiento activo que pueden comprometer la seguridad de los habitantes más próximos; estos son :

Sector del Muro : Comprendido entre la antigua Carrera 7A Este y la Transversal 7 Este.

Sector del Bosque Borracho: Comprendido entre la Carrera 7B Este - Carrera 7A Este y la Transversal 7.

ector Vía a Vitelma: Escarpe cuyo límite inferior limita con la Transversal 7.

- Con la identificación de los sectores de amenaza alta, determinados por medio de las metodologías de Amenaza-Vulnerabilidad y Riesgo, explicadas arriba se identificó plenamente la necesidad de reubicar algunas familias cuya seguridad está comprometida, por encontrarse dentro de estas áreas. De acuerdo con lo registrado en los Formularios de Inventario de Viviendas, se trata de 96 personas por reubicar que están, concentradas en 26 familias y cuyos predios ascienden a un costo de \$162'400.000 (Costo de daños \$129'137.669). La Tabla No. 9.1 del Informe Principal contiene la identificación de los

predios de acuerdo a la manzana, el tipo de vivienda, el número de residentes, el valor del predio, el costo de daños y la lista de las personas que las habitan.

- De acuerdo a las visitas técnicas adelantadas permanentemente a la zona, se encontraron que las casas 5 y 6 de la Manzana No. 6 deben ser evacuadas, a pesar de no estar comprendidas dentro del área de estudio, el mapa No.7 del Informe Principal las destaca en vulnerabilidad Alta y recomienda a su vez a la DPAE adelantar una evaluación particular para ellas.

En general, el tratamiento propuesto en el estudio para mitigar los fenómenos de remoción en masa debe cumplir los siguientes objetivos:

- Estabilizar los fenómenos activos presentes hoy en día en el área, considerando la gravedad de la amenaza y la exposición que existe sobre las viviendas. Para lograr este objetivo se plantean medidas de mitigación relacionadas principalmente con el manejo y drenaje de las aguas de escorrentía y subsuperficiales, y estructuras de contención.
- Tratamiento paisajístico y mejoramiento urbano de las áreas sometidas a amenaza alta para evitar cualquier tipo de asentamiento humano futuro. Este tratamiento enmarca todo el cordón central de la ladera que presenta un alto grado de riesgo.

De acuerdo con lo anterior, las obras de Mitigación que fueron aprobadas en conjunto con la Interventoría y el DPAE, son las siguientes :

Reconformación de la Carrera 7A por medio de suelo reforzado con geotextil. El uso de esta carrera será estrictamente peatonal.

Construcción de cunetas revestidas en concreto para coleccionar las aguas de escorrentía superficial.

Construcción de filtros para la captación y manejo de las aguas sub-superficiales.

Colectores y disipadores escalonados para el manejo de las aguas superficiales. Esta obra corresponde básicamente a una escalera peatonal que lleva en uno de sus costados una cuneta escalonada.

Senderos adoquinados con sus respectivas cunetas revestidas.

- El costo de las obras de mitigación está dividido en dos fases. La Fase I comprende la reconstrucción de la carrera 7A y la adquisición de 18 predios, esta fase será desarrollada de inmediato por la DPAAE mientras que la Fase II en la cual intervendrán entidades tales como la EAAB, la Junta de Acción Comunal del barrio y el IDU comprende las demás obras de mitigación planteadas en el presente estudio (Escalera Central, Senderos Adoquinados y Filtros). El costo de las obras de mitigación para la Fase I, se estima en \$192.742516 (incluido IVA y AIU), y de \$214.156.637 para la Fase II.

## INFORME FINAL

### INDICE DE CONTENIDO

#### CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1	VISION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	I.1
1.2	ALCANCE GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO .....	I.2
1.3	DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LA ZONA.....	I.3
1.4	EFFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD SOBRE LA COMUNIDAD .....	I.4

#### CAPITULO II. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

2.1	INTRODUCCIÓN .....	II.1
2.2	LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA.....	II.1
2.3	MÉTODO DE TRABAJO .....	II.2
2.3.1	<i>ENLACE Y APOYO TOPOGRÁFICO.....</i>	<i>II.2</i>
2.3.2	<i>LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DETALLADO .....</i>	<i>II.2</i>
2.4	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO Y DIBUJO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	II.3
2.5	REFERENCIAS MATERIALIZADAS PARA EL REPLANTEO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.....	II.3
2.6	PRODUCTO FINAL.....	II.4

#### CAPITULO III. ESTUDIO GEOLOGICO

3.1	GENERALIDADES.....	III.1
3.2	INFORMACION BASICA.....	III.2
3.3	DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	III.2
3.4	METODOLOGIA DEL TRABAJO GEOLOGICO .....	III.3
3.5	GEOLOGIA REGIONAL.....	III.3
3.5.1	<i>ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA .....</i>	<i>III.3</i>
3.5.2	<i>ESTRUCTURA Y TECTONICA .....</i>	<i>III.4</i>
3.6	GEOLOGIA LOCAL DETALLADA.....	III.4
3.6.1	<i>LITOLOGIA.....</i>	<i>III.4</i>
3.6.2	<i>ESTRUCTURA GEOLOGICA.....</i>	<i>III.7</i>
3.6.3	<i>CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES.....</i>	<i>III.8</i>
3.7	GEOMORFOLOGIA.....	III.9
3.7.1	<i>UNIDADES GEOMORFOLOGICAS.....</i>	<i>III.10</i>
3.7.2	<i>SUBUNIDADES GEOMORFOLOGICAS.....</i>	<i>III.11</i>
3.7.3	<i>ESTRUCTURAS DE CONTROL GEOMORFICAS.....</i>	<i>III.13</i>
3.7.4	<i>INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD.....</i>	<i>III.14</i>
3.7.5	<i>PROCESOS ESPECÍFICOS .....</i>	<i>III.15</i>
3.8	GEOLOGIA PARA INGENIERIA.....	III.16
3.8.1	<i>CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES .....</i>	<i>III.16</i>

3.9	CONCLUSIONES.....	III.211
<b>CAPITULO IV. ESTUDIO GEOTECNICO</b>		
4.1	TRABAJOS EJECUTADOS .....	IV.1
4.1.1	RECONOCIMIENTO DE CAMPO.....	IV.2
4.1.2	EXPLORACION GEOTECNICA .....	IV.2
4.1.3	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	IV.2
4.2	CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUELO .....	IV.3
4.2.1	SECTOR LE-1:.....	IV.3
4.2.2	SECTOR LE-2:.....	IV.4
4.2.3	SECTOR LE-3:.....	IV.7
4.2.4	SECTOR LE-4.....	IV.8
4.2.5	SECTOR LC-1.....	IV.10
4.3	PARAMETROS DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS.....	IV.12
4.3.1	GENERALIDADES .....	IV.12
4.3.2	ESTIMACION DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS.....	IV.12
4.3.2.1	Ensayos de corte directo.....	IV.12
4.3.2.2	Correlación con ensayos de penetración estándar .....	IV.13
4.3.2.3	Valores normativos de resistencia de suelos finos según SNiP .....	IV.14
4.3.3	PARAMETROS DE DISEÑO .....	IV.14
4.3.3.1	Parámetros de resistencia al corte pico .....	IV.14
4.3.3.2	Parámetros de resistencia al corte residuales.....	IV.15
4.3.4	ASPECTOS PROBABILISTICOS DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS .....	IV.15
<b>CAPÍTULO V. EVALUACION Y ANALISIS DE AMENAZA POR FRM</b>		
5.1	DEFINICIÓN Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA .....	V.1
5.2	MODELOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	V.1
5.3	AGENTES DETONANTES DE F.R.M.....	V.2
5.3.1	LLUVIAS.....	V.3
5.3.2	SISMOS.....	V.4
5.3.3	FACTOR ANTRÓPICO.....	V.4
5.4	EVALUACIÓN PROBABILISTICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES.....	V.5
5.4.1	CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL.....	V.5
5.4.2	CALCULO DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA .....	V.6
5.4.3	APROXIMACIÓN A LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL FACTOR DE SEGURIDAD .....	V.7
5.4.3.1	Descripción general del método de estimación puntual.....	V.7
5.5	PROCEDIMIENTO GENERAL DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA .....	V.8
5.6	CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA.....	V.11
5.7	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	V.11
5.7.1	FALLAS PLANARES EN TALUD INFINITO .....	V.11
5.7.2	FALLAS CIRCULARES EN TALUD INFINITO .....	V.12

5.8 CONCLUSIONES.....	V.12	
<b>CAPÍTULO VI. EVALUACION Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR FRM</b>		
6.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS .....	VI.1	
6.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS .....	VI.1	
6.2.1 GENERALIDADES .....	VI.3	
6.2.2 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	VI.3	
6.3 METODOLOGÍAS Y CRITERIOS DE ANÁLISIS. ....	VI.4	
6.4 ZONIFICACION DE LA VULNERABILIDAD A FRM. ....	VI.6	
6.4 CONCLUSIONES.....	VI.7	
<b>CAPÍTULO VII. EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO</b>		
7.1 DEFINICION.....	VII.1	
7.2 METODOLOGIA DE LA EVALUACION .....	VII.1	
7.3 ZONIFICACION DEL RIESGO A FRM.....	VII.2	
7.4 CONCLUSIONES.....	VII.2	
<b>CAPÍTULO VIII. OBRAS DE MITIGACION</b>		
8.1 INTRODUCCION .....	VIII.1	
8.2 PLANTEAMIENTOS BÁSICOS PARA LAS OBRAS DE MITIGACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	VIII.1	
8.3.1 OBRAS DE PRIMERA FASE .....	VIII.3	
8.3.1 OBRAS DE SEGUNDA FASE .....	VIII.5	
8.4 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS DE MITIGACION.....	VIII.7	
8.4.1 Reubicación de Viviendas .....	VIII.7	
8.4.2 Obras Ingenieriles de Mitigación .....	VIII.10	
<b>CAPÍTULO IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>IX.1</b>

## PLANOS

- Plano No.1 Topografía del Sector de Estudio y Localización de Perforaciones.
- Plano No.2 Mapa Geológico Local
- Plano No.3 Mapa Perfiles Geológicos
- Plano No.4 Mapa Geomorfológico
- Plano No.5 Mapa de Inventario de Procesos de Inestabilidad
- Plano No.6 Mapa de Zonificación de Amenaza Natural por Fenómenos de Remoción en Masa
- Plano No.7 Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad de Viviendas por Fenómenos de Remoción en Masa.
- Plano No.8 Mapa de Zonificación de Riesgo de Viviendas por Fenómenos de Remoción en Masa
- Plano No.9 Obras de Mitigación. Planta General. Secciones Típicas
- Plano No.10 Peatonal Superior. Planta y Perfil. K0+000 a K0+185.000
- Plano No.11 Peatonal Superior. Secciones. K0+000 a K0+068.850
- Plano No.12 Peatonal Superior. Secciones. K0+070 a K0+130.000
- Plano No.13 Peatonal Superior. Secciones. K0+140.000 a K0+189.120



Plano No.14 Peatonal Escalera Central. Planta y Perfil. K0+000 a K0+144.250  
Plano No.15 Planteamiento Paisajístico y de Mejoramiento Urbano.

## FIGURAS

- Figura No. 1 Localización General.
- Figura No. 2 Geología Regional.
- Figura No. 3 Fotogeología.
- Figura No. 4 Distribución de Probabilidad del Factor de Seguridad.
- Figura No. 5 Mapa de Pendientes.
- Figura No. 6 Mapa de Igual Espesor de Suelo.
- Figura No. 7 Modelo de hoja de cálculo de falla planar en talud infinito – parámetros de resistencia pico.
- Figura No. 8 Modelo de hoja de cálculo de falla planar en talud infinito – parámetros de resistencia residual.
- Figura No. 9 Grafica de factor de seguridad ajustado a la probabilidad de falla total para un periodo de exposición de 25 años y parámetros pico.
- Figura No. 10 Grafica de factor de seguridad ajustado a la probabilidad de falla total para un periodo de exposición de 25 años y parámetros residuales.

## ANEXOS

- Anexo 1. Topografía
  - Certificación Puntos de Control
  - Carteras de Campo
  - Levantamiento de Pozos de Alcantarillado
- Anexo 2. Geología
  - Carteras de Campo
  - Formatos de Inventario de Procesos
- Anexo 3. Investigación del Subsuelo
  - Registros de Perforación
  - Formatos de Ensayos de Laboratorio
  - Resultados de Ensayos de Corte Directo
  - Correlación SPT - Parámetros de Resistencia
- Anexo 4. Memorias de Calculo de Análisis Probabilísticos de Estabilidad
  - Caso de Falla Planar en talud Infinito
    - Análisis con Parámetros Pico
    - Análisis con Parámetros Residuales
  - Caso de Falla Circular en Talud Infinito
    - Sector del Muro
    - Sector del Bosque Borracho
    - Sector Vía Vitelma
- Anexo 5. Inventario de Viviendas
  - Formularios Inventario de Viviendas
  - Descripción de Campos Utilizados por el SIG
  - Análisis del Inventario de Viviendas

Anexo 6. Obras de Mitigación

- Evaluación Alternativas Generales de Mitigación
- Especificaciones Técnicas
- Análisis de Estabilidad Interna y Externa del Muro de Contención.

Anexo 7. Planteamiento Paisajístico y de Mejoramiento Urbano

- Localización y Antecedentes
- Límites y Características Varias
- Patrón de Ocupación
- Infraestructura
- Deslizamientos
- Acciones

## **CAPITULO I. GENERALIDADES**

### **1.1 VISION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Dentro de los alcances del proyecto macro que adelanta la Secretaria de Gobierno de la Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá, D.C., a través de su Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, para la elaboración de los estudios de las obras de mitigación por remoción en masa en puntos críticos de la ciudad, se plantea el estudio de la ladera donde se encuentra ubicada la parte sur del barrio El Dorado, en la localidad de Santa Fe.

La zona de interés hace parte del barrio El Dorado, localizado en la Localidad de Santa fe, al oriente de Santa Fe de Bogotá (ver figura No. 1). Limita al norte con el barrio El Dorado Bajo, al sur con el barrio Vitelma y la planta del acueducto del mismo nombre, al oriente con el barrio El Consuelo y al occidente con el barrio Cartagena.

El área objeto del estudio está circunscrita por el camino a Vitelma - Carrera 5 Este y Diagonal 6 A sur, la Transversal 9 Este, la Diagonal 5 Sur hasta la Transversal 8 Este, esta última hasta la Diagonal 6 Sur, la Diagonal 6 Sur hasta el camino a Vitelma y el sector occidental a partir de la carrera 7B Este y el camino de la Peña.

La zona de interés esta conformada por una ladera de alta pendiente, en la que se encuentra ubicado el barrio El Dorado, el cual pertenece a un estrato socioeconómico bajo, donde la actividad económica esta dada por el comercio del tipo de tiendas de abarrotes y las fábricas de tubería de alcantarillado en arcilla sin ningún tipo de tecnificación.

Se ha determinado que aproximadamente el 25% del área del sector sur del barrio El Dorado se encuentra urbanizada con edificaciones en su gran mayoría son de uno y dos pisos, construidas en mampostería no reforzada, con laminas de zinc y madera y parcialmente confinadas. Existen algunos sectores con viviendas

de características subnormales. El área restante se encuentra cubierta por pastos y algunos árboles y arbustos.

En cuanto a infraestructura de servicios públicos básicos, se cuenta con cubrimiento de redes formales de acueducto, energía eléctrica y teléfonos. Adicionalmente, en el sector se encuentran redes informales de alcantarillado sanitario y no existen sistemas de alcantarillado pluvial ni redes de distribución de gas. Con relación a las vías del sector, la vía de acceso al sector sur del barrio El Dorado está sin pavimentar; solamente, en la parte alta del área en estudio, se encuentra una vía en pavimento rígido. Al barrio se llega por medio de rutas de transporte urbano legalmente establecidas.

## **1.2 ALCANCE GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL ESTUDIO**

Con este informe se pretende zonificar desde el punto de vista de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa, el sector sur del barrio El Dorado perteneciente a la Localidad de Santa Fe y contar con diseños detallados, cantidades de obra, presupuestos y especificaciones técnicas de las obras de mitigación recomendadas para estabilizar este sector.

Como objetivos específicos de este estudio se tienen:

- Caracterizar la zona desde el punto de vista geotécnico y geológico.
- Identificar los diferentes procesos y mecanismos de falla que se presentan en la zona.
- Identificar los agentes detonantes de los fenómenos de inestabilidad de la zona.
- Zonificar la zona por amenazas de remoción en masa.
- Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura y de la población de la zona, frente a cada fenómeno amenazante.
- Analizar la condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa para la infraestructura y la población del sector.
- Determinar y evaluar las diferentes alternativas de mitigación, entre ellas la de reubicación de familias, aplicación de obras de protección y/o control y aprovechamiento del espacio para crear zonas verdes y de recreación.

- Diseñar y establecer las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones técnicas de las alternativas de mitigación para el sector, desde los puntos de vista técnico, económico, urbanístico y social.

### **1.3 DESCRIPCION DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD DE LA ZONA**

Con base en una inspección física a la zona de estudio y con ayuda de los siguientes documentos de soporte, allegados los dos primeros por la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de la Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá y el tercero por la comunidad:

Diagnóstico del DPAE No. 578. Area de Análisis de Riesgos. Marzo de 1999.

Estudios y Diseños de Estabilidad Geotécnica, Control de Erosión y Manejo de Aguas para la Estabilización de Taludes. Informe de Diagnóstico del Barrio Dorado Bajo - Localidad de Santa Fe. Ingeocim LTDA. Abril de 1998.

Comunicaciones de la comunidad a la EAAB, UPES y Defensoría del Pueblo.

Se puede establecer que existen tres fenómenos de movimientos activos en la zona, a saber:

➤ **MURO DE CONCRETO REFORZADO:**

De 3.5 m de altura y 50 m de longitud, ubicado en el costado derecho de la carrera 7A, sector norte del área estudio; construido con el fin de habilitar la mencionada carrera como vía vehicular de acceso al barrio. La cimentación del muro que es de tipo superficial, corresponde a un cimiento corrido que está apoyado en el suelo natural a menos de 1.5 m de profundidad con respecto al nivel original del terreno.

➤ **SECTOR DEL BOSQUE BORRACHO:**

Se encuentra en la zona sur contiguo a la inestabilidad anterior y tan solo los separa un afloramiento grueso de arenisca masiva.

➤ **VIA VITELMA:**

Se ubica en la parte sur de la zona de estudio afectando el Camino de Vitelma.

#### **1.4 EFECTOS Y CONSECUENCIAS DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE INESTABILIDAD SOBRE LA COMUNIDAD**

Dentro de los antecedentes del estudio se han considerado únicamente los eventos ocurridos en la zona del muro de concreto. Sin embargo, como se menciona anteriormente, se pudo establecer que en el sector sur del barrio El Dorado existen otros dos fenómenos de movimientos activos, en los sitios denominados " Bosque Borracho " y " Vía a Vitelma " y que también afectan desfavorablemente a la comunidad.

Es así, que de acuerdo con las evaluaciones realizadas en el sector, se pudo establecer que en la primera zona inestable activa, el primero de marzo de 1999, se observó que este muro estaba dividido en dos módulos verticales por una grieta uniforme de aproximadamente 20 cm de espesor. Los módulos no presentaban movimiento relativo entre ellos. Sin embargo, durante un nuevo recorrido efectuado el 2 de marzo, se pudo establecer que el módulo sur del muro presentaba un cabeceo de 25 cm que ponía en inminente riesgo las viviendas que se encontraban al frente de dicha estructura.

Durante las visitas efectuadas por la DPAE los días 1 y 2 de marzo, se observaron diversos desgarres del terreno que evidenciaron el movimiento del mismo. Estos movimientos dejaron pequeños escarpes con alturas variables entre 30 y 50 cm. A lo largo del escarpe principal se encontraba una tubería de alcantarillado sanitario de 12 pulgadas de diámetro que se rompió, causando infiltraciones que generaron un pequeño flujo de lodos. Este primer fenómeno afectó principalmente la vivienda del señor Gonzalo Alberto Vásquez, construida con láminas de zinc y madera. A lo largo de toda la ladera se observaron diversos desgarres, alto grado de humedad del terreno y agrietamientos con aberturas variables.

En el costado sur de esta ladera empinada, se presentó un deslizamiento de suelo arcillo limoso superficial y bloques de roca con espesores aproximados entre 20 y 40 cm. Este material amenaza con caer sobre las viviendas construidas contra la base del talud. Debido a lo anterior, ocho viviendas que

presentaban el mayor grado de exposición frente a la posible caída del muro y a probables fenómenos de remoción en masa, fueron evacuadas.

El día 9 de marzo se presentaron dos deslizamientos. El primero de éstos que correspondió al evento más grande, se sucedió en el costado sur de la ladera. Fue un flujo de lodos que tapó completamente dos viviendas, destruyó parcialmente una tercera y dejó cerca de otras 10 viviendas en grave amenaza. Este flujo se inició en la carrera 7A y llegó prácticamente hasta la parte media de la ladera inferior. El escarpe que este movimiento dejó es de cerca de 25 m de longitud. El segundo deslizamiento, también de flujo de lodos, se presentó en el costado noroccidental de la ladera, destruyendo parcialmente cuatro predios, sin causar daños físicos a sus moradores. Se detectó un tercer sector, localizado en la parte baja del muro de contención (sector central de la ladera), con grietas de tracción de más de 15 cm de abertura y ligeros movimientos que están afectando directamente alrededor de cinco casas. Para esta fecha (9 de marzo), el desplazamiento en la corona del muro de contención fue de unos 60 cm y la grieta de separación entre módulos estaba cercana a los 70 cm.

Las causas de los deslizamientos fueron las intensas lluvias caídas en la zona durante los días en cuestión y el aporte permanente de aguas servidas por la rotura de la tubería de alcantarillado sanitario. Todas estas aguas se infiltraron en el suelo de conformación de la ladera, saturaron el material conformado principalmente por arcillas limosas, que en combinación con las altas pendientes del terreno, provocaron los flujos de lodos anteriormente descritos.

La segunda zona inestable de carácter activo, que corresponde al sector del bosque borracho, cuyo movimiento se puede calificar como de reptación, visible en el terreno por tener una serie de escalones o arrugas y por la inclinación que presentan los árboles afectados por el movimiento. Este movimiento puede afectar algunas viviendas subnormales recientes y una fábrica de tuberías de gres para alcantarillado localizadas en la parte baja de la ladera.

La tercera zona inestable activa que afecta el Camino de Vitelma y de acuerdo con la información suministrada por la comunidad, este movimiento tiene origen

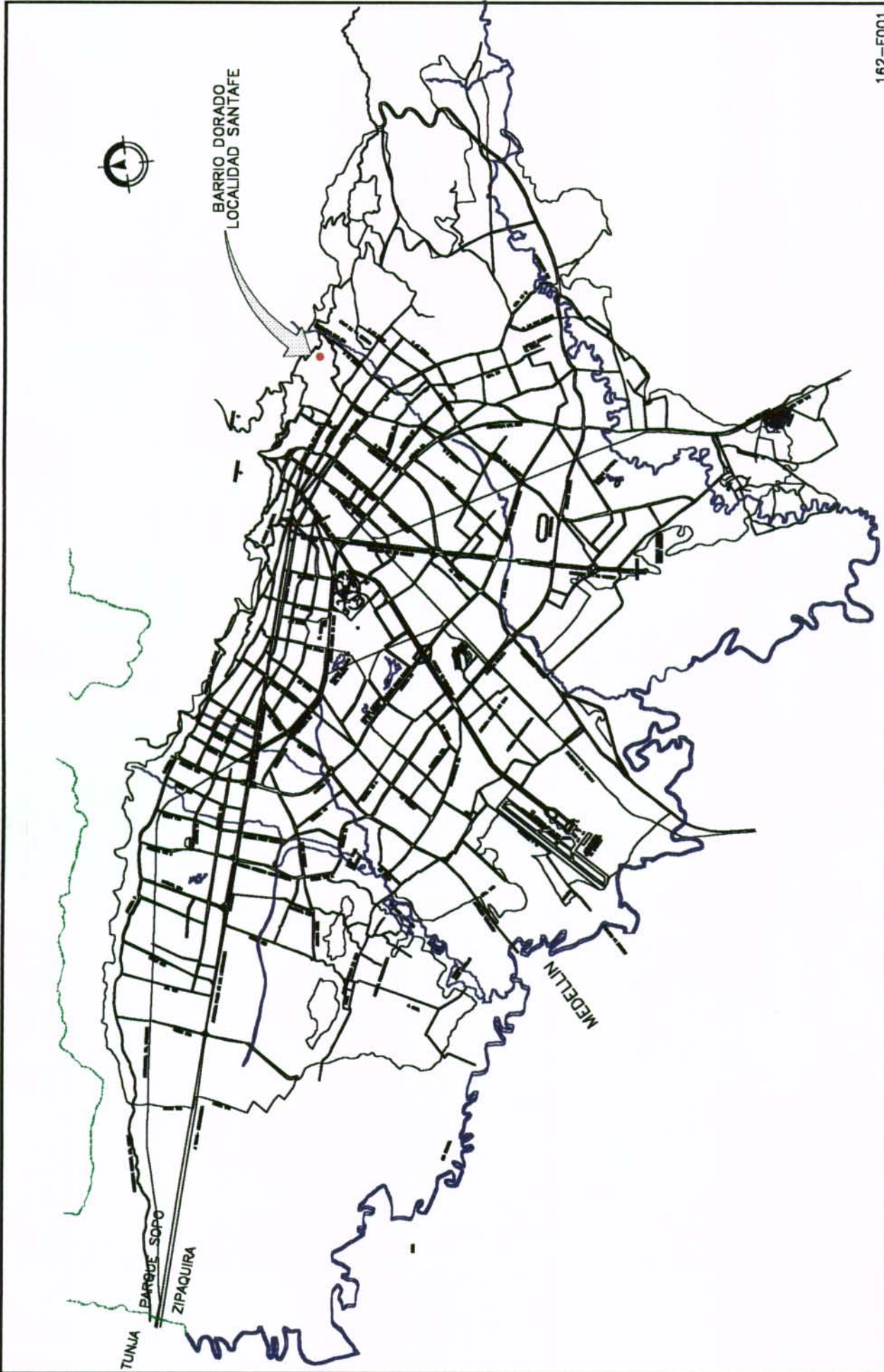
en los trabajos de construcción de una vía entre la Diagonal 6 sur y el Camino a Vitelma que tenían como finalidad dar salida a los vehículos de carga de una de las fábricas de tubería y en las aguas servidas que son descargadas directamente sobre la ladera, las cuales provocan la erosión del estrato superficial del suelo y dejan expuesta la roca.

El mecanismo de los movimientos, en principio es el mismo para todos los casos arriba descritos, variando solo la velocidad del deslizamiento. La masa de suelo involucrada es roca in situ fracturada y depósitos de suelos sueltos a moderadamente aglutinados por arcillas plásticas maleables con espesores entre uno y dos metros en las partes alta y media, y hasta 5 metros en la parte baja. Los materiales son afectados por infiltraciones incontroladas de aguas que provocan un movimiento traslacional de estos suelos plásticos sobre la roca dura y que es lento o rápido, dependiendo del grado de saturación del material.

Por culpa de los anteriores eventos, la comunidad ha elevado su queja ante el DPAE, La EAAB-ESP y la Defensoría del Pueblo, demandando un estudio de la problemática del sector que de una solución real al problema, pues existen algunas viviendas que pueden verse seriamente afectadas en caso de que no se tomen las medidas correctivas apropiadas.

Por todo lo anteriormente expuesto, la DPAE contrató el presente estudio con el fin de mitigar los fenómenos presentes en la parte sur del barrio El Dorado.





162-F001



FIGURA No. 1 - LOCALIZACION GENERAL

CONSORCIO  
INNOVA ING.  
LTDA  
CGR

## **CAPITULO II. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo describe la metodología de trabajo empleada para llevar a cabo el estudio topográfico detallado para la obtención del modelo digital del terreno del sector sur del Barrio el Dorado, que fue la base para la evaluación de las pendientes del terreno, del patrón de drenaje y para la obtención de los perfiles sobre los cuales se realizaron los análisis de estabilidad. Dados los detalles de los trabajos y las pendientes del terreno fue necesario trabajar con una escala de 1:750 con curvas de nivel cada metro. El trabajo incluyó la localización y el dibujo de vías existentes, paramentos de manzanas (incluyendo casa por casa), escarpes, zonas de falla, perforaciones, identificación de zonas verdes, postes, árboles y demás detalles necesarios para llevar a cabo los análisis de fenómenos de remoción en masa objeto del presente estudio.

### **2.2 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA.**

La zona de estudio hace parte del barrio El Dorado, localizado en la Localidad de Santa fe, al oriente de Santa Fe de Bogotá (Véase figura No.1). Limita al norte con el barrio El Dorado Bajo, al sur con el barrio Vitelma y la planta del acueducto del mismo nombre, al oriente con el barrio El Consuelo y al occidente con el barrio Cartagena.

El área objeto del estudio está circunscrita por el camino a Vitelma - Carrera 5 Este y Diagonal 6 A sur, la Transversal 9 Este, la Diagonal 5 Sur hasta la Transversal 8 Este, esta última hasta la Diagonal 6 Sur, la Diagonal 6 Sur hasta el camino a Vitelma y el sector occidental a partir de la carrera 7B Este y el camino de la Peña con una extensión aproximada de 11 hectáreas.

## 2.3 MÉTODO DE TRABAJO

### 2.3.1 ENLACE Y APOYO TOPOGRÁFICO

El enlace en coordenadas de la zona del estudio al Sistema Nacional, se efectuó a partir de los vértices geodésicos del IGAC Nos. CD-557-A y CD-556 localizado el primero en la parte alta de la zona de estudio; de acuerdo con la División de Geodesia de la Subdirección de Cartografía del instituto Geográfico Agustín Codazzi, tiene las siguientes coordenadas geodésicas preliminares y planas cartesianas (transformadas del datum WGS84 utilizando los parámetros locales definidos en el proyecto Catastro Distrital):

La relación de coordenadas y cotas de los vértices de enlace se muestran a continuación, y en el anexo No.1, se incluyen las respectivas certificaciones del IGAC.

**TABLA 2.1**

MOJON	NORTE	ESTE	COTA (m.s.n.m.)
CD-557-A	98192.816	100388.935	2808.235
CD-556	98654.7260	100754.9440	2821.5600

### 2.3.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DETALLADO

En el levantamiento se utilizó una (1) comisión de topografía durante 14 días. Las mediciones se realizaron con una estación electrónica total marca TOPCON GT-210 por el sistema de radiación. Para obtener al nivel de detalle toda el área levantada, fue necesario incluir la totalidad de los accidentes del terreno y de las obras existentes, así como la localización de vías, paramentos de edificaciones, todas las casas, escarpes, zonas de falla, perforaciones, postes de alumbrado, energía, teléfonos, árboles, placas de referencia, etc.

Los levantamientos en la zona del estudio se hicieron localizando una poligonal abscisada y nivelada geométricamente con nivel de precisión. Posteriormente por radiación con estación total se desarrolló el levantamiento topográfico de los detalles.

## 2.4 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO Y DIBUJO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

Con los datos de campo tomados por la estación total y el nivel de precisión, se procesaron y se dibujaron todos los puntos con un programa de computador denominado EAGLEPOINT, el cual calcula las poligonales, cada punto de detalle y define las curvas de nivel. Tanto la base de datos como los cálculos y el dibujo, fueron convertidas a formato AUTOCAD, para la preparación y presentación de los planos finales a escala 1:750.

## 2.5 REFERENCIAS MATERIALIZADAS PARA EL REPLANTEO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN.

Con el fin de contar con puntos topográficos en el área del Barrio que faciliten y permitan apoyar en cualquier momento mediciones topográficas de cualquier índole y para la localización y control de las obras de mitigación, se materializaron suficientes referencias topográficas para el replanteo de dichas obras, las cuales se presentan a continuación en la tabla 2.1:

**TABLA No. 2.2**

REFERENCIA	NORTE	ESTE	ELEVACION
CC-1	98266.802	100460.0461	2807.0147
CC-2	98229.5872	100353.8044	2782.9235
CC-3	98254.6942	100325.9637	2771.590
CC-4	98232.5527	100311.2674	2774.7999
CC-5	98199.6119	100314.2551	2774.0372
CC-6	98179.4546	100326.4196	2774.9709
CC-7	98128.7272	100281.7341	2746.0795
CC-8	98101.7584	100252.6741	2738.0417
CC-9	98118.4508	100218.3286	2736.9979
CC-10	98198.5759	100110.3197	2723.5717
CC-11	98063.9310	100240.9257	2734.0817
CC-12	97958.8904	100276.7331	2757.3003
CC-13	97928.5603	100232.2245	2738.2827
CC-14	97703.6816	100372.6328	2743.0827
CC-15	97893.7345	100510.5645	2757.3722
CC-16	97945.3228	100413.4474	2777.6367
CC-17	97895.5282	100380.8912	2773.7216
CC-18	97926.6128	100347.4065	2783.1886
CC-19	97964.0074	100347.4126	2788.9817
CC-20	97993.8132	100384.2465	2793.8054
CC-21	98145.9332	100443.2445	2802.5374
CC-22	98237.8499	100492.0573	2811.8709

## 2.6 PRODUCTO FINAL

Se preparó un mapa general de la zona de estudio a escala 1:750 el cual se presenta en el plano 1 anexo. Las carteras topográficas y los esquemas de levantamiento de pozos del alcantarillado se presentan en el anexo No.1 Topografía.

## **CAPITULO III. ESTUDIO GEOLOGICO**

### **3.1 GENERALIDADES**

La zona de estudio se encuentra enmarcada en el flanco occidental de los cerros orientales de Bogotá, se caracteriza por tener hacia el noreste un relieve de pendiente alta conformado por cuevas estructurales cortas. Presenta un terreno escarpado hacia el flanco occidental con algunos depósitos conformes producto de movimientos en masa anteriores.

Se identifican rocas constituidas por una secuencia sedimentaria interestratificada de areniscas y arcillolitas. En la zona se aprecian una serie de depósitos cuaternarios que corresponden a coluviones (Qdp), suelos residuales de arenisca y arcillolita (Qrs) y rellenos antrópicos (Qr y Qrh).

Estructuralmente la zona está emplazada en un sector plegado entre fracturas locales y regionales, transversales y longitudinales. La principal de ellas es la denominada Falla Bogotá.

Las labores de campo y oficina para el presente estudio geológico fueron realizadas durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 1999.

### **3.2 INFORMACION BASICA**

Para la elaboración del presente informe geológico se contó con la siguiente información de referencia:

Fotografías aéreas del vuelo R-1131, del IGAC, con fotos a escala 1:3450. Se adquirieron y fotointerpretaron las fotos No. 2296 a 2299.

Cartografía: Se contó con la plancha topográfica levantada por el Consorcio INNOVA – CGR, restituida a escala 1:750 y que forma parte del presente informe.

Información geológica: Se adquirió el Mapa Geológico de Santafé de Bogotá, a escala 1:50.000 del INGEOMINAS, 1997, el cual forma parte del proyecto de Microzonificación sísmica de Bogotá.

Informes de geología, geomorfología general de la localidad de Santafé y de diagnóstico del barrio El Dorado Bajo elaborados por la firma INGEOCIM en 1998. Cartera con la información primaria de campo perteneciente a este estudio.

### **3.3 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

El área del estudio que está situada a 2800 msnm presenta un clima frío de páramo. En el sector se observa un relieve con características morfométricas que varían entre colinar empinado y localmente escarpado. En la zona se observan sectores potencialmente inestables que presentan amenaza de movimientos de remoción en masa, pequeños por su dimensionamiento, pero que en caso de una activación futura pondrían en serio riesgo los bienes y la vida de los pobladores establecidos allí establecidos.

En el área del estudio se han presentado ya movimientos de remoción en masa menor que han generado daños sin cobrar vidas humanas.

### **3.4 METODOLOGIA DEL TRABAJO GEOLOGICO**

Para la ejecución del presente estudio se siguió la siguiente metodología que involucra labores de campo y oficina, a saber:

- Recopilación de la información previa existente.
- Adquisición e interpretación de las fotografías aéreas del área del estudio
- Visita de reconocimiento general del área.
- Levantamiento geológico y geomorfológico, con ubicación de estaciones de campo por medición directa a cinta y brújula.
- Procesamiento en la oficina de Bogotá, de la información obtenida, previa existente y primaria de campo.

El procesamiento y evaluación de la información deja como producto final el presente informe geológico y geomorfológico.

### **3.5 GEOLOGIA REGIONAL**

Se incluye aquí como Geología Regional, la geología expresada para una zona mayor al área del estudio y que se encuentra plasmada en la figura No. 2, a escala 1:50.000 (tomado del INGEOMINAS) 1997.

A continuación se presenta una descripción sucinta de la geología regional.

#### **3.5.1 ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA**

##### **Depósitos del Cuaternario - Q**

Se identifican como un complejo de conos y depósitos fluvio - lacustres.

##### **Formaciones del Terciario – T**

Corresponde a las formaciones Regadera (Tpr), Bogotá (Tpb), Cacho (Tpc) y Guaduas (KTg). Estas formaciones están compuestas por depósitos estratiformes constituidos por areniscas, arcillolitas y limolitas.

La Formación Guaduas contiene mantos de carbón hacia su base.

##### **Formaciones del Cretáceo – K**

Corresponde a las formaciones del Cretáceo superior Guadalupe (Ksg), distinguidas como Labor – Tierna, Plaeners, Arenisca Dura y Chipaque. Están constituidas por areniscas y lutitas limosas y arcillosas.

#### **3.5.2 ESTRUCTURA Y TECTONICA**

##### **Pliegues**

Aunque no se indican en el mapa geológico regional, existen pliegues anticlinales y sinclinales de carácter local (como el caso del anticlinal del área del estudio) y regional. Estos se presentan con disposición norte a sur y flancos dirigidos al oriente y occidente. Existen pliegues normales y pliegues volcados.

##### **Fallas**

Existen fallas longitudinales y diagonales a las estructuras. La falla principal es la Falla de Bogotá que se ubica por el flanco occidental de los Cerros Orientales de Bogotá. Esta es una falla de cabalgamiento con el labio oriental levantado.



Entre las fallas diagonales se puede mencionar la Falla de San Cristóbal que tiene importancia para el área del estudio. Esta es una fractura normal con desplazamiento horizontal menor.

### **3.6 GEOLOGIA LOCAL DETALLADA**

La geología detallada del área en estudio se presenta en el Mapa Geológico Local (escala 1:750) correspondiente al Plano No. 2, y plasma los hallazgos obtenidos en los levantamientos de campo y la fotointerpretación de la zona (Véase figura No. 3).

Los espesores de los estratos, suelos y depósitos de ladera fueron medidos en campo, en los afloramientos documentados. No se indican medidas estimadas.

A continuación se describe la geología detallada del área del estudio:

#### **3.6.1 LITOLOGIA**

##### **Depósitos del Cuaternario**

- **Suelos Residuales y Orgánicos – Qso, Qsr**

Los suelos residuales y orgánicos observados en el área de estudio tienen por lo general espesores menores a 2.70 metros.

- **Suelos Orgánicos – Qso**

Los suelos orgánicos cubren la mayor parte del área del estudio. Sus principales afloramientos se ubican en la ladera media y alta. Son de color café oscuro a negro y comprenden limos arenosos y arcillas. En general, su espesor no supera 1 metro (Ver Estaciones EPR – 4, EPR – 5, EPR – 6, EPR – 9B, EPR – 11, EPR – 12 y EPR – 14, Cartera de Campo Anexo No.2 y fotos No. 1, 2, 11 y 18 al final del capítulo).

- **Suelo Residual – Qsr**

Como en el caso anterior, los suelos residuales cubren la mayor parte del área del estudio. En general tienen un espesor que puede ser menor a los 3 metros. El suelo residual presenta un color café claro, crema, rojizo o violáceo, dependiendo si la roca parental es arenisca, limolita o arcillolita. Sus principales exposiciones se observan en los sitios de las estaciones EPR – 4, EPR – 5, EPR

– 6, EPR – 9B, EPR – 11 y EPR – 14 y se presentan en las fotos No. 1, 2, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 17, 18 y 19.

- **Depósitos Antrópicos – Qan**

Los depósitos antrópicos se observan en el sur del área, entre las estaciones EPR – 2 y EPR – 3. Se identifican como Qan (Re+b – relleno de escombros y basuras) en EPR – 6 y como Qan (Rm – depósitos de clastos para procesamiento minero). Sus espesores parecen ser menores de 3 metros.

- **Depósitos Recientes de Laderas – Qdr**

Los depósitos recientes de ladera se localizan en la zona apical del derrumbe principal (derrumbe del muro), en la zona de la ladera alta. Están constituidos por clastos de concreto del muro, suelos residuales y orgánicos y desprendimientos del depósito coluvial QCO (1) Este último comprende clastos de arenisca meteorizada en suelo residual limo arenoso. Su espesor parece ser menor de 2 metros. (Ver EPR – 8 y EPR – 9A y Foto No. 15).

- **Depósitos Coluviales – Qdp, QCO – al.**

- **Depósitos Qdp**

Se observan en las zonas centro–oriental, sur y centro–occidental. Corresponden en su mayoría a depósitos mixtos por su composición. Incluyen suelos residuales y orgánicos, roca desprendida y a veces escombros de construcción. Su espesor puede ser por lo general menor a 2 metros. En el caso del depósito del Bosque Borracho, estos depósitos puede alcanzar un espesor de 6 metros (Ver Estaciones EPR – 12, 7, 6, 2 y 3 y Fotos No. 18 y 19, y Plano No. 3).

- **Depósito QCO**

Como tal, se considera el depósito situado abajo del derrumbe del muro. Corresponde a un depósito coluvial antiguo (QCO1) con clastos de arenisca en suelo residual; y a un depósito coluvial que suprayace a QCO1 denominado aquí como QCO2 y constituido por clastos de arenisca en suelo orgánico y residual. Su espesor puede ser mayor de 2 metros (Ver estaciones EPR – 5, EPR – 7 y Fotos 15 y 16).

– **Depósito QCO - al**

Este depósito se localiza a lo largo del caño de la Quebrada El Canal. Está constituido por clastos de arenisca en suelo residual arcilloso. Su espesor es del orden de 2 metros.

**Roca in situ del Terciario**

• **Conjunto Superior Arcilloso – Tpbas**

Este conjunto está constituido por arcillolita abigarrada, rojiza a magenta. Su espesor puede ser mayor a 45 metros (Ver estación EPR – 4, miembro Z, en la columna estratigráfica del Plano No. 3, y foto No.1 Este conjunto parece pertenecer a la parte inferior de la Formación Guaduas.

• **Conjunto Medio Superior Arenoso – TpbAs**

Este conjunto o unidad media superior arenosa parece pertenecer a la Formación Cacho. Aquí se describe como perteneciente a la Formación Bogotá superior. Su espesor medido por la vía a Vitelma es de 72 metros y está constituido por bancos de arenisca de color crema a café grisáceo, de grano fino a medio, estratificación localmente cruzada, con algunas intercalaciones de limolitas y arcillolitas. Se distingue en el mapa y la columna estratigráfica como miembros desde la N a la Y (Véase Plano No. 3, en el Anexo No 10; estaciones EPR – 3 a EPR – 4, EPR – 16, EPR – 10, EPR – 11, EPR – 7 y EPR – 15 y las fotos No. 3, 4, 5, 6, 7 y 12)

• **Conjunto arcilloso inferior – TpbA**

El conjunto presenta un afloramiento continuo en la ladera media occidental del área del estudio. Este conjunto se puede seguir por la vía a Vitelma, entre las estaciones EPR – 2 y EPR – 3 (Véase Plano No. 2). El conjunto forma parte de la Formación Bogotá.

El espesor medido del conjunto es de 70 metros y está constituido por bancos de arcillolita en interestratificación con bancos de areniscas. La arcillolita es abigarrada, magenta oscura a lavanda grisácea, plástica, blanda, a veces ripiosa. La arenisca se presenta en bancos gruesos, de color crema a café parduzco claro, grano fino a muy fino, dura a friable. Se distingue en el mapa y en la

columna estratigráfica como miembros de la A a la M (Véase Plano No. 2; estaciones EPR – 2A, EPR – 3, EPR – 5, EPR – 6, EPR – 7, EPR – 12, EPR – 13 y EPR – 14 y las fotos No. 2, 7, 8, 9, 10, 11 y 19. ).

- **Conjunto arenoso inferior – TpbAi**

Este conjunto aflora al occidente del barrio El Dorado, fuera del área de estudio. Parece estar constituido por areniscas con intercalaciones supeditadas de arcillolita. Su espesor es mayor de 50 metros. No se realizó levantamiento geológico en este sector. El conjunto infrayace al conjunto TpbAi.

### **3.6.2 ESTRUCTURA GEOLOGICA**

#### **Estratificación y Plegamiento**

Se observó estratificación clara en los contactos entre arcillolita y arenisca y estratificación cruzada, especialmente en el conjunto arenoso superior. La estratificación medida en contactos litológicos y en arcillosos, se presenta con buzamientos claros al oriente y rumbo aproximado norte – sur, con  $E=85^\circ$  a  $135^\circ / 20^\circ$  a  $82^\circ$ ; donde  $E= A/B$

E : estratificación

A : azimut del buzamiento en grados

B: inclinación de la pendiente del buzamiento en grados.

#### **Fracturación (Diaclasas y Fallas)**

Los diferentes sistemas de diaclasamiento presentan actitudes dispersas (Véase diagrama de dispersión de discontinuidades en el Plano No. 3).

Las fracturas, tanto de diaclasa como de fallas, son de alto ángulo de buzamiento, y oscilan entre  $60^\circ$  y  $90$  grados.

Se distinguieron 3 lugares con fallas dentro del área del estudio: dos afectando roca (Ver estaciones EPR – 2 y EPR – 4) y una afectando un depósito mixto de ladera (Ver estación EPR – 6 y foto No. 18). Esta última hace parte de una estructura de colapso en ladera empinada del aquí denominado Bosque Borracho.

## **Tectónica**

El área del estudio se presenta estructuralmente como plegada, fracturada. La estructura de plegamiento es un anticlinal en el occidente del área (Véase Planos No. 2 y 3) que se dispone con rumbo sur – norte. Los esfuerzos de compresión, dirigidos aproximadamente este–oeste generaron el plegamiento del área, igual que las fallas de cabalgamiento tipo Falla de Bogotá. La aplicación de los esfuerzos con dirección SE–NW, a los bloques longitudinales generan posteriormente las fracturas tipo Falla de San Cristóbal.

### **3.6.3 CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS GENERALES**

A continuación, se presentan las características hidrogeológicas generales detectadas en el levantamiento geológico de campo:

#### **Aguas de Escorrentía Superficial**

Por su origen, las aguas de escorrentía se consideran de dos formas: la primera, la que más afecta el entorno en la zona del derrumbe del muro, se debe a un mal manejo de aguas del alcantarillado local. Esto se traduce en un flujo continuo de aguas negras que corren en superficie por los suelos y depósitos de ladera (Qso, Qsr, QCO1, QCO2 y QCO3 – Véase Mapa Geológico, Plano No. 2, y perfil geológico plano No. 3). Estas aguas se infiltran al depósito mencionado y hacia las areniscas de la roca in situ de la Formación Bogotá (Tpb). La segunda, se debe a aguas de escorrentía superficial provenientes de fenómenos de lluvia que recargan los depósitos de ladera del área del estudio y se infiltran hacia la roca in situ.

#### **Aguas del Subsuelo**

No se identificaron acuíferos colgados en el área del estudio. Pero, sin embargo, es posible que en los depósitos de ladera en proceso de reptación en el área del estudio (Véase Planos No. 2 y 3), existan aguas de escorrentía infiltradas y almacenadas en forma de acuíferos colgados que puedan ser la causa de la inestabilidad detectada.

Acuíferos formacionales intracapa, por sedimentos areniscosos porosos del área del estudio. Como tales, deben existir y corresponder a los miembros J, I, L y N,

mostrados en la columna litológica (Véase Plano No. 2). Se trata de areniscas, en su mayor parte permeables, estratiformes, con buzamiento al occidente, y que se extienden, por el rumbo, en dirección Norte a Sur. Estos estratos se hallan interestratificados entre arcillolitas impermeables. El flujo de esta agua debe alimentar la quebrada El Canal, por el sur del área, y posiblemente algunos caños menores por la ladera oriental (LC – En el Mapa Geomorfológico – Véase Plano No. 4).

### **3.7 GEOMORFOLOGIA**

Para la diferenciación de las unidades geomorfológicas en laderas en pendiente y contrapendiente se considera para su definición el criterio estructural, en relieve de cuestras y de contrapendiente.

En adelante se asume para la definición del relieve por su pendiente, los siguientes parámetros, rangos de pendiente homogénea:

Relieve plano, levemente inclinado, menor o igual a 2,5°

Relieve de pendiente suave a moderada entre 2,5° y 12,5°

Relieve con pendiente empinada, 12,5° y 25°

Relieve de pendiente alta, semiescarpado, entre 25° y 45°

Relieve escarpado, con pendiente mayor a 45° (100%)

Relieve altamente escarpado de paraverticial a vertical, pendiente entre 80° y 90°.

#### **3.7.1 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS**

Se consideran los siguientes tipos de unidades geomorfológicas en el área del estudio. Se detecta un relieve de pendiente empinada a semiescarpada.

##### **Ladera Estructural, Tipo Cuesta - LC**

Las cuestras estructurales identificadas en las fotografías aéreas corresponden al buzamiento de estratos rocosos (areniscas) firmes, con pendientes entre 20° y 35° para la zona central y norte, con longitudes expuestas menores a 45 metros. En la zona sur, las cuestras estructurales son escasas, cortas y conforman relieve semiescarpado a escarpado.

En la ladera tipo cuesta, el relieve coincide con el plano de estratificación.

### **Ladera Empinada en Contrapendiente Estructural – LE**

Se distingue un relieve con pendientes de suave (zona centro – occidental) a semiescarpado en la mayor parte del flanco considerado. Localmente, se presenta en franjas angostas y puede variar entre escarpado y paraverticial. Este último relieve, no es otra cosa que el producto de laboreo minero.

Se considera aquí el relieve descrito como ladera empinada en contrapendiente estructural, en la cual el buzamiento de la estratificación va hacia adentro de la ladera.

### **Superficies de Excavación Antrópica - PEm**

Se distingue en la zona como planicies antrópicas o como zonas planas a levemente inclinadas, producto de aplanamiento por excavación, localmente por relleno para minería e instalación de obras civiles y viviendas. La zona principal se observa por el occidente del área con longitud norte a sur, de aproximadamente 500 metros y anchos variables entre 25 metros y 75 metros. (Véase Plano No. 4). Continúa por el sur y el sureste del área por unos 150 metros más.

### **Abanicos Coluviales – ACO**

Los abanicos coluviales se encuentran localizados principalmente en la ladera occidental. Son ubicados espacialmente en el mapa geomorfológico que corresponde al plano No. 4. Son depósitos de ladera, tipo conos de deyección de arrastre corto.

## **3.7.2 SUBUNIDADES GEOMORFOLOGICAS**

En la zona de estudio se tienen las siguientes subunidades geomorfológicas:

### **Ladera Tipo Cresta**

- **LC1.** Cuesta de relieve homogéneo presente en al occidente del área. Se caracteriza por tener relieve suave y depósitos de cobertura.
- **LC2.** Cuesta de relieve empinado con sectores semiescarpados.

### **Colina, Tipo Cresta**

- **CR1.** Cresta de relieve semiescarpado a escarpado con cobertura amplia de suelos. Se presenta relieve con pendiente al noroeste.
- **CR2.** Cresta con relieve semiescarpado a escarpado en forma de circo colinar, redondeado hacia la parte alta y pendiente al occidente.
- **CR3.** Cresta de relieve escarpado similar a CR2. Pendiente al occidente en circo redondeado.
- **CR4.** Cresta con relieve de empinado a semiempinado. Pendiente al suroeste.
- **CR5.** Cresta con relieve estructural tipo cresta y pendiente del relieve al oriente.

### **Ladera en Contrapendiente.**

- **LE1.** Ladera en contrapendiente. Relieve empinado a escarpado. Presenta amplia cobertura de suelos y sectores erosionados.
- **LE2.** Ladera en contrapendiente. Relieve en forma de circo amplio, con cobertura extensa de suelos y depósitos de ladera.
- **LE3.** Ladera en contrapendiente. Relieve semiescarpado, con pendiente al occidente. Presenta depósitos coluviales.
- **LE4.** Ladera en contrapendiente. Relieve semiescarpado, con pendiente al suroeste. Presenta depósitos coluviales.
- **LE5.** Ladera en contrapendiente. Similar a LE1. Relieve empinado a escarpado, con amplia cobertura de suelos, zonas erosionadas y depósitos coluviales de arrastre corto. Pendiente al noroccidente. Se ubica fuera del área del estudio.
- **LE6.** Ladera en contrapendiente, similar a LE4. Relieve empinado cobertura de suelos, depósitos de ladera y zonas erosionadas. Presenta relieve al suroeste.

### **Abanicos Coluviales**

- **ACO (o) – Abanico Coluvial** presente en el sector del "Bosque Borracho", (bosque con árboles inclinados y caídos por procesos de inestabilidad). En



este abanico se distinguen depósitos mixtos, antrópicos y de ladera. Su ápice se encuentra al oriente y su zona distal al occidente, conformando relieve semiescarpado, cercano a los 30 grados de pendiente. Su longitud es de unos 60 metros, su ancho en la zona distal de unos 65 metros.

- **ACO (1, 2, 3) - Abanicos Coluviales** presentes en el sector del muro. En su cuerpo se distinguen tres eventos de remoción en masa, acompañados de un proceso erosivo vertical intenso entre las fases 1 y 2. Su ápice se encuentra al oriente y su zona distal al occidente; conforma paulatinamente relieve de pendiente de suave a empinada en las zonas baja y media y semiescarpada en las zonas central y oriental alta.

En la zona baja se presenta relieve de pendiente suave, menor a 5 grados; en la zona intermedia se observa un relieve empinado que tiene una pendiente general aproximada de 25 grados. En la zona occidental alta, por lo general se distingue un relieve semiescarpado pendientes entre 30 y 40 grados, localmente con franjas angostas escarpadas de pendiente mayor a 45 grados.

La extensión, longitud, del conjunto coluvial es cercana a los 200 metros y su ancho de 170 metros.

Se distinguen varios conos tipo abanicos coluviales originados por acumulación en laderas de pendiente corta.

- **ACO (4,5,6) – Depósitos de Ladera** considerados por las características observadas como potencialmente inestables y estables. Los primeros se observan por la zona central y sur del flanco occidental del área y los segundos por la zona centro-oriental. Sus longitudes y anchuras respectivas son menores a 50 metros. En si representan geoformas pequeñas de ladera corta, generados por procesos antrópicos de mal manejo de taludes y laderas.
- **ACO (7) - Un Abanico Coluvio – Aluvial**, torrencial de ladera, se localiza en el lado sur oriental del área, siguiendo el Caño El Canal. Su ancho y longitud no fueron precisadas en este estudio. Su longitud es mayor de 150 metros y su ancho mayor de 50 metros. En el cuerpo del mismo se observa erosión vertical y lateral por el cauce del Caño El Canal.

### **Superficies de Excavación**

- **PEm1.** Superficie plana de excavación para minería e instalación de obras civiles. Bordea el área del estudio por el occidente, sur y sureste. Presenta, hacia ladera taludes empinados a verticales. Ocupa una posición baja con respecto al relieve del área.
- **PEm2.** Superficie plana de excavación. Presenta taludes empinados a verticales. Ocupa una posición intermedia a media ladera del relieve del área.
- **PEm3.** Superficie plana de excavación. Presenta taludes empinados a verticales. Ocupa una posición alta con respecto al relieve del área y se ubica en el NW de la misma.

### ***3.7.3 ESTRUCTURAS DE CONTROL GEOMORFICAS***

Se consideran superficies de debilidad estructural, cuerpos litológicos resistentes y obras civiles de contención. Estas últimas se consideran como obras antrópicas que modifican el paisaje y por consiguiente las geoformas naturales.

### **Superficies de Debilidad Estructural**

Se consideran como planos de debilidad, los planos de estratificación y fracturamiento, puesto que corresponden a planos por los cuales avanzan más rápido los procesos de meteorización y erosión de la roca. Muchas geoformas y procesos morfodinámicos están controlados por dichos planos de debilidad; tales como cuestas, laderas de contrapendientes, etc.

En el área los planos de estratificación se presentan con pendientes al oriente que tienen un rumbo aproximado norte a sur, siguiendo la dirección de la loma (Véase CR-Colina redondeada en el mapa geomorfológicos que corresponde al plano No. 4).

### **Cuerpos Litológicos Resistentes**

Los cuerpos litológicos resistentes a la erosión son las areniscas del conjunto TpbAs (Véase mapa geomorfológico que corresponde al plano No. 4), producen el resalte topográfico arriba mencionado, distinguido como unidad CR, en el plano geomorfológico.

### **3.7.4 INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD**

#### **Procesos de Talud - PT**

Los procesos de inestabilidad son movimientos de talud que comprenden los procesos de inestabilidad adyacentes a los taludes de reconfiguración de vías, explanaciones para minería y excavaciones para la construcción de viviendas, fábricas y diferentes obras civiles.

- **PT1.** Procesos de inestabilidad desarrollados en taludes contrapendientes estructurales de la roca in-situ. Se ubican sobre el costado occidental del área de estudio.
- **PT2.** Procesos de inestabilidad desarrollados en relieve que sigue la pendiente estructural de la roca in situ. Se ubican en el costado oriental del área de estudio.

#### **Procesos de Ladera**

Los procesos de inestabilidad de laderas están desarrollados en relieve de pendiente natural (ladera) que no han tenido injerencia antrópica. Se observan procesos caracterizados por derrumbes medianos y menores, desprendimientos, colapso de depósitos de ladera y erosión de tipo areal, de tipo planar y de tipo vertical

- **PLE.** Corresponde a procesos de inestabilidad en laderas en contrapendiente estructural.
- **PLC.** Corresponde a procesos de inestabilidad de laderas en relieve que sigue la pendiente estructural de la roca in situ, en laderas tipo cresta.

### **3.7.5 PROCESOS ESPECÍFICOS**

En el área del estudio se observaron los siguientes procesos específicos:

#### **Erosión Laminar y Areal**

Erosión areal y laminar se observa, especialmente en las zonas de terreno plano, y terrenos suaves a empinados. (Procesos PE 1, 2; LEes y LCes). A estos procesos se halla anexa alguna presencia incipiente de formación de surcos (Ver mapa de inventario de procesos que corresponde al plano No. 5).

### **Erosión Vertical**

La erosión vertical se manifiesta con la formación de surcos, zanjones y cárcavas. Este tipo de procesos, generados por las aguas de escorrentía superficial afectan suelo orgánico, residual, depósitos coluviales y roca in situ. Se presentan especialmente como procesos de talud (PT) y en forma supeditada, a menor escala, como procesos de ladera (PL).

### **Reptación**

Se observa como reptación de suelos o como reptación de depósitos de ladera. Se distinguen como LErr (Vease plano No. 5), en procesos de ladera (PL). Las reptaciones observadas parecen generar grietas discontinuas observadas en la ladera alta occidental del área.

### **Desprendimientos y Derrumbes**

Desprendimientos y derrumbes de roca in situ y depósitos de baja consolidación se observan en el área del estudio, especialmente en sectores adyacentes a los procesos de talud (PT). Desprendimientos planares y deslizamientos por el plano de estratificación son posibles sobre la ladera oriental (PLC).

El mayor desprendimiento reciente en el área del estudio se observa en la zona central occidental (Vease plano No. 5) más concretamente en el sector del muro de concreto. El proceso de desprendimiento local de depósitos de ladera se generó por mal manejo de aguas con la consiguiente sobresaturación de la formación y separación de dos módulos del muro de contención.

Una zona de alta potencialidad futura de generación de un proceso de remoción en masa, se ubica en la zona del Bosque Borracho, identificada como DC (Vease plano No. 5). Se observa colapsamiento de un depósito mixto de ladera y roca in situ.

### **3.8 GEOLOGIA PARA INGENIERIA**

#### **3.8.1 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS GENERALES**

##### **Tipo Geomórfico de Laderas**

Se presentan dos tipos de laderas: una con cuevas estructurales dispuesta al oriente del área; y otra, con contrapendientes estructurales localizada al occidente del área. La cresta o colina redondeada que divide las dos laderas se dispone aproximadamente sur norte. La ladera occidental presenta pendiente mayor generalmente semiescarpada a escarpada (Véase Plano No. 4).

##### **Tipos de Materiales**

- **Depósitos Suelos**

Se consideran como tales los depósitos recientes de ladera: Qdr, Qdp, Qco, QCO (0), QCO (2, 3) y Qcoal.

- **Depósitos Semiconsolidados**

Se observó como depósitos semiconsolidados al depósito QCO (1)

- **Depósitos Consolidados**

Como depósitos consolidados se encontraron los pertenecientes a las rocas del terciario de la formación Bogotá (Tpba). Se distinguen formas de litología blanda (arcillolita) y bancos de litología dura a veces friable (arenisca) (Véase Plano No. 2).

##### **Tipo de Procesos de Inestabilidad**

- **Procesos de Talud**

A lo largo de la superficie de excavación PEm, por el lado oriental se detectaron procesos de erosión intensa con formación de surcos, zanjonés y cárcavas y desprendimientos locales de rocas (Véase Plano No. 5).

- **Procesos de ladera**

Se distinguieron procesos de remoción en masa medianos y pequeños, reptación de suelos y erosión intensa (Véase Plano No. 5).

##### **Descripción de las Zonas con Procesos Activos**

- **Zona central o derrumbe del muro**

*Ubicación:* zona centro – occidental

*Características morfométricas*

Talud: T = 265° a 275° / 35° a 45 grados.

Longitud por la ladera = 200 metros

Ancho = 170 metros

Altura = 65 metros (cota superior en 2800 msnm; cota inferior en 2735 msnm)

Inclinación de la ladera = parte alta, mayor de 40°, parte media con 25°, parte baja menor de 5 grados (Véase perfil A–A' en el Plano No. 3).

Ancho de la corona del deslizamiento antiguo = 60 metros.

*Características geológicas:*

Cobertura – Suelos residual y orgánico y depósito coluvial QCO (1) con espesor de 2 metros a 3 metros.

Estratificación de la roca in situ = E = 85° a 135° / 10° a 23 grados.

Roca in situ. Conjuntos litológicos: areniscas TpbAs en la parte alta de la sección y arcilloso (TpbaA) hacia las partes media y baja.

Sistemas principales de fracturación (Véase estación EPR-7 en el Anexo No 2)

d1 = 360° / 82 grados, m=4 (diaclasas por metro lineal del afloramiento)

d2 = 280° / 70 grados, m=10

*Diagnóstico conceptual:*

Causas: como génesis principal del movimiento reciente se considera la erosión hídrica intensa producida por la rotura del tubo del alcantarillado local, y la por construcción de una estructura rígida de contención que no permite el flujo hacia el exterior de las aguas almacenadas entre el muro y la ladera superior.

Como causas secundarias anexas pueden considerarse la alta pendiente de la ladera, la alta meteorización de los depósitos y de la roca in situ, la fracturación de la roca in situ y la componente gravitacional ladera abajo.

*Tratamiento sugerido:*

El tratamiento sugerido incluye los siguientes aspectos a saber:

Desalojo completo y reubicación de la población afectada.

Manejo adecuado de aguas de la tubería del alcantarillado, de aguas de escorrentía y de aguas del subsuelo en los depósitos suprayacentes a la roca in situ.

Obras civiles de contención y protección de laderas

No debe construirse una calle afirmada y/o pavimentada a lo largo de la carrera 7A Este, en el lugar proyectado por el Distrito.

Debe implementarse un plan de reforestación arbustiva en toda la ladera afectada.

### **Zona del Bosque Borracho**

*Ubicación:* Zona centro – occidental, al sur del derrumbe del muro.

*Características morfométricas:*

Talud,  $T = 265^\circ$  a  $275^\circ/30^\circ$  a 40 grados.

Longitud por la ladera = 60 metros

Ancho en la pata = 35 metros a 40 metros

Altura = 40 metros (cota superior de la corona antigua en 2795 msnm, cota en la pata del depósito en 2755 msnm)

Inclinación de la ladera = parte alta con  $40^\circ$  a  $45^\circ$  grados; parte media a baja con aproximadamente 30 grados.

Anchura de la corona de los desprendimientos antiguos y/o zona de erosión = 80 metros.

*Características geológicas:*

Cobertura – Depósito clástico de ladera, suelos orgánicos y residual (Qdp, en el mapa geológico, Véase Plano No. 2) con espesor aproximado de 6 metros.

Estratificación de la roca in situ:  $E = 85^\circ$  a  $90^\circ/30^\circ$  a 45 grados (Véase estaciones de campo EPR – 6 y EPR – 16 en el Anexo No. 2)

Roca in situ. Conjuntos litológicos: arenoso (TpbAs) en la ladera alta; y arcilloso (TpbaA) hacia la parte de ladera ocupada por el depósito en mención.

Sistemas principales de fracturación. Se observan dos tipos de fracturas: uno conformado por diaclasas en la roca in situ y otro por una grieta abierta, falla de colapso del depósito Qal en referencia (Ver Fotos No.7, 17 y 18 en el Anexo No.2)

d1 = 275° / 85 grados

d2 = 180° a 205° / 60° a 70 grados      m=2

d3 = 250°/85 grados

f = 265° a 270°/30° a 85 grados

*Diagnóstico conceptual:*

Causas: como génesis principal se consideran las excavaciones para minería y obras civiles, ejecutadas en el sector, sobrecarga de la ladera con escombros de materiales de corte arrojados desde la parte alta, desde la vía y sobresaturación por agua de escorrentía. Adicionalmente se consideran como causas secundarias anexas la alta pendiente de la ladera, meteorización intensa y la componente gravitacional ladera abajo.

Tratamiento sugerido: el tratamiento que aquí se sugiere incluye:

Desalojo completo de la población afectada.

Manejo adecuado de aguas

Obras civiles de contención y protección de laderas

Debe implementarse un plan de reforestación en toda la ladera afectada. Deben cortarse los árboles de eucalipto y reemplazarlos por arbustos de raíces extensas.

**Zona del suroeste (vía a Vitelma)**

*Ubicación:* por la Diagonal 6 Sur, al sur del área

*Características morfológicas:*

Talud en curva de la vía, lado oriental ; T1 = 150°/55 grados

Longitud por el talud abajo = menor de 40 metros

Ancho a lo largo de la vía = 200 metros

Identificada como LE y LC en el Plano No. 4, en el Anexo No. 10.

Altura = 30 metros

Inclinación del talud = 55 grados.

*Características geológicas:*

Cobertura – Suelos y depósitos de ladera

Estratificación = 80° a 105°/45° a 82 grados



Roca in situ – Conjuntos arenoso superior TpbAs y arcilloso medio TpbaA.

Sistemas de fracturación – Diaclasas normales a la estratificación (Ver estaciones de campo EPR – 2, EPR – 3 y EPR – 4, Fotos No. 4, 6 y 19, en el Anexo No. 2)

*Diagnóstico conceptual:*

Causas: pérdida de pata por excavación para construcción de la vía y mal manejo de aguas en el talud y en la vía.

Tratamiento sugerido: implementar un adecuado manejo de aguas y reforestación arbustiva.

• **Zona del Noroeste (Vía a El Dorado Alto)**

*Características morfométricas*

Talud, T = 300°/55 grados, lado NW de la vía

Longitud por el talud abajo menor 30 metros

Anchura, a lo largo de la vía = 160 metros

Altura, aproximadamente 30 metros

Inclinación del talud, entre 50° y 60 grados.

*Características geomorfológicas:*

Cobertura – Suelos orgánicos y residual

Estratificación E = 85°/35 grados

Fracturación = no se midió

Roca in situ – del conjunto arcilloso (TpbaA) (Ver Estaciones EPR – 13 y EPR-14 y foto No. 13 en el anexo No. 2)

*Diagnóstico conceptual:*

Causas: pérdida de pata (soporte) por excavación para minería y mal manejo de aguas desde la vía a El Dorado Alto.

Tratamiento sugerido: implementar un adecuado manejo de aguas y reforestación arbustiva.

Las zonas 3 y 4 (Zonas del SW y NW) no se anexan como fichas técnicas por estar lo suficientemente explícitas en este informe y por no representar una amenaza alta para la población circunvecina. En las zonas mencionadas existen

procesos de erosión que pueden ser tratados con un adecuado manejo de aguas y reforestación arbustiva.

### **3.9 CONCLUSIONES**

#### **Geomorfológicas y Geológicas**

En el área del estudio se distinguieron dos tipos de ladera:

La ladera oriental es, grosso modo, conforme al buzamiento de los estratos y se distingue como cuesta estructural con pendientes suaves a empinadas.

La ladera occidental es una ladera en contrapendiente estructural. Su pendiente es de empinada a escarpada. En esta ladera existe la mayor presencia de procesos de inestabilidad potencial y de procesos activos.

En el área del estudio se detectaron depósitos del Cuaternario y del Terciario:

Los depósitos del Cuaternario son de baja consolidación a sueltos. Están constituidos por suelos orgánicos, suelos residuales y depósitos clásticos en matriz limo arenosa y arcillosa. Su espesor en zonas específicas no parece superar los 6 metros.

El Terciario está representado por areniscas y arcillolitas que conforman dentro del área:

Un conjunto de roca dura a localmente friable, distinguido como TpbAs (Conjunto superior arenoso) de la Formación Bogotá en este informe; y

Dos conjuntos arcillosos, uno suprayacente y otro infrayacente al conjunto mencionado. El superior (TpbAs) está constituido exclusivamente por arcillas blandas, plásticas; el otro, por bancos de arcillolita y arenisca. Las rocas de este conjunto son utilizadas en el laboreo minero del área.

#### **Zonas con proceso activos**

Se distinguieron cuatro zonas con procesos activos:

Zona del derrumbe del Muro. Se afectan depósitos del Cuaternario y parcialmente rocas del Terciario. Presenta alto grado de amenaza.

Zona del bosque borracho. Es una zona en la que se afectan por colapso depósitos del Cuaternario. Presenta alto grado de amenaza.

Zona del suroeste (Vía a Vitelma). Se afectan depósitos sueltos y parcialmente roca del Terciario. Se presentan procesos erosivos intensos.

Zona del noroeste (Vía a El Dorado Alto) se afectan, como en el caso anterior, depósitos sueltos del Cuaternario y parcialmente roca del conjunto arcilloso – arenoso del Terciario. Se presentan procesos erosivos intensos.

#### **Causas de la Inestabilidad Detectada**

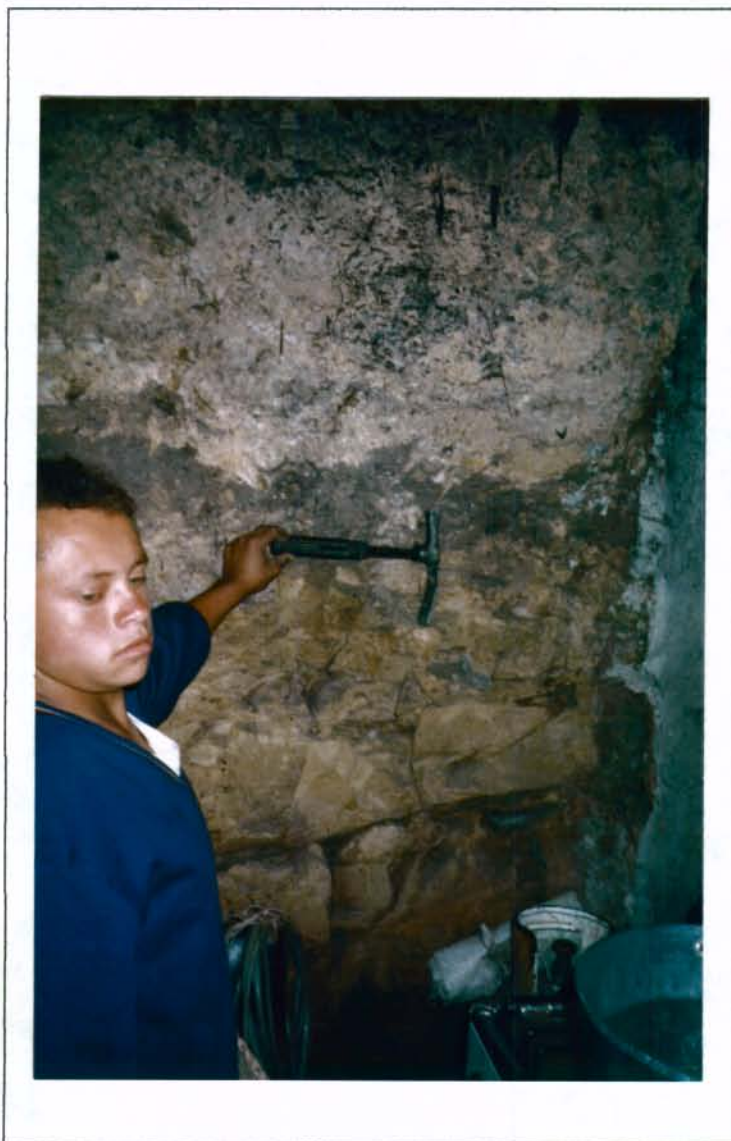
Se consideran como causas principales de la inestabilidad detectada: el mal manejo de aguas del área del estudio y la pérdida de apoyo, soporte de los depósitos y de la roca en excavaciones para minería, vías e instalación de fábricas y viviendas.



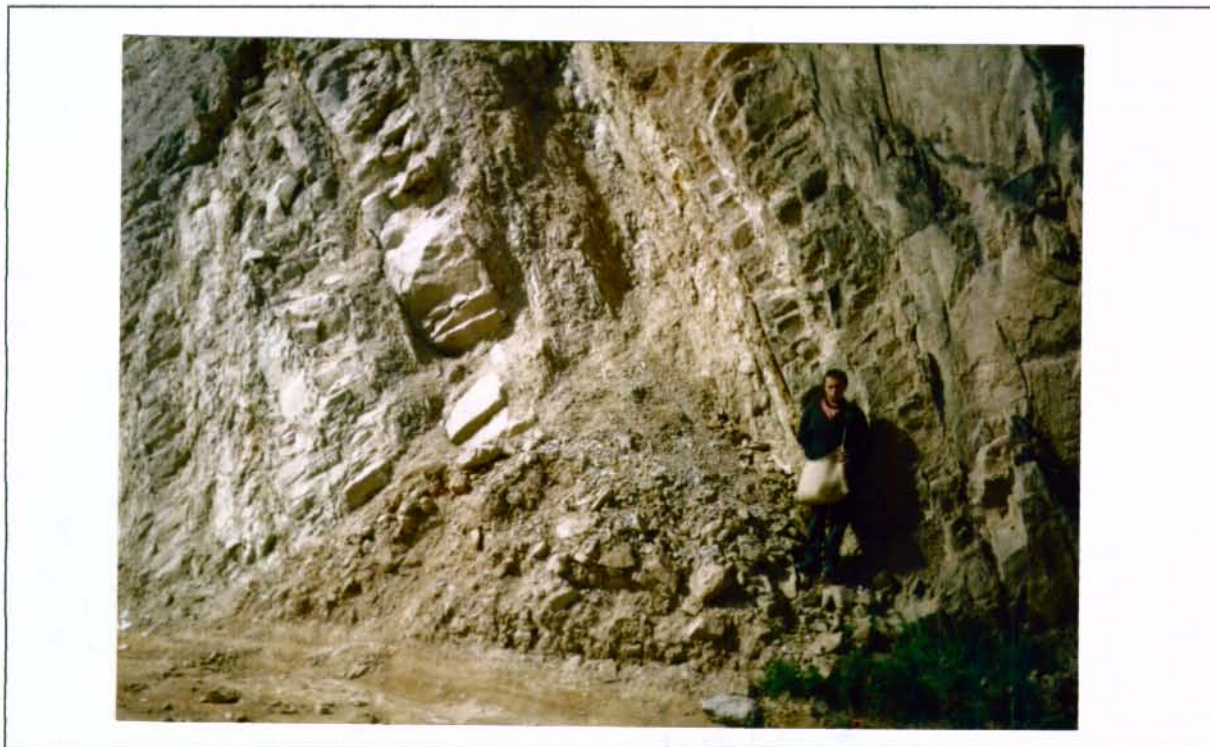
**FOTO No. 1.** Corte para construcción de muro de contención por la Transversal 9E con 5 Sur. Suelo orgánico y residual, espesor apreciado aproximadamente 5 metros. Vista al NW. Foto EPR / Sept. 99. Cuadro 6, Rollo 8692



**FOTO No. 2.** Corte en patio de vivienda en la zona norte del Derrumbe principal. Se observa suelo orgánico y residual Arcilloso con espesor mayor a 1.40 metros. Foto EPR – Sept/99, Cuadro 10, Rollo 8688.



**FOTO No. 3.** Vista al oriente Foto en la cocina de vivienda situada en la corona del derrumbe reciente principal (EPR – 10 – M.C. Poblador) Arriba depósito coluvial antiguo, semiconsolidado Yaciendo sobre arenisca firme, fracturada, consolidada. Foto EPR – Sept/99. Cuadro 2, rollo 8688



**FOTO No. 4.** Por la vía a Vitelma. Vista al norte sitio: entre EPR – 3 y EPR – 4. Buzamiento empinado, alto de la roca (arenisca en bancos gruesos) Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 8, Rollo 8692



**FOTO No. 5.** Vista al norte en el sector sur, unión de la Cra 7B Este y Transversal 8E. Arenisca con estratificación cruzada, fracturada; buzamiento empinado,  $E \sim 65^\circ$  al oriente. Foto EPR – Sept/99, Cuadro 16, Rollo 8688

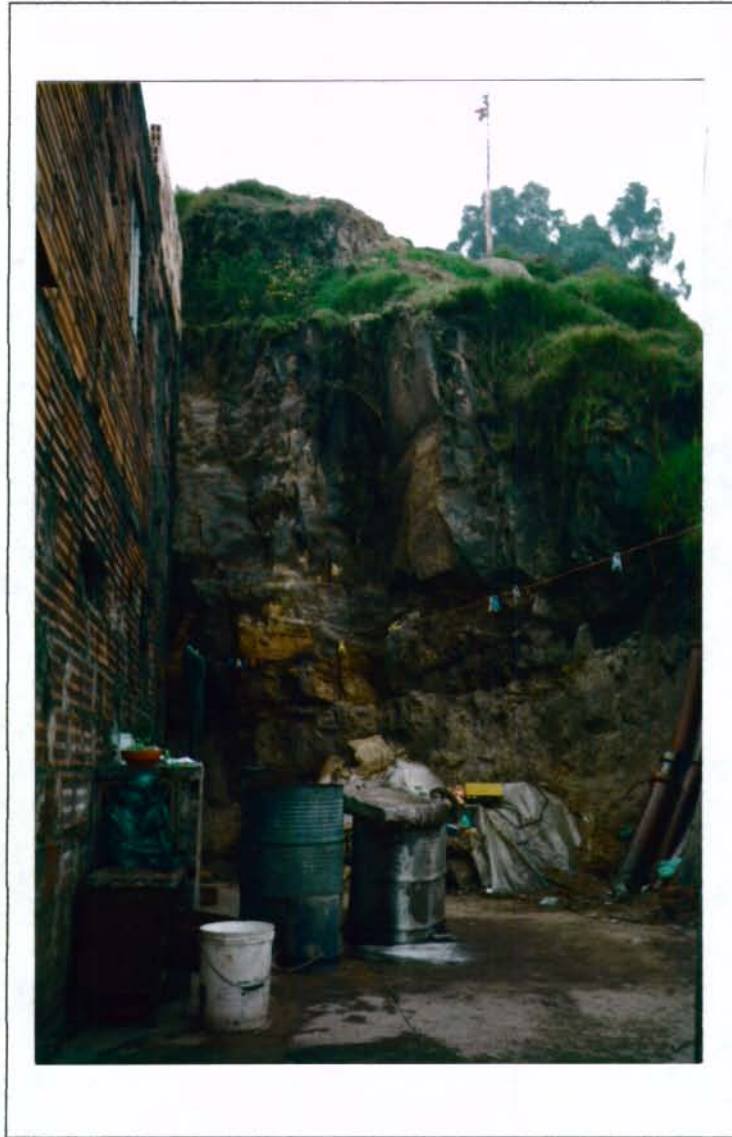




**FOTO No. 6.** Arenisca disturbada y buzamiento paravertical (E  $\sim 85^\circ$  al oriente). Se observa gruesa capa de suelo residual y clastos. Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 7, rollo 8692



**FOTO No. 7.** Vista al SEE, en sitio de excavación para minería. Arriba aflora arenisca fracturada; abajo, arcillolita. Al techo suelo Residual y orgánico. Sitio: en EPR – 6. Foto EPR – Sept/99. Cuadro 14, rollo 8692



**FOTO No. 8.** Afloramiento de arenisca al techo, y arcillolita a la base, en sitio de excavación para minería y vivienda. Vista al SEE, sitio intermedio entre EPR – 1 y EPR – 2, Foto EPR – Sept/99 Cuadro No. 00. Rollo 8688



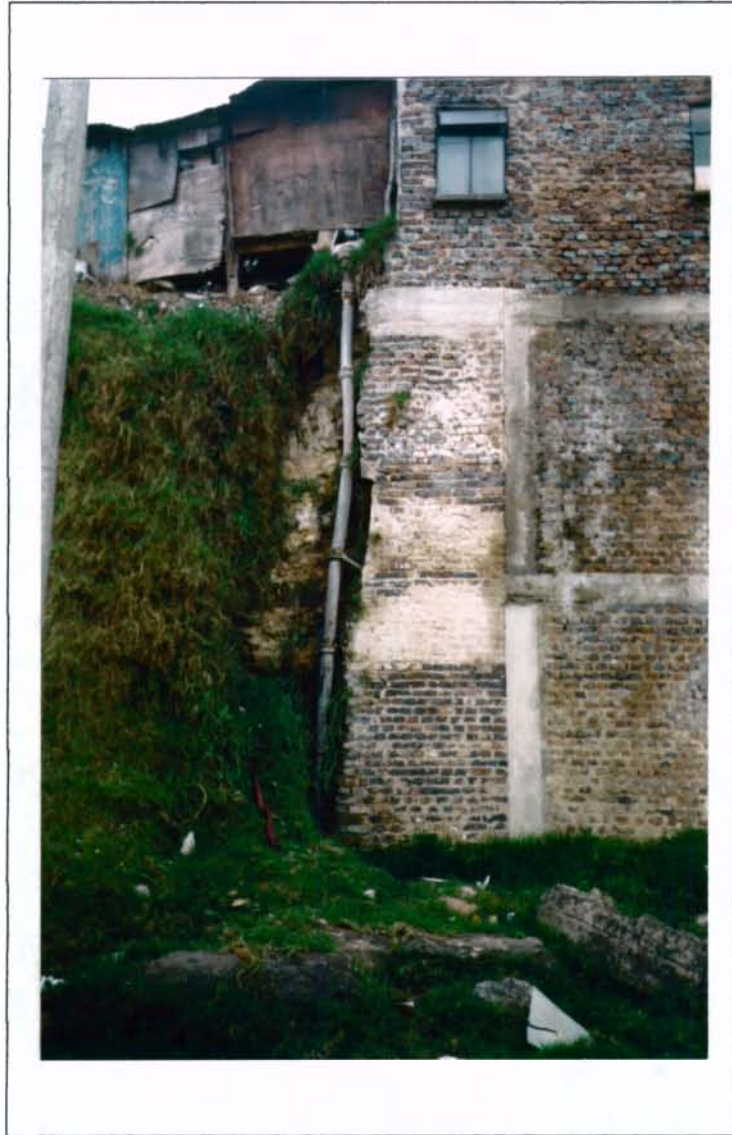
**FOTO No. 9.** Afloramiento de arcillolita con buzamiento al Oriente. Sitio en cercanías de EPR – 12. Vista al NE  
Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 8. Rollo 8688



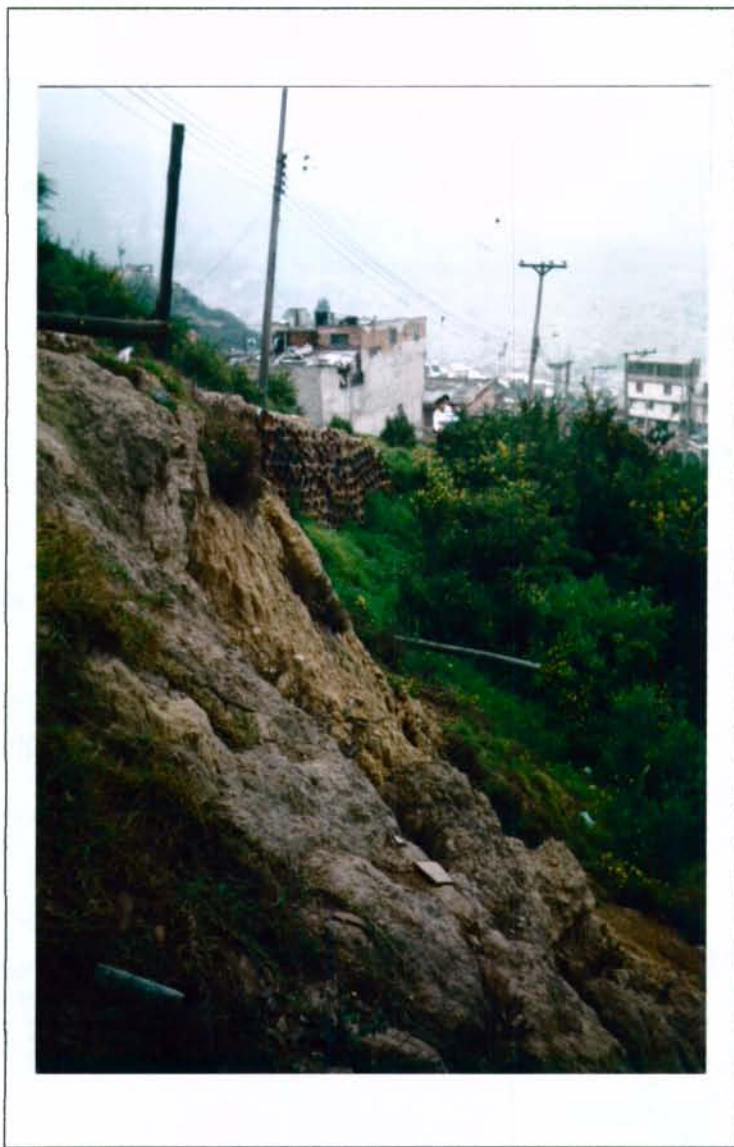
**FOTO No. 10.** Arcillolita. Detalle de la foto No. 9. Foto EPR – Sept/99, cuadro No. 9. Rollo 8688



**FOTO No. 11.** Banco de arenisca meteorizada, entre Arcillolita. Al techo suelo orgánico y residual. Vista al SE  
Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 2. Rollo 8688



**FOTO No. 12.** Muro para construcción de vivienda. Al lado izquierdo de la foto suelo residual y arenisca con bancos delgados de arcillolita. Cra 7ª Este entre EPR – 15 y EPR – 11  
Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 14. Rollo 8688



**FOTO No. 13.** Por la vía al Dorado Alto. Sitio de erosión Intensa en arcillolita, bancos de arenisca y suelo residual. Se afecta la banca de la vía. Cercanías de EPR – 14. Foto EPR – Sept/99, Cuadro No. 13 Rollo 8688





**FOTO No. 14.** Panorámica frontal del sitio del derrumbe principal del muro. Se observan los escarpes de las dos coronas sucesivas de derrumbe. Vista al oriente. Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 3. Rollo 8688



**FOTO No. 15.** Vista al SE, a la corona del derrumbe reciente del derrumbe del muro. Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 4. Rollo 8688



**FOTO No 16.** Vista al sureste, a la corona del derrumbe principal. Al lado derecho de la foto se observa árbol inclinado del bosque borracho en EPR-6. Rollo 8688  
Foto EPR - Sep/99. Cuadro No. 12



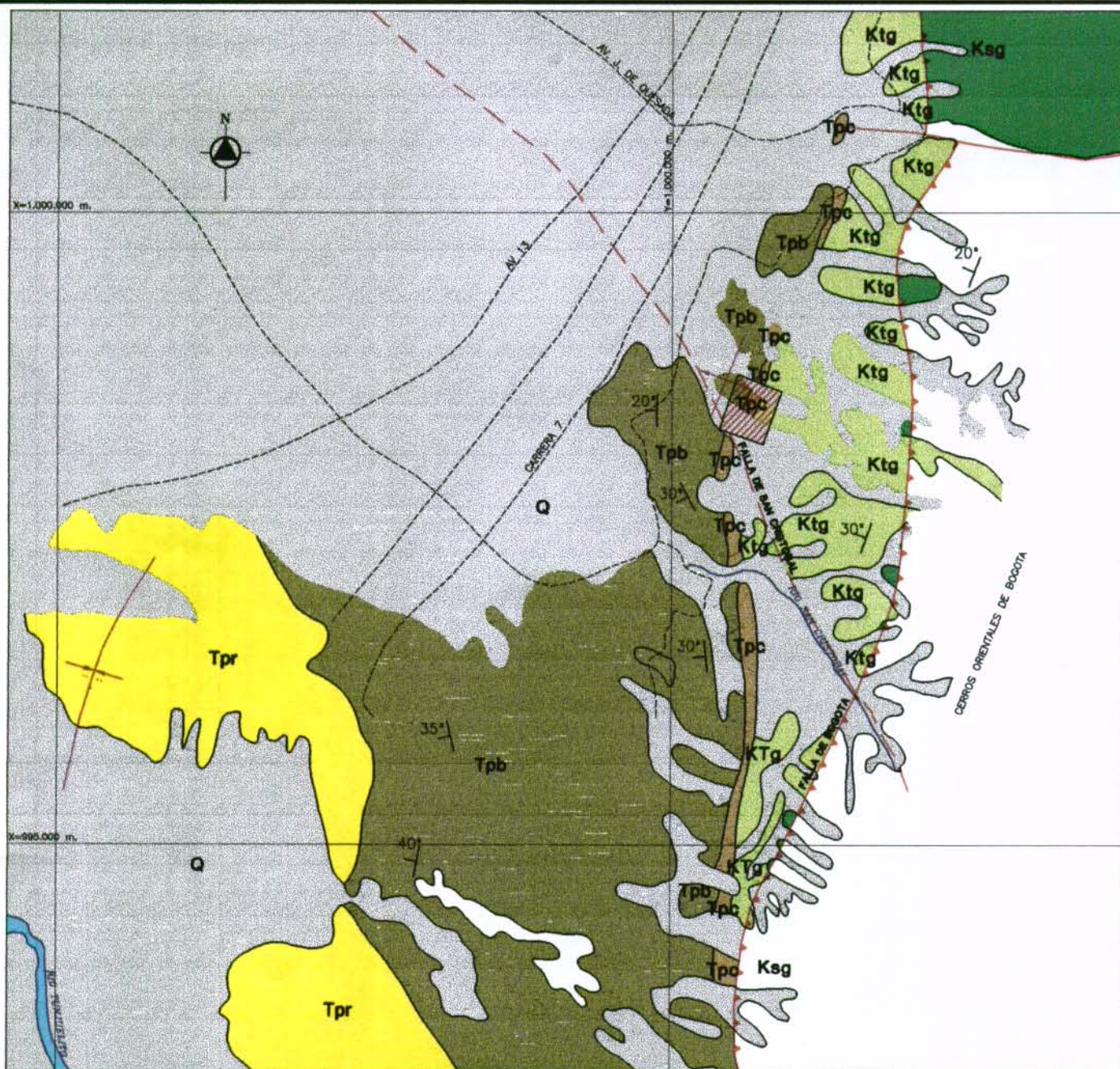
**FOTO No. 17.** Zona de ladera del bosque borracho (oscilante). A la izquierda erosión intensa en talud obandonado de explotación para minería. Foto EPR – Sept/99. Cuadro No. 15, Rollo 8692



**FOTO No. 18.** Vista en sitio de EPR-6 hacia la zona del Bosque Borracho. Se observa depósito mixto, colapsado Fallado. En el movimiento se integran depósitos clásticos Recientes y suelos orgánicos y residual. Foto EPR -Sep/99 Cuadro No.13 Rollo 8692



**FOTO No. 19.** Sitio de erosión intensa con desprendimiento locales de suelo Orgánico y residual. A la izquierda en la foto depósito de pendiente: clastos de arenisca en suelo residual y orgánico. Vista NNE, en cercanías de EPR – 3, sector sur del área del estudio. Foto EPR – Sept/99, Cuadros No. 10 y 11. Rollo 8692.



### CONVENCIONES

- Q** CUATERNARIO. COMPLEJO DE CONOS Y DEPOSITOS FLUVIO - LACUSTRES
- Tpr** FORMACION REGADERA. ARENISCA DE GRANO FINO A CONGLOMERATICO, CON ESTRATIFICACION CRUZADA E INTERCALACIONES DE ARCILLOLITA
- Tpb** FORMACION BOGOTA. PARTE SUPERIOR ARCILLOSA. PARTE INFERIOR, ALTERNANCIA DE ARENISCAS Y ARCILLOLITAS.
- Tpc** FORMACION CACHO. ARENISCAS DE GRANO GRUESO A CONGLOMERATICO
- KTg** FORMACION GUADUAS. ARCILLOLITAS EN LA PARTE SUPERIOR, ARENISCAS EN LA INTERMEDIA Y ARCILLOLITAS CON MANTOS DE CARBON EN LA BASE
- Ksg** CRETACEO SUPERIOR GUADALUPE. FORMACIONES LABOR - TIERNA (Ksglt), PLAENERS (Ksgp), ARENISCA DURA (Ksgd) Y CHIPAQUE (Ksch)
- AREA DEL ESTUDIO
- f** FALLA DE CABALGAMIENTO

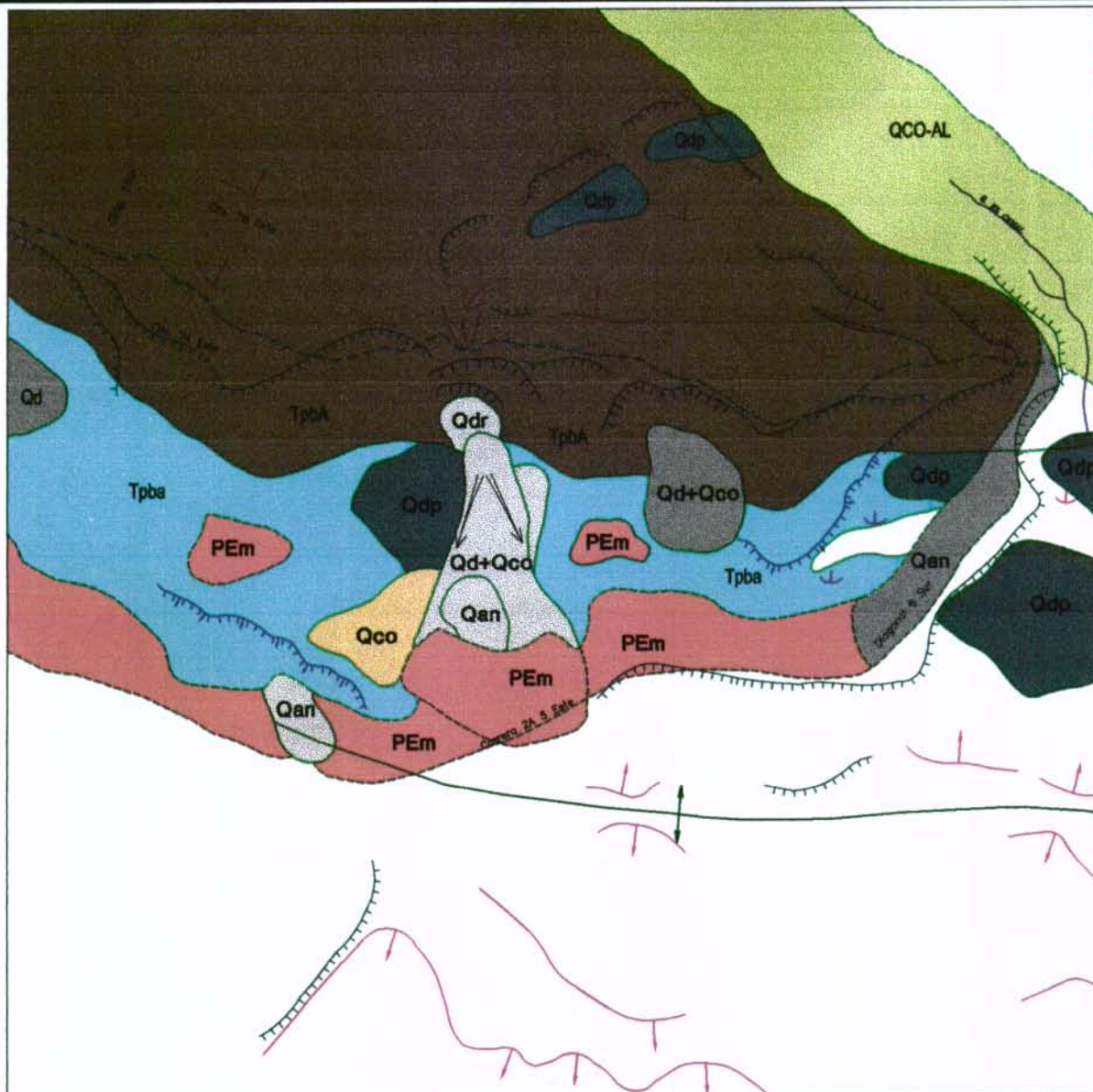
- 30° ESTRATIFICACION. RUMBO Y BUZAMIENTO EN GRADOS
- ANTICLINAL
- SINCLINAL

Tomado de INGEOMINAS, "Proyecto de Microzonificación Sísmica de Bogotá", Escala 1:50.000 Junio 1997



FIGURA No. 2 - GEOLOGIA REGIONAL

CONSORCIO:  
INNOVA ING. LTDA.  
CGR



CONVENCIONES

1-CUATERNARIO

Qdr	DERRUMBE RECIENTE
Qd	DERRUMBE ANTIGUO
Qdp	DEPOSITO DE PENDIENTE LADERA
Qco	DEPOSITO COLUVIAL
Qco-AL	DEPOSITO ALUVIO-COLUVIAL

2-TERCIARIO

Tpba	FM. BOGOTA, MIEMBRO ARENISCO
Tpba	FM. BOGOTA, MIEMBRO ARCILLOSO

	CONTACTO FOTOGEOLÓGICO, EN SUPERFICIE Y SUGERIDO
	ESCARPE PARAVERTICAL
	ESCARPE CON PROCESOS EROSIVOS
	CORONA DE DERRUMBE
	ESCARPE Y CRESTA ESTRUCTURAL
	ANTICLINAL

	-SUPERFICIE PLANA DE EXCAVACION
	DIVISORIA DE AGUAS
	CAUCE, CAÑO, QUEBRADA

VUELO: IGAC - R - 1131  
 FOTOGRAFIA No. 2298  
 ESCALA: 1:3.450  
 FECHA: 07-VI-90

162-F003



FIGURA No. 3 - FOTOGEOLOGIA

CONSORCIO:  
 INNOVA ING. LTDA.  
 CGR



## **CAPITULO IV. ESTUDIO GEOTECNICO**

### **4.1 TRABAJOS EJECUTADOS**

#### **4.1.1 RECONOCIMIENTO DE CAMPO**

El ingeniero geotecnista en compañía del geólogo, efectuaron una serie de visitas para hacer un reconocimiento visual del barrio. Este reconocimiento tuvo como objeto principal establecer las variaciones en suelos y rocas que se presentan en el sector a fin de determinar la localización, tipo y profundidad de la exploración geotécnica. La visita fue realizada después que el geólogo hizo la correspondiente fotointerpretación del sector.

#### **4.1.2 EXPLORACION GEOTECNICA**

Con el fin de obtener una apropiada descripción de los suelos y rocas que se encuentran en la parte baja del barrio El Dorado, se programaron y ejecutaron once (11) barrenos manuales que alcanzaron profundidades variables entre 1.05 y 3.10 m.

Durante el avance de cada barreno se identificaron visualmente los suelos y rocas encontrados y se recuperaron muestras inalteradas con tubo Shelby y muestras remoldeadas de material en bolsa.

Con el objeto de evaluar los parámetros de resistencia al corte (corto y largo plazo) se efectuaron ensayos "in situ" de cono dinámico (cono tipo Borros) y de penetración estándar.

En el Plano No.1, se presenta la ubicación en planta de los barrenos manuales realizados.

En el Anexo No. 3 se presentan los registros de perforación de los once barrenos realizados en la zona de estudio.

### **4.1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO**

Todas las muestras recuperadas del subsuelo fueron identificadas visualmente. Se desarrolló un programa de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de los diferentes estratos y niveles de suelo y roca para determinar su clasificación y sus características de resistencia.

Teniendo en cuenta la estratigrafía, se realizaron ensayos de laboratorio que incluyeron pruebas de clasificación (límites de consistencia y granulometrías simplificadas), pruebas de resistencia (compresión inconfiada y corte directo) y pruebas indicativas de resistencia y compresibilidad (humedad natural y peso unitario).

Los ensayos de corte directo se realizaron sobre los diferentes materiales encontrados en la zona los cuales servirán de base para realizar análisis a largo plazo en términos de esfuerzos efectivos (parámetros  $c'$ ,  $\phi'$ ).

En el Anexo No. 3 se presentan los resultados de los ensayos realizados y el cuadro resumen de los ensayos de laboratorio.

## **4.2 CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL SUELO**

De acuerdo con la definición de las unidades geomorfológicas descritas en el Estudio Geológico (capítulo 3), a continuación se presenta la caracterización geotécnica del suelo presente en cada una de ellas:

### **4.2.1 SECTOR LE-1:**

De acuerdo con el barreno manual S-11, en el sector sur del área de estudio se encontró la siguiente estratigrafía:

#### **Capa Vegetal**

Desde la superficie del terreno y hasta aproximadamente 0.06 m de profundidad, se encuentra una CAPA VEGETAL constituida por pasto y raíces.

#### **Estrato 1**

Debajo de la capa vegetal y hasta 1.0 m de profundidad, se encuentra una ARCILLA LIMOSA carmelita rojiza, raíces, humedad y compresibilidad bajas,

consistencia medio firme. Este estrato registró 8 golpes/pie en el ensayo de penetración estándar.

### **Estrato 2**

Debajo del estrato 1 y hasta 1.75 m de profundidad (máxima profundidad alcanzada en el barreno S-11), se encuentra una ARCILLOLITA LIMOSA gris, vetas moradas, humedad y compresibilidad bajas, plasticidad media a baja, consistencia muy firme.

De acuerdo con los ensayos de laboratorio realizados, este estrato presenta una humedad natural del 10%, un límite líquido de 31%, un límite plástico de 21%, un índice de plasticidad de 10%, un peso unitario de 2.26 t/m<sup>3</sup> y registra entre 28 y 37 golpes/pie en el ensayo de penetración estándar (SPT).

### **Nivel Freático**

El nivel freático no fue detectado en este sector.

### **4.2.2 SECTOR LE-2:**

De acuerdo con los barrenos manuales S-1, S-2 y S-3, en el sector del muro de concreto se tiene la siguiente estratigrafía.

#### **Capa Vegetal**

Desde la superficie del terreno hasta una profundidad variable entre 0.08 m y 0.4 m, se encuentra una CAPA VEGETAL compuesta por pasto, raíces y limo arcilloso orgánico negro.

#### **Relleno Heterogéneo**

Debajo de la capa vegetal y hasta una profundidad variable entre 0.70 m y 0.90 m, se encuentra un RELLENO HETEROGÉNEO compuesto por escombros de construcción, plásticos y basuras en matriz de arcilla limosa carmelita grisácea y arcilla limosa gris, húmedo, compactación baja a media. En el sitio del barreno manual S-3, entre 0.40 m y 0.60 m de profundidad, se encontró una capa de pasto en estado de descomposición.

Este relleno no fue detectado en el sitio del barreno manual S-2.

### Estrato 1

Debajo del relleno heterogéneo, se encuentra una capa de ARCILLA LIMOSA carmelita grisácea, consistencia medio firme.

Este estrato solamente fue detectado en el sitio del barreno manual S-1, entre 0.70 m y 1.10 m de profundidad.

### Estrato 2

Debajo del estrato No.1 y hasta una profundidad variable entre 1.2 m y más de 3.0 m, se encuentra una ARCILLOLITA LIMOSA gris clara a habana amarillenta, vetas moradas y oxidadas, plasticidad media a alta, humedad y compresibilidad bajas, consistencia firme a dura.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación:

**TABLA No. 4.1**

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	11	18	16
Límite Líquido, %	32	38	48
Límite Plástico, %	19	21	24
Índice de Plasticidad, %	13	17	24
Índice de Liquidez	-0.29	-0.40	-0.61
Índice de Consistencia	1.29	1.40	1.61
Índice de Fluidez	7.0	11.5	17.0
Peso Unitario Total, T/m <sup>3</sup>	2.18	2.23	2.31
Compresión Inconfinada, kg/cm <sup>2</sup>	2.00	4.21	6.10
Penetrómetro de Bolsillo, kg/cm <sup>2</sup>	4.5	>4.5	>4.5
Resistencia al corte drenada, C', con base en ensayo de corte directo, t/m <sup>2</sup>		2.5	
Angulo de fricción interna drenado con base en ensayo de corte		24	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	10	28	50

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Cono tipo Borros	46	56	64
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	0.40	0.80	1.10
Profundidad al final del estrato, m	1.20	2.27	3.00
Espesor del estrato, m	0.30	1.47	2.20

### Estrato 3

Debajo del estrato No. 2 y hasta 2.40 m de profundidad, se encuentra una ARCILLOLITA ARENOSA (f) a ARENISCA (f) ARCILLOSA habana oscura, humedad y compresibilidad bajas, plasticidad baja, consistencia muy firme a dura. Este estrato que solamente fue detectado en el sitio del barreno manual S-3, presenta la siguiente caracterización simplificada:

**TABLA No. 4.2**

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	15	16	16
Límite Líquido, %		27	
Límite Plástico, %		20	
Índice de Plasticidad, %		7	
Índice de Liquidez		-0.70	
Índice de Consistencia		1.70	
Índice de Fluidez		7.0	
Peso Unitario Total, T/m <sup>3</sup>		2.22	
Compresión Inconfinada, kg/cm <sup>2</sup>		2.49	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	41	43	45
Cono tipo Borros	60	64	68

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL-ML	
Porcentaje de grava, %		8	
Porcentaje de arena, %		39	
Porcentaje de finos, %		53	
Profundidad al inicio del estrato, m		1.30	
Profundidad al final del estrato, m		>2.55	
Espesor del estrato, m		>1.25	

#### **Estrato No. 4**

Debajo del estrato No. 3 y hasta la máxima profundidad explorada, se encuentra un estrato rocoso constituido por ARENISCA (m-f) LIMOSA MUY METEORIZADA habana amarillenta, consistencia dura.

Este estrato solamente fue detectado en el sitio del barreno manual S-3, entre 2.40 y 2.55 m de profundidad.

#### **Nivel Freático**

El nivel freático fue detectado en los sitios de los barrenos S-1 y S-3 a 1.10 m y 0.60 m de profundidad respectivamente.

#### **4.2.3 SECTOR LE-3:**

De acuerdo con los barrenos manuales S-8, S-9 y S-10, en el sector del Bosque Borracho se tiene la siguiente estratigrafía:

#### **Capa Vegetal:**

Desde la superficie del terreno y hasta una profundidad variable entre 0.05 m y 0.15 m, se encuentra una CAPA VEGETAL constituida por pasto y raíces.

Esta capa vegetal no fue detectada en el sitio del barreno manual S-8.

#### **Estrato 1**

Desde la superficie del terreno o debajo de la capa vegetal y hasta 0.60 m de profundidad, se encuentra una ARCILLA LIMOSA habana oscura a habana

amarillenta, vetas oxidadas, humedad y compresibilidad bajas a medias, plasticidad media, consistencia blanda a media firme (material removido)

### **Estrato 2**

Debajo del estrato No.1 y hasta una profundidad variable entre 1.65 m y 2.65 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA carmelita habana a habana oscura, vetas grises, humedad y compresibilidad medias a bajas, plasticidad media, consistencia medio firme a firme.

Este estrato presenta una humedad natural entre 14 y 23%, un límite líquido entre 34 y 44%, un límite plástico entre 23 y 26%, un índice de plasticidad entre 11 y 18%, un peso unitario total de 2.1 t/m<sup>3</sup>, registra entre 13 y 14 golpes/pie en el ensayo de cono Borros y registra entre 10 y 14 golpes/pie en el ensayo de penetración estándar (SPT). Adicionalmente, según el ensayo de corte directo, este estrato tiene una resistencia al corte drenada de 4.5 t/m<sup>2</sup> y un ángulo de fricción interna drenado de 24°.

### **Estrato 3**

Debajo del estrato No.2 y hasta 2.25 m de profundidad (máxima profundidad explorada en el barreno S-10), se encuentra una ARCILLOLITA ARENOSA (f) habana oscura a rojiza, consistencia muy firme a dura.

Este estrato solamente fue detectado en el barreno manual S-10.

### **Estrato 4**

Debajo del estrato No.2, se encuentra una ARENISCA (m-f) LIMOSA meteorizada, habana rojiza, consistencia dura.

Este estrato solamente no fue detectado en el barreno manual S-10.

### **Nivel Freático**

El nivel freático no fue detectado en este sector.

#### **4.2.4 SECTOR LE-4**

De acuerdo con los barrenos manuales S-5, S-6 y S-7, en este sector se tiene la siguiente estratigrafía:

### Capa vegetal

Desde la superficie del terreno y hasta aproximadamente 0.15 m de profundidad, se encuentra una CAPA VEGETAL compuesta por pasto y raíces.

Esta capa solamente fue detectada en el sitio del barreno manual S-5.

### Estrato 1

Desde la superficie del terreno o debajo de la capa vegetal y hasta una profundidad variable entre 0.40 y 0.80 m, se encuentra una ARCILLA LIMOSA gris carmelita a gris clara, vetas moradas, ocasionalmente con algunas gravas, humedad y compresibilidad bajas, plasticidad media, compacidad baja a media (material removido).

De acuerdo con una muestra del barreno manual S-7, extraída entre 0.35 m y 0.50 m de profundidad, este estrato tiene una humedad natural de 14%, un límite líquido de 32%, un límite plástico de 18% y un índice de plasticidad de 14%.

### Estrato 2

Debajo del estrato No.1 y hasta más de 2.20 m de profundidad, se encuentra un manto rocoso constituido por ARCILLOLITA LIMOSA gris clara, vetas moradas, humedad y compresibilidad bajas, plasticidad media, consistencia muy firme a dura.

La caracterización simplificada de este estrato, de acuerdo al sondeo S-6, se presenta a continuación:

**TABLA No. 4.3**

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %	10	11	12
Límite Líquido, %		37	
Límite Plástico, %		20	
Índice de Plasticidad, %		17	
Índice de Liquidez		-0.50	
Índice de Consistencia		1.50	
Índice de Fluidez		11	



Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Peso Unitario Total, T/m <sup>3</sup>	2.26	2.28	2.30
Compresión Inconfinada, kg/cm <sup>2</sup>		8.58	
Resistencia al corte drenada, C', con base en ensayo de corte directo, t/m <sup>2</sup>		1.8	
Angulo de fricción interna drenado con base en ensayo de corte		27	
Penetrómetro de Bolsillo, kg/cm <sup>2</sup>		>4.5	
Cono tipo Borros	24	36	54
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL	
Profundidad al inicio del estrato, m	0.40	0.73	1.05
Profundidad al final del estrato, m	>2.20	>2.45	2.70
Espesor del estrato, m	>1.15	>1.72	2.30

Este estrato no fue detectado en el sitio del barreno manual S-5.

### **Estrato 3**

Debajo del estrato No.2 o del estrato No.1, se encuentra una ARENISCA (m-f) LIMOSA muy meteorizada, habana amarillenta, consistencia dura.

Este estrato no fue detectado en el barreno manual S-7.

### **Nivel Freático**

El nivel freático no fue detectado en este sector.

### **4.2.5 SECTOR LC-1**

De acuerdo con el barreno manual S-4, el sector norte del barrio El Dorado presenta la siguiente estratigrafía:

#### **Capa Vegetal**

Desde la superficie del terreno hasta 0.07 m de profundidad, se encuentra una CAPA VEGETAL compuesta por pasto y raíces.

### Relleno Heterogéneo

Debajo de la capa vegetal hasta 1.85 m de profundidad, se encuentra un RELLENO HETEROGÉNEO compuesto por escombros de construcción en matriz de arcilla limosa habana oscura a carmelita, algo de arena(f), raíces finas, humedad y compresibilidad medias, plasticidad media, consistencia medio firme a firme.

La caracterización simplificada de este estrato se presenta a continuación:

**TABLA No. 4.4**

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo
Humedad Natural, %		25	
Límite Líquido, %		42	
Límite Plástico, %		26	
Índice de Plasticidad, %		16	
Índice de Liquidez		-0.05	
Índice de Consistencia		1.05	
Índice de Fluidez		11	
Resultado del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	7	8	9
Clasificación Unificada de Suelos (USCS)		CL	
Espesor del estrato, m		1.68	

### Estrato 1

Debajo del relleno heterogéneo y hasta 2.50 m de profundidad, se encuentra una ARCILLOLITA LIMOSA MUY METEORIZADA gris clara, vetas moradas, humedad y compresibilidad bajas, consistencia firme. De acuerdo con el ensayo de penetración estándar (SPT), este estrato registra entre 13 golpes/pie.

## **Estrato 2**

Debajo del estrato No.1 y hasta 3.10 m de profundidad (profundidad máxima explorada en el sondeo S-4), se encuentra una ARCILLOLITA ARENOSA (f) a ARENISCA (f) ARCILLOSA habana oscura, humedad y compresibilidad bajas, consistencia firme a muy firme. De acuerdo con el ensayo de penetración estándar, este estrato registra 33 golpes/pie.

### **Nivel freático**

No se detectó el nivel freático en esta zona.

## **4.3 PARAMETROS DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS**

### **4.3.1 GENERALIDADES**

En cualquier problema de estabilidad de taludes el ingrediente esencial para alcanzar una solución adecuada es la evaluación acertada de la resistencia al corte del suelo o suelos involucrados.

De la caracterización geotécnica realizada de la zona de estudio se ha encontrado que los suelos afectados por los procesos de inestabilidad son arcillas duras (véase Tabla No 4.5), para quienes la condición de resistencia crítica corresponde a aquella en la cual el suelo es capaz de experimentar cambios de volumen durante el proceso de corte sin generar ningún exceso de presión de poros, lo cual se conoce como condición drenada.

En el presente estudio el Consultor realizó una serie de ensayos tanto en campo como en laboratorio asociados a algunas correlaciones que le permitieron de forma adecuada obtener los parámetros de resistencia de los suelos para diferentes condiciones.

### **4.3.2 ESTIMACION DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS**

#### **4.3.2.1 Ensayos de corte directo**

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se realizaron tres ensayos de corte directo sobre muestras inalteradas de diferentes suelos de la zona de estudio en condición consolidada drenada, para esfuerzos normales de 0.25, 0.50

y 1.00 kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo con la norma ASTM 3080, la cual considera que la muestra se debe mantener inundada durante todo el ensayo.

Los resultados detallados de los ensayos y sus gráficas se presentan en la tabla No. 4.6 que se presenta a continuación se indican los valores obtenidos de resistencia producto de la interpretación de dichos ensayos:

**TABLA No. 4.6**

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	C (T/m <sup>2</sup> )	φ (grados)	γ (T/m <sup>3</sup> )	ω <sub>n</sub> (%)	DESCRIPCION
S3	1	0.90-1.20	25	24	220	16	Arcilla gris clara, vetas moradas y ocreas
S6	2	1.40-1.60	18	27	225	10	Arcilla gris clara, vetas moradas
S10	2	1.10-1.50	45	24	208	15	Arcilla limosa habana amarillenta

#### 4.3.2.2 *Correlación con ensayos de penetración estándar*

En la totalidad de los once barrenos manuales realizados para caracterizar la zona de estudio, se efectuaron ensayos de penetración estándar, los cuales se emplearon posteriormente en un modelo de correlación desarrollado por González que entrega los parámetros de resistencia al corte drenados de los suelos y el cual ha sido aplicado en estudios anteriores de la DPAE.

Las memorias de cálculo de los análisis realizados se presentan en el anexo 3.4 de donde se obtuvieron los siguientes resultados :

**TABLA No. 4.7**

#### ESTIMACION DE LOS PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DRENADA CON BASE EN EL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

SUELO		phi' med °	c' med ton/m <sup>2</sup>	phi' mín °	c' mín ton/m <sup>2</sup>
	Todos los suelos:	40,1	0,0	24,3	0,0
1 -	Relleno Heterogéneo	33,2	0,0	28,8	0,0
2 -	Arcilla Limosa gris carmelita	25,2	0,0	25,2	0,0
3 -	Arcilla Limosa habana oscura	30,2	0,0	24,3	0,0

SUELO		$\phi'$ med °	c' med ton/m <sup>2</sup>	$\phi'$ mín °	c' mín ton/m <sup>2</sup>
4 -	Arcilla Limosa gris clara	31,5	0,0	29,0	0,0
5 -	Arcillolita Limosa gris	43,5	0,0	35,9	0,0
6 -	Arcillolita Arenosa habana oscura	31,7	1,1	37,7	0,0
7 -	Arenisca Limosa habana amarillenta	40,1	0,7	39,6	0,0
8 -	Arcilla Limosa carmelita rojiza	29,1	0,0	29,1	0,0

CONVENCIONES:

$\phi'$  med: Angulo de fricción efectivo promedio

c' med: Intercepto de cohesión efectivo promedio

$\phi'$  mín: Angulo de fricción efectivo mínimo

c' mín: Intercepto de cohesión efectivo mínimo

Como se puede observar de la tabla anterior los parámetros de resistencia obtenidos por la metodología descrita en este aparte indican valores relativamente altos si se comparan estos con las pendientes del terreno, lo cual a su vez descarta la presencia de algún tipo de proceso de inestabilidad por lo que el Consultor descarto la utilización de estos parámetros.

**4.3.2.3 Valores normativos de la resistencia de suelos finos según el SNIIP II-15-84.**

Debido a los resultados obtenidos por la metodología desarrollada por González y el numero limitado de ensayos de corte directo se acudió a los valores normativos de resistencia de suelos finos de origen cuaternario del SNIIP II-15-84 basados en un numero importante de ensayos de laboratorio, los cuales se determinan en función del índice de plasticidad, el índice de liquidez y la relación de vacíos del suelo en consideración, así que, partiendo de los resultados de los ensayos de clasificación realizados para los diferentes suelos y empleando la relaciones de

fase se obtuvieron los siguientes parámetros de resistencia al corte drenados para cada uno de los materiales presentes en la parte sur del barrio El Dorado.

### **4.3.3 PARAMETROS DE DISEÑO**

#### **4.3.3.1 Parámetros de resistencia al corte pico**

Para los sectores donde no se tienen procesos activos de inestabilidad se tomaron los valores extremos tanto superiores como inferiores de los parámetros de resistencia obtenidos de los ensayos de corte directo y de los valores normativos rusos, así :

$$C'_{\max} = 4.7 \text{ ton/m}^2 ; \varphi'_{\max} = 26^\circ ; y$$

$$C'_{\min} = 1.6 \text{ ton/m}^2 ; \varphi'_{\min} = 18^\circ .$$

#### **4.3.3.2 Parámetros de resistencia al corte residuales**

Para los sectores donde se tienen procesos activos de inestabilidad se tomaron los valores de resistencia residuales obtenidos de los ensayos de corte directo y el limite inferior de los valores normativos rusos, así :

$$C'_{\max} = 1.6 \text{ ton/m}^2 ; \varphi'_{\max} = 21^\circ ; y$$

$$C'_{\min} = 0.0 \text{ ton/m}^2 ; \varphi'_{\min} = 18^\circ .$$

### **4.3.4 ASPECTOS PROBABILISTICOS DE LA RESISTENCIA DE LOS SUELOS**

En la modelación probabilística de un perfil de suelo, las características geométricas o del material son modeladas como funciones aleatorias ;  $D(x,y)$  puede representar la profundidad a la que se encuentra la roca en la posición  $(x,y)$  y  $U(x,y,z)$  el valor de una propiedad del suelo (espacialmente variable) a una profundidad  $z$  y una posición superficial  $(x,y)$ . En la practica, en primer lugar se obtiene la mejor aproximación al espesor del suelo y sus propiedades y luego como mínimo para una de las características de este se determina su variabilidad y correlación espacial. La base de datos consiste en los resultados de los ensayos de laboratorio y campo, la información geológica, los resultados de ensayos en suelos similares obtenidos en otras partes, etc. Los parámetros estadísticos (media, varianza; escalas de correlación espacial) son por si mismos solo estimados y la dispersión de su distribución depende de factores tales como

el numero y la localización de las muestras, la calidad de los ensayos y el conocimiento histórico del sitio.

Varias publicaciones presentan aplicaciones estadísticas a la mecánica de suelos en las que se encuentran coeficientes de variación e histogramas para una serie de propiedades medidas de los suelos, sin embargo, esta información es insuficiente para la predicción probabilística de su comportamiento debido a que los parámetros en la ecuaciones de predicción son promedios espaciales de las propiedades del suelo sobre un área o volumen modelo. Las cantidades típicas necesarias en un análisis son la resistencia la corte promediada sobre una superficie de falla, el peso unitario promediado localmente dentro de un volumen de suelo, la compresibilidad promedio local o la velocidad de onda en un estrato. Estos promedios espaciales, sobre áreas o volúmenes relativamente amplios tiene una función de densidad de probabilidad más cerrada que la correspondiente a las promedio de los ensayos de laboratorio.

En el presente estudio, no se realizo ningún tipo de análisis de correlación de las propiedades de los suelos ni en profundidad ni lateralmente, debido al numero limitado de ensayos con el que se contó ; ni se consideraron los posibles errores tanto de medición como de procedimiento durante la ejecución de los ensayos en el laboratorio.

Para el peso unitario del suelo se adopto un valor promedio de  $1.7 \text{ ton/m}^3$  ; en cuanto a los parámetros de resistencia del suelo se adopto una función de distribución probabilística del tipo Pearson tipo I (Lumb, 1970<sup>1</sup>) independiente para cada uno de sus componentes (cohesión y fricción) y para las dos condiciones antes mencionadas se tiene :

Resistencia pico :

Angulo de fricción interna :

---

<sup>1</sup> Lumb,P. Safety factors and the probability distribution of soil strength. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 7, No. 3 ; august 1970.

Media  $\Rightarrow 22^\circ$

Desviación estándar  $\Rightarrow 4^\circ$

Coefficiente de variación  $\Rightarrow 0.182$

Intercepto de cohesión :

Media  $\Rightarrow 3.15 \text{ ton/m}^2$

Desviación estándar  $\Rightarrow 1.55 \text{ ton/m}^2$

Coefficiente de variación  $\Rightarrow 0.492$

- Resistencia residual:

Angulo de fricción interna:

Media  $\Rightarrow 19.5^\circ$

Desviación estándar  $\Rightarrow 2.12^\circ$

Coefficiente de variación  $\Rightarrow 0.109$

*Intercepto de cohesión :*

Media  $\Rightarrow 0.80 \text{ ton/m}^2$

Desviación estándar  $\Rightarrow 1.13 \text{ ton/m}^2$

Coefficiente de variación  $\Rightarrow 1.413$

Es importante destacar aquí que, tanto la fricción como la cohesión de los suelos se consideran en el presente estudio variables independientes, puesto que la función de distribución de la cohesión no depende de que valor toma la fricción, así para cualquier  $c$  se tiene :

$$P(\varphi | c) = P(\varphi) ;$$

Donde  $P(\varphi | c)$  es la función condicional de densidad de distribución de probabilidad y  $P(\varphi)$  el función de densidad de distribución de probabilidad de la fricción.

En términos generales la condición de independendencia se expresa a través de la función de distribución:

$$P(c,t) = P(c) \cdot P(t)$$



Donde la función de distribución del sistema de variables independientes es igual al producto de las funciones de distribución de los elementos contenidos en el sistema. Usualmente en estos casos se adopta que  $t$  es  $\tan\phi$ .

Las dos expresiones anteriores se pueden considerar como condiciones necesarias y suficientes de independencia. Por otra parte, si las probabilidades marginales se ajustaran a una distribución normal una condición de independencia debería ser el valor cero de la covarianza o del coeficiente de correlación  $r$ . Sin embargo y debido a que las probabilidades marginales son fundamentalmente no-normales el coeficiente de correlación no es enteramente satisfactorio como criterio de independencia (Lumb, 1970).

Finalmente, durante la realización del presente estudio la Interventoría con base en los parámetros de resistencia presentados por el Consultor encontró para estos un coeficiente de correlación  $r=-0.23$  que, aun que es pequeño es diferente de cero. La anterior situación implica que, valores bajos de  $c$  están asociados con valores altos de  $t$  y viceversa. Esta correlación negativa es considerada hoy por la profesión como falsa y se asocia con ensayos realizados con velocidades de deformación insuficientemente bajas; más aun, la hipótesis de independencia de  $c$  y  $t$  simplifica considerablemente la interpretación de la resistencia y lleva a soluciones conservativas si la correlación es de hecho negativa al obtener probabilidades superiores para la función de distribución del sistema.

**TABLA No. 4.5  
RESUMEN DE ENSAYO DE LABORATORIO  
BARRIO EL DORADO**

SONDEO No.	MUESTRA		Wn %	LL %	LP %	IP %	IL	IC	IF	GRADACION					USCS	γ t/m <sup>3</sup>	qu kg/cm <sup>2</sup>	PB kg/cm <sup>2</sup>
	No	PROFUNDIDAD m								3/8	No 4	No. 100	No. 40	No 200				
S-1	2	1.70 - 2.10	15	48	24	24	-0,38	1,38	17						2,18	2,00	4,50	
	3	2.40 - 3.00	11												2,20			
S-2	1	0.60 - 0.90	13	35	21	14	-0,61	1,61	7						2,31	4,52	>4.5	
	2	0.90 - 1.35	16	38	21	17	-0,29	1,29	11						2,23	6,10	>4.5	
S-3	1	0.90 - 1.20	15	32	19	13	-0,30	1,30	11									
	2	1.20 - 1.65	15															
	3	1.70 - 2.15	16	27	20	7	-0,70	1,70	7	100	92	89	85	53	2,22	2,49		
S-4	1	1.00 - 1.75	25	42	26	16	-0,05	1,05	11									
	2	1.90 - 2.20	18															
	3	2.50 - 2.80	11															
S-5	1	0.50 - 0.70								100	61	56	44	20				
S-6	1	0.40 - 0.70	12	37	20	17	-0,50	1,50	11						2,30	8,58	>4.5	
	2	1.40 - 1.60	10												2,26		>4.5	
S-7	1	0.35 - 0.50	14	32	18	14	-0,28	1,28	10									
S-8	1	0.60 - 0.85	21															
S-9	1	0.35 - 0.60	20															
	2	1.05 - 1.50	23	44	26	18	-0,20	1,20	11									
S-10	2	1.10 - 1.50	14	34	23	11	-0,83	1,83	10						2,10			
	3	1.50 - 1.95	21															
S-11	2	1.00 - 1.45	10	31	21	10	-1,20	2,20	9									

## **Capítulo V. EVALUACION Y ANALISIS DE AMENAZA POR FRM**

### **5.1 DEFINICIÓN Y PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA**

En términos generales, la amenaza se define como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, esto es:

$$"P(A>a) \text{ en un periodo de exposición } t"$$

De tal forma que, la variable utilizada para describir la amenaza depende del fenómeno bajo consideración.

Para el caso particular, de fenómenos de remoción en masa, la evaluación del grado de amenaza en la zona de estudio se determino mediante la definición de la probabilidad de falla de las laderas teniendo en cuenta los agentes detonantes naturales que condicionan el comportamiento de estas.

En los siguientes apartes se describe en detalle el procedimiento de análisis empleado en el presente estudio y sus resultados.

### **5.2 MODELOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

Los análisis de estabilidad en suelo normalmente se realizan por métodos de equilibrio limite para una superficie de falla predeterminada; de acuerdo con la cartografía geológica de toda el área de estudio y los perfiles geológico - geotécnicos realizados para las zonas criticas (Véase Plano No.3), se logró determinar que los fenómenos de inestabilidad presentes, se relacionan con movimientos de tipo traslacional paralelos a la superficie del talud que involucran la capa superior de suelo con espesor variable pero moderado, donde la longitud de la superficie de falla es muy larga en comparación con el espesor del suelo afectado.

Las anteriores características del movimiento se ajustan de buen grado al modelo teórico de análisis conocido como " talud infinito ", el cual se adopto como básico para el presente estudio, gracias a ciertas consideraciones que se presentaran en apartes subsiguientes.

De la condición de equilibrio de la masa deslizante, se obtuvo la siguiente expresión general para el cálculo del factor de seguridad :

$$FS = \frac{(\gamma_s H - \gamma_w H_w) \cos \alpha - a_h \gamma_s H \sin \alpha \tan \varphi' + c' \sec \alpha}{\gamma_s H \sin \alpha + a_h \gamma_s H \cos \alpha} ; (5.1)$$

donde  $\gamma_s$  es el peso unitario del suelo, ton/m<sup>3</sup> ;  $\gamma_w$  es el peso unitario del agua, ton/m<sup>3</sup> ;  $H$  es el espesor involucrado de suelo en el deslizamiento, m ;  $H_w$  es la lámina de agua en el suelo a partir de su base, m ;  $\alpha$  es el ángulo de inclinación del talud, grados ;  $\varphi'$  es el ángulo efectivo de fricción interna del suelo, grados ;  $c'$  es el intercepto efectivo de cohesión del suelo, ton/m<sup>2</sup> y  $a_h$  es el coeficiente de aceleración horizontal para el sismo de diseño, g.

Debido a algunas consideraciones referentes a la posibilidad cinemática del desarrollo de fallas planares en talud infinito, en las zonas donde se evidenciaron fenómenos de inestabilidad, se analizaron adicionalmente fallas circulares en talud infinito. Para este ultimo caso se empleo el método simplificado de Janbu para superficies no circulares modeladas a través del programa de computadora PCSTABL de amplia utilización en nuestro medio.

### 5.3 AGENTES DETONANTES DE FENOMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Para la zona de estudio es claro la presencia de tres agentes detonantes de los fenómenos de remoción en masa, los cuales se pueden clasificar en naturales (lluvias y sismos) y antrópicos.

#### 5.3.1 LLUVIAS

La influencia de las lluvias en la estabilidad de taludes ha sido comprobada suficientemente por varios investigadores, pues es claro que al subir el nivel freático en la masa de suelo se provoca la reducción de los esfuerzos efectivos en esta con una notable reducción en su resistencia que la lleva en algunos casos a condiciones de falla.

Partiendo de los estudios realizados por González y otros<sup>1</sup> (1999) acerca de la definición de las lluvias críticas que activan procesos de inestabilidad para la ciudad de Santa Fe de Bogotá, D.C., los cuales se fundamenta en la evaluación

estadística de deslizamientos presentados y su correlación con las lluvias de esos mismos periodos. Encontrándose que para la zona de estudio, la lluvia crítica corresponde a una lluvia con un periodo de retorno de 30 años y una intensidad de 190.8 mm durante 9 días.

De forma exacta la influencia de las lluvias se puede estimar a partir de la evaluación del volumen de agua percolada en la masa de suelo, al realizar el balance hídrico de la zona ; luego, con estos resultados como datos de entrada además de las propiedades del suelo tales como la permeabilidad, humedad, grado de saturación, etc ; se acude a la modelación de la infiltración de las aguas en un medio no saturado para así finalmente determinar los niveles de agua establecidos en la masa de suelo afectada por las lluvias.

Sin embargo, dadas las limitaciones de tiempo impuestas para la ejecución del estudio, el Consultor se limito a adoptar las siguientes simplificaciones para la consideración de los niveles de agua en los taludes de análisis como resultado de las lluvias, la primera en donde el talud esta totalmente drenado y no hay lluvia y la segunda en donde el talud esta totalmente saturado por efecto de la lluvia.

Esta ultima condición, si se consideran las altas pendientes del terreno y el grado de cobertura vegetal en la zona se puede tratar como una condición poco probable, sin embargo, las fugas en tuberías que se presentan hoy y su difícil predicción en un futuro próximo, no permiten descartar esta condición de análisis.

### **5.3.2 SISMOS**

Los sismos por el tipo de sollicitación que ejercen sobre las laderas son un factor de gran influencia en su comportamiento. Para efectos de los análisis de estabilidad en condición dinámica, en este estudio, el sismo se consideró como una aceleración horizontal desestabilizante cuyo valor se obtuvo del estudio de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá y que para la zona de los cerros es igual a 0.24g. Sin embargo, si se tienen en cuenta las consideraciones generales acerca de análisis pseudoestáticos de taludes en materiales que

presentan baja deformación a cargas dinámicas (Seed,1979), como es el caso de este estudio, se encuentran valores de aceleración máximos de 0.15g, representativos para sismos con magnitud de hasta 8½, por lo que el valor adoptado pareciese alto, pero de acuerdo con la Interventoría del estudio, tiene la finalidad de unificar criterios en los diferentes estudios realizados hasta el momento por la DPAE.

### **5.3.3 FACTOR ANTRÓPICO**

En cuanto al factor antrópico, los aspectos de mayor incidencia en cuanto a los fenómenos de remoción en masa, que afectan la zona son las excavaciones para la explotación de materiales para la elaboración de tuberías de gres y ladrillo ; los rellenos no técnicos compuestos por basuras, escombros de construcción y el estéril de la explotación minera ; la modificación en el patrón de drenaje de aguas lluvias de la zona, al convertirse las calles en canales recolectores concentrando las aguas en algunos sitios produciendo fenómenos erosivos importantes ; la deforestación y las fugas de los sistemas de aguas tanto negras como potables.

Los anteriores aspectos crean situaciones de conflicto con el medio ambiente natural y desequilibran las condiciones de estabilidad de las laderas, sin embargo, su modelación dentro de los análisis de estabilidad se convierte en un elemento subjetivo, por su alto grado de incertidumbre, por lo que para este estudio los alcances de las evaluaciones se han limitado solo a los eventos de orden natural.

## **5.4 EVALUACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES**

### **5.4.1 CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE FALLA TOTAL**

La probabilidad de falla por deslizamiento se evalúa en términos de los eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales. Para este caso esos eventos condicionantes se definieron como “sismo” y “lluvia”. Por lo tanto, la probabilidad de falla total por deslizamiento,  $P_f (D)$ , está definida por la siguiente ecuación que considera todas las posibles combinaciones de estos dos eventos:

$$P_f(D) = P(D|LL, S)p(LL, S) + P(D|\underline{LL}, S)p(\underline{LL}, S) + P(D|LL, \underline{S})p(LL, \underline{S}) + P(D|\underline{LL}, \underline{S})p(\underline{LL}, \underline{S}); \quad (5.2)$$

donde :

$P_f(D|LL, S)$  es la probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta una lluvia LL y un sismo S ;

$P_f(D|\underline{LL}, S)$  es la probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta un sismo S y no se tiene una lluvia LL ;

$P_f(D|LL, \underline{S})$  es la probabilidad condicional de falla del talud cuando se presenta una lluvia LL y no se tiene un sismo S ;

$P_f(D|\underline{LL}, \underline{S})$  es la probabilidad condicional de falla del talud en su condición natural, es decir, sin sismo ni lluvia;

$p(LL, S)$  es la probabilidad de ocurrencia de una lluvia LL y un sismo S y se da como :

$$p(LL, S) = [1 - (1 - 1/T_{LL})^t] [1 - (1 - 1/T_s)^t]; \quad (5.3a)$$

$p(\underline{LL}, S)$  es la probabilidad de ocurrencia de un sismo S y la no ocurrencia de una lluvia LL y se da como :

$$p(\underline{LL}, S) = [1 - (1 - 1/T_s)^t] (1 - 1/T_{LL})^t; \quad (5.3b)$$

$p(LL, \underline{S})$  es la probabilidad de ocurrencia de una lluvia LL y la no ocurrencia de un sismo S y se da como :

$$p(LL, \underline{S}) = [1 - (1 - 1/T_{LL})^t] (1 - 1/T_s)^t; \quad (5.3c)$$

$p(\underline{LL}, \underline{S})$  es la probabilidad de no ocurrencia de una lluvia LL y un sismo S y se da como :

$$p(\underline{LL}, \underline{S}) = (1 - 1/T_{LL})^t (1 - 1/T_s)^t; \quad (5.3d).$$

donde  $T_s$  y  $T_{LL}$  corresponden a los periodos de retorno del sismo y la lluvia en años. Para el caso del sismo se tomó un valor de 475 años que corresponde a un sismo con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años; siendo este el sismo de diseño exigido por la norma NSR-98. Para la lluvia se tomo un periodo de retorno de 30 años obtenido de la evaluación de lluvias criticas para Santa Fe de Bogotá ; finalmente, t es el periodo de exposición considerado en los análisis, en nuestro caso, 1 y 25 años.

#### 5.4.2 CALCULO DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA

Las probabilidades condicionales indicadas en la ecuación (5.2) se obtuvieron con base en el cálculo del "Factor de seguridad". Suponiendo que el Factor de Seguridad (FS) sigue una distribución de probabilidad normal, en la Figura 4 se indica el rango de valores para los cuales se presenta la falla del talud.

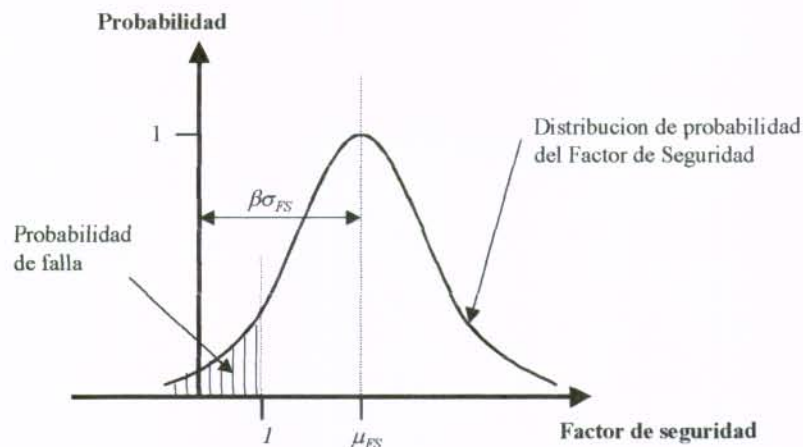


FIGURA No. 4

#### Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad

Es claro que si el factor de seguridad se define como:

$$FS = \frac{R}{A} ; \quad (5.4)$$

Donde  $R$  define las fuerzas resistentes y  $A$  las fuerzas actuantes, la falla se producirá cuando el factor de seguridad alcance un valor inferior a 1 ( $FS < 1$ ). Si se define  $\beta$  como el índice de confiabilidad, el cual se calcula como :

$$\beta = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}} ; \quad (5.5)$$

así , la probabilidad de falla se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad ; \quad (5.6)$$

donde  $\mu_{FS}$  y  $\sigma_{FS}$  representan el valor medio y la desviación estándar del factor de seguridad.



### 5.4.3 APROXIMACIÓN A LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Para este tipo de problemas existen varios métodos de análisis entre los que se encuentran la aproximación del problema por medio de las Series de Taylor, la implementación de las técnicas de Montecarlo, o por medio del método de estimación Puntual propuesto por Rosembueth<sup>2</sup> (1975).

Para el desarrollo del presente estudio se utilizó el método de estimación puntual<sup>3,4</sup> asociado al factor de seguridad, considerando los modelos de análisis de estabilidad y las variables involucradas en ellos, obteniendo así el valor medio y la desviación estándar del factor de seguridad.

#### 5.4.3.1 Descripción general del método de estimación puntual

Para una función de estado límite dada por  $Z = g(X_1, X_2, \dots, X_m)$  en la cual  $X_j$  denota una variable aleatoria, se pueden obtener  $2^m$  estimativos puntuales de  $Z$ ,  $z^k$ , con  $k = 1, 2, 3, \dots, 2^m$  de la siguiente forma:

$$z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2, \dots, \mu_m + \eta_{mk}\sigma_m) ; (5.7)$$

donde  $\mu_j$  y  $\sigma_j$  representan la media y la desviación estándar de la variable  $X_j$ . El parámetro  $\eta_{jk}$  corresponde a coeficientes que toman valores de 1 y -1 de tal forma que satisfacen la siguiente ecuación:

$$k = 1 + \sum_{i=1}^m 2^{i-2}(1 + \eta_{ik}) ; (5.8)$$

Entonces, los momentos de la función  $Z$  se pueden estimar como:

$$E[Z^r] = \sum_{k=1}^{2^m} \pi_k z_k^r ; (5.9)$$

Donde  $\pi_k$  denota el peso del  $k$ -ésimo estimativo puntual y está dado por :

$$\pi_k = 2^{-m} ; (5.10)$$

sí todas las variable  $X_j$  son independientes. Sin embargo, si las variables  $X_j$  no son independientes:

$$\pi_k = 2^{-m} \left( \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \eta_{ik} \eta_{jk} \rho_{ij} \right) ; (5.11)$$

Donde  $\rho_{ij}$  corresponde al coeficiente de correlación entre  $X_i$  y  $X_j$ .

#### 5.4.3.2 Método de estimación puntual para el caso de deslizamiento

Para el caso considerado en este estudio y con base en lo descrito en el numeral anterior, el valor medio y la varianza del factor de seguridad se evaluaron utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\mu_{FS} = \frac{1}{4} (FS(\phi^+, c^+) + FS(\phi^+, c^-) + FS(\phi^-, c^+) + FS(\phi^-, c^-)) ; (5.12)$$

$$\sigma_{FS} = \left[ \frac{1}{4} (FS(\phi^+, c^+) + FS(\phi^+, c^-) + FS(\phi^-, c^+) + FS(\phi^-, c^-)) - \mu_{FS}^2 \right]^{1/2} ; (5.13)$$

Donde  $\phi^+$  y  $\phi^-$  representan el valor promedio de  $\phi$  más o menos la desviación estándar;  $c^+$  y  $c^-$  representa el valor promedio de  $c$  más o menos la desviación estándar.

### 5.5 PROCEDIMIENTO GENERAL DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

Una vez definidos todos los aspectos antes mencionados, para la evaluación de la amenaza, se definieron adicionalmente los factores determinantes en la estabilidad de los taludes de acuerdo con los modelos de análisis planteados, encontrando que estos son la pendiente del terreno y el espesor de la capa de suelo que puede involucrarse en el movimiento.

Para la definición espacial de estos factores se acudió en primer lugar al modelo digital del terreno y a un sistema de información geográfica conocido como ILWIS 1.4 - The Integrated Land and Water Information System desarrollado por el International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences con el cual se generó en primera instancia el mapa de pendientes (Figura 5); adicionalmente, se realizó un mapa de isocotas de espesor de suelos (Figura 6) partiendo de la cartografía geológica y la exploración del subsuelo.

Independientemente, se realizaron los análisis de estabilidad para todas las posibles combinaciones de eventos condicionantes y parámetros de resistencia (pico y residual) aplicando el método de talud infinito, en el cual se tienen como variables la pendiente del terreno y el espesor del suelo involucrado en el movimiento, obteniendo el factor de seguridad para cada combinación, posteriormente aplicando el método de estimación puntual se encontraron los valores promedios del factor de seguridad y su desviación estándar. Con los valores de la media y la desviación estándar del Factor de Seguridad se calculo el índice de confiabilidad  $\beta$  y con este la probabilidad condicional de falla para cada combinación. Finalmente, los valores de probabilidad condicional de falla para cada combinación se multiplicaron por su probabilidad de ocurrencia y se realizo su sumatoria para obtener así la probabilidad de falla total por deslizamiento.

Como la probabilidad de falla total por si sola no es un parámetro que sea de fácil comprensión para los ingenieros en general, se llego a un procedimiento en el cual la probabilidad de falla se convirtió a un factor de seguridad empleando para ello la ecuación del índice de confiabilidad  $\beta$ , solo que con una pequeña modificación, teniendo en cuenta que la desviación estándar se expresa como :

$$\sigma_{FS} = \mu_{FS} v_{FS} ; \quad (5.14)$$

donde  $v_{FS}$  es el coeficiente de variación del factor de seguridad, aplicando esta ecuación en la del índice de confiabilidad se tiene :

$$\beta = \frac{\mu_{FS} - 1}{\mu_{FS} v_{FS}} ; \quad (5.15)$$

y despejando de esta el valor promedio del factor de seguridad :

$$\mu_{FS} = \frac{1}{1 - \beta v_{FS}} ; \quad (5.16)$$

Entonces para cada caso (diferentes ángulos y distintos espesores) y cada combinación de eventos condicionantes se calculo el coeficiente de variación del factor de seguridad, luego se obtuvo un valor ponderado para cada caso al

multiplicar el coeficiente de variación por la probabilidad de ocurrencia de cada una de las combinaciones para luego entrar a la ecuación anterior y obtener el valor del factor de seguridad.

En las zonas donde se encontraron procesos activos, se estudiaron superficies de falla circular en talud infinito con parámetros de resistencia residuales, como se menciono en el aparte 5.2, aplicando de igual forma el procedimiento aquí descrito se llego a un valor de factor de seguridad ajustado a la probabilidad de falla total del talud.

Como era de esperarse en todos los casos el factor de seguridad para el caso de falla planar en talud infinito resulto ser menor pero de igual orden de magnitud que el de la superficie circular en talud infinito gracias a la modificación de las condiciones de borde en el ultimo caso.

Como lo que se pretendía era crear una herramienta que permitiera la toma de decisiones y para emplear la poderosa herramienta del SIG se adoptaron los valores de factor de seguridad ajustados a la probabilidad de falla total para el caso de falla planar en talud infinito, estos se prepararon en forma de una base de datos en función del ángulo de inclinación del talud y el espesor del suelo.

De otra parte, la contrastación del mapa de pendientes e igual espesor de suelo por el SIG, arrojó un tercer mapa que con la base de datos anterior determino el factor de seguridad en cada punto de la zona de estudio.

## 5.6 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

Teniendo en cuenta los intervalos de factor de seguridad empleados en estudios anteriores desarrollados por la DPAE se determino la clasificación de las zonas de amenaza como :

**TABLA No. 5.1**

<b>Amenaza</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
Alta	$<1.1$
Media	$1.1 \leq FS \leq 1.9$
Baja	$>1.9$

La tabla anterior se empleo para desarrollar la zonificación de la amenaza a los fenómenos de remoción en masa del área de estudio partiendo de los resultados de los análisis de estabilidad.

## **5.7 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

### **5.7.1 FALLAS PLANARES EN TALUD INFINITO**

Como se menciona anteriormente, se realizaron análisis de estabilidad para el caso de falla planar en talud infinito por medio de una hoja de cálculo donde se formulo la ecuación (5.1) para una gama extensa de espesores de suelo, desde 0.5 m hasta 6.0 m, y pendientes del terreno, entre 5 y 45 grados. De igual forma, se consideraron parámetros de resistencia pico, para las zonas estables, y residuales para aquellas con presencia de fenómenos de inestabilidad. En las Figuras 7 y 8 se presentan los modelos de las hojas de calculo empleadas para cada uno de estos casos y en las Figuras 9 y 10 las gráficas resumen de los factores de seguridad ajustados a la probabilidad de falla total.

Por otra parte, se evaluaron dos periodos de exposición uno a corto plazo, de un año, y otro a largo plazo de 25 años. Los resultados indican que la variación en los factores de seguridad difieren muy poco del periodo de exposición considerados, tal como se observa en la Tabla 5.2, donde se presenta la comparación de los resultados de corto y largo plazo y con parámetros de resistencia pico y residuales. Debido al gran numero de casos tratados, 360 solo para las anteriores condiciones, se resolvió que para su consulta se deben utilizar los archivos magnéticos anexos al presente informe y solo a manera de ejemplo se presentan algunos de estos caso en el Anexo 4.1.

### **5.7.2 FALLAS CIRCULARES EN TALUD INFINITO**

Debido a consideraciones cinemáticas en cuanto a la posibilidad de formación de las fallas planares y para las zonas criticas se desarrollaron análisis de estabilidad correspondientes a fallas circulares en talud infinito por los procedimientos descritos con anterioridad, los resultados de estos análisis se presentan en las tablas 5.3 a 5.5 y los formatos gráficos de salida del programa de estabilidad PCSTABL en el Anexo 4.2.

Con el fin de validar los resultados de los análisis de estabilidad para fallas planares en talud infinito, la superficie de falla circular se aproximó a una superficie de falla planar, para lo cual se encontró la pendiente promedio de la ladera en este sector, la longitud de desarrollo de la superficie de falla, el área de esta y con estos dos últimos parámetros el espesor promedio, así con la pendiente y el espesor de suelo se acudió a la hoja de cálculo de falla planar en talud infinito obteniendo los resultados de la tabla 5.6, en donde claramente se confirma que el caso crítico es el de falla planar en talud infinito confirmando de esta manera lo adecuado de haber tomado los análisis de falla planar como básicos para el presente estudio.

**TABLA 5.6**  
**COMPARACIÓN FACTORES DE SEGURIDAD**  
**FALLA PLANAR VS. FALLA CIRCULAR**

<b>SECTOR</b>	<b>FS - PLANAR</b>	<b>FS - CIRCULAR</b>
MURO	0,81	0,84
BOSQUE BORRACHO	0,68	0,71
VIA VITELMA	2,57	3,50

### **5.8 CONCLUSIONES**

- Para el caso particular del sector sur del barrio El Dorado los análisis probabilísticos de estabilidad indican una variación mínima en el factor de seguridad en función del periodo de exposición, por lo que el Consultor adopto para la ejecución del mapa de amenaza un periodo de exposición de 25 años. Lo anterior se explica por el bajo peso que tienen los eventos extremos en la probabilidad de falla total de un talud dado.
- Se demostró la validez de la apreciación del Consultor en cuanto a que el modelo de análisis de falla planar en talud infinito es el crítico en este caso particular.
- De la evaluación de los resultados obtenidos y de acuerdo con la clasificación arriba descrita se produjo el plano No. 6 de zonificación de la amenaza a fenómenos de remoción en masa, encontrando que aquellas con

amenaza alta a los fenómenos de remoción en masa concuerdan en buen grado con los definidos en el inventario de procesos de inestabilidad.

De tal forma que se tiene tres zonas de amenaza alta correspondientes a la del muro, el bosque borracho y la vía a Vitelma.

La zona del muro es la de mayor extensión con cerca de 1.3 hectáreas con un numero importante de viviendas expuesta, la cual se caracteriza por presentar un movimiento traslacional del suelo superior transportado de bajo espesor sobre la roca meteorizada afectado por niveles altos de aguas de infiltración.

La zona del Bosque Borracho es la siguiente en importancia y se caracteriza por presentar un fenómeno de reptación o movimiento lento generado por la perdida de pata de la ladera por excavaciones para la obtención de materiales de construcción, afecta solo un par de viviendas.

La zona de la vía a Vitelma es producto de la intervención antrópica al realizar una excavación para una vía de acceso y a fenómenos de erosión y afecta solamente a la vía en mención.

- En todos los casos, el volumen de suelo afectado por fenómenos de remoción en masa en la zona del estudio son limitados.

---

<sup>1</sup> Gonzalez, A. y otros. Relaciones de precipitación crítica - duración de lluvias que disparan movimientos en masa en Santa Fe de Bogotá - Colombia. 1999.

<sup>2</sup> Rosenblueth, Point estimates for probability moments, Proc. Nat. Acadm., Sci. Ame., Vol 72, (10) (1975)

<sup>3</sup> Kottegoda N.T., Rosso R., Probability, Statistics and Reliability for Civil and Environmental Engineers. McGraw Hill (1998).

<sup>4</sup> Harr M., Reliability Based design in Civil Engineering, Dover, (1987).





**TABLA 5.3**  
**EVALUACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA**  
**ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA - CASO SUPERFICIE CIRCULAR**  
**SECTOR DEL MURO**

1) F. S. sin sismo - sin lluvia		2) F. S. sin sismo - con lluvia		3) F. S. con sismo - sin lluvia		4) F. S. con sismo - con lluvia	
$\phi^+, c+$	1.56	$\phi^+, c+$	1.12	$\phi^+, c+$	1.06	$\phi^+, c+$	0.75
$\phi^+, c-$	0.63	$\phi^+, c-$	0.20	$\phi^+, c-$	0.39	$\phi^+, c-$	0.09
$\phi^-, c+$	1.47	$\phi^-, c+$	1.09	$\phi^-, c+$	1.00	$\phi^-, c+$	0.74
$\phi^-, c-$	0.54	$\phi^-, c-$	0.17	$\phi^-, c-$	0.33	$\phi^-, c-$	0.01
Prom. FS	1.05	Prom. FS	0.65	Prom. FS	0.70	Prom. FS	0.40
$S_{FS}$	0.47	$S_{FS}$	0.46	$S_{FS}$	0.34	$S_{FS}$	0.35
$\beta =$	0.11	$\beta =$	-0.76	$\beta =$	-0.90	$\beta =$	-1.75
$P_F =$	0.4576	$P_F =$	0.7775	$P_F =$	0.8150	$P_F =$	0.9596

	25 años	30 años	475 años
$t =$			
$T_U =$			
$T_s =$			

Tiempo de exposicion  
 Periodo de retorno del sismo de diseño  
 Periodo de retorno de la Lluvia Critica

P= 0.4065	P= 0.5422	P= 0.0220	P= 0.0293
Cv= 0.4456	Cv= 0.7097	Cv= 0.4810	Cv= 0.8746
	P <sub>total</sub> = 0.6536		
	Cv total= 0.6021		
	FS= 0.84		

**TABLA 5.4**  
**EVALUACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA**  
**ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA - CASO SUPERFICIE CIRCULAR**  
**SECTOR BOSQUE BORRACHO**

1) F.S. sin sismo - sin lluvia		2) F. S. sin sismo - con lluvia		3) F. S. con sismo - sin lluvia		4) F. S. con sismo - con lluvia	
$\phi^+,c+$	1.52	$\phi^+,c+$	1.02	$\phi^+,c+$	1.08	$\phi^+,c+$	0.70
$\phi^+,c-$	0.52	$\phi^+,c-$	0.05	$\phi^+,c-$	0.33	$\phi^+,c-$	0.01
$\phi^-,c+$	1.44	$\phi^-,c+$	1.01	$\phi^-,c+$	1.02	$\phi^-,c+$	0.70
$\phi^-,c-$	0.44	$\phi^-,c-$	0.05	$\phi^-,c-$	0.28	$\phi^-,c-$	0.02
Prom. FS	0.98	Prom. FS	0.53	Prom. FS	0.68	Prom. FS	0.36
S <sub>FS</sub>	0.50	S <sub>FS</sub>	0.48	S <sub>FS</sub>	0.37	S <sub>FS</sub>	0.34
$\beta=$	-0.04	$\beta=$	-0.97	$\beta=$	-0.86	$\beta=$	-1.88
P <sub>F</sub> =	0.5159	P <sub>F</sub> =	0.8337	P <sub>F</sub> =	0.8060	P <sub>F</sub> =	0.9697

t=	25 años	Tiempo de exposicion
T <sub>U</sub> =	30 años	Periodo de retorno del sismo de diseño
T <sub>s</sub> =	475 años	Periodo de retorno de la Lluvia Critica

P= 0.4065

P= 0.5422

P= 0.0220

P= 0.0293

Cv= 0.5118

Cv= 0.9061

Cv= 0.5513

Cv= 0.9581

P<sub>total</sub>= 0.7079

Cv total= 0.7396

FS= 0.71

**TABLA 5.5**  
**EVALUACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA**  
**ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA - CASO SUPERFICIE CIRCULAR**  
**SECTOR VIA VITELMA**

1) F. S. sin sismo - sin lluvia		2) F. S. sin sismo - con lluvia		3) F. S. con sismo - sin lluvia		4) F. S. con sismo - con lluvia	
$\phi^+, c+$	8.25	$\phi^+, c+$	6.70	$\phi^+, c+$	2.60	$\phi^+, c+$	1.81
$\phi^+, c-$	1.64	$\phi^+, c-$	0.58	$\phi^+, c-$	0.83	$\phi^+, c-$	0.29
$\phi^-, c+$	8.01	$\phi^-, c+$	6.44	$\phi^-, c+$	2.41	$\phi^-, c+$	1.74
$\phi^-, c-$	1.39	$\phi^-, c-$	0.49	$\phi^-, c-$	0.70	$\phi^-, c-$	0.25
Prom. FS	4.82	Prom. FS	3.55	Prom. FS	1.64	Prom. FS	1.02
S <sub>FS</sub>	3.31	S <sub>FS</sub>	3.02	S <sub>FS</sub>	0.87	S <sub>FS</sub>	0.75
$\beta =$	1.15	$\beta =$	0.85	$\beta =$	0.73	$\beta =$	0.03
P <sub>F</sub> =	0.1241	P <sub>F</sub> =	0.1989	P <sub>F</sub> =	0.2337	P <sub>F</sub> =	0.4881

t =	25 años	Tiempo de exposicion
T <sub>U</sub> =	30 años	Periodo de retorno del sismo de diseño
T <sub>s</sub> =	475 años	Periodo de retorno de la Lluvia Critica

P = 0.4065

P = 0.5422

P = 0.0220

P = 0.0293

Cv = 0.6863

Cv = 0.8498

Cv = 0.5344

Cv = 0.7365

P<sub>total</sub> = 0.1777

Cv total = 0.7731

FS = 3.50

**DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**  
**BARRIO EL DORADO**  
**EVALUACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA**  
 ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA - CASO TALUD INFINITO  
 INCLINACION DEL TALUD : 15 grados, ESPESOR : 0,5 m

$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados
$\phi^+, C^+$	26 grados	$\phi^+, C^+$	26 grados	$\phi^+, C^+$	26 grados	$\phi^+, C^+$	26 grados
$\phi^-, C^-$	18 grados	$\phi^-, C^-$	18 grados	$\phi^-, C^-$	18 grados	$\phi^-, C^-$	18 grados
$c^+, c^-$	4.7 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c^-$	4.7 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c^-$	4.7 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c^-$	4.7 ton/m <sup>2</sup>
$\gamma_{suelo}$	1.6 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}$	1.6 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}$	1.6 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}$	1.6 ton/m <sup>3</sup>
$\gamma_{agua}$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}$	1.7 ton/m <sup>3</sup>
H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>
$H_w$	0.5 m	$H_w$	0.5 m	$H_w$	0.5 m	$H_w$	0.5 m
$a_h$	0.0 m	$a_h$	0.0 m	$a_h$	0.0 m	$a_h$	0.0 m
	0 g		0 g		0.24 g		0.24 g

1) F.S. sin sismo - sin lluvia		2) F.S. sin sismo - con lluvia		3) F.S. con sismo - sin lluvia		4) F.S. con sismo - con lluvia	
$\phi^+, C^+$	23.94	$\phi^+, C^+$	22.87	$\phi^+, C^+$	12.57	$\phi^+, C^+$	12.00
$\phi^-, C^-$	9.35	$\phi^-, C^-$	8.28	$\phi^-, C^-$	4.87	$\phi^-, C^-$	4.31
$c^+, c^-$	23.33	$c^+, c^-$	22.62	$c^+, c^-$	12.27	$c^+, c^-$	11.89
$\phi^+, C^+$	8.74	$\phi^+, C^+$	8.03	$\phi^+, C^+$	4.57	$\phi^+, C^+$	4.19
Prom. FS	16.34	Prom. FS	15.45	Prom. FS	8.57	Prom. FS	8.10
$S_{FS}$	7.30	$S_{FS}$	7.30	$S_{FS}$	3.85	$S_{FS}$	3.85
$\beta$	2.10	$\beta$	1.98	$\beta$	1.97	$\beta$	1.84
$P_F$	0.0178	$P_F$	0.0238	$P_F$	0.0247	$P_F$	0.0326

$t_e$	25 años
$T_{Ll}$	30 años
$T_s$	475 años

Tiempo de exposicion	
Periodo de retorno del sismo de diseño	
Periodo de retorno de la Lluvia Critica	

**FIGURA No. 7** Modelo de hoja de calculo con parámetros de resistencia pico del suelo.

**DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**  
**BARRIO EL DORADO**  
**EVALUACION DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA**  
 ANALISIS DE PROBABILIDAD DE FALLA - CASO TALUD INFINITO  
 INCLINACION DEL TALUD : 15 grados, ESPESOR : 0,5 m

$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados	$\alpha=$	15 grados
$\phi^+, C=$	21 grados	$\phi^+, C=$	21 grados	$\phi^+, C=$	21 grados	$\phi^+, C=$	21 grados
$\phi^-, C=$	18 grados	$\phi^-, C=$	18 grados	$\phi^-, C=$	18 grados	$\phi^-, C=$	18 grados
$c^+, c=$	1.6 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c=$	1.6 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c=$	1.6 ton/m <sup>2</sup>	$c^+, c=$	1.6 ton/m <sup>2</sup>
$\gamma_{suelo}=$	0 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}=$	0 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}=$	0 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{suelo}=$	0 ton/m <sup>3</sup>
$\gamma_{agua}=$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}=$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}=$	1.7 ton/m <sup>3</sup>	$\gamma_{agua}=$	1.7 ton/m <sup>3</sup>
H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>	H=	1.0 ton/m <sup>3</sup>
H <sub>w</sub> =	2.0 m	H <sub>w</sub> =	2.0 m	H <sub>w</sub> =	2.0 m	H <sub>w</sub> =	2.0 m
a <sub>h</sub> =	0.0 m	a <sub>h</sub> =	0.0 m	a <sub>h</sub> =	0.0 m	a <sub>h</sub> =	0.0 m
a <sub>h</sub> =	0 g	a <sub>h</sub> =	0 g	a <sub>h</sub> =	0.24 g	a <sub>h</sub> =	0.24 g

1) F.S. sin sismo - sin lluvia		2) F.S. sin sismo - con lluvia		3) F.S. con sismo - sin lluvia		4) F.S. con sismo - con lluvia	
$\phi^+, C+$	3.31	$\phi^+, C+$	2.47	$\phi^+, C+$	1.70	$\phi^+, C+$	1.26
$\phi^+, C-$	1.43	$\phi^+, C-$	0.59	$\phi^+, C-$	0.71	$\phi^+, C-$	0.26
$\phi^-, C+$	3.09	$\phi^-, C+$	2.38	$\phi^-, C+$	1.59	$\phi^-, C+$	1.22
$\phi^-, C-$	1.21	$\phi^-, C-$	0.50	$\phi^-, C-$	0.60	$\phi^-, C-$	0.22
Prom. FS	2.26	Prom. FS	1.49	Prom. FS	1.15	Prom. FS	0.74
S <sub>FS</sub>	0.95	S <sub>FS</sub>	0.94	S <sub>FS</sub>	0.50	S <sub>FS</sub>	0.50
$\beta=$	1.33	$\beta=$	0.52	$\beta=$	0.30	$\beta=$	-0.53
P <sub>F</sub> =	0.0912	P <sub>F</sub> =	0.3031	P <sub>F</sub> =	0.3825	P <sub>F</sub> =	0.7004

t=	25 años
T <sub>LI</sub> =	30 años
T <sub>s</sub> =	475 años

P = 0.4065      P = 0.5422      P = 0.0220      P = 0.0293

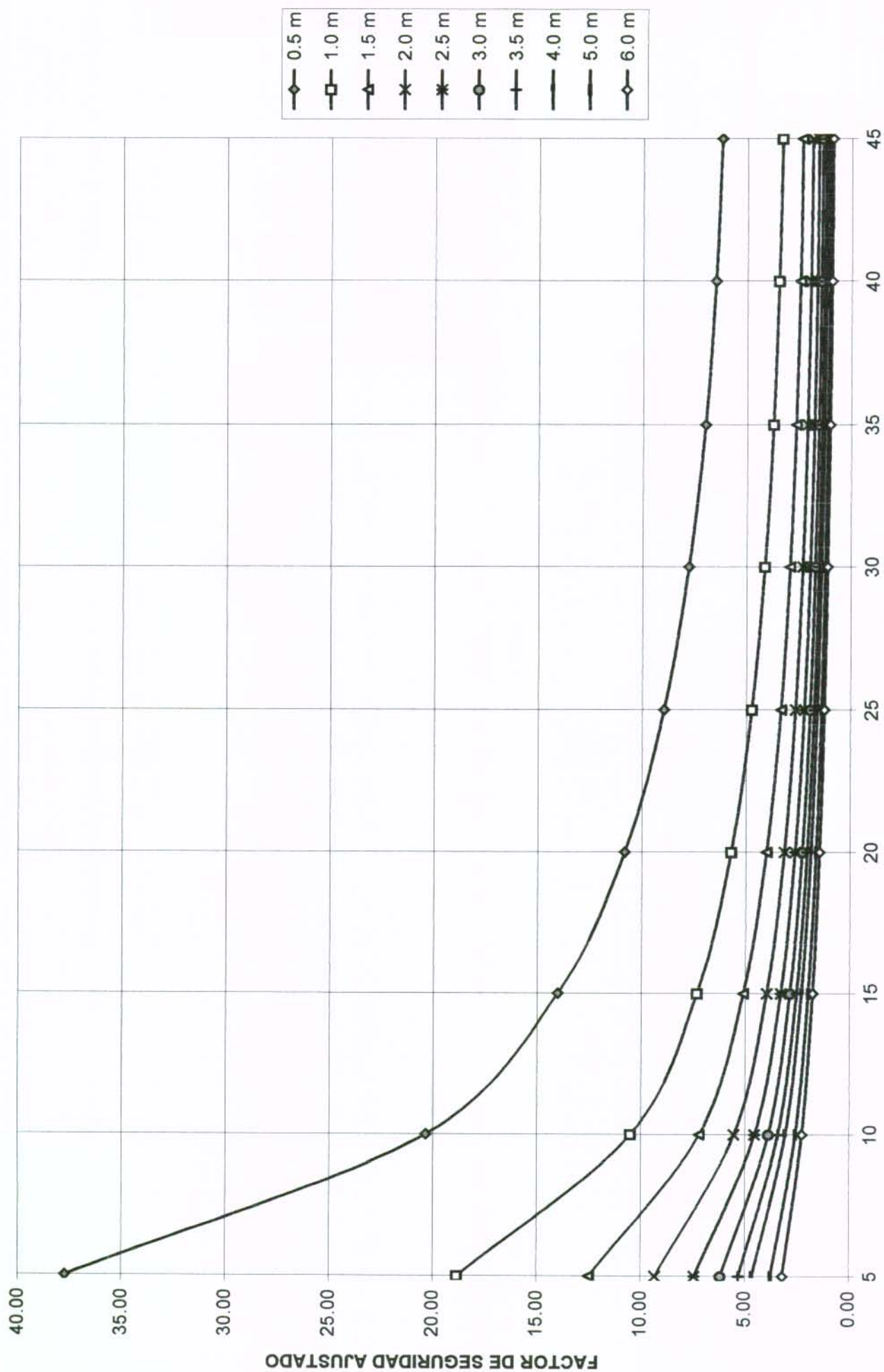
Cv = 0.4186      Cv = 0.6342      Cv = 0.4346      Cv = 0.6725

P<sub>total</sub> = 0.2303

Cv total = 0.5433

**FIGURA No. 8 Modelo de hoja de calculo con parámetros de resistencia residual del suelo.**

# BARRIO EL DORADO - EVALUACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTO CASO FALLA PLANAR EN TALUD INFINITO - PARAMETROS PICO



ANGULO DE INCLINACION DEL TALUD, grados

FIGURA No. 9. Grafica del Factor de Seguridad Ajustado a la Probabilidad de Falla Total del Talud a Largo Plazo en Funcion del Espesor del Suelo

**BARRIO EL DORADO - EVALUACION DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO POR DESLIZAMIENTO  
CASO FALLA PLANAR EN TALUD INFINITO - PARAMETROS RESIDUALES**

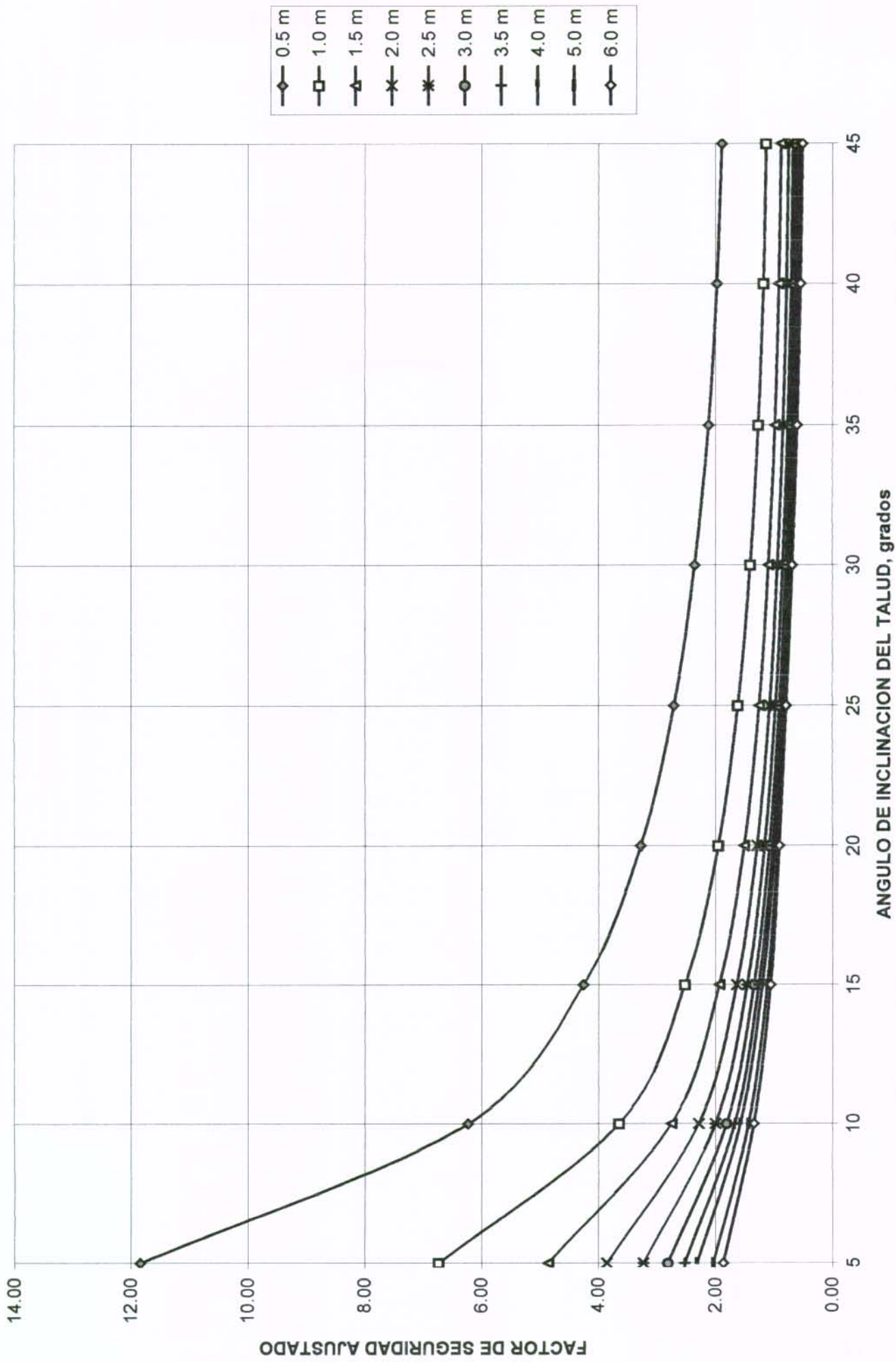
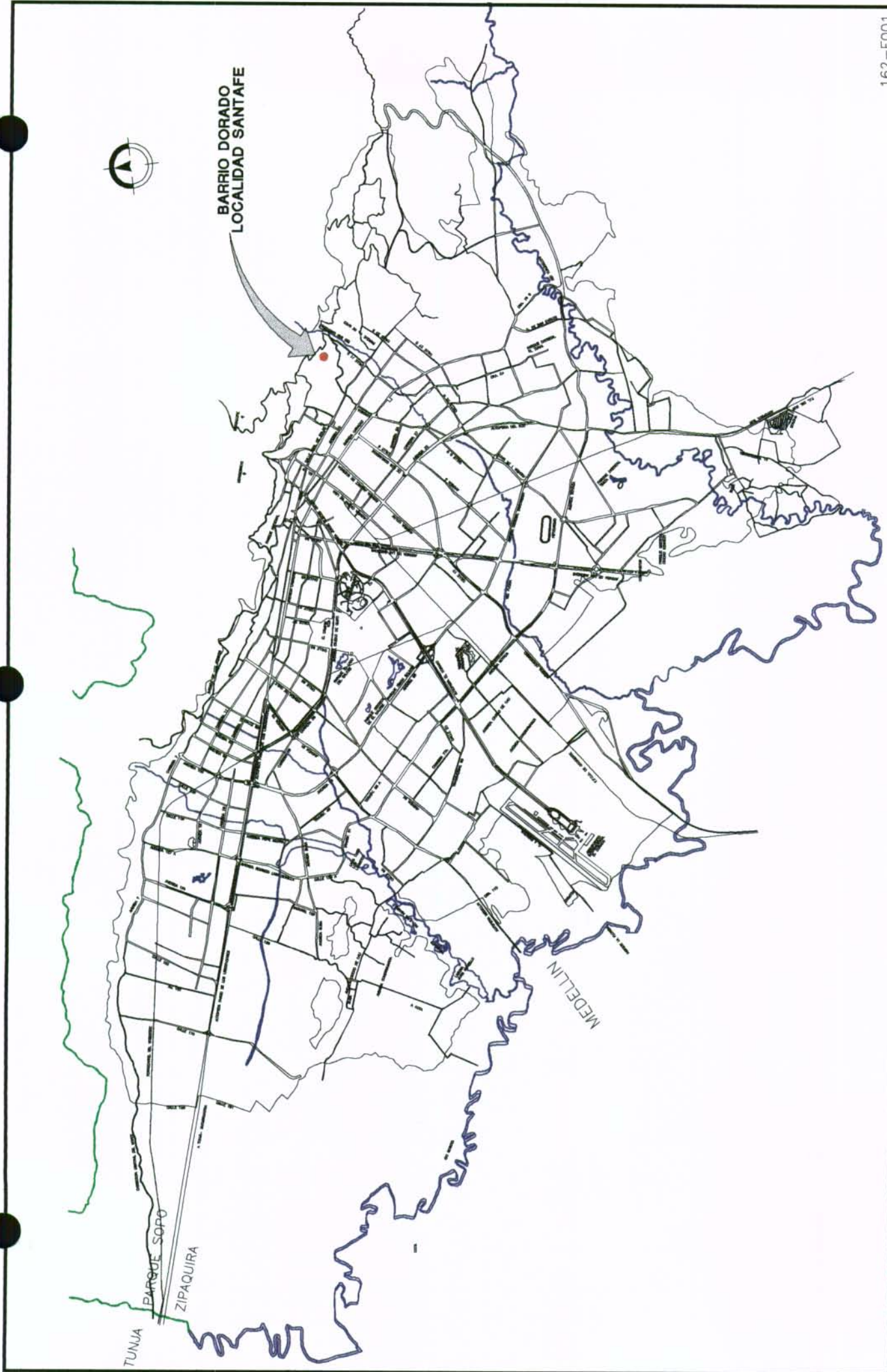


FIGURA No.10 Grafica del Factor de Seguridad Ajustado a la Probabilidad de Falla Total del Talud a Largo Plazo



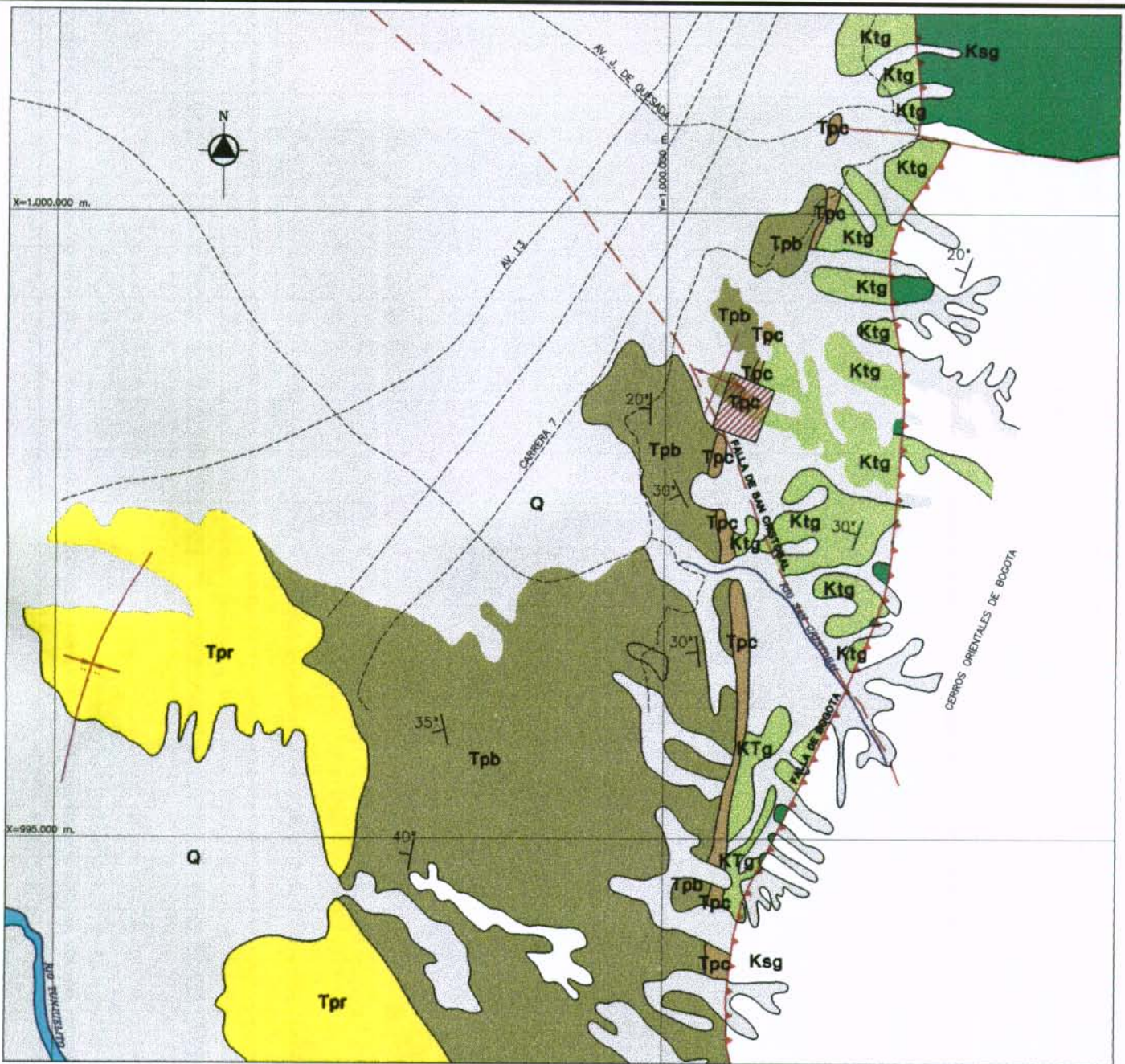
162-F001

CONSORCIO  
INNOVA ING.  
LTDA  
CGR

FIGURA No. 1 - LOCALIZACION GENERAL







### CONVENCIONES

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>Q</b> CUATERNARIO. COMPLEJO DE CONOS Y DEPOSITOS FLUVIO - LACUSTRES</p> <p><b>Tpr</b> FORMACION REGADERA. ARENISCA DE GRANO FINO A CONGLOMERATICO, CON ESTRATIFICACION CRUZADA E INTERCALACIONES DE ARCILLOLITA</p> <p><b>Tpb</b> FORMACION BOGOTA. PARTE SUPERIOR ARCILLOSA, PARTE INFERIOR, ALTERNANCIA DE ARENSICAS Y ARCILLOLITAS.</p> <p><b>Tpc</b> FORMACION CACHO. ARENSICAS DE GRANO GRUESO A CONGLOMERATICO</p> <p><b>Ktg</b> FORMACION GUADUAS. ARCILLOLITAS EN LA PARTE SUPERIOR, ARENSICAS EN LA INTERMEDIA Y ARCILLOLITAS CON MANTOS DE CARBON EN LA BASE</p> <p><b>Ksg</b> CRETACEO SUPERIOR GUADALUPE. FORMACIONES LABOR - TIERNA (Ksglt), PLAENERS (Ksgp), ARENISCA DURA (Ksgd) Y CHIPAQUE (Ksch)</p> <p> AREA DEL ESTUDIO</p> <p> FALLA DE CABALGAMIENTO</p> | <p> ESTRATIFICACION. RUMBO Y BUZAMIENTO EN GRADOS</p> <p> ANTICLINAL</p> <p> SINCLINAL</p> |
|---|--|

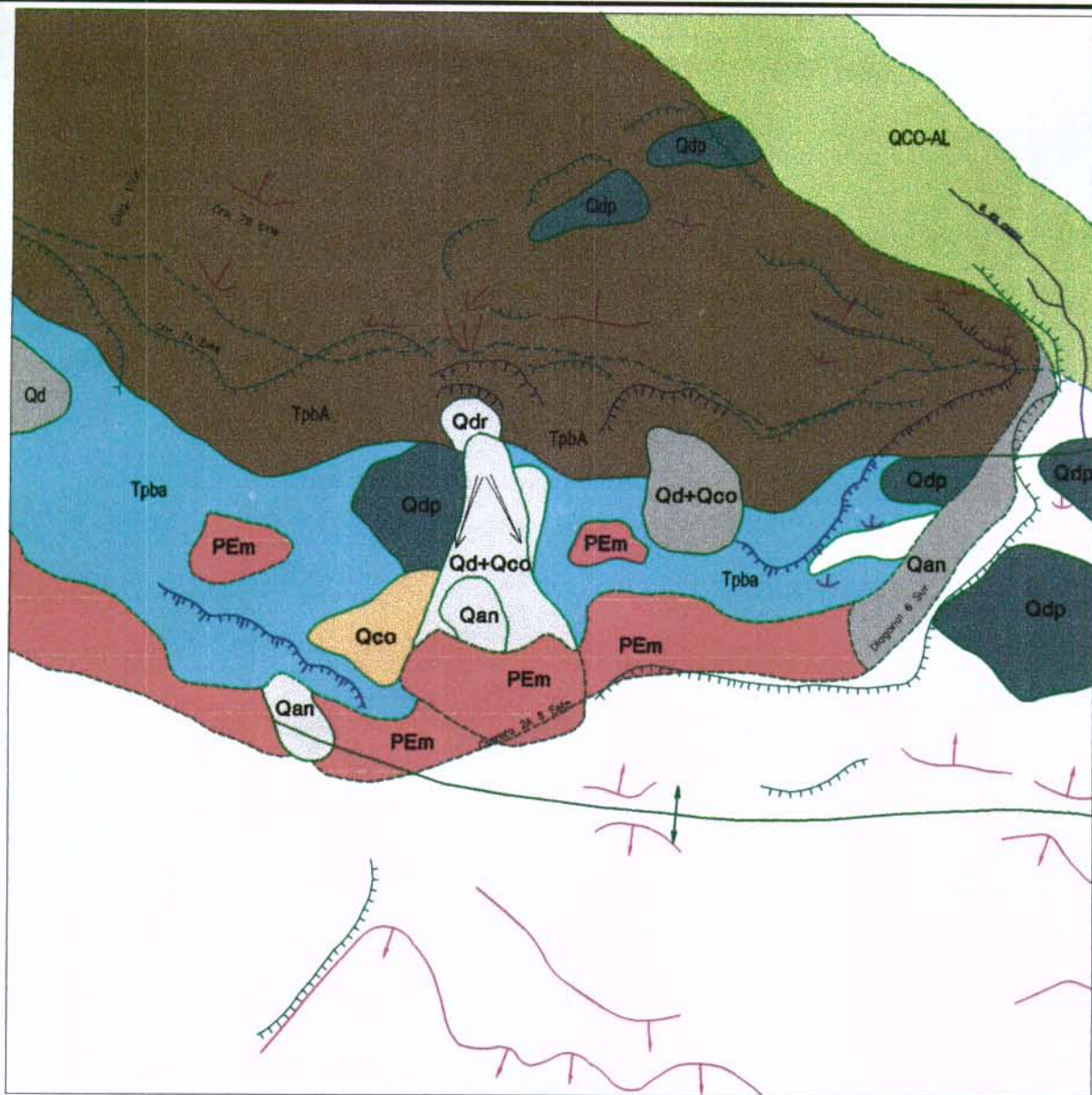
Tomado de INGEOMINAS,  
"Proyecto de Microzonificación  
Sísmica de Bogotá",  
Escala 1:50.000 Junio 1997

162-F002



FIGURA No. 2 - GEOLOGIA REGIONAL

CONSORCIO:  
INNOVA ING. LTDA.  
CGR



CONVENCIONES

1-CUATERNARIO

Qdr	DERRUMBE RECIENTE
Qd	DERRUMBE ANTIGUO
Qdp	DEPOSITO DE PENDIENTE LADERA
Qco	DEPOSITO COLUVIAL
Qco-AL	DEPOSITO ALUVIO-COLUVIAL

2-TERCIARIO

TpbaA	FM. BOGOTA, MIEMBRO ARENISCO
Tpba	FM. BOGOTA, MIEMBRO ARCILLOSO

	CONTACTO FOTOGEOLOGICO, EN SUPERFICIE Y SUGERIDO
	ESCARPE PARAVERTICAL
	ESCARPE CON PROCESOS EROSIVOS
	CORONA DE DERRUMBE
	ESCARPE Y CRESTA ESTRUCTURAL
	ANTICLINAL

	-SUPERFICIE PLANA DE EXCAVACION
	DIVISORIA DE AGUAS
	CAUCE, CAÑO, QUEBRADA

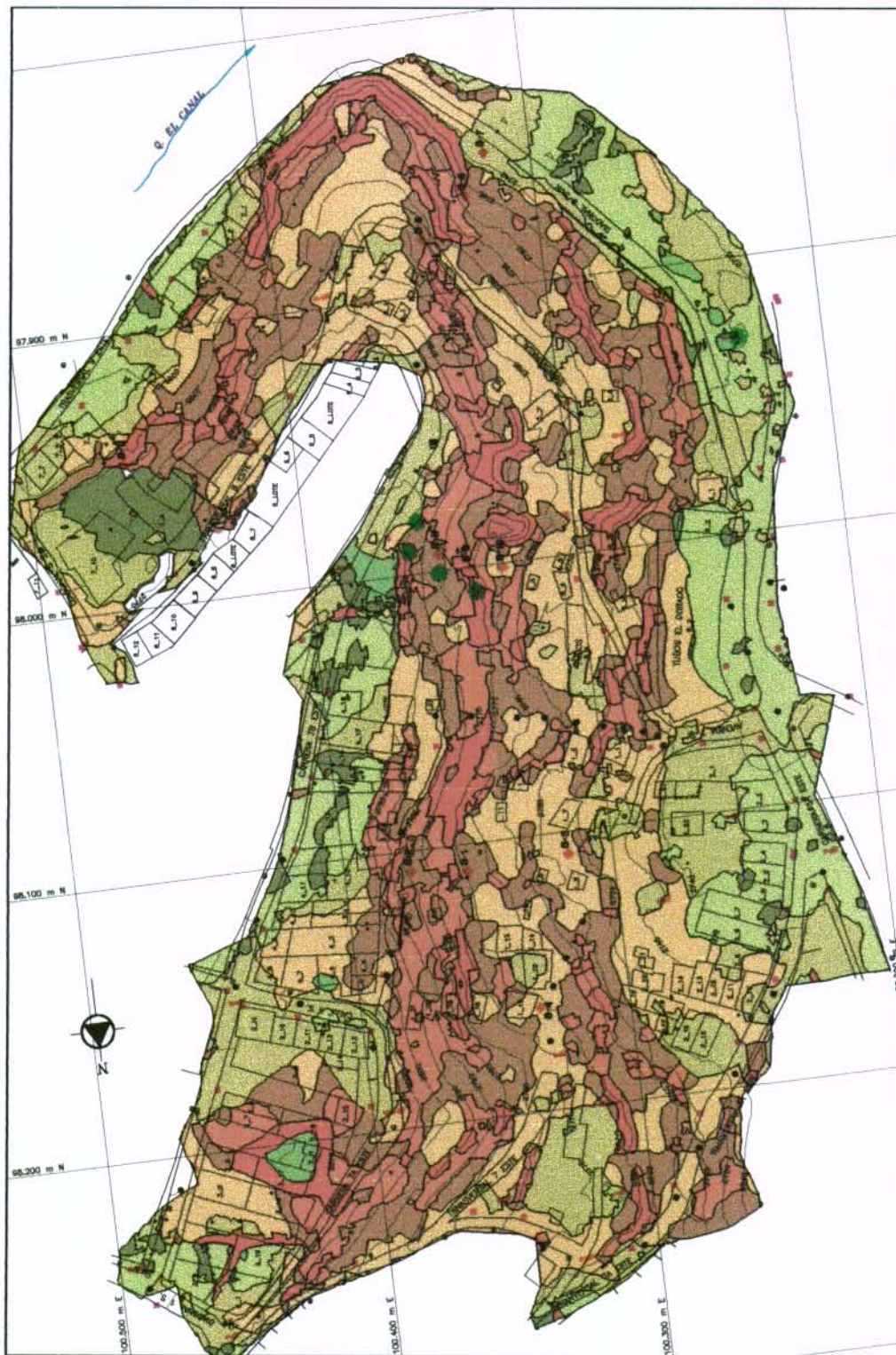
VUELO: IGAC - R - 1131  
 FOTOGRAFIA No. 2298  
 ESCALA: 1:3.450  
 FECHA: 07-VI-90

162-F003











FIGURA No. 3 - FOTOGEOLOGIA

CONSORCIO:  
 INNOVA ING. LTDA.  
 CGR



**CONVENCIONES**

	0-3%
	3-7%
	7-12%
	12-25%
	25-50%
	50-75%
	75-100
	>100

162-F005



**FIGURA No. 5 - MAPA DE PENDIENTES**

**CONSORCIO  
INNOVA ING.  
LTDA  
CGR**



162-F006



FIGURA No. 6 - MAPA DE IGUAL ESPESOR DE SUELO

CONSORCIO  
INNOVA ING.  
LTDA  
CGR

## **Capítulo VI. EVALUACION Y ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR FRM**

### **6.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS**

La vulnerabilidad ha sido definida como el grado de daño, perjuicio y/o perturbación que potencialmente pueda sufrir un elemento que es sometido a los efectos negativos de un fenómeno natural o artificial, con una determinada magnitud.

Los objetivos específicos de la evaluación de la vulnerabilidad, son los siguientes:

- Identificar y localizar los elementos bajo amenaza. Para esto, se realizó el reconocimiento directo de cada una de las viviendas del área de estudio y se registró la información en fichas técnicas.
- Definición de la susceptibilidad de los elementos a los fenómenos de remoción en masa.

### **6.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS**

#### **6.2.1 GENERALIDADES**

En general el objeto del Inventario de Viviendas es:

- Establecer una tipología de vivienda que permita evaluar la resistencia de las construcciones frente a un tipo de amenaza específico.
- Evaluar las condiciones sociales y económicas de la población amenazada con el fin de establecer su capacidad de respuesta.
- Establecer de manera paralela, la calidad de las líneas de servicios públicos y puntos vitales que puedan ayudar a mejorar la capacidad de respuesta de los habitantes del sector.

La recopilación de la información de las viviendas situadas dentro del área de estudio se fundamentó en el formulario para la evaluación de daños en edificaciones en caso de deslizamientos, desarrollado el DPAE y con algunas pequeñas modificaciones por parte del Consultor (Véase Anexo No. 5.1) y el cual permite, luego de su análisis, obtener el escenario de tipo social, económico y estructural en la zona del estudio.

El formulario está constituido por 29 puntos, los cuales consideran los siguientes aspectos:

- Localidad, Identificación de la construcción, Número del lote, Orientación;
- Estado de la construcción;
- Número de apartamentos, Número de familias, Área, Número de pisos, Edad de la construcción;
- Tipo de construcción;
- Calidad de la construcción;
- Daños;
- Condición del suelo (estabilidad - inestabilidad);
- Recomendaciones inmediatas;
- Servicios públicos;
- Costo estimativo de viviendas.

De acuerdo con los planos de loteo encontrados en el DPD se delimitaron siete sectores, coincidentes en algunos casos con las manzanas allí establecidas; en otros se agruparon las viviendas por la conveniencia en la realización de los trabajos.

El número de viviendas por sector se lista a continuación:

**TABLA No. 6.1**

SECTOR	NUMERO DE VIVIENDAS	UBICACION
1	21	Zona de deslizamiento hasta Transv. 7A Este.
2	23	Transv 7A este.
3	19	Fábricas y estructuras aisladas.
4	22	Transv 7 y Diagonal 6.
5	8	Transv 7A y Transv 7B Este.
6	12	Calle 4 S y Transv 7B Este
7	13	Transv 9 y Transv 8
<b>TOTAL</b>	122	

El plano No. 1 muestra la numeración de las casas de habitación, antecedita por el número de manzana seleccionada. Este plano y la información obtenida clasificada por grupos de afinidad, conformados en bases de datos que se correlacionaron por medio del SIG, sirvieron como base para el desarrollo del mapa predial y el mapa de población. Es de anotar que los archivos magnéticos de las bases de datos utilizadas se presentan anexos a este estudio y la descripción de los campos utilizados en por SIG se presentan en el Anexo 5.2.

Es de anotar que en cinco viviendas no se obtuvo la información suficiente para diligenciar el formulario, esto debido a la falta de colaboración de sus moradores. Adicionalmente tres viviendas se encontraron abandonadas (ranchos).

### **6.2.2 RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

Del procesamiento de la información se obtuvieron gráficas estadísticas (Véase Anexo No. 5.3) por medio de las cuales se destaca que el 57% de las viviendas, tienen un costo individual que oscila entre \$10'000.000 y \$30'000.000, y el valor de los enseres por vivienda es de \$3'000.000 (en promedio). Los ingresos mensuales predominantes oscilan entre \$100.000 y \$300.000.

El 65% de las construcciones tienen más 10 años de antigüedad seguidas por aquellas que tienen entre 1 y tres años de construcción (12%). En general las edificaciones alcanzan hasta tres pisos, pero básicamente predominan aquellas de una sola planta (57%), seguidas por las de dos niveles (25%). El 82% de la viviendas son unifamiliares, mientras que el 16% son multifamiliares, el resto de uso industrial.

Debe destacarse que de acuerdo a las evaluaciones, la comunidad expresó ante el tema de daños en sus viviendas, que el fenómeno predominante (33 viviendas) ha sido el de deslizamiento, seguido por el de inundación (19 viviendas).

El número ponderado de personas por familia es de 4 a 7 personas.

### **6.3 METODOLOGÍAS Y CRITERIOS DE ANÁLISIS.**

Se consideraron en la evaluación tres grandes grupos:

Elementos Corporales

Elementos Estructurales

## Elementos Funcionales

Para los elementos corporales (personas), se adoptaron los siguientes índices de daño y se consideró un escenario de ocurrencia del evento nocturno para el cual se encuentra la mayor población en el área de estudio:

**TABLA No. 6.2**

<b>Intensidad de Afectación</b>	<b>Modos de Afectación</b>	<b>Indice de Afectación</b>
I	Heridas leves sin secuelas	0,003 – 0,005
II	Heridas Importantes (fracturas)	0,04 – 0,07
III	Heridas Graves (Invalidez)	0,07 – 0,1
IV	Muerte	1,0

La valoración del Índice de Afectación, no se plantea como una escala continua, debido fundamentalmente al tipo de afectación, con la cual el Consultor pretende simplemente dar un mayor peso a lesiones de importancia, sin considerar en sus análisis intervalos intermedios que desvirtuen el objetivo final del estudio.

Para los elementos estructurales, es decir las viviendas, los índices de daño dependen del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características de los elementos expuestos.

Para la zona de estudio, el Consultor ha determinado que los fenómenos de remoción en masa que se pueden presentar son deslizamientos de tipo traslacional de los depósitos de suelos superiores y el flujo de lodos, ambos fenómenos de volúmenes limitados. Es claro que el tipo de solicitación ejercida sobre las viviendas depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno.

Como se menciona en el capítulo anterior, se tienen tres zonas de amenaza alta a los fenómenos de remoción en masa y solo en dos de ellas, sector del muro y el bosque borracho, es evidente la afectación de algunas viviendas y líneas vitales. Los movimientos aquí se caracterizan por ser poco profundos y de carácter lento con volúmenes de suelo involucrados bajos.

Es así que, para el presente estudio se consideró que el caso de deslizamiento o flujo de lodos en las que se encuentre viviendas en el cuerpo del deslizamiento,



los daños que van a sufrir estas viviendas se pueden relacionar con desplazamientos laterales, los cuales a su vez dependen de la rapidez del movimiento. En las viviendas localizadas en la zona de abajo del cuerpo del deslizamiento, los daños se pueden relacionar con las presiones laterales, las cuales se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda.

En cuanto a la intensidad de las sollicitaciones se adoptó:

**TABLA No. 6.3**

Solicitud	Calificación	Criterio de Intensidad
Rapidez del Movimiento	Lento	$V_{mov} < \text{un m/año}$
	Rápido	$V_{mov} > \text{un m/año}$
Presiones Laterales	Baja	$H_{acum} < 1/3 \text{ Hestr}$
	Media	$2/3 \text{ Hestr} < H_{acum} < 1/3 \text{ Hestr}$
	Alta	$H_{acum} > 2/3 \text{ Hestr}$

Para la cuantificación de los niveles de daño físico de las viviendas se adoptaron los siguientes índices de daño:

**TABLA No. 6.4**

Intensidad de Daño	Modos de Daño	Indice de Daño
Bajo - I	Daños ligeros. No estructurales. Estabilidad no afectada	0,001 – 0,03
Medio - II	Danos importantes. Fisuración de elementos	0,4 – 0,7
Alto -III	Danos graves o destrucción total de la estructura	0,7 – 1,0

Por otra parte se correlacionaron los índices de daños estructurales con los de las personas de acuerdo a la siguiente tabla:

**TABLA No. 6.5**

Daños de las Viviendas	I	II	III
Afectación a Personas	I	II	III - IV

En cuanto a las características del elemento expuesto se adoptó la tipología de viviendas definida por Leone (1996), así:

**TABLA No. 6.6**

Tipo	Descripción
B1	Tugurios – ranchos
B2	Casas en mampostería o prefabricados
B3	Casas de hasta 2 niveles de buena calidad de construcción, con estructura.
B4	Casas de más de dos niveles con buena calidad de construcción, con estructura.

Finalmente, teniendo en cuenta los niveles de daño, se asociaron los posibles daños ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud y a la tipología de la vivienda, con la matriz de vulnerabilidad siguiente:

**TABLA No. 6.7**

		Tipo de Vivienda			
Solicitud	Calificación	B1	B2	B3	B4
Rapidez del Movimiento	Lento	Alta	Media	Media	Bajo
	Rápido	Alta	Alta	Alta	Media
Presiones Laterales	Baja	Media	Media	Media	Baja
	Media	Alta	Alta	Media	Media
	Alta	Alta	Alta	Alta	Media

#### **6.4 ZONIFICACION DE LA VULNERABILIDAD A FRM.**

La zonificación de la vulnerabilidad se realizó a partir del plano predial georeferenciado desarrollado por medio de un sistema de información geográfica. Este plano relaciona varias bases de datos, entre los que se encuentran la identificación del inmueble, la tipología de la vivienda, los daños sufridos por la vivienda y la población que la ocupa.

La contrastación de estas bases de datos en asocio con la matriz de respuesta permitió la obtención del índice de daño en el cual se fundamentó la zonificación de la vulnerabilidad, siendo su clasificación así:

**TABLA No. 6.8**

<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Indice de Daños</b>	<b>Indice de Afectación</b>
Alta	1.0	0.1
Media	0.5	0.07
Baja	0.0	0.005

En la tabla 6.9 se muestran la evaluación de la vulnerabilidad, donde se presenta la solicitud adoptada para cada uno de los elementos. El mapa No 7 se presentan los resultados finales de la evaluación de la vulnerabilidad de viviendas.

#### **6.4 CONCLUSIONES.**

- En área del estudio se tienen dos sectores en los cuales es evidente el alto grado de exposición de las viviendas, estos son el sector del muro y el Bosque Borracho.
- En el sector uno, a excepción de tres viviendas, todas las casas están afectadas; las de la parte alta por movimientos rápidos y los de la parte baja por presiones laterales de tierra. Es de destacar la baja calidad de las viviendas en este sector lo que las hace aun más vulnerables.
- En la parte baja del área de estudio, sector dos, se encuentran afectadas ocho viviendas por presiones laterales de tierra y en ocasiones por inundaciones.
- En la parte alta del área de estudio donde se encuentra la parte consolidada del barrio, sectores tres y cuatro, solo se encuentran afectadas cinco casas en el sector cuatro por su cercanía con el borde del talud y más por efecto de procesos erosivos que por deslizamientos.
- En el sector cinco, afectado por un fenómeno de reptación se involucra una vivienda directamente, mientras que la fábrica por estar retirada del centro de gravedad del movimiento solo se involucra parcialmente.
- En el sector seis, el cual se encuentra fuera del alcance de este estudio, se detectaron dos viviendas afectadas, una por posible caída de bloques – 6\_6 y otra por deficiencias constructivas – 6\_5.

- En el sector siete no se presenta ningún grado de afectación.
- Se destaca que dentro de la evaluación de la vulnerabilidad no se consideraron las líneas vitales, pues dentro de las zonas críticas todos los servicios públicos son de carácter ilegal y para efectos de cálculo se consideran involucrados dentro del costo del inmueble. En cuanto al sistema vial, la única vía afectada, vecina al muro de contención, de igual forma por su carácter informal no se consideró en los análisis de vulnerabilidad por plantearse su reconstrucción y cambio de uso a exclusivamente peatonal.

**TABLA No. 6.9**  
**EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD**  
**BARRIO EL DORADO**

Numero Manzana	Numero Predio	Tipo Vivienda	Solicitud	Indice de Daño	Vulnerabilidad
1	1	B3	Ninguna	0.0	Baja
1	2	B2	Ninguna	0.0	Baja
1	3	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
1	4	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
1	5	B3	Ninguna	0.0	Baja
1	6	B2	Presion Lateral Media	1.0	Alta
1	7	B1	Presion Lateral Media	1.0	Alta
1	8	B1	Presion Lateral Media	1.0	Alta
1	9	B1	Presion Lateral Alta	1.0	Alta
1	10	B1	Presion Lateral Alta	1.0	Alta
1	11	B1	Presion Lateral Alta	1.0	Alta
1	12	B1	Movimiento Lento	1.0	Alta
1	13	B1	Movimiento Lento	1.0	Alta
1	14	B1	Movimiento Lento	1.0	Alta
1	15	B1	Movimiento Lento	1.0	Alta
1	16	B2	Movimiento Lento	0.5	Media
1	17	B2	Ninguna	0.0	Baja
1	18	B2	Movimiento Lento	0.5	Media
1	19	B2	Movimiento Lento	0.5	Media
1	20	B2	Movimiento Lento	0.5	Media
1	21	B2	Movimiento Lento	0.5	Media
1	22	B2	Movimiento Rapido	0.5	Media
1	23	B2	Movimiento Rapido	0.5	Media
1	24	B1	Movimiento Rapido	1.0	Alta
1	25	B2	Movimiento Rapido	0.5	Media
2	1	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	2	B2	Ninguna	0.0	Baja
2	3	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	4	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	5	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	6	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	7	B2	Ninguna	0.0	Baja
2	8	B2	Ninguna	0.0	Baja
2	9	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
2	10	B1	Ninguna	0.0	Baja
2	11	B2	Ninguna	0.0	Baja
2	12	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	13	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
2	14	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	15	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
2	16	B3	Presion Lateral Baja	0.5	Media
2	17	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
2	18	B4	Presion Lateral Baja	0.0	Baja
2	19	B1	Ninguna	0.0	Baja
2	20	B2	Presion Lateral Media	1.0	Alta

**TABLA No. 6.9**  
**EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD**  
**BARRIO EL DORADO**

Numero Manzana	Numero Predio	Tipo Vivienda	Solicitud	Indice de Daño	Vulnerabilidad
2	21	B1	Presion Lateral Media	1.0	Alta
2	22	B3	Ninguna	0.0	Baja
2	23	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
3	1	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	2	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	3	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	4	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	5	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	6	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	7	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	8	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	9	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	10	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	11	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	12	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	13	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	14	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	15	B1	Ninguna	0.0	Baja
3	16	B2	Ninguna	0.0	Baja
3	17	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	18	B3	Ninguna	0.0	Baja
3	19	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	1	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	2	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	3	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	4	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	5	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	6	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	7	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	8	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	9	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	10	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	11	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	12	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	13	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	14	B3	Movimiento Lento	1.0	Alta
4	15	B2	Movimiento Lento	1.0	Alta
4	16	B2	Ninguna	0.0	Baja
4	17	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	18	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	19	B3	Ninguna	0.0	Baja
4	20	B1	Movimiento Lento	1.0	Alta
4	21	B3	Movimiento Lento	1.0	Alta
4	22	B2	Movimiento Lento	1.0	Alta
5	1	B3	Ninguna	0.0	Baja

**TABLA No. 6.9**  
**EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD**  
**BARRIO EL DORADO**

Numero Manzana	Numero Predio	Tipo Vivienda	Solicitud	Indice de Daño	Vulnerabilidad
5	2	B3	Ninguna	0.0	Baja
5	3	B2	Ninguna	0.0	Baja
5	4	B2	Presion Lateral Baja	0.5	Media
5	5	B2	Presion Lateral Media	1.0	Alta
5	6	B1	Ninguna	0.0	Baja
5	7	B2	Presion Lateral Alta	1.0	Alta
5	8	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	1	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	2	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	3	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	4	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	5	B2	Movimiento Lento	1.0	Alta
6	6	B2	Presion Lateral Media	1.0	Alta
6	7	B3	Ninguna	0.0	Baja
6	8	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	9	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	10	B3	Ninguna	0.0	Baja
6	11	B2	Ninguna	0.0	Baja
6	12	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	1	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	2	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	3	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	4	B3	Ninguna	0.0	Baja
7	5	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	6	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	7	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	8	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	9	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	10	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	11	B2	Ninguna	0.0	Baja
7	12	B3	Ninguna	0.0	Baja
7	13	B2	Ninguna	0.0	Baja

## Capítulo VII. EVALUACION Y ANALISIS DE RIESGO

### 7.1 DEFINICION

El riesgo se define como el efecto combinado de la probabilidad de ocurrencia de una falla y sus consecuencias en un contexto determinado (Blockley, 1992)<sup>1</sup>. Dados los resultados del estudio de amenaza y la inspección y caracterización de elementos expuestos, la evaluación del riesgo se dividió en dos, de acuerdo con el tipo de pérdidas: (1) afectación física (Valor económico directo); y (2) afectación social (número de muertos y heridos).

### 7.2 METODOLOGIA DE LA EVALUACION

En ambos casos, el riesgo se calculó por la siguiente expresión:

$$R = P_f * ID * C\$; \quad (7.1)$$

donde:

$P_f$ : Probabilidad de falla total

ID: Índice de Daño

$C\$$ : Costo de las viviendas o afectación de personas.

Una vez calculado el riesgo para la afectación física, se procedió a definir el índice de riesgo, IR, que sirvió de base para la zonificación de la zona de estudio y que se determinó mediante la siguiente expresión:

$$IR = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}; \quad (7.2)$$

donde  $R_i$  es el riesgo de falla en un caso dado;  $R_{\min}$  es el riesgo mínimo de falla en la zona de estudio y  $R_{\max}$  es el riesgo máximo de falla en la zona de estudio.

El cálculo tanto del riesgo como del Índice de Riesgo para las viviendas, se presenta en la Tabla No. 7.2.

La afectación de las personas por fenómenos de remoción en masa calculadas por la expresión (7.1), se presenta en la Tabla 7.3.



### 7.3 ZONIFICACION DEL RIESGO A FRM

Los valores de clasificación adoptados para el mapa de riesgo a los fenómenos de remoción en masa para las viviendas de la zona de estudio se presentan a continuación:

**TABLA No. 7.1**

Riesgo	Índice de Riesgo	Perdidas Económicas, Pesos
Alto	$>0.675$	10'345.829 a 15'903.654
Medio	$0.375 \leq IR \leq 0.675$	6'640.612 a 10'345.829
Bajo	$<0.375$	1'082.787 a 6'640.612

### 7.4 CONCLUSIONES

- En la evaluación del riesgo por afectación física no se consideraron los lotes, debido a que no existe un plan de desarrollo urbano de la zona de estudio que permita establecer el destino de los lotes existentes.
- Los costos de la infraestructura básica de servicios se incluyeron dentro del costo total del inmueble debido al carácter informal que tiene esta en la zona del estudio.
- Debido a la adopción del índice de riesgo como parámetro clasificador del riesgo para las viviendas, los resultados de la zonificación parecen no corresponder con aquellos obtenidos en la evaluación de amenaza y vulnerabilidad, explicándose esto, en que el índice de riesgo representa la variación de las pérdidas dentro de la zona en relación al inmueble de mayores pérdidas.
- Los inmuebles en las zonas críticas se caracterizan por ser ranchos o casas de un piso con un costo relativamente bajo de ahí que el costo de pérdida o riesgo se presente como bajo.
- Es importante destacar que, a pesar de que se siguieron criterios establecidos por la DPAE, con la metodología empleada se obtuvo un índice relativo de riesgo para la zona y que bajo ninguna circunstancia es comparable con otros sectores de la ciudad.

- En cuanto a la afectación de las personas no se espera que se presenten víctimas fatales debido a las características estructurales de las viviendas y a los bajos volúmenes involucrados en los posibles deslizamientos.

---

<sup>1</sup> Blockley, D.I.; *Engineering safety*. McGraw Hill, 1992.

T A B L A No. 7.2  
 BASE DE DATOS PARA EL CALCULO DEL MAPA  
 DE RIESGOS  
 BARRIO EL DORADO. LOCALIDAD SANTAFE

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Daño	Valor Predio	Costo Daños	Indice Riesgo Viviendas	Tipo de Riesgo
1	1	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	2	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	3	0,541	0,5	\$17.000.000,00	\$4.601.845,84	0,24	BAJO
1	4	0,541	0,5	\$22.000.000,00	\$5.955.329,90	0,33	BAJO
1	5	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	6	0,795	1,0	\$7.000.000,00	\$5.566.278,82	0,30	BAJO
1	7	0,795	1,0	\$5.000.000,00	\$3.975.913,44	0,20	BAJO
1	8	0,795	1,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	9	0,795	1,0	\$6.000.000,00	\$4.771.096,13	0,25	BAJO
1	10	0,795	1,0	\$8.000.000,00	\$6.361.461,51	0,36	BAJO
1	11	0,795	1,0	\$6.000.000,00	\$4.771.096,13	0,25	BAJO
1	12	0,795	1,0	\$5.000.000,00	\$3.975.913,44	0,20	BAJO
1	13	0,795	1,0	\$5.000.000,00	\$3.975.913,44	0,20	BAJO
1	14	0,795	1,0	\$5.000.000,00	\$3.975.913,44	0,20	BAJO
1	15	0,795	1,0	\$15.000.000,00	\$11.927.740,33	0,73	ALTO
1	16	0,541	0,5	\$12.000.000,00	\$3.248.361,77	0,15	BAJO
1	17	0,313	0,0	\$5.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	18	0,541	0,5	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	19	0,541	0,5	\$12.000.000,00	\$3.248.361,77	0,15	BAJO
1	20	0,541	0,5	\$8.000.000,00	\$2.165.574,51	0,07	BAJO
1	21	0,541	0,5	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
1	22	0,541	0,5	\$4.000.000,00	\$1.082.787,26	0,00	BAJO
1	23	0,541	0,5	\$9.000.000,00	\$2.436.271,32	0,09	BAJO
1	24	0,795	1,0	\$8.400.000,00	\$6.679.534,58	0,38	MEDIO
1	25	0,541	0,5	\$4.000.000,00	\$1.082.787,26	0,00	BAJO
2	1	0,313	0,0	\$60.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	2	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	3	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	4	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	5	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	6	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	7	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	8	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	9	0,541	0,5	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	10	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	11	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	12	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	13	0,541	0,5	\$12.000.000,00	\$3.248.361,77	0,15	BAJO
2	14	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	15	0,541	0,5	\$25.000.000,00	\$6.767.420,35	0,38	MEDIO
2	16	0,541	0,5	\$11.000.000,00	\$2.977.664,95	0,13	BAJO
2	17	0,541	0,5	\$5.000.000,00	\$1.353.484,07	0,02	BAJO
2	18	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	19	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	20	0,795	1,0	\$10.000.000,00	\$7.951.826,89	0,46	MEDIO
2	21	0,795	1,0	\$15.000.000,00	\$11.927.740,33	0,73	ALTO
2	22	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
2	23	0,541	0,5	\$7.000.000,00	\$1.894.877,70	0,05	BAJO

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Daño	Valor Predio	Costo Daños	Indice Riesgo Viviendas	Tipo de Riesgo
3	1	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	2	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	3	0,313	0,0	\$12.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	4	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	5	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	6	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	7	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	8	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	9	0,313	0,0	\$18.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	10	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	11	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	12	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	13	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	14	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	15	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	16	0,313	0,0	\$8.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	17	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	18	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
3	19	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	1	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	2	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	3	0,313	0,0	\$6.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	4	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	5	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	6	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	7	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	8	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	9	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	10	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	11	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	12	0,313	0,0	\$50.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	13	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	14	0,795	0,5	\$18.000.000,00	\$7.156.644,20	0,41	MEDIO
4	15	0,795	0,5	\$25.000.000,00	\$9.939.783,61	0,60	MEDIO
4	16	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	17	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	18	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	19	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
4	20	0,795	1,0	\$15.000.000,00	\$11.927.740,33	0,73	ALTO
4	21	0,795	1,0	\$7.000.000,00	\$5.566.278,82	0,30	BAJO
4	22	0,795	1,0	\$15.000.000,00	\$11.927.740,33	0,73	ALTO

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Daño	Valor Predio	Costo Daños	Indice Riesgo Viviendas	Tipo de Riesgo
5	1	0,313	0,0	\$18.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
5	2	0,313	0,0	\$30.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
5	3	0,313	0,0	\$80.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
5	4	0,541	0,5	\$30.000.000,00	\$8.120.904,42	0,47	MEDIO
5	5	0,795	1,0	\$20.000.000,00	\$15.903.653,77	1,00	ALTO
5	6	0,313	0,0	\$5.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
5	7	0,795	1,0	\$10.000.000,00	\$7.951.826,89	0,46	MEDIO
5	8	0,313	0,0	\$7.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	1	0,313	0,0	\$30.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	2	0,313	0,0	\$6.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	3	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	4	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	5	0,795	1,0	\$12.000.000,00	\$9.542.192,26	0,57	MEDIO
6	6	0,795	1,0	\$13.000.000,00	\$10.337.374,95	0,62	MEDIO
6	7	0,313	0,0	\$12.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	8	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	9	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	10	0,313	0,0	\$60.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	11	0,313	0,0	\$30.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
6	12	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	1	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	2	0,313	0,0	\$10.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	3	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	4	0,313	0,0	\$35.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	5	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	6	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	7	0,313	0,0	\$0,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	8	0,313	0,0	\$12.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	9	0,313	0,0	\$20.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	10	0,313	0,0	\$15.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	11	0,313	0,0	\$25.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	12	0,313	0,0	\$30.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO
7	13	0,313	0,0	\$14.000.000,00	\$0,00	0,00	BAJO

**T A B L A No 7.3**  
**BASE DE DATOS PARA EL CALCULO DE**  
**AFECTACION DE PERSONAS**  
**BARRIO EL DORADO, LOCALIDAD SANTAFE**

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Afectacion	Numero Personas	Personas Afectadas
1	1	0,313	0,005	4	0,00
1	2	0,313	0,005	0	0,00
1	3	0,541	0,07	6	0,00
1	4	0,541	0,07	14	0,00
1	5	0,313	0,005	4	0,02
1	6	0,795	0,1	3	0,00
1	7	0,795	0,1	3	0,40
1	8	0,795	0,1	0	0,24
1	9	0,795	0,1	0	0,24
1	10	0,795	0,1	11	0,32
1	11	0,795	0,1	0	0,56
1	12	0,795	0,1	5	0,32
1	13	0,795	0,1	3	0,48
1	14	0,795	0,1	3	0,32
1	15	0,795	0,1	4	0,40
1	16	0,313	0,07	7	0,26
1	17	0,313	0,005	4	0,00
1	18	0,313	0,005	6	0,00
1	19	0,313	0,005	4	0,02
1	20	0,313	0,005	5	0,01
1	21	0,313	0,005	12	0,02
1	22	0,541	0,07	1	0,15
1	23	0,541	0,07	1	0,19
1	24	0,795	0,1	10	0,24
1	25	0,541	0,07	5	0,19
2	1	0,313	0,005	10	0,02
2	2	0,313	0,005	4	0,02
2	3	0,313	0,005	5	0,03
2	4	0,313	0,005	3	0,03
2	5	0,313	0,005	5	0,00
2	6	0,313	0,005	10	0,02
2	7	0,313	0,005	12	0,00
2	8	0,313	0,005	22	0,01
2	9	0,541	0,07	16	0,19
2	10	0,313	0,005	0	0,01
2	11	0,313	0,005	10	0,02
2	12	0,313	0,005	3	0,00
2	13	0,541	0,07	6	0,64
2	14	0,313	0,005	5	0,00
2	15	0,541	0,07	6	0,30
2	16	0,541	0,07	10	0,11
2	17	0,541	0,07	2	0,00
2	18	0,313	0,005	17	0,00
2	19	0,313	0,005	0	0,01
2	20	0,795	0,1	8	0,08
2	21	0,795	0,1	3	0,32
2	22	0,313	0,005	0	0,00
2	23	0,541	0,07	3	0,08

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Afectacion	Numero Personas	Personas Afectadas
3	1	0,313	0,005	4	0,01
3	2	0,313	0,005	1	0,01
3	3	0,313	0,005	4	0,00
3	4	0,313	0,005	0	0,00
3	5	0,313	0,005	2	0,01
3	6	0,313	0,005	6	0,01
3	7	0,313	0,005	4	0,01
3	8	0,313	0,005	2	0,01
3	9	0,313	0,005	3	0,01
3	10	0,313	0,005	6	0,01
3	11	0,313	0,005	9	0,03
3	12	0,313	0,005	4	0,01
3	13	0,313	0,005	8	0,02
3	14	0,313	0,005	7	0,01
3	15	0,313	0,005	8	0,01
3	16	0,313	0,005	18	0,01
3	17	0,313	0,005	5	0,00
3	18	0,313	0,005	10	0,00
3	19	0,313	0,005	4	0,02
4	1	0,313	0,005	5	0,01
4	2	0,313	0,005	5	0,01
4	3	0,313	0,005	3	0,01
4	4	0,313	0,005	3	0,01
4	5	0,313	0,005	10	0,02
4	6	0,313	0,005	4	0,02
4	7	0,313	0,005	4	0,02
4	8	0,313	0,005	6	0,01
4	9	0,313	0,005	8	0,01
4	10	0,313	0,005	10	0,02
4	11	0,313	0,005	14	0,01
4	12	0,313	0,005	15	0,01
4	13	0,313	0,005	8	0,01
4	14	0,795	0,07	5	0,45
4	15	0,795	0,07	10	0,39
4	16	0,313	0,005	5	0,01
4	17	0,313	0,005	9	0,02
4	18	0,313	0,005	6	0,01
4	19	0,313	0,005	8	0,02
4	20	0,795	0,1	7	0,32
4	21	0,795	0,1	7	0,40
4	22	0,795	0,1	10	1,43

Numero Manzana	Numero Predio	Probab Falla	Indice Afectacion	Numero Personas	Personas Afectadas
5	1	0,313	0,005	7	0,01
5	2	0,313	0,005	13	0,00
5	3	0,313	0,005	4	0,01
5	4	0,541	0,07	5	0,45
5	5	0,795	0,1	18	1,19
5	6	0,313	0,005	4	0,01
5	7	0,795	0,1	1	0,00
5	8	0,313	0,005	6	0,01
6	1	0,313	0,005	12	0,01
6	2	0,313	0,005	15	0,01
6	3	0,313	0,005	8	0,01
6	4	0,313	0,005	0	0,01
6	5	0,795	0,1	5	0,80
6	6	0,795	0,1	4	0,32
6	7	0,313	0,005	6	0,00
6	8	0,313	0,005	4	0,02
6	9	0,313	0,005	4	0,02
6	10	0,313	0,005	10	0,01
6	11	0,313	0,005	4	0,01
6	12	0,313	0,005	3	0,01
7	1	0,313	0,005	12	0,01
7	2	0,313	0,005	15	0,01
7	3	0,313	0,005	4	0,01
7	4	0,313	0,005	5	0,01
7	5	0,313	0,005	6	0,01
7	6	0,313	0,005	5	0,01
7	7	0,313	0,005	5	0,01
7	8	0,313	0,005	6	0,01
7	9	0,313	0,005	6	0,00
7	10	0,313	0,005	5	0,00
7	11	0,313	0,005	4	0,00
7	12	0,313	0,005	7	0,00
7	13	0,313	0,005	8	0,00



## **Capítulo VIII. OBRAS DE MITIGACION**

### **8.1 INTRODUCCION**

Una vez realizadas las evaluaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del sector sur del Barrio El Dorado, se definieron tres zonas calificadas como de alto riesgo sobre las cuales el Consultor debía plantear una serie de alternativas de estabilización a los fenómenos de remoción en masa que allí se presentan.

Las tres zonas, que en adelante se llamaran críticas, y sobre las cuales el Consultor desarrollo planteamientos básicos de obras de mitigación son las siguientes:

- Sector del Muro en Concreto;
- Sector del Bosque Borracho; y
- Sector de la vía a Vitelma

### **8.2 PLANTEAMIENTOS BÁSICOS PARA LAS OBRAS DE MITIGACION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

De acuerdo con las características de cada una de las zonas críticas descritas en detalle en el capítulo 3 del presente informe y los resultados de los análisis de estabilidad se presentó a consideración de la DPAE y la Interventoría del estudio el tratamiento particular para cada una de ellas, así:

- Sector del Muro en Concreto:
  - desalojo completo de la población afectada;
  - demolición del muro en concreto existente;
  - construcción de un sistema de subdrenes para el manejo de aguas de infiltración;
  - construcción de un muro en gaviones en el sector medio de la zona para aislar la parte baja de la ladera;
  - construcción de una vía peatonal sobre la carrera 7 A, aquí se plantearon tres alternativas para el muro de contención que conformara la banca, gaviones, concreto ciclópeo y suelo reforzado con geotextil;

- construcción de senderos escaleras para el manejo de las aguas de escorrentía; y
- reforestación arbustiva.
- Sector del Bosque Borracho:
  - desalojo completo de la población afectada;
  - construcción de un sistema de subdrenes para el manejo de aguas de infiltración;
  - construcción de un muro en gaviones en la parte baja de la zona para proteger una vía existente;
  - construcción de senderos escaleras para el manejo de las aguas de escorrentía; y
  - reforestación arbustiva.
- Sector de la vía a Vitelma
  - construcción de un muro en gaviones en la parte baja de la zona para proteger la vía a Vitelma; y
  - protección de taludes en roca con concreto lanzado.

Para cada una de las alternativas antes mencionadas el Consultor preparo un presupuesto aproximado del costo de las obras que se presenta en el Anexo 6 y realizo una serie de análisis probabilísticos de estabilidad considerando el efecto de las obras en el comportamiento de las laderas.

Como es claro de la exposición anterior sobre las obras de mitigación planteadas, se trata de modificar el efecto del agua tanto de escorrentía superficial como subsuperficial en las laderas, por lo que para efectos de análisis se modelaron los taludes totalmente drenados y se obtuvieron los resultados de la tabla 8.1 en donde se compara la condición a largo plazo con obras y sin obras de mitigación, en donde es muy claro que el efecto estabilizador de estas medidas no es precario, a manera de ejemplo, para un talud con espesor de suelo de 2.5 m y una pendiente de 25 grados se pasa de un factor de seguridad de 0.97 a 1.18.

Los altos costos de las obras y su bajo efecto sobre la estabilidad global de las laderas en las zonas criticas llevaron a la DPAE y a la Interventoría del estudio a

limitar la intervención en cuanto a obras de mitigación al esquema que se plantea a continuación.

### **8.3 ESQUEMA DEFINITIVO DE LAS OBRAS DE MITIGACION**

Del análisis de las condiciones encontradas en cada una de las zonas críticas y de las diferentes alternativas de mitigación se dio prioridad a la intervención en el sector del muro por ser este el de mayor densidad de población seguido por el sector del bosque borracho, dejando sin ningún tratamiento el sector de la vía a Vitelma por no representar en este momento ningún tipo de riesgo.

Las obras de mitigación recomendadas para el barrio El Dorado, sector sur, son presentadas en los planos No. 9 a 14 y su desarrollo está comprendido en dos fases. La Fase I consistente en la reconstrucción de la vía en la zona del muro con sus respectivos sistemas de drenaje y la adquisición de los predios calificados con índice de daño alto mostrados en el plano 7 de vulnerabilidad de la zona de estudio. La Fase II cubre las demás obras de mitigación tales como el sistema de filtros, caminos adoquinados y demás obras comunitarias de acuerdo a los planteamientos paisajísticos recomendados para la zona y que se explican a continuación.

#### **8.3.1 OBRAS DE PRIMERA FASE**

Las obras de primera fase recuperaran la carrera 7 A, creando una vía de uso exclusivamente peatonal y que esta conformada por un muro de contención en suelo reforzado con geotextil.

##### **Características del muro de contención en suelo reforzado con geotextil.**

El muro de 185 m de longitud y altura máxima de 4,5 m se construirá en suelo granular tipo B-400, en capas de 0.30m de espesor, las cuales están separadas con telas de geotextil tejido que sirve como elemento de refuerzo. El muro tendrá un ancho equivalente al 80% de la altura. Los muros de tierra reforzada se cimentarán totalmente en la arcillolita. La flexibilidad de esta estructura, su facilidad de construcción, baja sollicitación de esfuerzos en la fundación, hace que este tipo de estructura sea la más favorable para el caso particular de la re conformación de la vía, en la zona del deslizamiento. Como elemento de

protección de la cara del muro, se planteo la colocación de un recubrimiento en mortero 1:2 de 5 cm de espesor que cuenta con un refuerzo en malla con vena y tubería PVC de 1 pulgada de diámetro ranurada como lloraderos. Este recubrimiento protege al geotextil contra la acción de los rayos UV.

En el plano No. 10 se presenta la planta del peatonal, en los planos del 11 al 13 las secciones transversales donde se indican todos los detalles necesarios para la construcción del muro, tales como, los niveles de cimentación, zonificación del los rellenos, detalles de cunetas, sardineles, etc.

Finalmente, la estructura de la vía se realizara con adoquines de arcilla sobre una capa de arena.

Las especificaciones técnicas para la construcción del muro de contención en suelo reforzado con geotextil y los análisis de estabilidad pertinentes se presentan en el Anexo 6.

#### **Método propuesto de construcción**

Estas obras se inician con la demolición de dos viviendas (ranchos tipo B1) situadas sobre la Carrera 7ª y el muro de concreto existente por medios mecánicos, estas construcciones, además de estar en pésimas condiciones de estabilidad se encuentran sobre el alineamiento del peatonal.

Luego, se deberá proceder a reemplazar las tuberías de concreto, por tubería PVC, incluyendo el sector central, hasta garantizar un buen empalme con la red del alcantarillado existente en el barrio. Esta tubería se debe llevar hasta cimentarla en la arcillolita.

Una vez realizado el replanteo del peatonal, se realizará el descapote y las excavaciones del muro en suelo reforzado con geotextil.

El muro en tierra reforzada se deberá cimentar completamente en la arcillolita o arenisca meteorizadas. Las excavaciones en roca meteorizada se pueden dejar con taludes verticales, en forma escalonada, de tal manera que el escalón inferior tenga una huella del 80% de la altura, para ir disminuyendo hasta llegar a la base del filtro.

También se realizarán las excavaciones y construcciones de los pozos del

alcantarillado que recibirán las aguas lluvias de las cunetas. Estos pozos se conectarán mediante tuberías PVC a los pozos de la red existente del alcantarillado.

Después de haberse realizado las excavaciones se efectuarán los rellenos con material granular (B-400) para el muro y recebo (B-200) en el espaldar de éste. A medida que se van colocando las capas de 0.30m de material granular se colocarán las telas del geotextil tejido, envolviendo y traslapando el material con el geotextil. Con el fin de dejar un buen terminado en la cara externa del muro, se irá conformando el relleno dentro de la formaleta que se va trasladando a medida que sube la construcción del muro.

Luego, de concluirse el muro de tierra reforzada, se procederá a la excavación de la zanja que alojará el filtro en gravas y geotextil no tejido. Una vez construido el filtro se colocará una capa impermeable de material arcilloso y finalmente se construirán las cunetas, el andén y se instalará la estructura de la vía y la baranda metálica de protección.

### **8.3.1 OBRAS DE SEGUNDA FASE**

Las obras de segunda fase consideran la reforestación con especies nativas del cordón central de la zona de estudio con especies recomendadas por el Jardín Botánico tales como el Caseto, Arrayán, Sietecueros, Cerezo, Chicalá, Carbonero entre otras.

Además, en esta fase se considera la construcción de los sistemas de manejo de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial (Véase Plano 9) asociados con los senderos en escaleras y adoquines. Los primeros contarán con cunetas revestidas, canales colectores escalonados que recibirán las aguas provenientes de las cunetas y los subdrenes y cajas desarenadoras en las cunetas. El caudal máximo para un periodo de retorno de 5 años que entregara el sistema al alcantarillado existentes será de 25.8 lt/s.

Las aguas de infiltración se manejarán por medio de un sistema de subdrenes o filtros en grava protegidos con geotextil no tejido, instalados en zanjas sobre el cual se colocara un relleno impermeable compactado procedente de la misma

excavación, los cuales entregan en una caja y estos a su vez a los canales colectores.

### **Método propuesto de construcción**

#### *Red de filtros*

Estas obras se iniciarán con el replanteo de los filtros, luego se procederá a la construcción de la caja colectora del filtro y su conexión mediante tubería PVC, hasta descargar en una cuneta o en un pozo del alcantarillado existente. Luego se procede a efectuar las excavaciones, de abajo hacia arriba, de tal manera que siempre haya un buen drenaje. Una vez abierta la excavación se colocará el geotextil no tejido, cubriendo el fondo y las paredes, para luego continuar con el relleno del material filtrante, hasta finalizar cubriendo la totalidad de la excavación traslapando el geotextil. Esta labor continua con la construcción del relleno superior con material arcilloso, con el fin de sellar el filtro del agua directa de escorrentía superficial.

#### *Senderos en escalera*

Esta obra se inicia con el replanteo, luego sigue con las excavaciones de abajo hacia arriba, tanto del andén como de la cuneta escalonados.

A medida que se va avanzando en las excavaciones se procederá a la colocación de la armadura y formaletas de las escaleras y cunetas, para luego ir colocando el concreto de estas estructuras.

#### *Senderos en adoquines*

Los senderos en adoquines se inician con el replanteo topográfico, luego se procede a la conformación de la subrasante del camino, efectuando las excavaciones requeridas. Luego se procede a la construcción de las cunetas revestidas en concreto y los sardineles de confinamiento. Una vez realizadas las anteriores obras, se efectúa la colocación de la capa de arena de nivelación y los adoquines, debidamente compactados.

## **8.4 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS DE MITIGACION**

### **8.4.1 REUBICACIÓN DE VIVIENDAS**

De acuerdo a los resultados de las metodologías utilizadas, las cuales fueron

explicadas en detalle en los capítulos 6,7 y 8, se desprende la necesidad de adoptar dentro de las obras de mitigación la medida urgente de reubicación de familias.

Con base en la delimitación de las áreas de AVR, se determinaron un total de 18 predios por reubicar, 11 de la manzana No. 1, 2 de la manzana No. 2, 3 de la manzana No. 4 y 2 de la manzana No. 5, para un total de 96 personas organizadas en 26 familias. Los sectores más comprometidos con la medida son la manzana No. 1 (9 familias) denominada Zona Baja del Muro, la manzana No. 5 denominada Bosque Borracho (7 familias) y la manzana No. 4 denominada Zona Alta del Muro (6 familias).

La Tabla No. 8.2 que se presenta a continuación, resume el número de familias, personas y costo de los predios involucrados con la medida; la Tabla No. 8.2 destaca que el costo por predios es mayor para la manzana No. 1 (43.35 %), seguido de la manzana No. 4 (22.78 %). La inversión total por predios asciende a \$162'400.000 equivalente a \$129'137.669 en función del cálculo en donde se considera el Índice de Daño.

**TABLA 8.2 RESUMEN DE PREDIOS, NUMERO DE FAMILIAS Y COSTO DE DAÑOS DE LOS SECTORES POR REUBICAR**

NUMERO MANZANA	NUMERO PREDIO	TIPO VIVIENDA	NUMERO FAMILIAS	NUMERO RESIDENTES	VALOR PREDIO	COSTO DAÑOS
1	6	B2	1	3	\$7.000.000	\$5.566.279
1	7	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
1	8	B1	0	0		
1	9	B1	0	0	\$6.000.000	\$4.771.096
1	10	B1	1	11	\$8.000.000	\$6.361.462
1	11	B1	1	0	\$6.000.000	\$4.771.096
1	12	B1	1	5	\$5.000.000	\$3.975.913
1	13	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
1	14	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
1	15	B1	1	4	\$15.000.000	\$11.927.740

NUMERO MANZANA	NUMERO PREDIO	TIPO VIVIENDA	NUMERO FAMILIAS	NUMERO RESIDENTES	VALOR PREDIO	COSTO DAÑOS
1	24	B1	1	10	\$8.400.000	\$6.679.535
2	20	B2	3	8	\$10.000.000	\$7.951.827
2	21	B1	1	3	\$15.000.000	\$11.927.740
4	20	B1	3	7	\$15.000.000	\$11.927.740
4	21	B3	2	7	\$7.000.000	\$5.566.279
4	22	B2	1	10	\$15.000.000	\$11.927.740
5	5	B2	5	18	\$20.000.000	\$15.903.654
5	7	B2	2	1	\$10.000.000	\$7.951.827
		Σ =	26	96	\$162.400.000	\$129.137.669

**TABLA 8.3 RESUMEN DE NUMERO DE FAMILIAS Y COSTO DE PREDIOS POR SECTOR.**

MANZANA	NUMERO FAMILIAS	NUMERO RESIDEN	VALOR PREDIO	COSTO DAÑOS	PORCENT. POR SECT.
1	9	42	\$70.400.000	\$55.980.861	43.35%
2	4	11	\$25.000.000	\$19.879.567	15.40%
4	6	24	\$37.000.000	\$29.421.759	22.78%
5	7	19	\$30.000.000	\$23.855.481	18,47%
Σ =	26	96	\$162.400.000	\$129.137.669	100,00%

Es importante destacar con respecto al documento de Análisis de Riesgos No. 578 facilitado por la DPAE, y que fue elaborado con base en los eventos ocurridos en marzo 1, 2, 9 y 10 de 1999, que seis de las familias relacionadas para evacuación inmediata no habitan actualmente el sector, razón por la cual no están registradas en las encuestas adelantadas por el Consorcio. La totalidad de las personas mencionadas, pertenecían a la manzana No. 1 (Zona del Muro) en donde se presentaron los mayores daños. La Tabla No. 8.4 que se presenta a continuación, lista los nombres de las familias relacionadas por la DPAE en aquel entonces, con el número de personas que componían dicho núcleo familiar.



Adicionalmente, en dicha tabla se indica para aquellas familias que residen actualmente, el número de la encuesta elaborada por el Consorcio y que puede ser consultada en el Anexo No. 5.

**TABLA 8.4 RELACION DE FAMILIAS CENSADAS POR LA DPAE PARA EVACUACION INMEDIATA. MARZO DE 1999.**

NOMBRE (CABEZA DE FAMILIA Y / O PROPIETARIO)	NUMERO FAMILIAS	NUMERO DE PERSONAS		ENCUESTAS CONSORCIO SEP / 99
		ADULTOS	NIÑOS	
Gonzalo Alberto Vásquez Páez	1	4		S1 - NH
Carmenza Maldonado	2	11	7	S1-10
Gladys Céspedes Parra	1	1	1	S1-11
Gloria Ester Zárate	1	3	4	S1-9
Edilma Quintero	1	4	3	S1 - NH
Silviana Sierra	1	1	3	S1 - NH
Luz Mery Hurtado	1	3	3	S1 - NH
María Vargas Lugo	1	1	2	S1-7
José Libardo Pérez Caraballo	1	4	3	S1-23
Germán Montero Galeón	1	1		S1-22
Gustavo Alborera	1	ND	ND	S1 - NH
María Yolanda Díaz Salamanca	1	ND	ND	S1-6
Tomás Emilio Montero	1			S1-12
Amadeo Osorio	1	3	2	S1 - NH
María Soledad Orozco	1	1*	6	S1-13
Graciela Patiño	3	6	5	S2-21
María del Tránsito Páez	4	9	14	S2-20
Luis Alfredo Sabogal	1	2	2	S2-19
Lucinda Anzola	1	1	1	S2-17
$\Sigma =$	25	55	55	

\* : Embarazada, ND : Información No Disponible, EN: No Habitan Actualmente

Con base en la información recopilada por el Consorcio y suministrada por la DPAE, se determinó que algunos habitantes del sector han trasladado sus residencias a otros lugares. En general, el número de personas cubiertas por el plan de reubicación de la Oficina de Prevención (110 personas), prácticamente es coincidente con el recomendado en el estudio (105 personas), a pesar de tratarse de un número diferente de familias, pues el Diagnóstico de la DPAE contabilizó 25, mientras que las contabilizadas en el estudio, ascienden a 26.

#### **8.4.2 OBRAS INGENIERILES DE MITIGACIÓN**

En el capítulo 9 se presenta el presupuesto de las Obras de Mitigación, el cual comprende dos fases de construcción, siendo la Fase I, la correspondiente a la reconstrucción de la vía y el adquisición de 18 predios y que será desarrollada de inmediato por la DPAAE y la Fase II en la cual podrán intervenir entidades tales como la EAAB, la Junta de Acción Comunal del barrio y el IDU. El costo de las obras de mitigación para la Fase I, se estima en \$192.742516 (incluido IVA y AIU), y de \$214.156.637 para la Fase II.



## Capítulo IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con la investigación geológica y geotécnica, se determinó que las rocas predominantes en el sector del área de estudio están constituidas por intercalaciones de arcillolita rojiza a magenta y arenisca, limosa habana a carmelita rojiza. Estas rocas están cubiertas por depósitos de pendiente como coluviones, derrumbes recientes, suelos residuales, y suelos orgánicos limo-arcillosos que presentan espesores variables entre 1.0 m y 4.0 m.
2. Los movimientos registrados el pasado mes de marzo de 1999 en la zona del muro, se produjeron por la infiltración de agua dentro del suelo de la ladera. Estos movimientos ocasionaron el desplazamiento del suelo de conformación del relleno posterior del muro en forma de flujo, lo cual afectó en forma directa las viviendas de la parte baja. Así mismo, el muro en concreto que descansa sobre la Carrera 7A se agrietó como consecuencia del movimiento y adicionalmente, se sucedió la pérdida de la banca de la vía que dejó al descubierto la arcillolita sobre la cual están cimentadas las casas 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5 y 4-12.
3. El estudio determinó tres sectores de procesos activos que pueden comprometer la seguridad de los habitantes más próximos; estos son :
  - Sector del Muro : Comprendido entre la antigua Carrera 7A Este y la Transversal 7 Este.
  - Sector del Bosque Borracho: Comprendido entre la Carrera 7B Este - Carrera 7A Este y la Transversal 7.
  - Sector Vía a Vitelma: Escarpe cuyo límite inferior limita con la Transversal 7.
4. Se establecieron que los actuales factores detonantes de los movimientos son las aguas de infiltración y la intervención antrópica.
5. En lo referente a las aguas de infiltración, se tiene que estas tienen lugar en

- vertimientos indiscriminados de aguas negras por malas conexiones y a fugas de alcantarillado combinado (lluvias y negras) existente en la zona.
6. En lo que respecta a la intervención antrópica, se tiene que el hombre ha excavado en la zona para extraer materiales de construcción, y ha rellenado estos sitios y la propia ladera con materiales heterogéneos, consistentes en escombros de construcción y suelos de excavación de baja compactación expuestos a erosión y deslizamiento.
  7. Las zonas detectadas en los estudios como de amenaza alta, están delimitadas en los planos de AVR. Con base en ellos se deberá implementar la normativa necesaria por parte de la DPAE para establecer la evacuación y respectiva prohibición de asentamientos humanos actuales y futuros en el sector. En términos generales, la zona que debe quedar libre de viviendas comprende el cordón medio de la ladera sobre la que se localiza el área del estudio. Las gráficas de Consolidación de las Estructuras de Vivienda y de Servicios Comunes del Estudio Paisajístico del Anexo 7 refuerzan lo anterior, destacando una distribución nueva de lotes y una serie de zonas para el servicio de los habitantes, en áreas donde actualmente existen algunas viviendas.
  8. Con la identificación de los sectores de amenaza alta, determinados por medio de las metodologías de Amenaza-Vulnerabilidad y Riesgo, explicadas en los numerales 5, 6 y 7, se identificó plenamente la necesidad de reubicar algunas familias cuya seguridad está comprometida, por encontrarse dentro de estas áreas. De acuerdo con lo registrado en los Formularios de Inventario de Viviendas, se trata de 96 personas por reubicar que están, concentradas en 26 familias y cuyos predios ascienden a un costo de \$162'400.000 (Costo de daños \$129'137.669). La Tabla No. 9.1, contiene la identificación de los predios de acuerdo a la manzana, el tipo de vivienda, el número de residentes, el valor del predio, el costo de daños y la lista de las personas que las habitan.
  9. De acuerdo a las visitas técnicas adelantadas permanentemente a la zona, se encontraron que las casas 5 y 6 de la Manzana No. 6 deben ser evacuadas, a

pesar de no estar comprendidas dentro del área de estudio, el mapa No.7 las destaca en vulnerabilidad Alta y recomienda a la DPAE adelantar una evaluación particular para ellas.

10. Para estabilizar los fenómenos activos presentes hoy en día en el área de estudio se plantean medidas de mitigación relacionadas principalmente con el manejo y drenaje de las aguas de escorrentía y subsuperficiales.

11. De acuerdo con lo anterior, las obras de Mitigación que fueron aprobadas en conjunto con la Interventoría y el DPAE, son las siguientes :

- \* Reconfiguración de la Carrera 7A por medio de suelo reforzado con geotextil. El uso de esta carrera será estrictamente peatonal.
- \* Construcción de cunetas revestidas en concreto para coleccionar las aguas de escorrentía superficial.
- \* Construcción de filtros para la captación y manejo de las aguas sub-superficiales.
- \* Colectores y disipadores escalonados para el manejo de las aguas superficiales. Esta obra corresponde básicamente a una escalera peatonal que lleva en uno de sus costados una cuneta escalonada.
- \* Senderos adoquinados con sus respectivas cunetas revestidas.

12. El costo de las obras de mitigación está dividido en dos fases. La Fase I comprende la reconstrucción de la carrera 7A y la adquisición de los 18 predios listados en la Tabla No. 8.1, esta fase será desarrollada de inmediato por la DPAE mientras que la Fase II en la cual intervendrán entidades tales como la EAAB, la Junta de Acción Comunal del barrio y el IDU comprende las demás obras de mitigación planteadas en el presente estudio (Escalera Central, Senderos Adoquinados y Filtros). El costo de las obras de mitigación para la Fase I, se estima en \$192.742516 (incluido IVA y AIU), y de \$214.156.637 para la Fase II. Las tablas 9.2 y 9.3 discriminan las Cantidades de Obras requeridas para cada una de las fases explicadas.

TABLA No 9.1

TABLA RESUMEN DE FAMILIAS POR REUBICAR. COSTO DE PREDIOS

NUMERO MANZANA	NUMERO PREDIO	NOMBRE	DIRECCION	TIPO VIVIENDA	NUMERO FAMILIAS	NUMERO RESIDENT	VALOR PREDIO	COSTO DAÑOS
1	6	JOSE VILLADISAN	Cra 7 Este No 4-61 Sur	B2	1	3	\$7.000.000	\$5.566.279
2	7	MARIA MARGARITA VARGAS LUGO	Cra 7 Este No 4-89 Sur	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
3	8	VIVIENDA DESOCUPADA	RANCHO	B1	0	0		
4	9	GLORIA ESTHER ZARATE	Cra 7A Este No 4-89 Sur	B1	0	0	\$6.000.000	\$4.771.096
5	10	MARIA DEL CARMEN MALDONADO	Cra 7A Este No 4-89 Sur	B1	1	11	\$8.000.000	\$6.361.462
6	11	GLADYS CESPEDES	Cra 7A Este No 4-89 Sur	B1	1	0	\$6.000.000	\$4.771.096
7	12	TOMAS EMILIO MONTERO	Cra 7 Este No 4-43 Sur	B1	1	5	\$5.000.000	\$3.975.913
8	13	SOLEDAD MARIA OROZCO	Cra 7 Este No 4-49 Sur	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
9	14	FABIO VELASCO	Transv. 7A Este No. 4-43 Sur	B1	1	3	\$5.000.000	\$3.975.913
10	15	JORGE ERNESTO MARTINEZ	Cra 7 Este No 4-33 Sur	B1	1	4	\$15.000.000	\$11.927.740
11	24	MARIA CECILIA POBLADOR	Cra 7 Este No 4-62 Sur	B1	1	10	\$8.400.000	\$6.679.535
12	20	MARIA DEL TRANSITO PAEZ	Cra 7A Este No 4-38 Sur	B2	3	8	\$10.000.000	\$7.951.827
13	21	GRACIELA PATIÑO	Cra 7A Este No 4-38 Sur	B1	1	3	\$15.000.000	\$11.927.740
14	20	HERNANDO FUENTES	Cra 7A Este No 5-40 Sur	B1	3	7	\$15.000.000	\$11.927.740
15	21	ALCIDES SANTAFE BELTRAN	Cra 7A Este No 5-40 Sur	B3	2	7	\$7.000.000	\$5.566.279
16	22	ANA CELMIRA ESPITIA DE PARRA	Cra 7A Este No 4-82 Sur	B2	1	10	\$15.000.000	\$11.927.740
17	5	ERNESTINA CLAVIJO	Transv. 6 Este No. 1-12 Sur	B2	5	18	\$20.000.000	\$15.903.654
18	7	ROSA MARIA SALAMANCA	Transv. 6 Este No. 7-32 Sur	B2	2	1	\$10.000.000	\$7.951.827
			Σ =		26	96	\$162.400.000	\$129.137.669

NOTA : Para mayor información, consúltense los respectivos Formularios de Inventario de Viviendas en el Anexo 6.

TABLA No. 9.2

PRESUPUESTO ESTIMADO OBRAS DE MITIGACION. PEATONAL SUPERIOR  
FASE I

ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIF.	UNIDAD	CANTIDAD	VIUNITARIO (\$)	V/TOTAL (\$)
<b>1</b>	<b>ACTIVIDADES PRELIMINARES</b>					
1.1	Demolición de Muro existente	Capitulo 12	m	17,9	\$30.000	\$537.000
1.2	Demolición y retiro de viviendas	Capitulo 12	un	18	\$750.000	\$13.500.000
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES</b>					
2.1	Muro de contención de suelo reforzado con geotextil	Capitulo 4	m3	1.650,00	\$17.500	\$28.875.000
2.2	Desmonte y limpieza	Capitulo 1	m2	962,00	\$3.000	\$2.886.000
<b>3</b>	<b>RELLENOS</b>					
3.1	Relleno en material B-400	Capitulo 4	m3	1.132,50	\$17.500	\$19.818.750
3.2	Relleno en material B-200	Capitulo 4	m3	170,00	\$12.000	\$2.040.000
3.3	Geotextil tejido PAVCO 2100 o similar para refuerzo	Capitulo 5	m2	3.600,00	\$2.900	\$10.440.000
<b>4</b>	<b>PROTECCION Y DRENAJE CARA DEL MURO DE CONTENCIÓN DE SUELO REFORZADO</b>					
4.1	Mailla con vena	Capitulo 6	m2	455,00	\$4.400	\$2.002.000
4.2	Tubos PVC perforados D= 1 pulgada , L=0.50m	Capitulo 11	un	250,00	\$25.000	\$6.250.000
4.3	Mortero 1:2	Capitulo 14	m2	455,00	\$5.200	\$2.366.000
<b>5</b>	<b>CONCRETOS</b>					
5.1	Andenes	Capitulo 7	m3	21,00	\$250.000	\$5.250.000
5.2	Sardineles	Capitulo 7	m3	8,00	\$280.000	\$2.240.000
5.3	Cunetas	Capitulo 7	m3	21,00	\$350.000	\$7.350.000
5.4	Cajas	Capitulo 7	m3	5,00	\$380.000	\$1.900.000
5.5	Concreto Clase D para Escaleras	Capitulo 7	m3	8,00	\$380.000	\$3.040.000
	Tapas prefabricadas en concreto Clase D	Capitulo 7	un	1.850,00	\$1.750	\$3.237.500
<b>6</b>	<b>ACERO DE REFUERZO</b>					
6.1	Acero de refuerzo Grado 60	Capitulo 6	kg	2.670,00	\$1.000	\$2.670.000
<b>7</b>	<b>DRENES (1,0x0,6m) DE GRAVAS Y GEOTEXTIL TEJIDO</b>					
7.1	Geotextil tejido PAVCO 2100 o similar	Capitulo 8	m2	555,00	\$2.900	\$1.609.500
7.2	Material filtrante, gravas D(máx) = 0,05m	Capitulo 8	m3	102,00	\$65.000	\$6.630.000
<b>8</b>	<b>TUBOS PVC D=12 PULGADAS PARA ALCANTARILLA</b>					
		Capitulo 11	m	123,00	\$80.000	\$9.840.000
<b>9</b>	<b>BARANDA METALICA</b>					
		Capitulo 10	m	160,00	\$10.000	\$1.600.000
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>						<b>\$134.081.750</b>
AIU(25%)						\$33.520.438
<b>SUBTOTAL</b>						<b>\$167.602.188</b>
IVA(15%)						\$25.140.328
<b>TOTAL PRESUPUESTO ESTIMADO</b>						<b>\$192.742.516</b>



T A B L A No. 9.3

PRESUPUESTO ESTIMADO OBRAS DE MITIGACION  
FASE II

ITEM	DESCRIPCIÓN	Esp.	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO (\$)	V/TOTAL (\$)
<b>1</b>	<b>SENDEROS ADOQUINADOS</b>					
1.1	Excavación para senderos adoquinados	Capitulo 2	m3	300,00	\$185.000	\$55.500.000
1.2	Adoqin de Gress Peatonal	Capitulo 9	m2	1.100,00	\$15.000	\$16.500.000
1.3	Relleno compactado en material B-200	Capitulo 3	m3	110,00	\$20.000	\$2.200.000
1.4	Concreto Clase D para Sardinell	Capitulo 7	m3	21,50	\$280.000	\$6.020.000
1.5	Concreto Clase D para Cunetas	Capitulo 7	m3	48,00	\$350.000	\$16.800.000
1.6	Acero de refuerzo Grado 60	Capitulo 6	Kg	4.200,00	\$1.000	\$4.200.000
1.7						
<b>2</b>	<b>ESCALERA CENTRAL</b>					
2.1	Excavación para Escalera	Capitulo 2	m3	405,00	\$17.500	\$7.087.500
2.2	Concreto Clase D para Andenes	Capitulo 7	m3	30,00	\$250.000	\$7.500.000
2.3	Relleno en material Tipo B-200	Capitulo 3	m3	6,50	\$20.000	\$130.000
2.4	Concreto Clase D para Sardinell	Capitulo 7	m3	6,00	\$280.000	\$1.680.000
2.5	Concreto Clase D para Cunetas	Capitulo 7	m3	3,60	\$350.000	\$1.260.000
2.6	Concreto Clase D para Cajas	Capitulo 7	m3	1,00	\$380.000	\$380.000
2.7	Acero de refuerzo Grado 60	Capitulo 6	Kg	3.250,00	\$1.000	\$3.250.000
2.8	Tubería de Alcantarillado PVC 12"	Capitulo 11	ml	116,00	\$80	\$9.280
<b>3</b>	<b>FILTROS</b>					
3.1	Excavación para Filtros	Capitulo2	m3	1.000,00	\$17.500	\$17.500.000
3.2	Relleno en material seleccionado	Capitulo3	m3	550,00	\$5.000	\$2.750.000
3.3	Geotextil no tejido (PAVCO 2500 O SIMILAR)	Capitulo 5	m2	1.925,00	\$2.500	\$4.812.500
3.4	Concreto Clase D para Cajas	Capitulo7	m3	2,70	\$380.000	\$1.026.000
3.5	Acero de refuerzo Grado 60	Capitulo6	Kg	170,00	\$1.000	\$170.000
3.6	Tubos PVC perforados ( D= 6" , L=5m )	Capitulo 11	un	3,00	\$38.500	\$115.500
3.7	TubosPVC ( D= 6")	Capitulo 11	ml	13,50	\$6.500	\$87.750
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>\$148.978.530</b>
	AIU(25%)					\$37.244.633
	<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$186.223.163</b>
	IVA(15%)					\$27.933.474
	<b>TOTAL PRESUPUESTO ESTIMADO</b>					<b>\$214.156.637</b>