FONDO DE PREVENCION Y ATENCION DE EMERGENCIAS DE BOGOTA D.C. - FOPAE

INFORME FINAL

ESTUDIO DE RIESGO POR REMOCION EN MASA Y DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE CONTROL, PROTECCION Y ESTABILIZACION EN EL BARRIO SAN JOSE SUR ORIENTAL DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTOBAL, EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.



inGeciencias s.a.
Ingeniería de las Ciencias de la Tierra

Informe Nº 893/2003
Marzo de 2003

Bogotá, marzo 4 de 2003 **I893/03**

Señores,

Fondo de Prevención de Emergencias de Bogotá D.C. FOPAE

Atn., Dr. José Darío Téllez.

Director.

L.C.

Referencia: *Informe final sobre el estudio de riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseño detallado de las obras de control, protección, y estabilización en el barrio San José Sur Oriental de la Localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C.*

Estimados señores:

Tengo el agrado de presentar a continuación, el informe final del estudio de la referencia de acuerdo con los términos de referencia y el contrato suscrito con esa entidad. El informe resume todos los pormenores de la consultoría y el contenido de los informes parciales 1,2 3 y 4, y se ajusta a lo establecido en los términos de referencia y en lo acordado con el Interventor ingeniero Carlos Murcia y con los coordinadores del DPAE, ingenieros Javier Pava y Diana Arévalo.

Quedo a su entera disposición para ampliar o aclarar cualquier aspecto de este informe.

Atentamente,

Héctor Parra F.
Ingeniero Civil.
Matrícula 12334 de Cund.

CONTENIDO **Hoja #**

RESUMEN EJECUTIVO **7**
1 Objeto 7
2 Descripción del problema 7
3 Trabajos realizados 8
4 Solución propuesta 9
5 Conclusiones y recomendaciones 9

1. GENERALIDADES. **13**
1.1. Alcance del estudio. 13
1.2. Organización del informe 13
1.3. Descripción de actividades realizadas 17

2. Diagnóstico Conceptual. **18**
2.1. Descripción del problema y sus posibles causas. 18
2.1.1. Deslizamiento rotacional. 18
2.1.2. Reptación. 20
2.1.3. Calidad estructural de las viviendas. . 20
2.2. Delimitación Geométrica y descripción del área de estudio. 20
2.3. Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo. 21
2.3.1. Requerimientos de topografía. 22
2.3.2. Requerimientos de exploración del subsuelo 22
2.4. Cronología de eventos. 23
2.5. Modelos y metodologías de análisis. 23
2.6. Evaluación conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del área de estudio. 25
2.7. Alternativas de solución. 26

3. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO **28**
3.1. Método de trabajo. 28
3.2. Equipo utilizado en el campo 29
3.3. Metodología de cálculo 30
3.4. Dirección de las viviendas 30

4. ESTUDIO GEOLOGICO **31**
4.1 Método de trabajo. 31
4.2 Geología regional. 32
4.3. Geología local 32
4.3.1 Unidad TPB-arc-g 33
4.3.2 Unidad TPB-arc-ab 33
4.3.3 Unidad TPB-lim-arc 34
4.3.4 Depósitos fluvio-glaciares (Qf1) 34
4.3.5 Depósitos aluviales y depósitos de relleno (Qra) 34
4.4 Geología estructural 34
4.5 Geomorfología 35
4.6 Fotografía aérea 35

CONTENIDO (Continuación) **Hoja #**

5.	**ESTUDIO GEOTECNICO**	**37**
5.1	Investigación del Subsuelo.	37
5.1.1	Exploración.	37
5.1.2	Ensayos In-Situ y de laboratorio.	38
5.1.3.	Perfil Estratigráfico.	38
5.1.4.	Nivel freático.	42
5.2	Inventario de Procesos.	42
5.3.	Análisis de estabilidad.	45
5.3.1	Secciones estratigráficas	45
5.3.2	Parámetros geotécnicos	46
5.3.3	Resultados del análisis.	52
6	**EVALUACION DE AMENAZA POR FRM,**	**58**
6.1	Método de estudio y metodologías empleadas	58
6.2	Criterios aplicados	60
6.3	Zonificación de Amenaza por FRM	64
7	**EVALUACION DE VULNERABILIDAD POR FRM**	**66**
7.1	Método de estudio y metodologías empleadas	66
7.2.	Inventario de viviendas.	67
7.3	Criterios aplicados	68
7.4	Base de datos georeferenciada	72
7.5	Zonificación de Vulnerabilidad por FRM	73
8	**EVALUACION DE RIESGO POR FRM**	**74**
8.1	Método de estudio y metodologías empleadas	74
8.2	Criterios aplicados	74
8.3	Zonificación de Riesgo por FRM	75
9.	**ALTERNATIVAS DE MITIGACION**	**76**
9.1	Planteamiento de Alternativas.	76
9.2	Análisis Probabilístico de Estabilidad con obras de Mitigación.	77
9.3	Análisis Beneficio/Costo de las alternativas de mitigación.	84
9.4	Arbol de decisión. Selección de alternativa de diseño.	86
10	**DISEÑO DETALLADO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.**	**90**
10.1	Descripción de las obras.	90
10.2	Resumen de cantidades y presupuesto.	91
11.	**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**	**92**
11.1	Obras de mitigación analizadas.	92
11.2.	Acción interinstitucional.	94
11.3.	Limitaciones	96

CONTENIDO (continuación) **Hoja #**

13. ANEXOS

1. Planos
1 Plano topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 m.
2 Mapa Geológico Regional
3 Mapa Geológico Local.
4 Mapa geomorfológico.
5 Mapa de inventario de Procesos.
6 Mapa de ubicación de sondeos y cortes de análisis
7 Plano de cortes de análisis sección 1-1´ sección 2-2´.
8 Plano de cortes de análisis sección 3-3´ sección 4-4´.
9 Mapa predial.
10 Mapa de Zonificación de Amenaza por FRM.
11 Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por FRM.
12 Mapa de Zonificación de Riesgo por FRM.
13 Resumen de inventario de viviendas, San José Suroriental.
14 Planta general de las obras propuestas.
15 Planta y detalles muro inferior # 1
16 Planta y detalles muros inferiores # 2 y 3
17 Planta y detalles muros superiores # 1 y 2
18 Planta y detalles muro superior # 3

2 Certificación de IGAC de placas de referencia.
3 Carteras topográficas de campo.
4 Memorias de sondeos y apiques.
5 Ensayos de laboratorio de suelos.
6 Correlaciones con SPT.
7 Fotografías Aéreas con fotocalcos de fotointerpretación.
8 Memoria de cálculo de análisis de estabilidad de obras propuestas
9 Formulario de inventario de viviendas.
10 Memoria de cálculo de análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
11 Evaluación de costos por vivienda
12 Análisis de Beneficio/Costo de la alternativa de mitigación
13 Memorias de cálculo estructural de obras propuestas
14 Cantidades de obra y presupuesto de obras propuestas
15 Especificaciones técnicas.
16 Bibliografía
17 Fotografías
18 Convenciones

CONTENIDO (continuación) **Hoja #**

Indice de cuadros.

Cuadro Nº 1.1	Descripción de actividades realizadas	17
Cuadro Nº 2.1	Cubrimiento del levantamiento topográfico	21
Cuadro Nº 2.2	Programa de exploración geotécnica de campo	22
Cuadro Nº 2.3	Cronología de eventos	24
Cuadro Nº 7.1	Tipificación de viviendas según Leone.	67
Cuadro Nº 7.2	Clasificación de los daños según el DRM	68
Cuadro Nº 7.3	Clasificación de la velocidad de movimiento de falla del terreno.	69
Cuadro Nº 7.4	Velocidad del movimiento vs factor de seguridad.	70
Cuadro Nº 7.5	Calificación por velocidad de desplazamientos horizontales	70
Cuadro Nº 7.6	Rango de índice de pérdidas vs índice de daño	71
Cuadro Nº 7.7	Criterios de categorización de la vulnerabilidad	72
Cuadro Nº 7.8	Base de datos georeferenciada, SIG	73
Cuadro Nº 8.1	Criterios de categorización del riesgo	74

Indice de tablas.

Tabla Nº 4.1	Fotos aéreas utilizadas en fotointerpetación.	31
Tabla Nº 4.2	Fotografía áerea del área de estudio	36
Tabla Nº 5.1	Cantidades de sondeos y apiques realizados	37
Tabla Nº 5.2	Localización de las secciones transversales de estudio	45
Tabla Nº 5.3	Parámetros de resistencia al corte obtenidos a partir del ensayo de penetración estándar (método de Alvaro González)	46
Tabla Nº 5.4	Parámetros de resistencia al corte deducidos por retro-análisis de las secciones de estudio	47
Tabla Nº 5.5	Parámetros de resistencia adoptados en la superficie De falla “brecha de falla”	48
Tabla Nº 5.6	Resultados de los análisis de estabilidad condición actual	53
Tabla Nº 6.1	Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998).	61
Tabla Nº 6.2	Resultados obtenidos de la relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual	62
Tabla Nº 6.3	Categorización de la amenaza	64
Tabla Nº 9.1	Resultados de los análisis de estabilidad con obras	79

CONTENIDO (continuación) **Hoja #**

Indice de Figuras.

Figura Nº 5.1	Deslizamiento antiguo. Sección 1-1 talud saturado α=0	49
Figura Nº 5.2	Deslizamiento antiguo. Sección 2-2 talud saturado α=0	50
Figura Nº 5.3	Deslizamiento antiguo. Sección 3-3 talud saturado α=0	51
Figura Nº 5.4	Deslizamiento antiguo. Sección 4-4 talud saturado α=0	52
Figura Nº 5. 5	Sección 1-1. Falla potencial. ru=0.5, α	54
Figura Nº 5.6	Sección 2-2. Falla potencial. ru=0.5, α=0	55
Figura Nº 5.7	Sección 3-3. Falla potencial. ru=0.5, α=0	56
Figura Nº 5.8	Sección 4-4. Falla potencial. ru=0.5, α=0	57
Figura Nº 6.1	Coeficiente de aceleración para análisis, según Pike.	63
Figura Nº 6.2	Factor de seguridad vs probabilidad de falla.	65
Figura Nº 7.1	Valoración de la vulnerabilidad por conjuntos difusos	71
Figura Nº 9.1	Sección 1-1. Talud con NF a 1.5 m, α=0	80
Figura Nº 9.2	Sección 2-2. Talud con NF a 1.5 m, α=0	81
Figura Nº 9.3	Sección 3-3. Talud con NF a 1.5 m, α=0	82
Figura Nº 9.4	Sección 4-4. Talud con NF a 1.5 m, α=0	83
Figura Nº 9.5	Arbol de decisiones	88

RESUMEN EJECUTIVO.

1. Objeto

El presente resumen ejecutivo contiene las principales conclusiones y antecedentes del " Estudio de Riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseño detallado de las obras de control, protección, y estabilización en el barrio San José Sur Oriental de la Localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C.", adjudicado a Ingeciencias S.A. como conclusión del proceso de invitación FOPAE 7302.2.1.4 de octubre de 2002 y según contrato de consultoría # 426/02, suscrito entre Ingeciencias S.A. y el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.E. el día 26 de noviembre de 2002.

2. Descripción del problema.

El sitio de estudio abarca las manzanas 20 y 21 del barrio San José Sur Oriental con 47 predios, ubicadas entre calles 41A y 42 Sur, y carreras 9 y 10A Este, en las cuales ocurrió un deslizamiento de tierras hacia el inicio de la década de los 80', que afectó a cerca de 16 viviendas del barrio así como un Hogar Infantil del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, parte de cuya construcción tuvo que ser demolida en ese entonces, y parte sigue en pie y en buen estado en la actualidad. En ese entonces la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional fue contratada por el ICBF para adelantar un estudio de diagnóstico sobre el fenómeno, estudio que no ha podido encontrarse ni en la U.N. ni en el ICBF.

Con base en análisis de fotografía áerea y testimonios de los residentes, se ha reconstruído de una manera general la cronología del fenómeno estudiado.

El barrio se inició en 1956 como un desarrollo informal en la ladera de la Quebrada Chorro Colorado, la cual ya presentaba en esa época reptaciones y erosiones locales de suelos superficiales y fuertes pendientes. Hacia

1962 se encontraba parcialmente desarrollado el barrio aunque las vías recién empezaron a construírse por esa época.

Hacia 1965, se realizó un movimiento de tierras en la pata del talud inestable para dar cabida a una curva de la Carretera al Llano, lo cual fue un detonante importante en el desencadenamiento de la inestabilidad. En 1985 se evidencia la existencia de un muro de contención en la pata del talud inestable, que de todas maneras fue insuficiente para contrarrestar la inestabilidad. En 1997 y 1998 se hacen estudios en la zona sobre riesgo por inundación de la Quebrada Chorro Colorado y sobre riesgo por fenómenos de remoción en masa por parte del DPAE.

3. Trabajos realizados.

El presente estudio incluyó las siguientes actividades:

- Estudio de información existente y de aerofotografías.
- Levantamiento topográfico.
- Estudio geológico y geomorfológico.
- Sondeos geotécnicos exploratorios, apiques y ensayos de laboratorio de suelos.
- Análisis geotécnico.
- Inventario de viviendas con inspección sobre su estado y estructura.
- Análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la zona de estudio.
- Diseño de obras de estabilización con presupuestos y cantidades.
- Recomendaciones de acción interinstitucional.

4. Solución propuesta.

Se compone de un conjunto continuo de estructuras de contención convencionales al nivel de la via al Llano para suplir la deficiencia del muro existente en este sitio y dar contención a la pata de la inestabilidad. Este

consiste de un muro de concreto reforzado en voladizo con pilas (caissons) que forman parte del sistema de estabilidad del muro y además constituyen un apuntillamiento del suelo de la superficie de falla identificada.

Otro conjunto de estructuras de contención no convencionales y discontinuas se desarrollan a media ladera en zonas accesibles, las cuales garantizan que la zona alta del barrio no sufra en el futuro de ningún tipo de amenaza por estabilidad.

Los dos conjuntos de estructuras están complementadas con una red de drenaje intensiva que capta toda la escorrentía superficial y las aguas subsuperficiales y las conduce al alcantarillado de aguas lluvias.

La solución propuesta contempla además la adquisición de 6 predios, 3 de los cuales, por su deterioro fueron catalogados como de reubicación en el concepto técnico preliminar del DPAE # CT 3772 de septiembre de 2002 y los otros 3 se requieren para construír los muros intermedios, y debido a que las construcciones que se ubican allí también están muy afectadas por el movimiento del terreno.

5. Conclusiones y Recomendaciones.

Identificación del fenómeno.

En las primeras etapas del estudio se enunciaron varias hipótesis de la inestabilidad, pero a medida que se fue completando la información topográfica, geológica, geotécnica e inspección detallada de viviendas, se perfeccionó la

hipótesis de falla de tal manera que la modelación geotécnica realizada refleja razonablemente bien el fenómeno y su calibración ha permitido determinar la coincidencia de los parámetros del suelo de la simulación con los determinados por medio de ensayos de campo y de laboratorio mediante análisis retrospectivo de estabilidad.

Eficiencia de la Solución.

La solución enunciada y diseñada en detalle representa una solución permanente y duradera para toda el área de estudio, y se compone de obras de tecnología conocida en el medio, que está al alcance de los

constructores de la ciudad con tecnología local y construíble con recursos corrientes de la industria de la construcción nacional.

La solución enunciada no solamente resuelve el problema de estabilidad general de la zona de estudio sino que además permite recuperar algunos predios claves como el Hogar del ICBF y reduce a un mínimo el riesgo que puedan tener los predios de la parte alta de la zona de estudio a mediano o largo plazo.

Acción interinstitucional.

A lo largo del estudio ha quedado de presente que la solución de este problema de riesgo por estabilidad de las manzanas 20 y 21 del barrio San José Suroriental cuenta con un componente interinstitucional que requerirá de una acción por parte del DPAE en un futuro.

Las instituciones relacionadas con la problemática estudiada son:

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU.

De hecho, el corte realizado en la década de los 60 para dar cabida a la curva de la vía al Llano en la pata del deslizamiento ha sido identificado como uno de los factores detonantes de la inestabilidad, y además dio origen en el inicio de la década de los 80' a la construcción del muro de pata que existe en el sitio, el cual se encuentra desplomado y es insuficiente para contrarrestar los empujes de tierra del deslizamiento.

De acuerdo con informaciones recientes de los habitantes del barrio, el IDU planea una ampliación de la vía al Llano en este sitio, con lo cual se puede acentuar áun más la inestabilidad de la zona o se deberá coordinar con ese Instituto el diseño y construcción del muro de pata similar al que se propone en este estudio que sea compatible con el proyecto de la vía.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF.

Por el contrario, el ICBF ha sido parte de los damnificados por el fenómeno, dado que el Hogar Infantil del barrio, construído a principios de los 80' se averió seriamente en su zona Norte por el deslizamiento estudiado, y la zona afectada fue demolida. El Hogar Infantil nunca entró en funcionamiento pero sin embargo

hay una zona amplia en pie y en buen estado, que bien podría recuperarse con las obras propuestas. Con estas se recuperaría además el jardín del predio del ICBF, que tratándose de un Hogar Infantil, resulta importante disponer de espacio para juegos.

Acción Comunal.

El salón y las facilidades comunales del barrio, contiguas al hogar infantil del ICBF, también se verían beneficiadas con las obras propuestas, aunque cabe aclarar que esta construcción no se encuentra afectada en la actualidad.

El lindero Norte de esta construcción colinda con una de las cicatrices de inestabilidad por lo cual se encuentra en el límite entre afectación y no afectación.

Otros predios:

Un resumen de los beneficios del proyecto de solución a la inestabilidad del barrio San José Suroriental se transcribe a continuación:

♦ Cantidad total de predios	47
♦ Cantidad de predios en riesgo bajo actual	24
♦ Cantidad de predios en riesgo medio o alto, actual	23
♦ Cantidad de predios en riesgo bajo futuro	47
♦ Cantidad de predios en riesgo medio o alto futuro	0
♦ Cantidad de predios institucionales beneficiados	1
♦ Cantidad de predios institucionales recuperados (ICBF)	1
♦ Cantidad de predios para adquisición (incluídos los 3 que están en proceso de reubicación)	6

Beneficio /Costo

Se transcriben a continuación las cifras claves que ilustran el resultado del análisis beneficio /costo y de la comparación de alternativas:

Costo total de las obras de la solución propuesta (incluye costo de predios para adquisición)	$	678’092.129
Costo por vida salvada solución propuesta	$	14’941.781

Costo por vida salvada para reubicación de todas
las viviendas en riesgo medio o alto $ 32’699.783

Por otra parte, para garantizar riesgo bajo a largo plazo en toda la zona de estudio sin hacer ningún tipo de obra, sería necesario adquirir la totalidad de los predios en las zonas de riesgo medio y alto, con un valor total estimado de $ 743’000.000, o si se considera que al no hacer obras, los predios en riesgo bajo entrarán en riesgo, la totalidad de los predios tiene un valor de $1.471’800.000

1 GENERALIDADES.

1.1 Alcance del estudio.

El presente informe contiene el resultado del **" Estudio de Riesgo por fenómenos de remoción en masa y diseño detallado de las obras de control, protección, y estabilización en el barrio San José Sur Oriental de la Localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D.C."**, adjudicado a Ingeciencias S.A. como conclusión del proceso de invitación FOPAE 7302.2.1.4 de octubre de 2002 y según contrato de consultoría # 426/02, suscrito entre Ingeciencias S.A. y el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, D.E. el día 26 de noviembre de 2002.

El alcance del estudio es el de evaluar el riesgo por fenómenos de remoción en masa (FRM) del sector, y diseñar en detalle las obras de mitigación necesarias para lograr un beneficio/costo razonable dentro de las alternativas analizadas de estabilización del terreno y de recuperación de la seguridad de los habitantes y de las viviendas.

1.2 Organización del informe

El informe se encuentra organizado según los términos de referencia del DPAE, y con las sugerencias aportadas por la interventoría y los coordinadores del DPAE. Se incluye inicialmente la información básica con sus metodologías y memorias de cálculo, para seguidamente presentar los análisis geotécnicos y las simulaciones probabilísticas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de cada una de las viviendas y del conjunto, para luego entrar a analizar el beneficio costo de las alternativas de solución analizadas y finalmente presentar el diseño detallado de la alternativa escogida con sus correspondientes presupuestos y planos.

Se presenta un detalle de la organización del informe por grupos de capítulos:

Información básica. Capítulos 2 a 4

Capítulo 2. Diagnóstico conceptual.

Se incluye el diagnóstico del Grupo de Especialistas con base en estudiar la información existente y las primeras visitas al sitio, y lo que en el principio del estudio constituyó el plan de trabajos de campo y de requerimientos topográficos para completar la información básica del problema.

Capítulo 3. Levantamiento topográfico.

Incluye una descripción del planeamiento y ejecución del levantamiento topográfico de detalle con su metodología, equipos y carteras de campo y de cálculo. El resultado es el *plano Nº 1 "Levantamiento topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 m."* En el anexo 2 se incluyen las certificaciones del IGAC sobre placas de referencia en las cuales se basó el levantamiento topográfico y en el anexo 3 las carteras de campo del levantamiento topográfico.

Capítulo 4. Estudio Geológico.

Se presenta el resultado del levantamiento geológico detallado en el sitio, y las zonificaciones geológicas y geomorfológicas existentes en la zona, así como la fotointerpretación geológica de fotografía aérea de diferentes épocas de desarrollo de la urbanización San José Sur Oriental. Se presentan los resultados en los *planos # 2 "Mapa Geológico Regional, plano # 3 "Mapa Geológico Local, y plano # 4 " Mapa geomorfológico."*

Análisis Geotécnico y de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Capítulos 5 a 8.

Capítulo 5. Estudio Geotécnico.

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación geotécnica de campo y de laboratorio de suelos, la determinación de parámetros de resistencia

para las simulaciones de estabilidad y los diferentes modelos utilizados para el análisis de estabilidad de diferentes perfiles del terreno. También se incluye el inventario de procesos como parte clave de la comprensión del problema. Se incluyen los *planos 5 "Mapa de inventario de procesos", plano # 6 "Mapa de ubicación de sondeos y cortes de análisis", plano # 7 "Plano de cortes de análisis sección 1-1' sección 2-2' ", y plano # 8 "Plano de cortes de análisis sección 3-3', sección 4-4' ".*

En el anexo 4 se inluyen las memorias de sondeos, en el anexo 5 los ensayos de laboratorio de suelos, y en el anexo 6 se incluyn las correlaciones del ensayo de penetración estándar SPT con los parámetros de resistencia del suelo.

Capítulos 6,7 y 8. Análisis de amenaza , vulnerabilidad y riesgo por FRM.

En estos 3 capítulos se analizan la amenaza, vulnerabilidad y riesgo asociados a cada una de las viviendas y del conjunto, utilizando la metodología de Leone F. y modificada por Soler, González y Vesga, (*ver Anexo # 16 " Bibliografía"*) la cual se basa en la inspección detallada de las viviendas y en técnicas probabilísticas de ocurrencia del fenómeno de inestabilidad con base en el análisis geotécnico, para concluír sobre los niveles de riesgo asociados a cada una de las viviendas. La solución propuesta con las obras de mitigación reduce el nivel de riesgo a un mínimo.

Del análisis efectuado resultan los planos,

Plano # 9 "Mapa predial"
Plano # 10 "Mapa de Zonificación de Amenaza por FRM.",
Plano # 11 "Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por FRM.",
Plano #12 "Mapa de Zonificación de Riesgo por FRM.", y
Plano # 13 "Resumen de inventario de viviendas, San José SurOriental"

Producto final. Capítulos 9, 10 y 11. Alternativas de mitigación, Diseño detallado de la Alternativa Seleccionada, y Conclusiones y Recomendaciones.

Capítulo 9 . Alternativas de mitigación
Se enuncian las obras de mitigación factibles incluyendo la alternativa de no hacer obras, con la cual el nivel de riesgo se mantiene en el estado actual de la Urbanización. La alternativa de construcción de obras no permite muchas variaciones por lo cual se considera como única, ya que las restricciones espaciales y los requerimientos de estabilización conducen a una única combinación de obras como alternativa óptima.

Se presenta en el plano # 14 *"Planta general de obras propuestas",* el detalle de la alternativa de obras de mitigación del riesgo, y en los Anexos # 11 *"Evaluación de costos por vivienda"*, y Anexo # 12 *"Análisis de beneficio/costo de las obras de mitigación",* los pormenores de este análisis.

Capítulo 10. Diseño detallado de la Alternativa Seleccionada,
Incluye el diseño detallado de la alternativa escogida y el enunciado de los parámetros geotécnicos y estructurales de diseño. Su resultado se presenta en los planos # 15 a 18 *" Plano de detalle de las obras propuestas"* y los detalles de cálculo en los Anexos # 13 *"Memorias de cálculo estructural de obras propuestas"*, anexo 14 *" Cantidades de obras y presupuesto*", y anexo 15 *" Especificaciones técnicas".*

Capítulo 11. Conclusiones y Recomendaciones.

En este capítulo se recojen las principales conclusiones y recomendaciones de la consultoría realizada y se sugiere una acción interinstitucional con el IDU y el ICBF como partes interesadas en el proyecto de construcción de obras de mitigación de la inestabilidad del Barrio San José SurOriental.

Al final del informe se incluyen anexos de interés general como son: anexo # 16 " *Bibliografía"* , anexo # 17 *" Fotografías"* y anexo # 18 *" Convenciones".*

1.3. Descripción de actividades realizadas. Cuadro 1.1

Actividad	***Descripción***	***Fechas***
Reunión DPAE	Iniciación del estudio con la participación de la Interventoría y Coordinadores de la DPAE	Dic 5/02
Estudio de información existente	Estudio de Concepto Técnico DPAE # CT37-72 De sept/02, y consecución aerofotografía	Dic , ene/03, feb/03
Visita inicial al sitio	Visita con el grupo de especialistas y el Interventor	Dic 10/02
Planeación trabajos de campo	Definición de alcance de geotecnia de campo y topografía. Alcances y especificaciones	Dic 5/02 a dic 19/02
Entrega Informe parcial Nº 1 DPAE	Entrega de informe Nº 1 y discusión sobre alcance de trabajos de geotecnia y topografía	Dic 19/02.
Ejecución sondeos, apiques y topografía	Ejecución del plan de geotecnia de campo y de topografía de campo	Dic 23/02 a Ene 13/03
Visita de campo con especialistas	Verificación de resultados de sondeos, y topografía y modificaciones al programa	Dic 28/02
Entrega Informe parcial Nº 2 DPAE	Entrega de informe Nº 2 y discusión sobre siguientes etapas del estudio	Ene 21/03
Inventario de viviendas	Inspección detallada de cada vivienda y confrontación de información predial	Ene 4 a 24/03
Análisis geotécnico	Simulaciones de estabilidad y retroanálisis para diferentes escenarios con parámetros geotécnicos reales	Ene 21 a Feb 4 /03
Análisis de amenaza vulnerabilidad y riesgo	Consolidación de encuesta de viviendas y resultados de análisis geotécnicos y ejecución de los cálculos probabilísticos de amenaza, vulnerabiidad y riesgo	Ene 21 a Feb 4/03
Formulación de soluciones de mitigación	Predimensionamiento de obras y selección de obras óptimas para mitigación del riesgo.	Ene 21 a Feb 4/03
Entrega Informe parcial Nº 3 DPAE	Entrega de informe Nº 3 y discusión sobre siguientes etapas del estudio	Feb 4/03
Selección solución de mitigación	Selección de solución de obras de mitigación y predimensionamiento de alternativas	Feb 4/03 a Feb 18/03
Análisis geotécnico con obras de mitigación.	Modificación de las simulaciones iniciales para tener en cuenta los muros de contención de diferentes alturas, y su incidencia en el factor de seguridad de modelos de estabilidad.	Feb 4 a feb 18/03
Análisis de amenaza vulnerabilidad y riesgo con obras de mitigación	Revisión del análisis para nuevos factores de seguridad según análisis geotécnico con obras y calibración del modelo para riesgo mínimo.	Feb 4 a feb 18/03
Entrega Informe parcial Nº 4 DPAE	Entrega de informe Nº 4 y discusión sobre última etapa del estudio	Feb 18/03
Diseño de detalle	Diseño de detalle de obras alternativa seleccionda	Feb18 Mar4/03
Entrega Informe final	Entrega de informe final	Mar 4/03

2. DIAGNOSTICO CONCEPTUAL.

2.1. Descripción del problema y sus posibles causas.

Algunas casas de las manzanas 20 y 21 de la Urbanización San José Sur Oriental han sufrido agrietamientos y corrimientos los cuales se deben a varios factores que conforman una inestabilidad general del terreno. En orden de importancia se presentan los siguientes factores que ya fueron identificados en informes anteriores de Conceptos Técnicos como se mencionó antes, y los cuales han constituído documentos de información básica para la presente consultoría.

2.1.1. Deslizamiento rotacional.

Se ha hablado desde principios de la década de los 80' de movimientos de las viviendas de la parte media y baja de la ladera (principalmente los ubicados a lado de la carrera 10 E) con los consiguientes agrietamientos de muros y separaciones entre viviendas, así como agrietamientos de las casas que se encuentran en la parte baja. Esta época coincide con la construcción de infraestructura para el barrio, particularmente la excavación para el alcantarillado de aguas negras a lo largo de la calle 41A Sur, con profundidad apreciable como se pudo comprobar al observar uno de los pozos cercanos al predio 19A de la manzana 20.

El otro evento que influyó en el movimiento de masas es la excavación del talud de corte para la curva de la vía al Llano donde existe un muro de contención cabeceado, que al parecer es insuficiente para contrarrestar las presiones de

tierras generadas por el corte, y la tendencia de los suelos residuales superficiales a reptar sobre las arcillolitas sanas subyacentes de la Formación Bogotá.

La corona del deslizamiento, presenta escarpes evidentes con leves diferencias de nivel, y coincide con rotura del pavimiento rígido de la carrera 10 Este frente a las viviendas de los predios 23 y 24 de la manzana 20, y frente a los 11 y 12 de la manzana 21. De hecho estas viviendas son las más afectadas e incluídas dentro del listado de reubicación de viviendas en el concepto técnico CT-3772 de septiembre de 2002. Otras de las viviendas más afectadas son las extremas al Norte de la misma carrera 10 Este, sobre la calle 41A Sur, lo cual es típico de viviendas esquineras en problemas de reptación o viviendas terminales en las cuales se acumulan los corrimientos de hileras de viviendas.

A esta misma altura dentro de la manzana 20 en los predios 5 y 6 (ICBF), se evidenció el deterioro de lo que estaba construído hacia el Norte del escarpe en estos predios correspondientes a la guardería del ICBF, lo cual condujo a la demolición de lo que quedaba al Norte del escarpe. El muro de cerramiento del ICBF en su lindero oriental sufrió un corrimiento de cerca de 30 cms hacia el Noroeste, que es la dirección del movimiento. Al Sur del mismo sitio, la construcción del ICBF se encuentra en buen estado, sin agrietamientos a la vista, y asimismo todas las viviendas ubicadas sobre la calle 42 Sur. Prácticamente ningún deterioro se observa en las casas ubicadas sobre la carrera 10A Este y sobre la 9 Este, con lo cual se circunscribe el problema ante todo alrededor de la zona media y baja de la ladera a lo largo de la carrera 10 Este y sus zonas adyacentes dentro de las manzanas 20 y 21.

Por las características del deslizamiento y por el tipo de los daños generados en las viviendas, los movimientos que se han presentado son lentos y progresivos. Probablemente se acentúan durante los períodos de invierno, donde se genera almacenamiento temporal de agua dentro de las arcillas superficiales agrietadas,

produciendo ablandamiento y pérdida de resistencia al corte de este depósito arcilloso, y generando empujes hidrostáticos en la corona de la masa inestable.

2.1.2. Reptación.

Este fenómeno también puede estar contribuyendo a los agrietamientos progresivos de las estructuras dado el caracter arcilloso de la formación, que en presencia de laderas y por la acción de la gravedad, tienden a deformarse a una lenta rata pero continua a través del tiempo.

En general se cree que el movimiento evidenciado por los agrietamientos de las viviendas fue bastante puntual en el tiempo y no ha sido progresivo.

2.1.3. Calidad estructural de las viviendas.

Es importante mencionar que todos los daños en las viviendas no son producto de los problemas geotécnicos regionales del sector, y también están relacionados en algunos casos con las condiciones precarias de cimentación y la baja calidad de los materiales y métodos de construcción utilizados. Se destaca la presencia de algunos predios localizados en la parte baja que reflejan deficiencias muy marcadas de construcción.

2.2. Delimitación Geométrica y descripción del área de estudio.

La zona de estudio comprende las manzanas 20 y 21 del Barrio San José Sur Oriental, y está localizada entre las calles 41A sur y 42 sur y entre las carreras 9 este y 10A Este, en un área aproximada de 15.000 m^2.

Las coordenadas planas aproximadas son Norte 94.550 a 94.650 y Este 98.750 a 98.900, a altitudes entre 2.814 a 2.840 m.s.n.m.

El terreno presenta una pendiente moderada hacia el Norte en su zona alta (alrededor de 5°), la cual se pronuncia hacia la parte media y baja donde se ubican la mayoría de viviendas afectadas (10 a 15°). Hay una diferencia de nivel de 26 m entre el punto más alto de la calle 42 Sur (límite Sur de la zona de estudio) y el punto más bajo de la Vía al Llano (límite Norte de la zona de estudio)

2.3. Requerimientos de topografía y exploración del subsuelo.

2.3.1. Requerimientos de topografía.

Se destacan a continuación las principales características del levantamiento topográfico que se definieron en la primera etapa de estudio. Los límites del cubrimiento del levantamiento topográfico se definieron como sigue:

Costado	Límite levantamiento
Sur	Paramento viviendas al Sur de la calle 42 Sur.
Este	Paramento viviendas al Este de la carrera 10A Este
Oeste	Paramento viviendas al Oeste de la carrera 9 Este
Norte	Calle 41 Sur y parte de la zona verde al otro lado de la Vía al Llano.

Cuadro Nº 2.1 "Cubrimiento del levantamiento topográfico"

Se dejaron materializados 3 puntos como líneas de base claves para la referenciación de obras, monitoreos y referencias. El producto es un plano con curvas de nivel cada 50 cms a escala 1:500, y con los detalles de cada predio.

También se incluyó dentro del alcance del levantamiento topográfico, la toma de niveles dentro de los predios, ante todo los cambios de nivel y las nivelaciones puntuales de algunos muros o viviendas.

2.3.1. Requerimientos de exploración del subsuelo.

De acuerdo con el criterio del grupo de especialitas se propuso el siguiente programa de investigación del subsuelos enfocado a delimitar la zona inestable y determinar parámetros de análisis geotécnico detallado y para diseño de obras de mitigación o estabilización.

El programa detallado de exploración de campo se enfocó a aclarar los siguientes aspectos principales de la problemática geotécnica de la zona de estudio:

- Estratigrafía de suelos y rocas, y sus parámetros de resistencia in situ.
- Existencia de escarpes de falla y sus características.
- Existencia de nivel freático o de aguas no controladas.
- Características de cimentación de casas afectadas.
- Determinación de reptación de suelos sobre arcillolitas.
- Características del muro de contención de pata en la vía principal.
- Estratigrafía típica de toda el área de estudio y de zonas no afectadas.

El programa de exploración geotécnica de campo definido en la programación para estudiar los temas mencionados se resume así:

Tipo de exploración	Cantidad	Ubicación.
Apique	5	Escarpes de falla ICBF Viviendas afectadas. Muro de pata en la Vía.
Barreno manual	6	2 perfiles de a 3 (Arriba del escarpe abajo del escarpe y pata)
Barreno manual	6	Zonas no afectadas.
Sondeo mecánico	2	Corona y pata en el eje.

Cuadro Nº 2.2 "Programa de exploración geotécnica de campo"

2.4 Cronología de eventos.

En el desarrollo del presente estudio se le ha dado preponderancia a la reconstrucción cronológica de los diferentes eventos que definen el estado actual de las manzanas 20 y 21 de la Urbanización San José Suroriental. En particular, esta reconstrucción histórica se ha basado en las siguientes fuentes:

- Información recibida del DEPAE, concepto técnico Nº DPAE CT-3772 Sept/2002.
- Testimonios de los residentes del lugar a lo largo de la ejecución del estudio.
- Testimonios de la arquitecta Nubia Latorre de ICBF.
- Comentarios de los ingenieros Félix Hernández y Carlos Iván Gutiérrez de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ingeniería quienes participaron en el estudio geotécnico del Hogar Infantil del ICBF en 1982, por solicitud de ese Instituto, luego de que esa construcción se dañara con la inestabilidad del terreno.
- Análisis de las fotografías aéreas de diferentes años.

En el Cuadro Nº 2.3 " Cronología de Eventos, San José SurOriental" se incluyen de una manera gráfica los diferentes eventos que de una u otra manera han incidido en los fenómenos de inestabilidad motivo del presente estudio.

2.5. Modelos y metodologías de análisis.

La metodología de análisis consiste de las siguientes etapas:

- Caracterización de suelos, rocas y sus propiedades geomécanicas.
- Levantamiento topográfico de detalle.
- Determinación de la geometría de escarpes de falla o círculos de falla.
- Determinación de estratificación y buzamientos, geología y geomorfología.
- Inspección detallada de viviendas, de su estado y estructura.
- Análisis de estabilidad para determinar círculos de falla probables.

Tabla Nº 2.3 Cronología de eventos.

- Estudio de los patrones de drenaje y proyecto de manejo de aguas.
- Determinación del factor de seguridad actual y para diferentes escenarios de resistencia (c y ø), y lluvias detonantes.
- Cálculo de los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para cada vivienda y para el conjunto.
- Cuantificación de fuerzas de empuje para dimensionar obras de mitigación o contención.
- Modelación de la estabilidad con obras y determinación de nuevos factores de seguridad a la estabilidad para concluír niveles de riesgo resultantes.
- Diseño de detalle con cantidades y presupuesto de la solución óptima.

2.6. Evaluación conceptual de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo del área de estudio.

Conceptualmente y con base en la información existente al inicio del estudio se enunciaron los diferentes niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en los siguientes términos.

Niveles de amenaza.

Ya desde la zonificación geotécnica por fenómenos de remoción en masa se calificó la zona como de mediana amenaza por inestabilidad, y en el concepto técnico de la DPAE se calificaron de alto riesgo algunas de las viviendas por su estado de deterioro y se ordenó la reubicación de las familias que las habitan.

La amenaza puede aumentarse con la ocurrencia de lluvias intensas y con la saturación de grietas, cicatrices o escarpes que se encuentran hacia la corona de la masa inestable y que hoy en día no se encuentran a la vista. Este fenómeno de movimientos además se agudiza con la rotura de tuberías las cuales aportan adicionalmente a la saturación y debilitamiento del terreno.

Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad de las construcciones se circunscribe a aquellas viviendas que se encuentran ubicadas hacia la parte media y baja de la ladera, a los costados de la carrera 10 Este. Se puede afirmar que las viviendas que se encuentran en la parte alta, o sea contra la calle 42 son menos vulnerables ante los movimientos de la

masa inestable, así como las viviendas que se encuentran adyacentes a las carreras 10A E y 9 Este, como lo demuestra su estado actual después de 20 años de haber ocurrido el deslizamiento, a menos de que no se haga nada para remediar la situación y el deslizamiento empiece a tomar una secuencia retrogresiva e invada las zonas hacia el Sur del escarpe actual.

Riesgo.

El mayor riesgo en este problema, es el de pérdida de vidas ya que las construcciones en sí son de elemental construcción, a excepción de la guardería del ICBF, o lo que queda de ella que deberá recuperarse y rehabilitarse para el bien de la comunidad.

2.7. Alternativas de solución.

Ya que se trata de un deslizamiento rotacional que ha involucrado parte de la masa rocosa, se evaluaron estructuras de contención ubicadas hacia la pata del deslizamiento o sea prácticamente donde hoy existe el muro de contención de pata contra la Vía al Llano, que ha demostrado ser insuficiente por el volcamiento a que ha estado sometido.

De cualquier manera es esencial mejorar las condiciones de drenaje de la zona. El gran patio del ICBF deberá intervenirse ya que la corona del deslizamiento puede alimentarse con la escorrentía y las lluvias en esta zona, manteniendo la amenaza de deslizamiento. Por esta razón se ha insistido en obras de estabilización intermedias además de las que habría que concebir en la pata de la masa inestable.

La actividad de control de aguas incluye la corrección de los sistemas internos sanitarios en las viviendas y la construcción de sistemas de drenaje subsuperficial. Localmente en algunos sitios como el lote del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar es necesario además de las obras de drenaje, construir estructuras de

contención permanentes para eliminar definitivamente el riesgo por estabilidad, de la zona al sur del escarpe de falla.

3 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

3.1. Método de trabajo.

El levantamiento topográfico se originó de dos deltas certificados por el IGAC, y se generó una poligonal de 8 deltas, los cuales se llamaron delta 1 a delta 8, llevando un consecutivo de la poligonal hasta delta 8 en el cual se cerró, verificando las coordenadas del delta 1.

Las placas de referencia del IGAC cuya certificación se incluye en el *Anexo # 2 "Certificación de IGAC de placas de referencia"* se denominan CT974 y CT 975, las cuales se dibujaron en el *Anexo # 1, Plano # 1" Plano topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 metros".* Las coordenadas oficiales de las placas de referencia del levantamiento son:

Placa de referencia	*Coordenada Norte*	*Coordenada Este*	*Cota*
CT974	93805.898	98493.635	2848.270
CT975	93741.299	98433.534	2858.600

Se dejaron materializados en campo los deltas 2, 3 y 4 con placas de bronce y quedaron marcados como IC1, IC2, IC3, los cuales constituyen referencias para construcción o replanteos futuros.

Estos puntos están ubicados sobre la calle 42 Sur en una zona que supuestamente no está sujeta a movimientos del terreno ni a la influencia del deslizamiento en estudio.

Las coordenadas y cotas resultantes de estos 3 puntos de referencia son:

Placa de referencia	*Coordenada Norte*	*Coordenada Este*	*Cota*
IC1	94565.911	98739.962	2819.930
IC2	94571.281	98773.997	2826.064
IC3	94548.316	98847.073	2833.947

Los detalles se tomaron de forma alterna, registrando todos los detalles urbanísticos significativos como son paramentos , cerramientos, servicios públicos y el nivel.

También se tomaron detalles especiales de accidentes locales con tránsito, amarrando a los puntos materializados con distanciómetro y de acuerdo con las correcciones sobre interpolación de curvas de nivel que se hizo detalladamente de toda el área de estudio.

3.2. Equipo utilizado en campo.

Se utilizó una estación total marca TOP- CON referencia GTS 4 con precisión al segundo con colector de datos externos y programa TDS 48. Esto permite recoger la información de campo para bajarla directamente al computador.

En campo se llevó dibujo para unir los puntos en oficina. Además de la estación se utilizaron todos los accesorios de una comisión completa como son bastones, prismas, radios, etc.

En cuanto a personal se contó con dos topógrafos, dos cadeneros y dos ayudantes.

3.3 Metodología de cálculo.

Los datos obtenidos en campo por medio del colector se bajaron directamente al computador por medio del programa NS-700 y se procesaron por medio de este. Ya obtenidos los puntos calculados se dibujaron con el programa AUTOCAD versión 14.

Para el dibujo de las curvas de nivel se utilizó el programa EAGLE POINT.

De esta forma se obtuvo un plano digital con curvas de nivel en el cual se encuentran los puntos tomados en el campo, los cuales se entregan en un layer apagado.

3.4 Dirección de las viviendas.

Para facilidad de referencia se incluye en el plano Nº 1 del Anexo 1, *" Plano topográfico a escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 metros",* un cuadro con el número de los predios y de las manzanas según la información recibida del SIRE, con la nomenclatura observada en las puertas de los predios en el campo, durante el inventario de viviendas. Esta nomenclatura es la de placas verdes con letras blancas. En algunas viviendas aún se observan además de éstas, las placas antiguas de nomenclaturas anteriores.

En el *anexo # 3 "Carteras topográficas de campo"* se incluyen los detalles del trabajo de campo que dió origen al *plano # 1" Levantamiento topográfico a escala 1 :500 con curvas de nivel cada 0.5 m"*

4 ESTUDIO GEOLOGICO

4.1 Método de trabajo.

Con todos los especialistas se efectuó un reconocimiento del área de estudio directamente sobre el terreno, en donde se pudieron apreciar las características del deslizamiento, con agrietamientos del terreno y de las viviendas construidas sobre él.

Después del reconocimiento del terreno se recolectó toda la información que desde el punto de la geología existía. Por último se hizo la cartografía geológica detallada con base en los reconocimientos de campo y con base en la información producto de las investigaciones del subsuelo basada en apiques, sondeos a percusión y a rotación.

Por último con base en fotografías aéreas se hizo una fotointerpretación geológica - geomorfológica para investigar la época en que ocurrieron los fenómenos de inestabilidad. Se analizaron las fotografías aéreas relacionadas en la tabla 4.1.

Vuelo	*Fotos*	*Escala*	*Fecha*
C-774	057 - 058	1:9.000	20-01-56
C-774	407 - 408	1:3.500	27-04-56
C-1763	002 - 003	1:7.400	02-07-77

Tabla Nº 4.1 "Fotos aéreas utilizdas para fotointerpretación"

Una vez recopilada toda la información se le hizo un análisis el cual se describe más adelante.

4.2 Geología Regional

El barrio San José SurOriental está ubicado sobre depósitos fluvioglaciares de origen torrencial, constituidos por bloques y cantos de arenisca de formas subredondeadas a subangulares y algo planas provenientes de las rocas del Grupo Guadalupe, con tamaños variables que alcanzan los 5 metros de diámetro y su proporción con respecto a la matriz es de un 40% a 60%. Estos depósitos se localizan sobre las formaciones blandas y

preferiblemente sobre la Formación Bogotá, la cual está constituida por una secuencia de arcillolitas y lodolitas de coloración variable entre gris claro y oscuro, amarillo y rojo, con intercalaciones de areniscas blancas y marrones de grano fino a medio, cemento arcilloso y óxidos de hierro. Ver *plano N° 2 "Mapa Geológico Regional."*

4.3 Geología Local

Afloran rocas sedimentarias de edad Terciaria, que hacen parte de la Formación Bogotá, conformada por intercalaciones de arcillolitas grises y limolitas habanas en capas variables de 0.50 a 2.0 metros de espesor con pequeñas intercalaciones o lentes de gravas y gravillas.

En el área de estudio afloran principalmente arcillolitas grises que debido a los diferentes grados de meteorización y alteración dan arcillas rojizas y abigarradas, producto del contenido de óxidos de hierro; también se encontraron limolitas en colores variables entre el amarillo y el habano.

El espesor de la capa de meteorización en promedio puede variar entre 4.50 y 5.00 metros, como se pudo comprobar tanto en los apiques como en los sondeos.

La roca sana se encuentra en promedio a una profundidad del orden de 5 metros.
Ver mapa geológico regional y local, *anexo # 1 planos 2 y 3* y descripción de sondeos y apiques en el *anexo 4 " Memorias de sondeos y apiques"*

En la zona norte de la zona de estudio, se observan afloramientos de depósitos fluvio-glaciares compuestos por bloques, cantos y gravas subredondeados a angulares hasta de 5 metros de diámetro embebidos en una matriz arcillosa.

En algunos sitios puntuales dentro de la zona se observan remanentes de los depósitos fluvio-glaciares que afloran en las inmediaciones del área y que están conformados por bloques de areniscas de color amarillo a blancas, bastante friables y deleznables en diámetros de hasta de 2.00 metros metidos en una matriz arcillosa.

A continuación se describen las subdivisiones de pequeñas unidades litológicas encontradas en la zona de estudio, basadas en las descripciones de las investigaciones del subsuelo y en los apiques, debido a los pocos afloramientos existentes en el área.

4.3.1 Unidad Tpb-arc-g

Hace parte del nivel superior de la Formación Bogotá nivel arcilloso, su clasificación se deriva por correlación de los apiques A3 y A4 y las perforaciones B1, B2, B13, B14 y B15 ubicados en la parte occidental de la zona en estudio y compuestos principalmente por arcillas de color gris, poco oxidadas y duras. Ocupa la zona mas estable. (Ver *anexo # 1 plano # 3 "Mapa geológico local"*).

4.3.2 Unidad Tpb-arc- ab

Como la unidad anterior hace parte del nivel superior arcilloso de la Formación Bogotá, se la clasifica como una unidad arcillosa de color gris oscura con pequeños lentes de arena y con intercalaciones de arcillas grises claras y arenas. Una vez oxidadas dan colores rojizos abigarrados debido al contenido de óxidos de hierro. Esta unidad se ubica en la parte central de la zona de estudio y es sobre la que se presentan los fenómenos de inestabilidad más evidentes.

Esta clasificación se basa en los apiques A1,A2, A5 y A6 y en los sondeos B3, B4, B5, B6, B7, B8 y B14. (Ver *anexo # 1 plano # 3 "Mapa geológico local"*).

4.3.3 Unidad Tpb-lim-arc

Similar a las dos anteriores, compuesta por intercalaciones de arcillas grises oscuras con intercalaciones arcillosas carmelitas y rojizas con pequeñas intercalaciones de limos amarillos. Su clasificación se hizo con base en las correlaciones litólogas de los sondeos B9, B10, B11 y B12, ocupa la parte oriental de la zona de estudio

4.3.4 Depósitos fluvio-glaciares (Qfl)

Conformados por bloques, cantos y gravas de areniscas de forma subredondeada a subangular y algo planar en tamaños variables de 1 a 5 metros de diámetro mayor y metidos en una matriz arcillo- arenosa en un porcentaje de 40% a 60% con relación a la matriz .
Se encuentran en afloramientos ubicados principalmente en la zona norte sobre la margen derecha de la quebrada.

4.3.5 Depósitos aluviales y depósitos de relleno (Qra)

Se encuentran sobre el antiguo cauce de la quebrada Chorro Colorado y actualmente canalizada y cubiertos por un relleno limo-arcilloso.

4.4 Geología estructural

La zona de estudio se localiza al occidente de la falla de Bogotá con una dirección general S-N, de carácter inverso, buzando al Este. Esta falla fue la que invirtió la dirección de los estratos de la Formación Bogotá, que tienen un rumbo variable entre Norte - Sur y Norte 15 grados Este, con buzamiento de 15 a 20 grados hacia el Este, lo que favorece la estabilidad del terreno, en contra de la pendiente topográfica.

4.5 Geomorfología

El terreno está conformado por una gran unidad geomorfológica dada por un filo aplanado que hace parte de la media ladera de una de las estribaciones locales del piedemonte oriental de la Cordillera Oriental en las proximidades del barrio San José Oriental al sur de Bogotá. Tiene una dirección Este - Oeste, entre las cotas 2813.7 y 2839 m.s.n.m., y limitado al norte por la quebrada Chorro Colorado, actualmente canalizada en donde se localiza la calle 41ª sur y otra quebrada que la limita al sur.

Con base en la fotointerpretación geomorfológica la anterior unidad, está compuesta por tres subunidades: la primera conformada por la parte superior de la loma y denominada "Lomo de baja pendiente", en el que los procesos erosivos han actuado muy levemente dando dicha geoforma.

Hacia la ladera en su parte inferior y en los límites con la quebrada se observan dos geoformas: una denominada "Ladera de Quebrada", en la que los fenómenos erosivos han actuado de tal manera que dieron origen a los primeros desprendimientos masivos, generando una corona de deslizamiento actualmente cicatrizada.

La segunda geoforma denominada "Talud de Corte" fue la que generó los últimos deslizamientos que afectaron la zona con grietas y movimientos y reptaciones locales. (Ver *anexo # 1 plano # 4 "Mapa geomorfológico"*).

4.6 Fotografía aérea.

Han servido de análisis de los fenómenos analizados, las fotografías áereas de diferentes épocas. Particularmente se tienen identificados vuelos entre 1956 y 1998 en donde aparece la zona de estudio en pares estereoscópicos, cuya

información detallada se transcribe en la *tabla Nº 4.2 " Fotografía aérea del área de estudio"*

AÑO	MES	#VUELO	SOBRE	# FOTOS	ESCALA	OBSERVACIONES
1956	febrero	C-772	2936		1:9000	No disponible
1956	enero	C-770	2923A 2923B	57-58	1:9000	Disponible
1956	Abril	C-774	2948A 2948B	407-408	1:3500	Disponible
1977	Julio	C-1763	28860A 28860B	02-03	1:7400	Disponible
1985	Diciembre	C-223	33261	77-78	1:30200	Disponible
1984	Mayo	C-2128	32138	150-151	1:18500	Disponible
1986	Diciembre	C-2265	33684	51-52	1:20800	Disponible
1996	Diciembre	R-1212	8798	140-141	1:30700	Disponible
1998		SAV-415	8790	147-148	1:20100	Disponible

Nota: Años 1966-1976, 1980-1990 no hay vuelos cercanos.

Tabla Nº 4.2 " Fotografía aérea del área de estudio"

5. ESTUDIO GEOTECNICO

5.1. Investigación del Subsuelo.

Con base en las observaciones de campo con el grupo de trabajo de especialistas e ingenieros, se presentó un programa de exploración de campo al inicio del estudio. Este programa se adelantó en el presente período en su totalidad con algunas variaciones y ampliaciones que se detallan a continuación en la tabla Nº 5.1.

5.1.1 Exploración.

Se adelantaron las siguientes cantidades de trabajo de campo:

Item	***Actividad***	***Cantidad***
1	Apiques	6
2	Barrenos de mano zona inestable	8
3	Barrenos de mano zonas perimetrales	5
4	Sondeos con taladro mecánico	2

Tabla Nº 5.1 " Cantidades de sondeos y apiques realizados"

En el ***anexo # 3 " Memoria de sondeos y apiques"*** se incluye la memoria detallada de los sondeos y los ensayos in situ realizados.

5.1.2 Ensayos In-Situ y de laboratorio.

Se realizaron ensayos dentro del sondeo en todos los sondeos y en los apiques, los cuales incluyeron:

Descripción de campo visual.

Penetrómetro de campo

Veleta

Torvane.

Ensayo de penetración estándar.

Con el fin de conocer las características físicas del suelo y su clasificación se realizaron ensayos de contenido de humedad y límites de Atterberg (límites líquido y plástico), de las muestras más representativas de los estratos encontrados en cada sondeo.

Para conocer las características mecánicas de resistencia de los estratos encontrados se realizaron ensayos de corte directo, consolidación, compresión inconfinada y pesos unitarios. El resumen de los resultados de ensayos de laboratorio se incluye en el **Anexo Nº 4 "*Ensayos de laboratorio de suelos* "**, al final del presente informe.

5.1.3 Perfil estratigráfico.

Con base en los resultados del programa de investigación del subsuelo y en los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio, complementado con las observaciones de campo se identificaron las siguientes unidades estratigráficas.

Estrato 1 : Rellenos antrópicos y limo orgánico:

De espesor variable entre unos pocos centímetros a mas de 2 m, esta unidad está compuesta principalmente por la mezcla de arcilla, arenas y desechos de construcción.

Estos materiales se encuentran localizados principalmente en la parte baja del área de estudio, en el sector nor-occidental, cubriendo una zona libre adecuada en la actualidad como parqueaderos y en la parte baja del lote de Bienestar Familiar. (Ver plano # 5 “Inventario de Procesos”).

Con base en los resultados obtenidos a partir del ensayo de Penetración estándar SPT se obtienen valores típicos de N medido en el campo variable entre 7 y 15 golpes/pie.

A partir del método propuesto por el ingeniero Alvaro González (ver anexo # 16 “ Bibliografía”), se encontraron los siguientes parámetros de resistencia al corte del suelo:

Peso unitario total (estimado) γ = 20,8 KN/m^3

Cohesión $c' = 0$ KN/m^2

Angulo de fricción interna ø = 32 a 37 (promedio 34.5°)

En los sectores correspondientes a los patios de las casas se encuentra un horizonte de limo orgánico de color café oscuro a negro, de espesor variable entre unos pocos centímetros hasta 1.0 m de espesor el cual se encuentra en estado seco y fisurado; en ocasiones este manto se encuentra cubierto por una capa delgada de relleno.

Por debajo de la unidad anterior se encuentra una capa de suelos arcillo-arenosos de consistencia firme a dura, los cuales se generaron producto de la meteorización de arcillolitas de la Formación Bogotá.

Este estrato alcanza una profundidad variable entre 3 y 4 m en la parte baja del área de estudio, adyacente a la Calle 41ª sur y a la antigua carretera a Villavicencio, y profundidades variables entre 5 y 8 m en la parte alta del área de estudio.

Este horizonte se caracteriza por presentar una tendencia gradual de incremento de su resistencia con la profundidad, situación que es revelada por los resultados obtenidos en el ensayo de penetración estándar y en la medición de la consistencia del suelo con penetrómetro manual. Entre 1 y 5 m se presentan valores del ensayo de penetración estándar variables entre 10 y 30 golpes por pie y valores de resistencia al corte no drenado variables entre 35 y 140 KN/m^2; a partir de los 5 m de profundidad se presenta un incremento notable en la resistencia del material con valores en el ensayo de penetración estándar entre 30 y 70 golpes/pie y valores de resistencia al corte no drenado entre 140 y mayor de 225 KN/m^2.

En su estado natural este material se encuentra en estado semiseco, con un contenido de humedad muy cercano al límite plástico, y en las capas de suelo más superficial se encuentra en estado fisurado.

La humedad natural HN es variable entre el 18 y el 23 %, el límite líquido LL es del orden de 38 a 40% y el límite plástico LP es variable entre 15 y 18%.

Los valores de peso unitario medidos en pruebas de laboratorio y los datos de resistencia al corte con base en correlaciones empíricas con el ensayo de penetración estándar, arrojaron los siguientes resultados:

Peso unitario total γ = 19.1 a 21.1 KN/m^3 (promedio 20 KN/m^3)

Para esfuerzos de confinamiento menores que 100 KN/m^2

Cohesión	c' = 0 a 16 KN/m^2	(promedio 8 KN/m^2)
Angulo de fricción interna	ø ' = 31.5 a 33° (promedio 32.2 °)	

Para esfuerzos de confinamiento mayores que 100 KN/m^2

Cohesión	c' = 20 a 80 KN/m^2 (promedio 40 KN/m^2)
Angulo de fricción interna	ø ' = 30°

Estos valores de resistencia al corte son comparables con los obtenidos en un ensayo de corte directo efectuado sobre una muestra tomada a 2.8 m de profundidad, en donde se aplicaron esfuerzos de confinamiento variables entre 50 y 200 KN/m^2, encontrando los siguientes valores de resistencia al corte:

Cohesión	c' = 86 KN/m^2
Angulo de fricción interna	ø ' = 30.3°

En un ensayo de consolidación unidimensional efectuado a la misma profundidad se midieron los siguientes parámetros de compresibilidad e historia de esfuerzos:

Coeficiente de recompresión	Cr = 0.02 a 0.04
Coeficiente de compresión	Cc = 0.09
Relación de vacíos inicial	e_o = 0.53
Esfuerzo vertical de preconsolidación	σp'= 200 KN/m^2

<u>Estrato 3: Roca parental.</u>

Está conformada por arcillolitas abigarradas y capas ocasionales de areniscas de la Formación Bogotá. Con base en los datos presentados en planos geológicos al nivel regional, en el área de estudio los estratos presentan rumbo N-S y buzan con inclinación aproximada de 15° al oriente, en contra de la pendiente natural de la ladera favoreciendo a su estabilidad.

A partir de las mediciones de densidad en el laboratorio y de los valores obtenidos en el ensayo de penetración estándar variables entre 60 y 100 golpes por pie, se encontraron los siguientes parámetros de resistencia (Método del ing. Alvaro González):

Peso unitario total (medido) $\gamma = 21,1$ KN/m^3

Cohesión c' = 65 - 80 KN/m^2 (promedio 72 KN/m^2)

Angulo de fricción interna ø = 34.5 a 38 °(promedio 36°)

5.1.4. Nivel Freático.

Durante la exploración no se encontró el nivel freático exceptuando la perforación B-4, en donde el agua se encontró a 2.6 m de profundidad después de interceptar un lente de gravas a 15 m de profundidad; en este sitio se instaló un piezómetro de tubo abierto, en donde se han registrado niveles piezométricos a 6 m de profundidad.

Un residente de una casa localizada en la parte baja del área de estudio, cuyo predio está limitado por un muro en concreto, manifestó que en época de lluvias se presenta agua permanente que mana de las fisuras de los muros. Esta situación explica la infiltración del agua lluvia a través de las fisuras del suelo arcilloso.

5.2 Inventario de Procesos.

El Barrio San José Oriental se encuentra localizado en el sector sur-oriental de la ciudad de Bogotá sobre suelos residuales de la Formación Bogotá, en la margen izquierda de la quebrada Chorro Colorado; con base en las observaciones de campo, en la evaluación de la topografía del sector, e información suministrada por los residentes de la zona se identificaron los siguientes procesos geomorfológicos:

Problemas de estabilidad antiguos:

A partir de observaciones de campo y con base en una interpretación del plano topográfico se pudo identificar un escarpe de un deslizamiento antiguo que se nota por el escalonamiento de la superficie del terreno de altura variable entre 1 y 2 m; este escarpe se prolonga en dirección este-oeste abarcando las dos manzanas del área en estudio entre unos 50 y 70 m del antiguo cauce de la quebrada Chorro Colorado.

Este tipo de deslizamiento comúnmente se presenta en las rondas de las quebradas torrenciales de los cerros orientales, producto de fenómenos de erosión lateral que genera el agua en sus márgenes.

Por las características del perfil estratigráfico, el deslizamiento abarca el espesor de suelo residual de profundidad variable entre 3 y 8 m medidos desde la superficie actual del terreno. De acuerdo con las

condiciones topográficas y la distancia del escarpe hasta el cauce natural se deduce que este deslizamiento es de tipo compuesto con una componente rotacional en la parte alta y traslacional en la parte baja que se prolonga a lo largo del contacto suelo residual – roca y probablemente, definiendo una falla de pata en la margen izquierda de la quebrada Chorro Colorado.

Problemas de estabilidad recientes:

Deslizamientos locales contra la Vía al Llano.

En la zona nor-occidental del área de estudio, correspondiente a la parte baja del lote de Bienestar Familiar y predios adyacentes se encuentran grietas de deslizamientos rotacionales que afectan una capa superficial de relleno del orden de 2.0 m de espesor, seguido por suelos residuales de arcillolitas.

Estos deslizamientos afectan el antiguo talud de corte de la vía y comprometen la estabilidad de un muro de poca altura, que se encuentra localizado en el borde sur de la carretera.

En la parte occidental del muro se presenta un cabeceo muy marcado de su parte superior producto del empuje lateral del relleno que contiene. Detrás de éste muro se detectaron dos escarpes de falla, el primero localizado a unos 10 m del muro y un segundo escarpe a unos 25 m del muro.

Pese a que estas fallas se presentaron por primera vez hacia 1980, se considera que se pueden activar con procesos de saturación y comprometer la estabilidad de las casas localizadas en la proximidad de la carretera antigua a Villavicencio.

Deslizamientos presentados en brechas de deslizamientos antiguos:

Se presenta un gran deslizamiento con grietas activas que coinciden con los escarpes del deslizamiento antiguo mencionado en el numeral anterior; al parecer la superficie de falla de estos deslizamientos es controlada por las antiguas brechas de falla dejadas por el deslizamiento antiguo que corresponde a zonas de suelo fracturado con menor resistencia al corte.

En la actualidad se manifiestan grietas en las viviendas con aberturas superiores a 10 cm y que han aumentado progresivamente en los últimos años.

Estas grietas indican una actividad del problema de estabilidad. Dentro de los predios afectados vale la pena destacar las antiguas instalaciones del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar que fueron construidas hace unos 20 años y que fueron abandonadas después de dos años de construidas por el agrietamiento presentado en parte de ellas.

Con base en el análisis de estabilidad de taludes, se considera que la subpresión que genera el agua en el fisurado o alterado es el principal factor detonante de los problemas de estabilidad de la zona. El agua se infiltra a través del suelo por infiltración de aguas lluvias y por el manejo inadecuado de las aguas servidas generando ablandamiento del mismo y pérdida de resistencia al corte; ésta situación acentúa los problemas de estabilidad que se manifiestan en la zona como movimientos lentos profundos del suelo alterado.

Otros factores contribuyentes al problema de estabilidad consisten en la ocurrencia de sismos de baja recurrencia presentados en los últimos 20 años pero no se cuenta con evidencias de desplazamientos asociados a estos eventos.

5.3. Análisis de estabilidad.

Los análisis de estabilidad se basaron en la información topográfica, en el levantamiento fotogeológico y en los resultados de la investigación geotécnica de campo y de laboratorio, y se definieron cuatro secciones típicas que atraviesan el área de estudio en dirección cercana Norte Sur, como se puede apreciar en el *Anexo # 1, Plano Nº 8 "Plano de cortes de análisis de estabilidad."*

Se adelantaron modelos de equilibrio límite con la ayuda del programa de computador PCStable Versión 6, el cual analiza aleatoriamente numerosas superficies de falla y se determinan las que definen condiciones de estabilidad críticas. El programa permite usar varios métodos de análisis. Los modelos corridos se analizaron mediante el método de Janbú modificado.

Este se basa en los métodos de tajadas para analizar las fuerzas que se desarrollan en la masa de suelo y supone que en el momento de la falla se moviliza la totalidad de la fuerza de corte en toda la supeficie de falla, la cual toma la forma de cilíndrica.

5.3.1 Secciones Estratigráficas:

Con el objeto de obtener una cobertura de información suficiente del área de estudio se analizaron cuatro secciones transversales del deslizamiento localizadas de oriente a occidente con la siguiente denominación y coordenadas.

SECCION TRANSVERSAL	PUNTO DE PARTIDA		PUNTO DE LLEGADA	
	COORD. ESTE	COORD. NORTE	COORD. ESTE	COORD. NORTE
1-1	98884.5	94636.6	98785.9	94541.0
2-2	98855.3	94652.8	98550.0	94548.1
3-3	98809.9	94660.2	98819.5	94554.0
4-4	98770.0	94662.1	98797.0	94558.0

Tabla 5.2" Localización de las secciones transversales de estudio"

5.3.2. Parámetros geotécnicos:

Para los análisis de estabilidad se adoptaron los parámetros geotécnicos obtenidos a partir del ensayo de penetración estándar normalizado, según el procedimiento propuesto por el ingeniero Álvaro González (Anexo 16). También se efectuó un ensayo de corte directo a baja tasa de deformación, que permitió verificar el modelo empírico; los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Material	COHESION(KN/m2)			ANGULO DE FRICCION (°)		
	MIN	PROM	MAX	MIN	PROM	MAX
Relleno antrópico	0	0	0	32	34.5	37
Suelo residual blando	0	8	16	30	31.5	33
Roca alterada	20	40	80	30	30	30
Roca parental	65	72	80	34.5	36	38

Tabla 5.3 Parámetros de resistencia al corte obtenidos a partir del ensayo de penetración estandar (método de Alvaro González)

Basados en el reconocimiento geomorfológico de campo y las comprobaciones efectuadas en las fotografías aéreas, las superficies de falla actuales están controladas por zonas de debilidad pre-existentes que corresponden a las brechas de falla de deslizamientos antiguos. Para comprender este proceso se hace referencia a las investigaciones efectuadas por Skempton y Hutchinson, en donde mencionan el desarrollo de

relictos producto de la meteorización parcial de la roca parental. Los relictos son discontinuidades en la arcilla, debidas a procesos de desecación del suelo; la presencia de estas estructuras produce una reducción de la resistencia del material en función de la escala del problema; al comparar la resistencia medida en un ensayo convencional de laboratorio, resulta mayor a la resistencia real que se desarrolla en el cuerpo de falla del deslizamiento. Por otra parte en deslizamientos antiguos como el caso en estudio se presentan grandes deformaciones a lo largo de la superficie de falla, que generan ondulaciones leves y aplanadas en la arcilla, lo que produce una pérdida adicional en la resistencia al corte a lo largo de ésta superficie.

El comportamiento encontrado por Skempton y Hutchinson, se ve claramente reflejado en los resultados encontrados en este estudio, en donde se midieron los siguientes valores de resistencia al corte en la arcilla residual, por diferentes procedimientos:

	COHESIÓN KN/m^2	*ANGULO DE FRICCION* (°)
Corte Directo	80	30
Ensayo de Penetración Estándar	0 -16	30
Retroanálisis	0 - 4	23 - 36

Los valores medidos en el laboratorio son mayores a los obtenidos de las pruebas de penetración estándar y de otro lado estos valores a su vez son menores a los obtenidos por retroanálisis mediante la reconstrucción de la geometría del deslizamiento antiguo antes de la conformación de las vías.

En la tabla 5.4 se presentan los valores obtenidos por retroanálisis del ángulo de fricción interna para valores de cohesión de c'= 0, 2 y 4 KN/m^2 para las cuatro secciones de estudio.

Para los análisis se consideraron solamente las secciones 2-2 y 3-3, los cuales están localizadas en la zona central del deslizamiento y se consideran representativas del problema de estabilidad y son representadas adecuadamente en el modelo bidimensional de estabilidad; los parámetros obtenidos de las secciones 1-1 y 4-4, no se tuvieron en cuenta puesto que éstas se encuentran en las zonas de borde del deslizamiento.

SECCION TRANSVERSAL	PARAMETROS DE RESISTENCIA							
	C´ KN/m2	Ø' (°)	C´ KN/m2	Ø' (°)	C´ KN/m2	Ø' (°)	C´ KN/m2	Ø' (°)
1 1	0	36.5	2	33.5	4	30	8	24
2 2	0	32	2	29.5	4	27	8	21.5
3 3	0	27	2	26.5	4	22.5	8	18
4 4	0	34.5	2	32	4	29.5	8	24.5

Tabla 5.4 Parámetros de resistencia al corte deducidos por retroanálisis de las secciones de estudio

Para representar la influencia del deslizamiento antiguo, en los modelos de estabilidad se consideró una franja de terreno alterado, denominada 'brecha de falla', con los siguientes parámetros de resistencia al corte:

Valor	Cohesión (KN/m^2)	Angulo de fricción (°)
Promedio	2	28
Máximo	4	30
Mínimo	0	26

Tabla 5.5. Parámetros de resistencia adoptados en la superficie de falla "brecha de falla"

El intervalo de cohesión se definió variable entre 0 y 4 KN/m^2, teniendo en cuenta que para estos valores se obtienen ángulos de fricción interna variables entre 23 y 32°, los cuales se consideran representativos del suelo arcilloarenoso. Para valores de cohesión mayores a 4 KN/m^2, se obtienen valores muy bajos del ángulo de fricción interna del orden de 18 a 24°, los cuales no se consideran representativos.

El ángulo de fricción interna promedio de 28° corresponde al valor promedio obtenido por retroanálisis (tabla 5.4), para una cohesión de 2 KN/m^2 en las secciones 2-2 y 3-3. Los valores máximos y mínimos del ángulo de fricción interna se definieron con una variación de 2° con respecto al valor promedio de 28°, intervalo que se ajusta razonablemente al intervalo obtenido en los modelos de retroanálisis.

En las Figuras 1 a 4 se presentan las secciones consideradas en los análisis de estabilidad; estas secciones representan la geometría de la ladera antes de que se efectuara el corte para la construcción de la Carretera de Oriente (secciones 3-3 y 4-4) y la construcción del ducto de aguas negras a lo largo de la Calle 41A sur (secciones 1-1 y 2-2).

El retroanálisis se efectuó contemplando una condición de saturación total del cuerpo del talud (ru=0.5) y en condición de carga gravitacional sin sismo ($\alpha = 0$). Los casos ilustrados en las Figuras 1 a 4 indican los factores de seguridad obtenidos en cada sección, a partir de los parámetros promedios de resistencia del suelo.

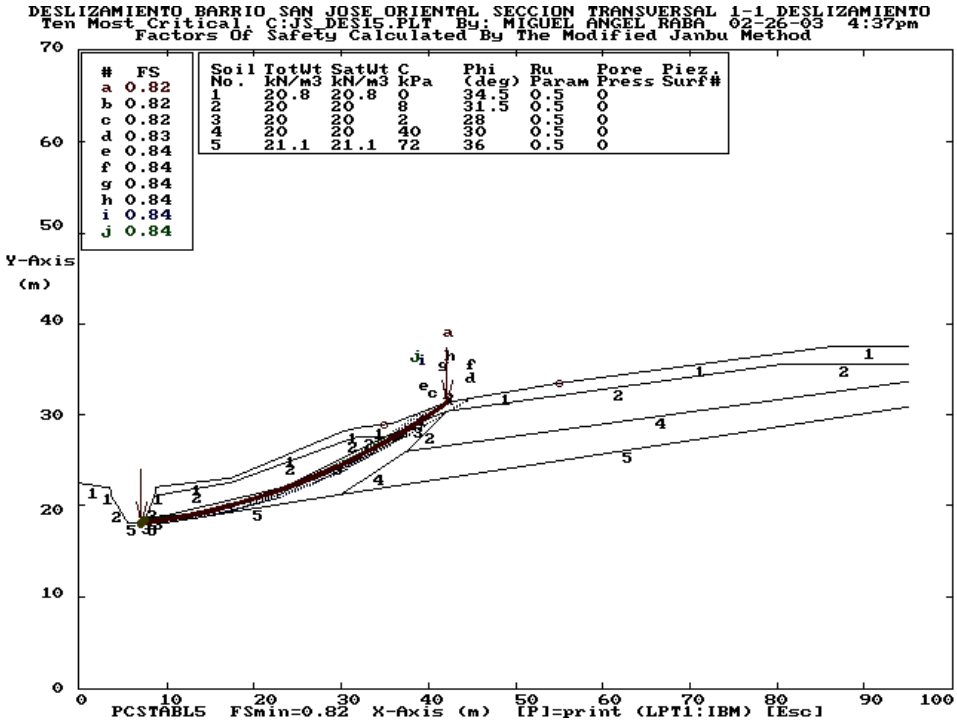


FIGURA 5.1: DESLIZAMIENTO ANTIGUO - SECCION TRANSVERSAL 1-1

Talud saturado en condición estática (α=0)

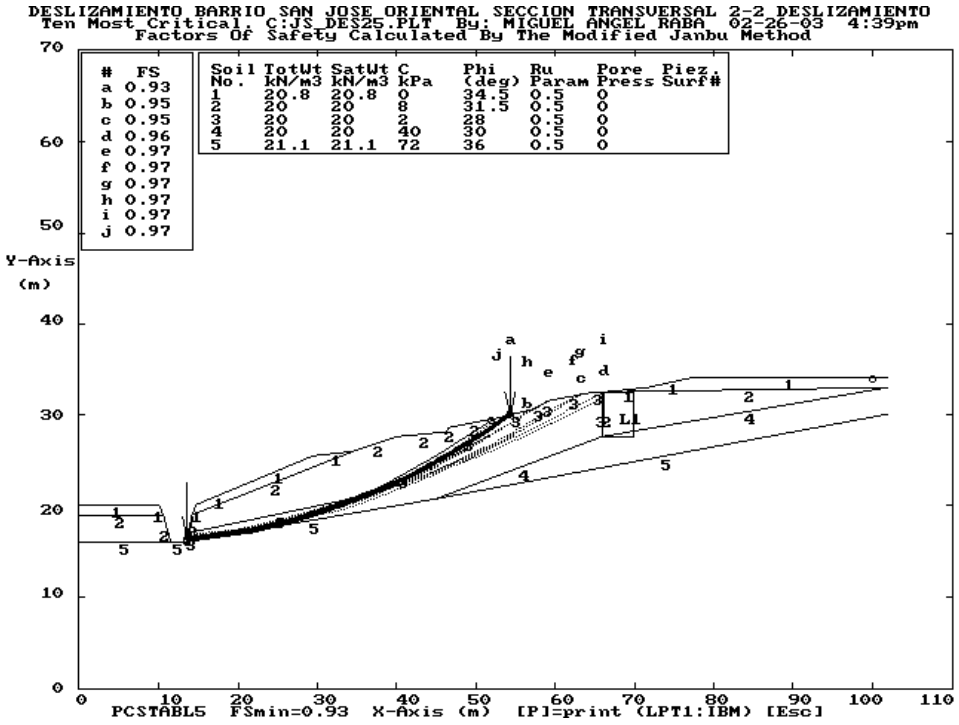


FIGURA 5.2: DESLIZAMIENTO ANTIGUO - SECCION TRANSVERSAL 2-2

Talud saturado en condición estática (α=0)

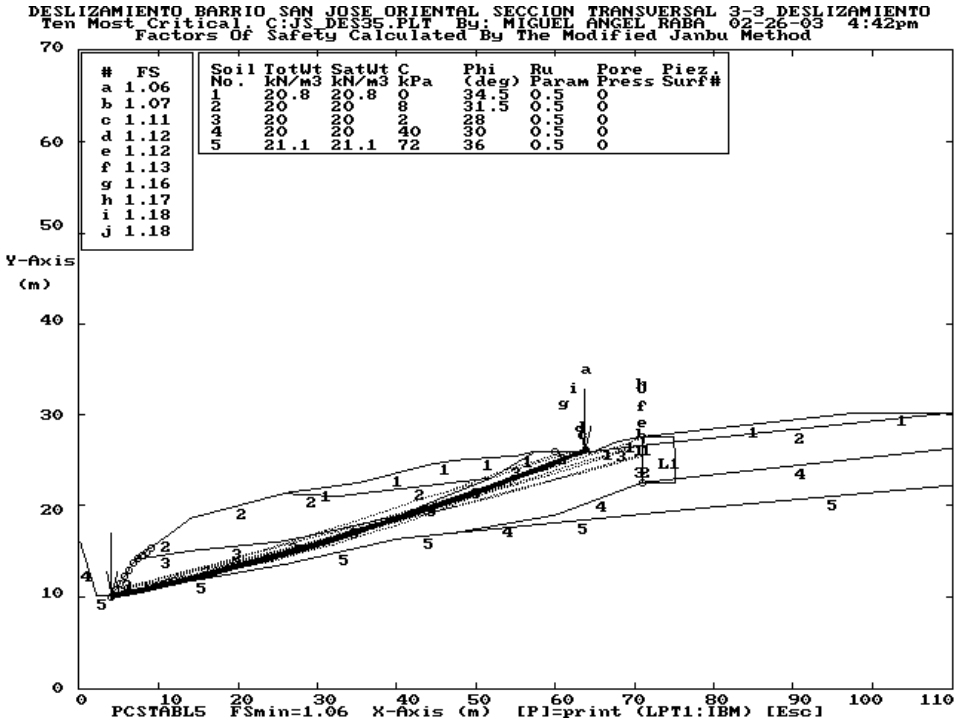


FIGURA 5.3: DESLIZAMIENTO ANTIGUO - SECCION TRANSVERSAL 3-3

Talud saturado en condición estática (α=0)

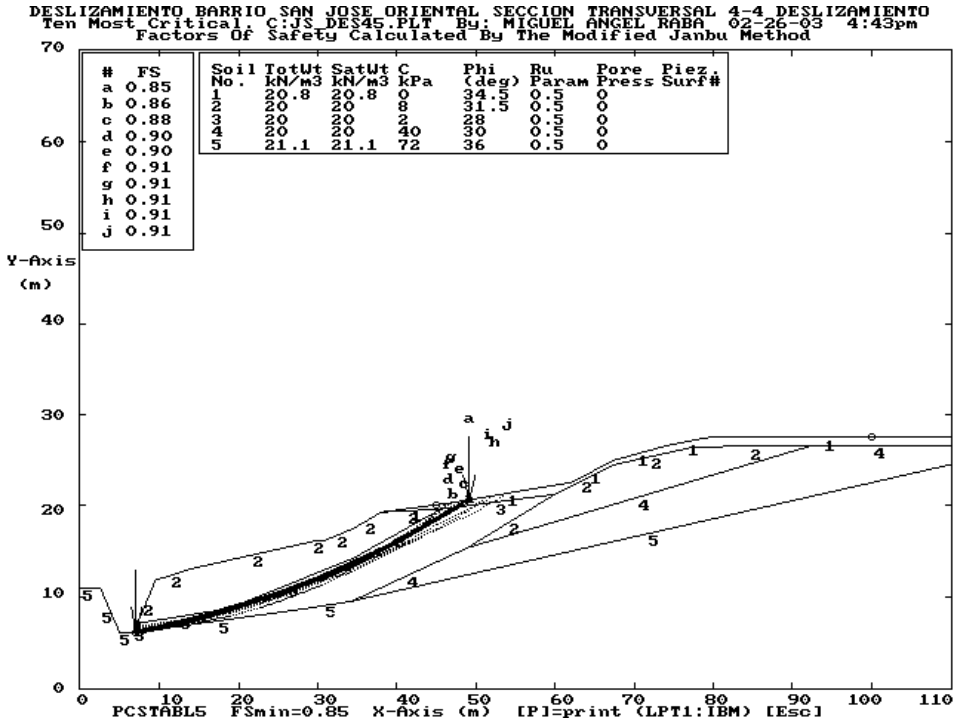


FIGURA 5.4: DESLIZAMIENTO ANTIGUO - SECCION TRANSVERSAL 4-4
Talud saturado en condición estática (α=0)

5.3.3. Resultados de los análisis

Para la elaboración de los análisis de estabilidad se efectuó un análisis de sensibilidad contemplando la variación de los parámetros de resistencia al corte del suelo c' y ø', las variaciones en las presiones de poros en el suelo, considerando el talud seco (ru=0.0) y considerando el talud saturado (ru=0.5), y las variaciones sísmicas contemplando un primer caso de cargas gravitaciones un segundo caso de sismo con aceleración de a=0.12 g, que corresponde al 50% de la aceleración máxima presentada en el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Zona 5, para períodos de vibración bajos a nulos. En total se obtiene la variación de cuatro parámetros (c', ø',ru y α) que generan 16 combinaciones de casos analizados.

Se efectuaron además los mismos análisis con los parámetros promedio de resistencia del suelo los cuales generan 4 casos adicionales de estabilidad.

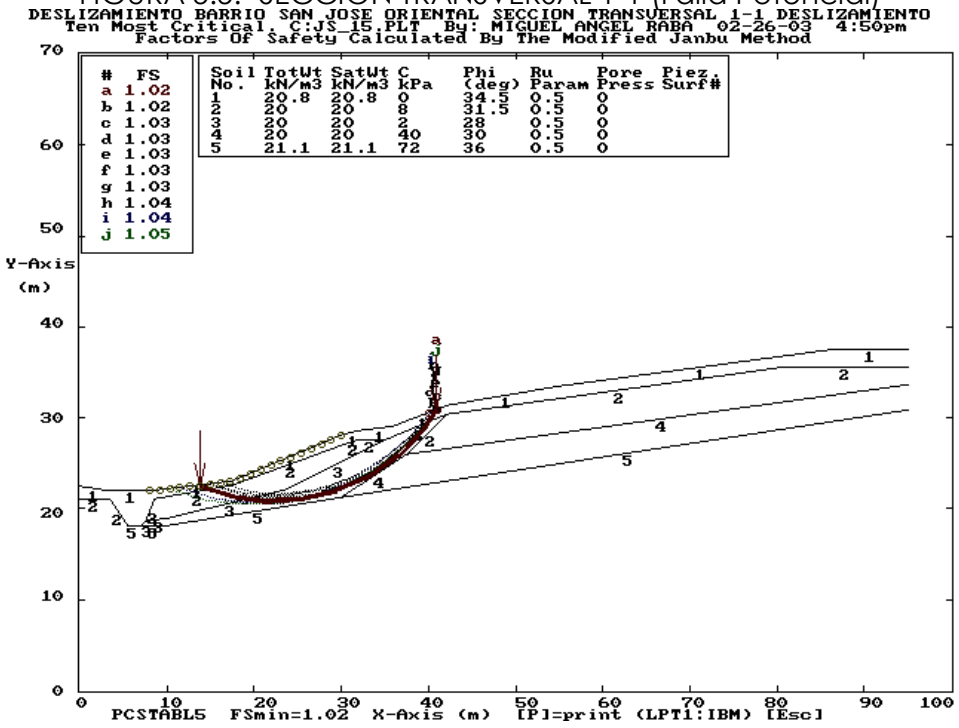
Los análisis se efectuaron contemplando diferentes superficies potenciales de falla, tomando aproximadamente como punto de llegada (pata del movimiento potencial de falla) la calle 41A sur (secciones 1 y 2) y la Carretera de oriente (secciones 3 y 4).

Los puntos de arranque o coronas de los movimientos potenciales de falla, se tomaron variables cubriendo toda el área en estudio; los puntos de arranque más cercanos parten a unos 10 m del punto de salida, aproximadamente a la altura de la corona del talud de corte adyacente a la Vía al Llano y se prolongan cada 10 a 20 m hasta la calle 42 sur.

Los resultados se presentan en la Tabla Nº 5.6 "Resultados de los análisis de estabilidad condición actual" y las secciones de análisis en las Figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8. Como se puede observar el efecto de la presión de poros en el suelo tiene una afectación importante en las condiciones de estabilidad del sector; el efecto de sismo genera una afectación menor comparado con el efecto de presión de poros.

También se observa que la zona adyacente al corte de la Vía al Llano presenta un alto grado de amenaza por deslizamiento, debido a la presencia de rellenos heterogéneos poco competentes y arcillas alteradas.

FIGURA 5.5:- SECCION TRANSVERSAL 1-1 (Falla Potencial)



Condición de saturación y sin sismo (ru=0.5, α=0)

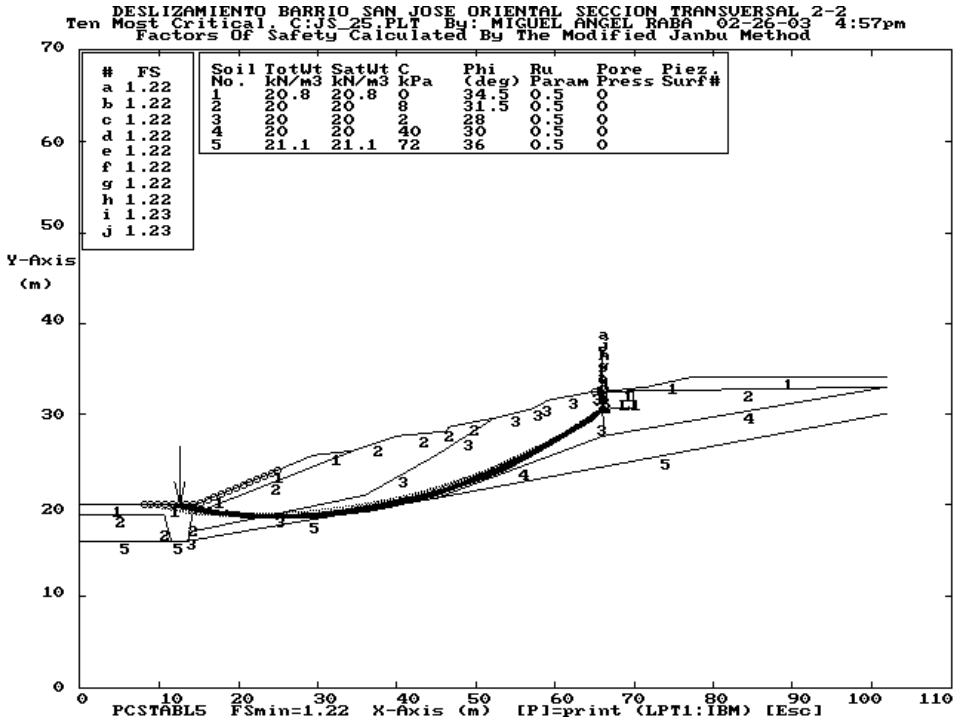


FIGURA 5.6: SECCION TRANSVERSAL 2-2 (Falla Potencial)

Condición de saturación y sin sismo (ru=0.5, α=0)

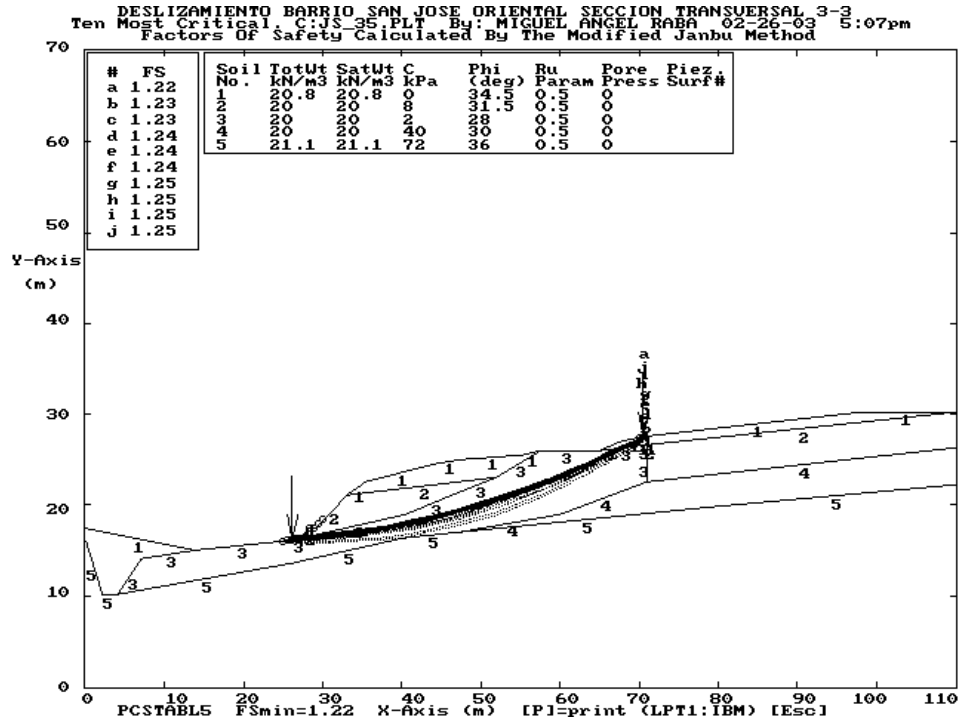


FIGURA 5.7: SECCION TRANSVERSAL 3-3 (Falla Potencial)

Condición de saturación y sin sismo (ru=0.5, α=0)

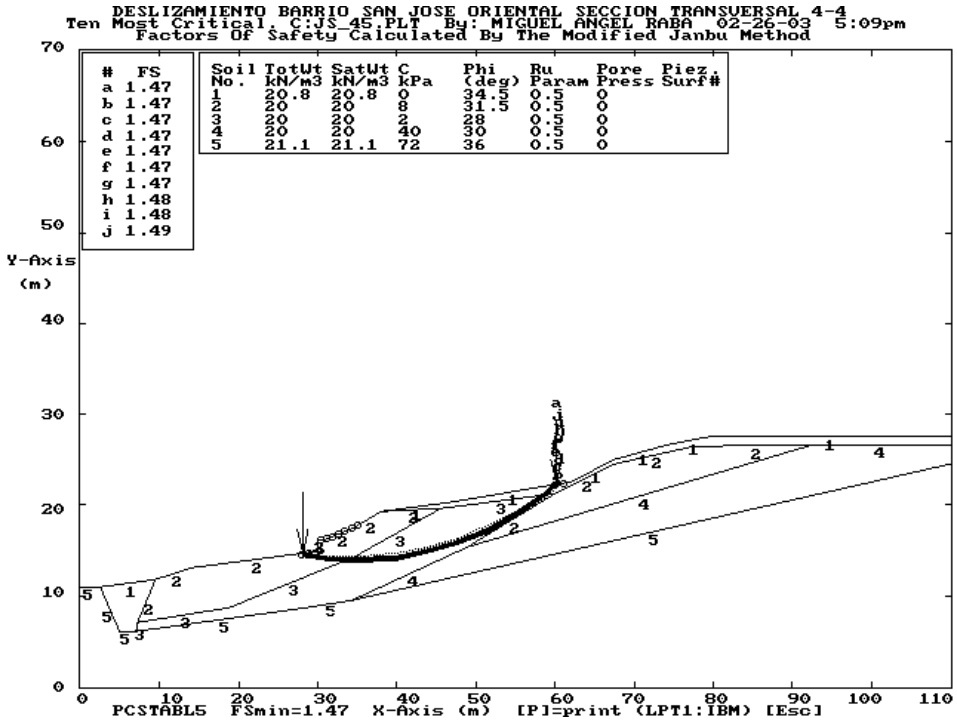


FIGURA 5.8: SECCION TRANSVERSAL (Falla Potencial)

Condición de saturación y sin sismo (ru=0.5, α=0)

6 EVALUACION DE AMENAZA POR FRM

6.1 Método de estudio y metodologías empleadas

En forma general, se puede definir la amenaza como "la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que potencialmente afecte un área dada, para un período de retorno especificado". En este capítulo se realizarán los trabajos para determinar la zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa, llevando a cabo, para tal efecto, las siguientes labores:

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar teniendo en cuenta los trabajos de geología, geomorfología e investigación del subsuelo.

- Determinación de los parámetros de resistencia (c y ϕ) máximos y mínimos, para cada una de las zonas homogéneas con base en los trabajos de investigación del subsuelo y los análisis retrospectivos de estabilidad.

- Análisis de estabilidad para las diferentes combinaciones de parámetros (parámetros de resistencia, lluvia y sismo).

- Cálculo de las probabilidades de falla anuales por medio del método PEM.

- Determinación de las probabilidades de falla de los diferentes taludes para diferentes períodos de retorno.

- Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa tanto a corto plazo (período de recurrencia anual) como a mediano plazo (período de recurrencia 15 años).

<u>Análisis probabilístico de estabilidad</u>

Se determinará la estabilidad de cada talud, hallando el factor de seguridad por medio de la teoría del equilibrio límite (método de Janbu) y determinando la probabilidad de falla por el método del punto medio –PEM- (Rosenblueth, 1975).

Las probabilidades de falla se determinarán a corto plazo (probabilidad total para un período de análisis de 1 año) y a mediano plazo (15 años).

a) Probabilidades de falla a corto plazo

Utilizando el método de Rosenblueth (1975), se determinará la probabilidad de falla a corto plazo tomando los resultados de los análisis de las cuatro condiciones extremas para los factores detonantes sismo y lluvia (sin sismo sin lluvia, con sismo sin lluvia, sin sismo con lluvia y con sismo con lluvia) y utilizando el teorema de probabilidad total.

b) Probabilidades de falla a mediano plazo

Para determinar la probabilidad de falla de los taludes a mediano plazo se tendrán en cuenta dos (2) hipótesis las cuales se describen a continuación.

Hipótesis 1

Por el método PEM se hallarán las probabilidades de ocurrencia del deslizamiento para cuatro casos, a saber:

- Sin lluvia sin sismo.
- Con lluvia sin sismo.
- Sin lluvia con sismo.
- Con lluvia con sismo.

Hipótesis 2

Se utiliza al igual que en la otra hipótesis la teoría de la probabilidad total, pero en este caso, se mantiene constante la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento y se varía la probabilidad de ocurrencia (y por lo tanto de no-ocurrencia) de la lluvia y el sismo[1].

6.2 Criterios aplicados

[1] González, A. (1992). ***AVALANCHE RISK EVALUATION AT UTICA – COLOMBIA.*** Primer Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica. Instituto Agustín Codazzi.

En forma general, el Factor de Seguridad (FS) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez, las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ y cohesión c), la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y la geometría del talud; las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), la sobrecarga (q), la geometría del talud, la presión de poros (Ru) y la aceleración producida por el sismo (α). La convolusión de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (FS); se puede determinar la probabilidad de falla del talud (P(Dz)) determinando la probabilidad de que el FS sea menor o igual a 1.0.

Para simplificar el modelo, algunas de las variables se tomaron como constantes (el peso unitario y la geometría del talud). Además, como no se tiene una relación entre la presión de poros (expresada como Ru) y la precipitación, se calcularon los FS para las condiciones extremas de saturación (de acuerdo con análisis retrospectivos), suponiendo que el caso más favorable se presenta cuando la precipitación es menor a la Lluvia Crítica y el caso más crítico cuando la precipitación es mayor o igual a la lluvia crítica.

Factores detonantes

Lluvia

Para determinar la relación de la precipitación media anual con la lluvia crítica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998).

En este estudio se encontró que la ciudad de Bogotá se puede dividir a partir de la lluvia crítica y de la duración en dos zonas, con las siguientes ecuaciones:

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 x Lluvia anual (mm)	0.04923 * LLcrit

Tabla Nº 6.1 ***Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998).***

La zona de estudio corresponde a un sector intermedio a las dos zonas (Suroccidental y Cerros Orientales); motivo por el se han utilizado los valores de lluvia anual de las estaciones La Picota y Juan Rey, las cuales son las más cercanas a la zona de estudio y corresponden respectivamente a la zona de Cerros Orientales y zona Suroccidental, para así obtener las precipitaciones acumuladas críticas correspondientes a cada estación, y para efectos de cálculos trabajar con la precipitación crítica más desfavorable.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual

Estación	Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (días)	Período de Retorno (años)	Probabilidad de Ocurrencia (%)
Juan Rey	Cerros orientales	217.9	11	21	4.76
La Picota	Suroccidental	197.5	30	36	2.77

Tabla Nº 6.2 ***Resultados obtenidos de la relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual***[1]

De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la precipitación acumulada más crítica entre las dos estaciones, es la de Juan Rey con duración de 11 días y una probabilidad anual de ocurrencia (1/Período de Retorno) del orden de 4.76 %, la cual será utilizada para efectos de análisis de estabilidad.

Sismo

Para el sismo se utilizaron los datos de la microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá, D.C. (aceleración horizontal de 0.24 g, con un período de retorno de 475 años), utilizando el método seudoestático para determinar la estabilidad de las diferentes superficies de falla analizadas.

El método seudo-estático ofrece una aproximación simple para la evaluación de la estabilidad de taludes afectados por sismos. En este, el método del equilibrio límite es modificado incluyendo fuerzas (horizontales y verticales)

[1] González, A., Zamudio, E. y Castellanos, R. (1999). **Relaciones de precipitación crítica-duración que disparan movimientos en masa en Santafé de Bogotá, Colombia**. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

sísmicas que son usadas para simular las fuerzas inerciales potenciales debido a la aceleración en un sismo. Las fuerzas sísmicas son asumidas proporcionalmente al peso de la potencial masa deslizante, por medio de los coeficientes de aceleración k_h y k_v.

Los análisis de estabilidad pseudo-estáticos son relativamente simples paro involucran algunas aproximaciones; el error más común es el uso del valor pico de la aceleración con el coeficiente sísmico, ya que, aunque hay una pérdida de resistencia, su uso puede ser muy conservador debido a que este pico actúa momentáneamente en una dirección. Es por ello que hay diversas recomendaciones para la obtención del valor del coeficiente de aceleración; para el presente estudio, se utilizó la propuesta presentada por Pike (2001) resumida en la siguiente figura.

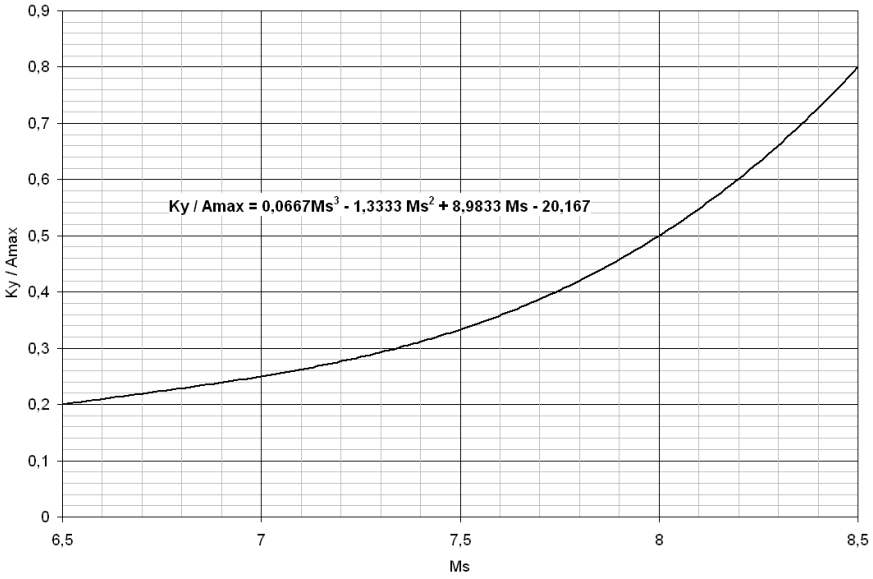


Figura Nº 6.1 ***Coeficiente de aceleración para análisis, según Pike.***

Conservadoramente se tomó un valor de aceleración de 0.12 g (equivalente al 50% de la aceleración máxima de la norma).

Probabilidades de falla

Utilizando el método de Rosenblueth (1975), se determinó la probabilidad de falla a corto plazo tomando los resultados de los análisis condicionales, hallando la probabilidad total a nivel anual (teniendo en cuenta la probabilidad de ocurrencia anual de los factores detonantes sismo y lluvia).

Las probabilidades de falla se ajustaron a distribuciones normales y lognormales, obteniéndose un ajuste de los casos extremos a una función que relaciona la probabilidad del deslizamiento (P(Dz)) y el factor de seguridad (FS) de la siguiente forma:

$$P(Dz) = \frac{1}{1+\alpha FS^{\beta}}$$

Además, se determinó la probabilidad de un deslizamiento en un período de exposición dado de la siguiente forma:

$$\mathbf{P(Dz)_{Td} = 1 - (1\text{-}1/Tr)^{Td}}$$

Donde Tr es el período de retorno del deslizamiento que se puede aproximar a:

$$\mathbf{Tr = 1/P(Dz)}$$

6.3 Zonificación de Amenaza por FRM

Categorización de la amenaza

Para la zonificación de amenaza se utilizaron los factores de seguridad hallados por medio de la probabilidad total a 10 años siguiendo los criterios presentados en la siguiente tabla.

Categoría de la amenaza	Criterio
Muy Alta a Alta	FS menor a 1.3
Media	1.3 < FS ≤ 1.9
Baja a Muy Baja	FS mayor a 1.9

Tabla Nº 6.3 ***Categorización de la amenaza***

En el Anexo 10 *" Memoria de cálculo de análisis de amenaza vulnerabilidad y riesgo"* se presentan las tablas con los resultados de los análisis probabilísticos de estabilidad realizados en las diferentes secciones de análisis, encontrándose la relación entre la probabilidad y el factor de seguridad mostrado en la siguiente figura.

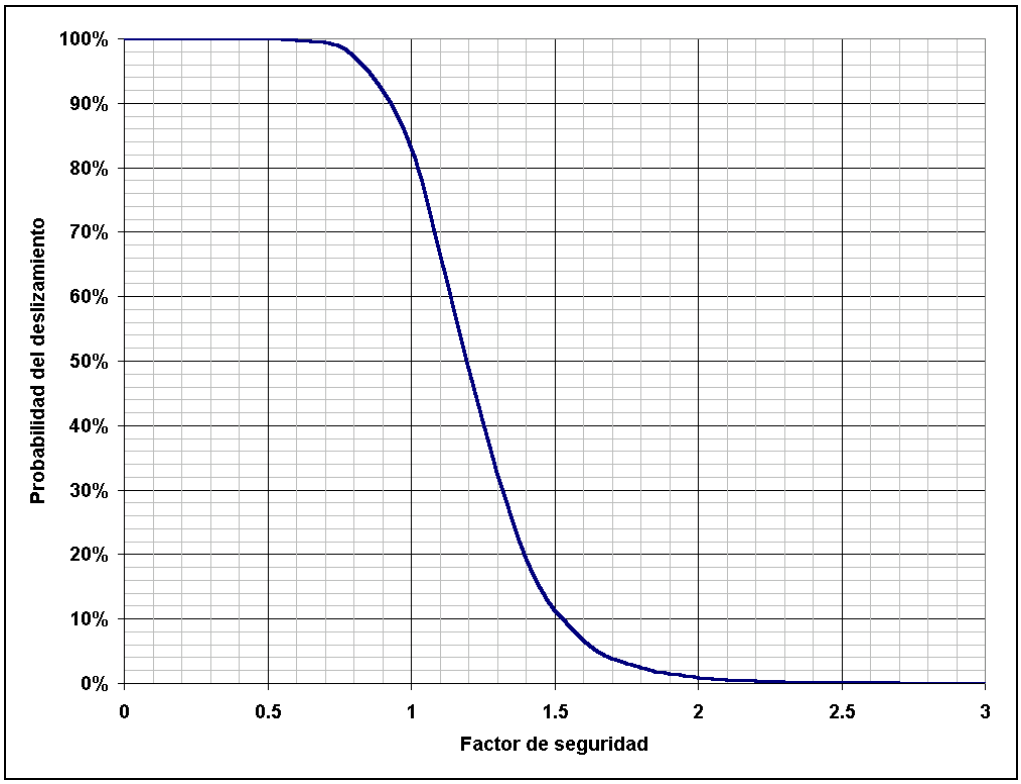


Figura Nº 6.2 ***Factor de seguridad vs probabilidad de falla.***

Además, en el Plano 9 *"Mapa de zonificación de amenaza por FRM"* se presentan los resultados de la variabilidad en el espacio del factor de seguridad resultante de la interpolación de los resultados obtenidos en las diferentes secciones de análisis.

7 EVALUACION DE VULNERABILIDAD POR FRM

7.1 Método de estudio y metodologías empleadas

Generalidades

De acuerdo a los términos de referencia, los principales elementos a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), los análisis de vulnerabilidad se encaminarán a determinar los posibles daños en las edificaciones. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basa en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone[1] y modificada por Soler et al[2]. En resumen, el trabajo consistirá en:

- Clasificar la tipología de vivienda a nivel lote, determinando el nivel de daño que presenta actualmente la vivienda. Esta información se obtendrá de las encuestas realizadas.

- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

Encuestas sobre el hábitat

Con el fin de determinar las características físicas de las viviendas, la calidad e infraestructura de servicios y, en general, las características del hábitat de la zona, se diseñó una encuesta, la cual se realizó en cada una de las viviendas del sector.

---

[1] Leone, F. (1999) ***CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUEA L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN.*** Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

[2] Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). ***METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA.*** XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

7.2. Inventario de viviendas.

Se adelantó el inventario de todas y cada una de las construcciones que conforman las manzanas 20 y 21 de la Urbanización San José Suroriental, donde se ubica la zona de estudio. Para este efecto se utilizó un formulario de encuesta en el cual se consigna toda la información no solo del estado de la vivienda sino de los propietarios y su valor. En el *Anexo # 9 " Formularios de inventario de viviendas"* se incluyen las encuestas realizadas. La calificación de daños y de tipo de vivienda se ajustan a la metodología recomendada por Leone como se explica a continuación. El resumen de las encuestas se incluye en el Anexo 1 *Plano # 13 " Resumen de inventario de viviendas San José Suroriental"*

Para tipificar las viviendas se utilizó el criterio de Leone, el cual se resume en la siguiente tabla.

TIPO DE EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	Tugurios (ranchos).
B2	Casas en mampostería o prefabricadas.
B3	Casas de hasta dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos niveles de buena calidad de construcción (con estructura).

Cuadro 7.1 Tipificación de viviendas según Leone.

Además, se identificaron los lotes donde no hay viviendas como LV ("lotes vacíos").

La información sobre el valor del inmueble ha sido tomado directamente de lo que menciona el propietario, por lo cual este dato se ajustó con estadísticas del valor de la tierra y de construcciones de este tipo según las estadísticas del mercado.

El *"Mapa Predial"* se incluye en el *Anexo # 1, Plano #12*, y en el *Anexo # 1, plano # 13 el " Resumen de inventario de viviendas de San José SurOriental"*

7.3 Criterios aplicados

Además del criterio aplicado para la calificación de las viviendas, se deben calificar los daños y tener en cuenta los daños potenciales. De la asociación de estos criterios se define el índice de vulnerabilidad física, para lograr finalmente una categorización de la vulnerabiidad.

Calificación de los daños.

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por fenómenos de remoción en masa se sigue el criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, a saber:

Índice de daño (ID)	Tipo de daño	Porcentaje de daño
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
2	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
3	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0.4 - 0.6
4	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 - 0.8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura.	0.9 - 1.0

Cuadro 7.2 Clasificación de los daños según el DRM

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).

Vf : Valor final del bien (después del evento).

Para tener en cuenta los daños actuales se determinaron los indices de daño actual (de acuerdo con la inspección a las viviendas) y potencial.

Daños potenciales

Los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes[3] presentada a continuación.

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0.5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0.05 mm/seg y 0.5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0.005 mm/seg y 0.05 mm/seg
Muy lento	VM5	Menor a 0.005 mm/seg

Cuadro 7.3 Clasificación de la velocidad de movimiento de falla del terreno.

La velocidad del movimiento a su vez se relacionó con el factor de seguridad esperado de acuerdo con la siguiente tabla.

FACTOR DE SEGURIDAD	CLASE VELOCIDAD
Menor a 1.1	VM1
Entre 1.1 y 1.3	VM2
Entre 1.3 y 1.9	VM3
Mayor a 1.9	VM4

Cuadro 7.4 Velocidad del movimiento vs factor de seguridad.

Las solicitaciones dependen del tipo de vivienda, y se asigna el índice de daño potencial (IDP) de acuerdo con la siguiente tabla.

	TIPOLOGIA			
SOLICITACIÓN	**B1**	**B2**	**B3**	**B4**
VM1	5	5	4	3
VM2	5	4	3	3
VM3	4	3	3	2
VM4	3	2	2	1

Cuadro 7.5 Calificación por velocidad de desplazamientos horizontales

[3] Cruden, D. y Varnes D. (1991). Landslides types and processes. Cap de Turner K y Schuster RB, Editores, LANDSLIDES INVESTIGATION AND MITIGATION". Special Report 247, Transportation Research Board, Washington D.C., E.U.

Indice de vulnerabilidad física (IVF)

Los dos índices de daño determinados antes (IDa e IDp) se cuantifican por medio de conjuntos difusos (ver la figura siguiente) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas (IPa, asociado al IDa; y el IPp, asociado al IDp). Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996). Para efectos de los cálculos se tomó una confianza de 0.5 (ver el cuadro 7.6 "Rango de índice de pérdidas vs índice de daño.").

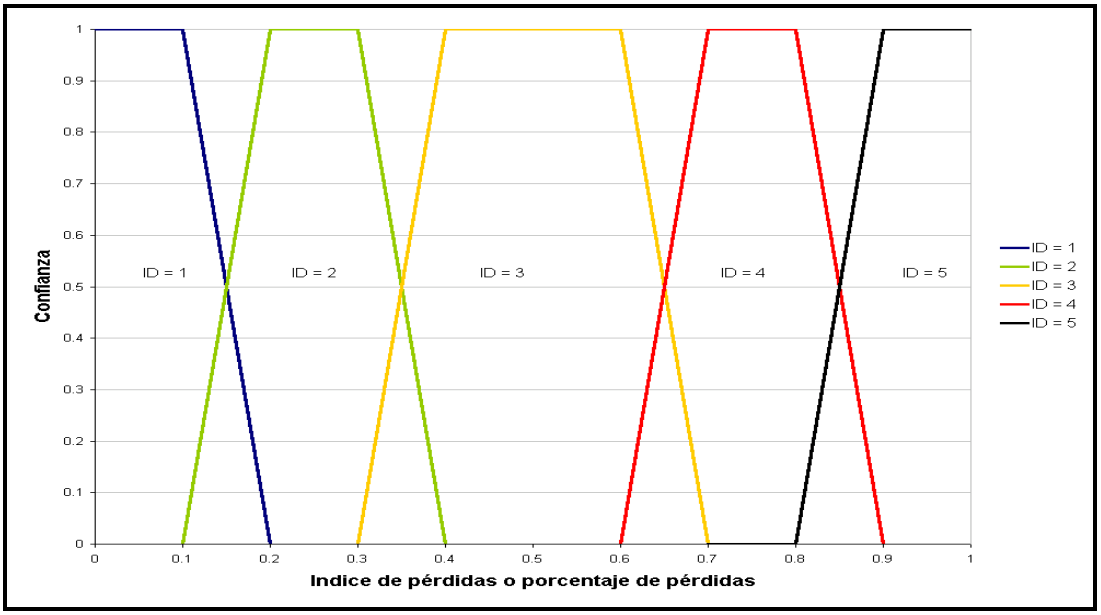


Figura 7.1 Valoración de la vulnerabilidad por conjuntos difusos.

Indice de Daño	IP MIN	IP MAX
1	0.00	0.15
2	0.15	0.35
3	0.35	0.65
4	0.65	0.85
5	0.85	1.00

Cuadro 7.6 Rango de índice de pérdidas vs índice de daño.

Dado que se tienen dos índices, se determinó el índice de vulnerabilidad física (IVF) como la ocurrencia de alguno de los dos índices de daños determinados (expresado como índices de pérdidas), es decir:

$$IVF = P(IPa \ U \ IPp) = IPa + IPp - IPa \times IPp$$

Es de notar que, por cada uno de los lotes existen dos IVF (máximo y mínimo) que determinan la incertidumbre del modelo.

Categorización de la vulnerabilidad

Para la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad (ver Anexo # 1 Mapa # 10 " Mapa de zonificación por vulnerabilidad por FRM") se procedió a categorizar el valor del IVF de acuerdo con criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler, A. J. González y otros, los cuales se presentan en la Tabla siguiente.

CATEGORIA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA a MUY ALTA	IVF promedio ≥ 0.65
MEDIA	0.35 ≤ IVF promedio < 0.65
BAJA a MUY BAJA	IVF promedio < 0.35

Cuadro 7.7 Criterios de categorización de la vulnerabilidad.

7.4 Base de datos georeferenciada

Con el fin de introducir la información del presente estudio a la base de datos del DPAE, a través del Sistema de Información para Gestión y Atención de Emergencias y Desastres (SIRE), se introdujo toda la información solicitada según los pliegos de condiciones y del Manual de Normas para la Adquisición de Información Cartográfica Digital suministrado por la oficina Análisis de Riesgo (SIG) del DPAE.

El software utilizado fue: sistema operacional Windows 9X, Autocad 2000, Arcview 3.1. En esta tabla DWG significa drawing (formato de dibujos), XLS significa Excel (tablas) y C bajo caracter significa "caracter" como una forma alfanumérica de ingresar la información. El ancho significa la capacidad del campo de recibir datos.

TIPO DE COBERTURA	DENOMINACION EN ARCVIEW	ORIGEN	TIPO DE ARCHIVO	TIPO CARACTER	ANCHO
Amenaza	Amenaza	Mapa de Amenaza No 10	DWG	C	5
Vulnerabilidad	Vulnerabilidad	Mapa de Vulnerabilidad No 11	DWG	C	5
Riesgo	Riesgo	Mapa de Riesgo No 12	DWG	C	5
Predios					
Localidad	Localidad	Inventario de Viviendas	XLS	C	25
Barrio	Barrio	Inventario de Viviendas	XLS	C	50
Propietario	Propietario	Inventario de Viviendas	XLS	C	100
Dirección	Dirección	Inventario de Viviendas	XLS	C	100
Estado Construcción	Estado Construcción	Inventario de Viviendas	XLS	C	25
Estado Ocupación	Estado Ocupación	Inventario de Viviendas	XLS	C	25
Tipo Construcción	Tipo Construcción	Inventario de Viviendas	XLS	C	50
Daños Construcción	Daños Construcción	Inventario de Viviendas	XLS	C	50

Cuadro 7.8 Base de datos georeferenciada, SIG.

La información básica se obtuvo del levantamineto topográfico, la información de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se presenta a la situación actual de la zona de estudio y la base de datos se elaboró a partir de las encuestas realizadas en campo, las cuales se incluyen en este informe en el Anexo # 9 y en el plano #13.

7.5 Zonificación de Vulnerabilidad por FRM

En el Plano # 10 *"Mapa de zonificación de vulnerabilidad por FRM"* se presentan los resultados de la variabilidad en el espacio de la categoría de vulnerabilidad resultante de este análisis.

8 EVALUACION DE RIESGO POR FRM

8.1 Método de estudio y metodologías empleadas

La determinación del nivel de riesgo implícito de cada vivienda ante fenómenos de remoción en masa, es una resultante de la difinición de los criterios de amenaza y vulnerabilidad, detallados en los anteriores capítulos.

8.2. Criterios aplicados

Una vez determinado el índice de vulnerabilidad física, IVF, para cada uno de los lotes (edificaciones), el riesgo se calculará como la multiplicación de la probabilidad de falla por el IVF, o sea:

$$IR = Pf * IVD$$

De igual manera que la vulnerabilidad, el riesgo de cada uno de los lotes se caracterizará de la siguiente manera:

RIESGO	CRITERIO
ALTO a MUY ALTO	IR promedio ≥ 0.30
MEDIO	0.20 ≤ IR promedio < 0.30
BAJO a MUY BAJO	IR promedio < 0.20

Cuadro 8.1 Criterios de categorización del riesgo.

Con este índice de riesgo se pueden determinar las pérdidas económicas directas esperadas al multiplicarlo por el valor de las viviendas.

8.3 Zonificación de Riesgo por FRM

En el Plano # 11 *"Mapa de zonificación de riesgo por FRM"* se presentan los resultados de la variabilidad en el espacio de la categoría de riesgo resultante de este análisis.

9 ALTERNATIVAS DE MITIGACION

9.1 Planteamiento de Alternativas.

El planteamiento de alternativas de mitigación o de solución al problema de estabilidad de la zona de estudio se ha basado en las técnicas recomendadas por el DPAE y la Sociedad Colombiana de Geotecnia, identificando dentro de la problemática del terreno los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo como un método de cuantificar y zonificar las viviendas en cuanto al nivel de riesgo involucrado en su ubicación y sus características estructurales.

De un primer mapeo de estos resultados se generó una propuesta de obras de mitigación de la inestabilidad que subieran los factores de seguridad al deslizamiento. Con estas obras se volvió a correr la metodología probabilística con el cual se generó un nuevo mapa de calificación de riesgo con el cual se trabaja para formular las soluciones definitivas.

Aunque este último mapa muestra factores de seguridad altos contra el deslizamiento con la construcción de muros de pata en la base del deslizamiento principal, se ha introducido un concepto sobre la necesidad de generar estructuras de contención en cercanías del escarpe de falla para poder habilitar totalmente las construcciones de la parte superior del terreno, consiguiendo de esta manera una verdadera recuperación de la zona, concretamente de la construcción del ICBF y de la construcción de las facilidades comunales del barrio, que aunque no han dejado de ser usadas, lo cual demuestra su buen estado, sí se ubican en cercanías del escarpe principal y deberían ser objeto de una eliminación de todo riesgo ante todo por ser construcciones institucionales.

La introducción de las obras de contención intermedias o superiores ubicadas en cercanías de la zona fallada del escarpe principal del deslizamiento, obedecen a que en el análisis geotécnico el método supone que la masa de suelo es rígida y por lo tanto la obra en la pata mejora las cifras de la estabilidad totalmente lo cual no es exactamente cierto.

Esta inexactitud se debe a que la masa de suelos que se desliza no es totalmente rígida y por lo tanto puede sufrir deformaciones intermedias que el programa no analiza, y de ahí la necesidad de los muros intermedios que

garantizan que la masa se va a comportar como un todo, y que las construcciones en cercanías del escarpe principal del deslizamiento quedan totalmente seguras. Este es el caso de la construcción del ICBF y del Salón Comunal del barrio .

De hecho, la recuperación del Hogar Infantil del ICBF, no solo consistiría en recuperar lo construído sino en poder usufructuar los jardines como parte importante de la recreación y educación de la niñez, los cuales también se recuperarían por completo con los muros intermedios.

En resumen las obras que han sido objeto de análisis y diseño detallado son como una única alternativa de solución, (adicional a la de no construir obras de mitigación):

Muros de pata y red de drenaje.
Muros intermedios adicionales a los del punto anterior.

9.2 Análisis Probabilístico de Estabilidad con obras de Mitigación.

Como ya se dijo en el numeral anterior, las técnicas de análisis existentes muestran una total estabilidad del sistema con la inclusión de muros en la pata del deslizamiento principal, o sea al nivel de la Vïa al Llano.

Inclusive las cifras muestran que la red de drenaje intensiva podría ser una medida para estabilizar totalmente la masa deslizante, en lo cual no podemos confiar totalmente por la deficiencia de los sistemas de alcantarillado y la fisuración intensiva que tienen las arcillas superficiales.

Por experiencia del grupo de especialistas que condujo el presente estudio, se requiere de los muros intermedios para garantizar la total recuperación de las construcciones de la parte superior, por lo cual se presenta no como una alternativa sino como parte de la única alternativa, y como una necesidad para que el producto del presente estudio tenga la función buscada por el DPAE.

El resultado final del riesgo implícito con las obras propuestas es una total reducción del riesgo en toda el área de estudio. Para fines de presentación de las obras geotécnicas y con el objeto de establecer un árbol de decisiones que involucre no solamente el ingrediente técnico sino el económico, de tal manera que permita efectuar una evaluación clara beneficio costo de las obras proyectadas, el área de estudio se subdividio en tres sectores así:

1) El sector I abarca la totalidad de las casas de la Manzana 20, y está representada en los análisis por la sección transversal 1-1.
2) El sector II cubre la parte oriental de la Manzana 21, abarcando los predios de Bienestar Familiar y Salón Comunal, incluyendo las casas colindantes con la Carrera 10 este. Este sector está representado en los análisis por las secciones transversales 2-2 y 3-3
3) El sector III cubre la parte occidental de la Manzana 21 incluyendo todas las casas que se encuentran al occidente de los predios del Bienestar Familiar. Este sector está representado en los análisis por la sección transversal 4-4.

En la elaboración de los modelos de estabilidad se adoptaron los parámetros promedio de resistencia del suelo. En lo referente a las variaciones en las presiones de poros en el suelo, se consideraron dos escenarios: un primer caso de talud seco (ru=0.0) y un segundo caso de talud saturado con nivel freático a 1.5 m por debajo del nivel de la superficie del terreno.

Respecto a las variaciones sísmicas se contempló un primer caso de cargas gravitaciones y un segundo caso de sismo con aceleración de a = 0.12 g, que corresponde al 50% de la aceleración máxima presentada en el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Zona 5, para períodos de vibración bajos a nulos.

Los análisis se efectuaron contemplando diferentes superficies potenciales de falla, por la base del muro y por la corona del muro. En el primer caso donde se contemplan solamente obras de drenaje se tomaron como puntos de llegada la pata del talud sobre la calle 41A sur (secciones 1 y 2) y sobre la Vía al Llano (secciones 3 y 4).

Los puntos de arranque o coronas de los movimientos potenciales de falla, se tomaron variables cubriendo toda el área en estudio; los puntos de arranque más cercanos parten a unos 10 m del punto de salida, aproximadamente a la altura de la corona del talud de corte adyacente a la Vía Al Llano y se prolongan cada 10 a 20 m hasta la calle 42 sur.

En total se analizaron 288 casos de estabilidad los cuales se resumen en la tabla 9.1 y las correspondientes secciones de análisis se presentan en las Figuras 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4. Los resultados indican lo siguiente:

Respecto a la influencia del sistema de drenaje mediante el uso de drenes subsuperficiales se mejoran sustancialmente las condiciones de estabilidad general de la zona pero sin embargo no mejora lo suficiente en la zona adyacente al talud de corte en la parte baja donde pueden generarse problemas de fallas locales, siendo aún mas críticas bajo la condición de sismo y suelo saturado.

Finalmente la influencia del muro anclado en la zona intermedia, no revela un cambio sustancial en las condiciones de estabilidad en la parte alta, puesto que se localiza muy cerca de la corona de falla y por el efecto de compresibilidad del suelo. Como ya se mencionó con anterioridad ésta estructura de contención contribuye a mejorar las condiciones del suelo de fundación y de los predios localizados en la zona de brecha de falla, por medio del confinamiento lateral del suelo.

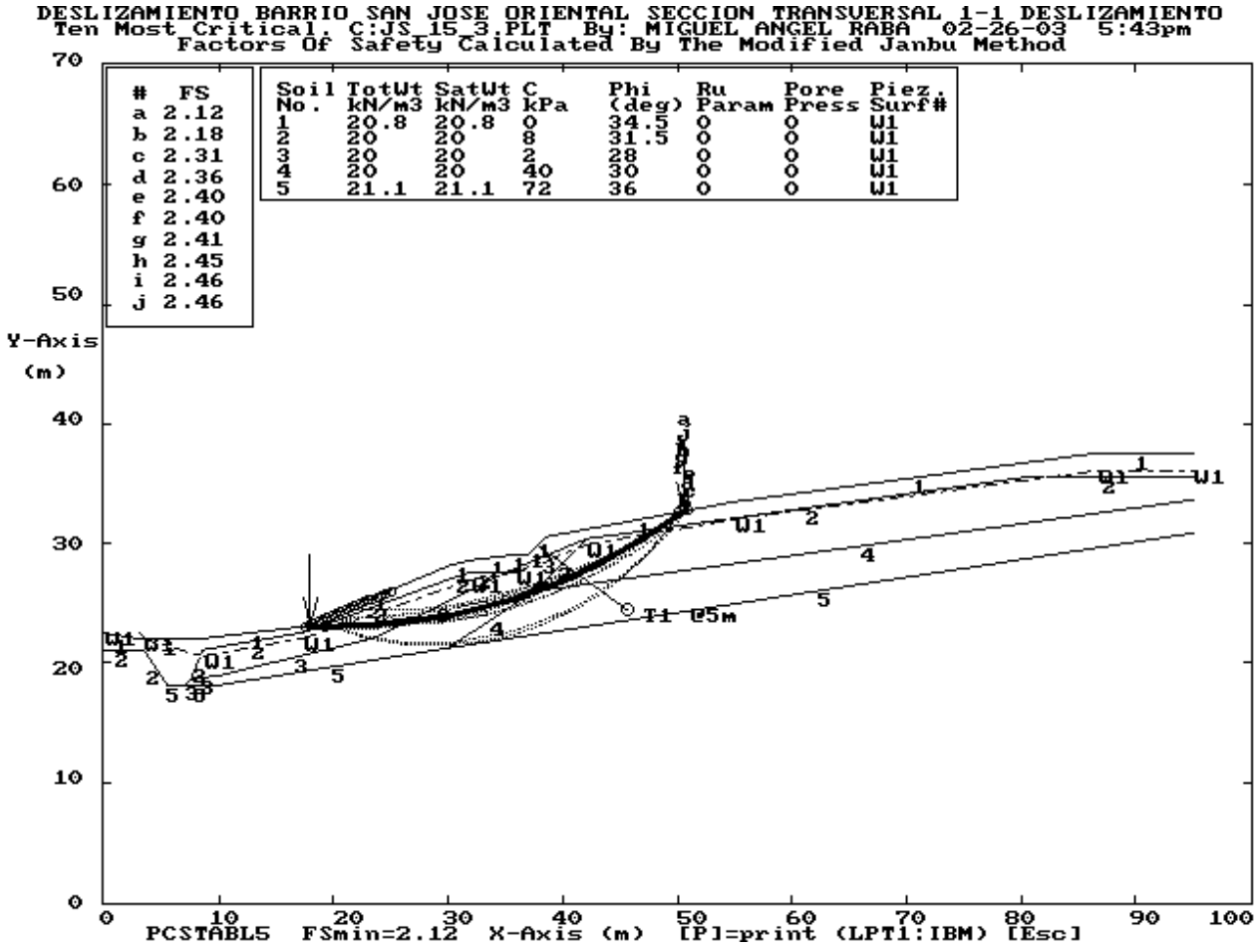


FIGURA 9.1:- SECCION TRANSVERSAL 1-1

Talud con NF a 1.5 m, condición estática (α = 0.0)

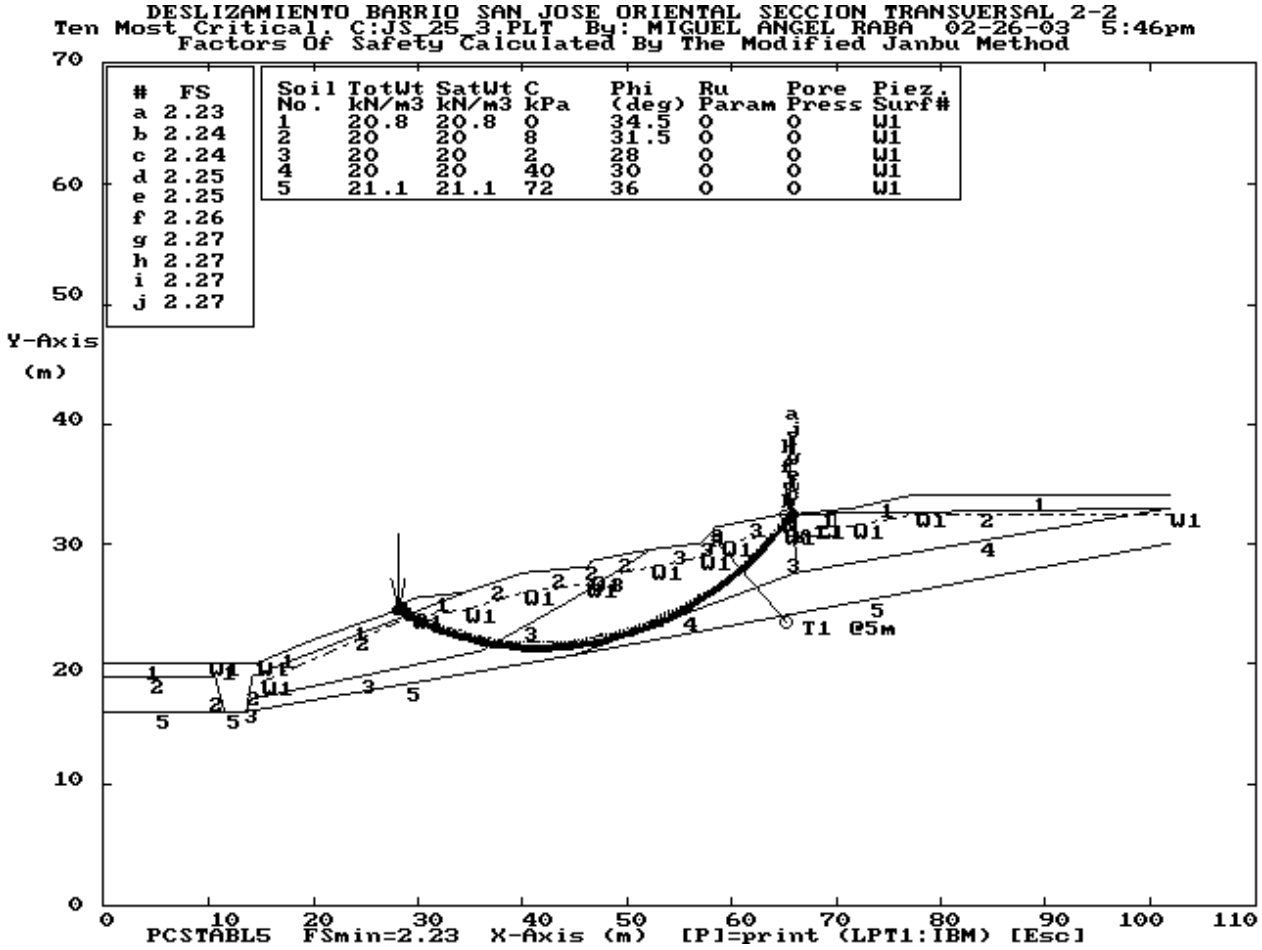


FIGURA 9.2: SECCION TRANSVERSAL 2-2
Talud con NF a 1.5 m, condición estática (α = 0.0)

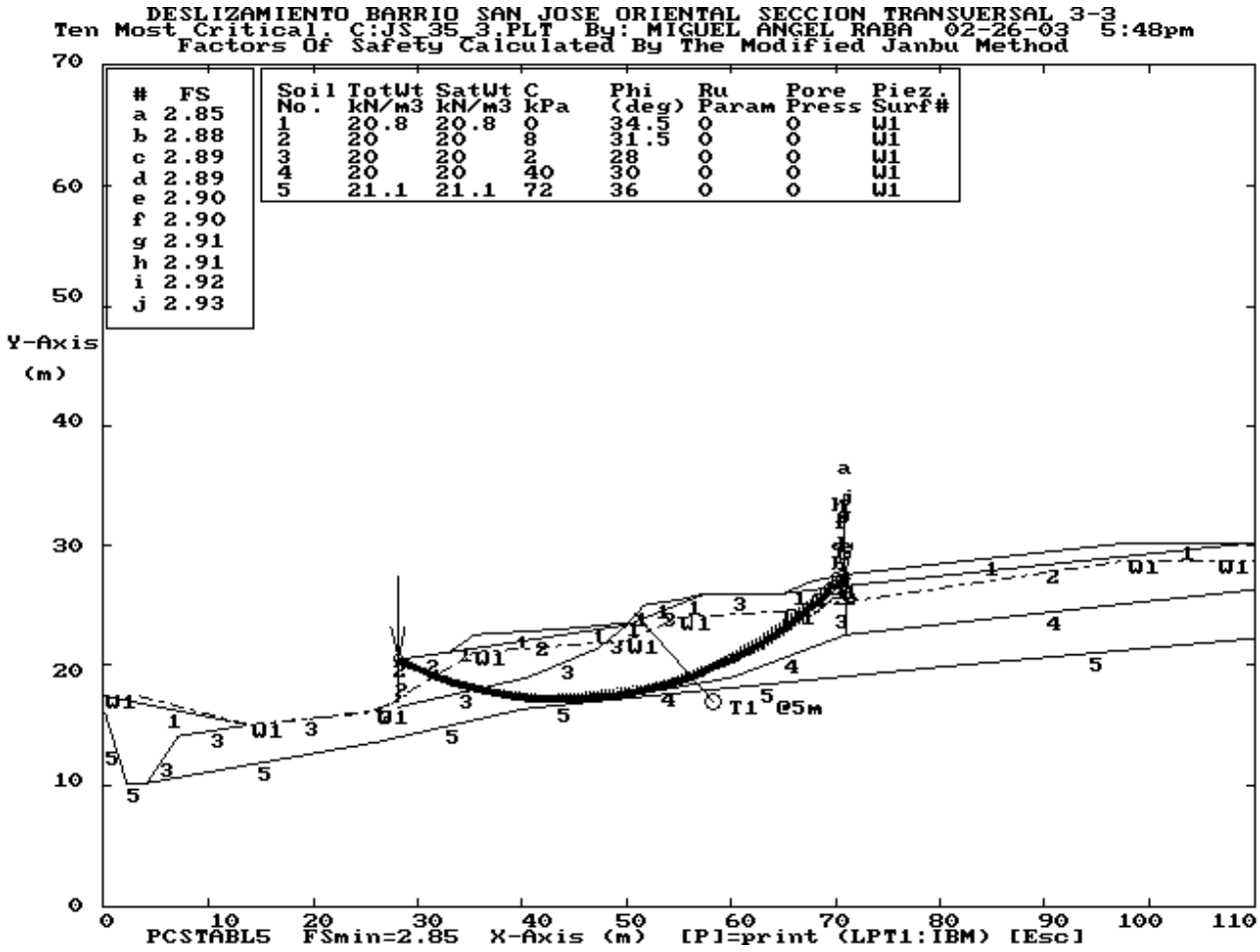


FIGURA 9.3: SECCION TRANSVERSAL 3-3
Talud con NF a 1.5 m, condición estática (α = 0.0)

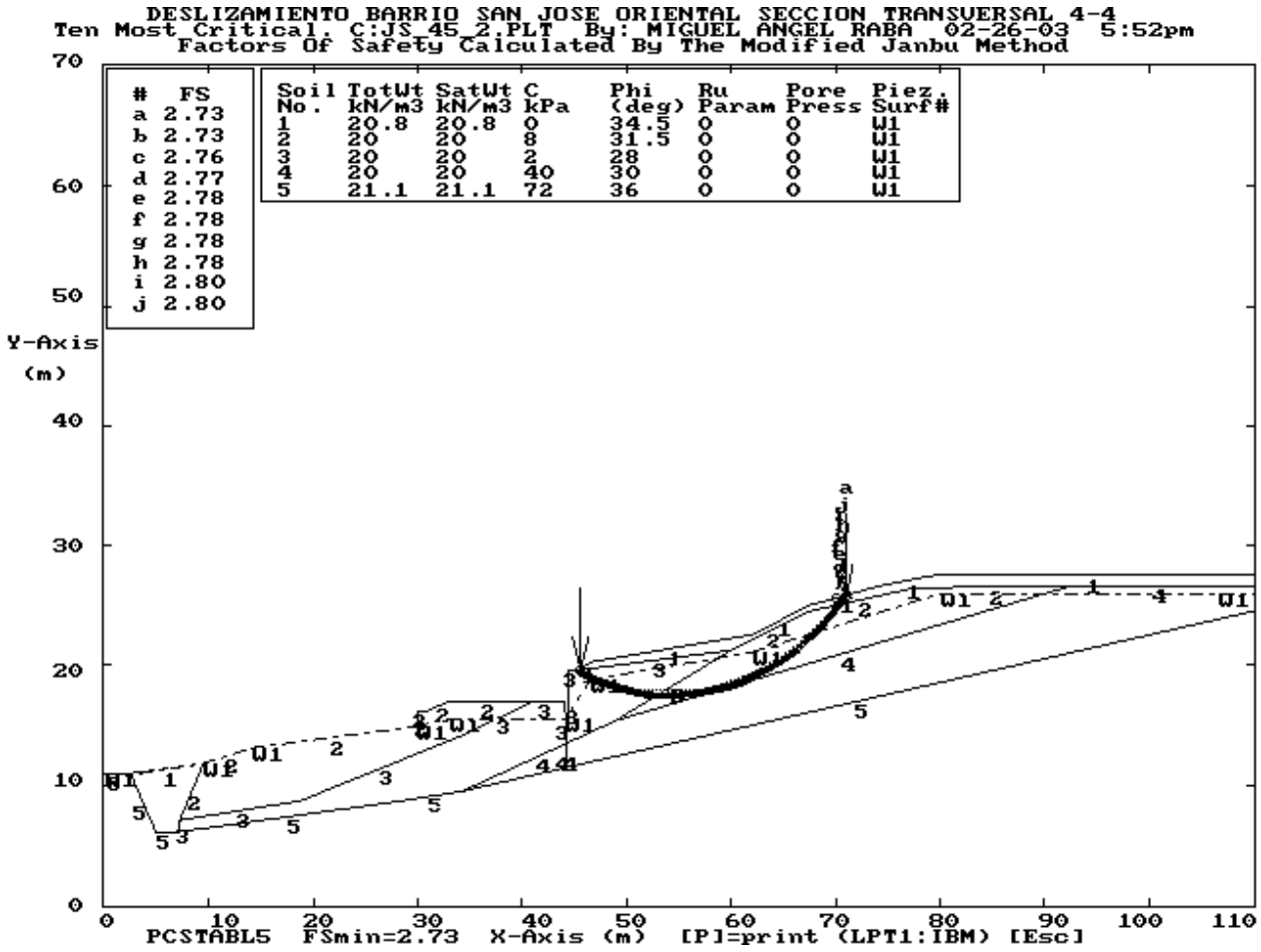


FIGURA 9.4: SECCION TRANSVERSAL 4-4
Talud con NF a 1.5 m, condición estática (α = 0.0)

9.3 Análisis Costo/Eficiencia de las Alternativas de mitigación.

En el concepto de costo/eficiencia que los tratadistas prefieren llamar al revés como Eficiencia/Costo, o Beneficio/Costo, se han tenido en cuenta los siguientes componentes tanto de beneficio como de costo:

Beneficios:

- Valor de las viviendas cuya calificación de riesgo es media o alta, y pasan a riesgo bajo con las obras.
- Seguridad de las personas que habitan las viviendas mencionadas en el punto anterior.
- Usufructo institucional de construcciones comunales como son el ICBF y el salón comunal en este caso, que con la construcción de las obras se recuperan totalmente.

Costos:

- Costo de las obras proyectadas.
- Costo de los predios definidos para adquisición.
- Costo de las reubicaciones de familias de predios definidos para adquisición.

El costo de las obras proyectadas no resiste mucha variabilidad ya que las restricciones geométricas y físicas impuestas por los predios y la forma del terreno, no permite realizar muchas variaciones sobre el tipo de muros a diseñar.
Concretamente se describen los siguientes:

Muro de pata sobre la Vía al Llano.
El muro de pata sobre la vía al Llano es la medida de estabilización más importante para todo el sistema y con sólo ella se logran teóricos factores de seguridad adecuados en todo el terreno de estudio. Por tener una subrasante prácticamente conformada por la roca de base de la zona (ver sondeos # B2, B13, B14, B15) cuenta con una alta capacidad portante y de estabilidad lo cual nos conduce a considerar un muro convencional de concreto reforzado en voladizo.

Para poder aumentar el factor de seguridad al volcamiento y cumplir con un requisito adicional que es el de reforzar la superficie de falla del deslizamiento que coincide con la base de la hoy entubada Quebrada Chorro Colorado, se adicionan unos caissons a manera de apuntillamiento del terreno.

Cualquier otra forma de muro es más costosa y no tan eficiente, como el caso de un muro anclado en este sitio.

Otro factor que podría condicionar la forma final de este muro es el proyecto de ampliación de la Vía al Llano, para lo cual se deberán hacer las gestiones necesarias ante el IDU para conseguir el proyecto y verificar que no interfiera con el proyecto del muro de pata, o si lo afecta, adaptarlo a las condiciones del proyecto vial.

Muros intermedios zona central.

Los muros intermedios en la zona central, o sea frente al ICBF y Acción Comunal, por el contrario no pueden ser muros en concreto reforzado en voladizo porque estarían dentro de la masa deslizante, lo cual permitiría que el muro viajara con la masa deformable.

En este caso es necesario considerar un muro anclado con anclajes fundidos en roca cuya excelente calidad se comprobó con sondeos geotécnicos exploratorios por medio de rotación con taladro rotatorio de avance hidráulico y corazonamiento con corona de diamante.

Muros intermedios manzana 20.

Los muros propuestos en patios de casas existentes, o los que se han propuesto como reforzamiento de las "submuraciones" , (no son muros de contención), que los vecinos del lugar han ido construyendo en algunos saltos de nivel, por más de que se propone la adquisición de algunos predios, no pueden ser ni pantallas ancladas, ni

convencional en voladizo, por falta de espacio. En esos casos se han dimensionando unos muros con caissons empotrados en roca, que además sirven como apuntillamiento del terreno, y muros con contrafuertes que terminan en caissons empotrados en roca como parte del sistema de contrarrestar el volcamiento.

9.4 Arbol de decisión. Selección de alternativa de diseño.

Se presentan los resultados de los análisis costo/beneficio de las obras propuestas para mitigar el riesgo ante fenómenos de remoción en masa en el barrio San José Sur Oriental.

La metodología utilizada para el análisis de costo/beneficio es la de Costo por Vida Salvada (CVS)i, el cual consiste en relacionar la diferencia de las pérdidas esperadas entre una situación con obras y la situación actual, con la diferencia en personas perjudicadas entre la condición actual y la situación con obras.

Las consecuencias sociales son medidas en términos de pérdidas de vidas humanas. Las consecuencias económicas son expresadas por el valor de las casas. Ambas son tomadas como una función lineal del número de casas destruidas. El criterio de decisión adoptado es la minimización del "costo por vida salvada", expresada por la siguiente ecuación:

$$CVSi = \frac{[E(Ci) - E(C_0)]}{[E(D_0) - E(Di)]}$$, donde

CVSi : Costo por vida salvada para la acción Ai

E(Ci) : Costo esperado de las pérdidas para la alternativa 1.

E(Co) : Costo esperado de las pérdidas para la situación actual.

E(Di) : Costo esperado de las personas afectadas al tomar la alternativa 1

E(Do) : Costo esperado de las personas afectadas para la situación actual.

De otra parte:

$$E(Ai) = Coi + E(Ci) = Coi + IRi * PVa$$

Donde,

E(Ai): Costo esperado de la alternativa i.

E(Ci): Costo esperado de pérdidas de la alternativa i.

Coi: Costo de la obra

IRi: Indice de riesgo promedio de las viviendas afectadas.

PVa: Valor de la viviendas afectadas, de donde,

$$E(Ao) = IRo * PVa$$

Donde,

E(Ao): Costo esperado de pérdidas de no construir las obras de mitigación.

Iro: Indice de riesgo promedio actual.

Para el número esperado de personas afectadas, se toma el número de personas y se multiplica por el respectivo índice de riesgo promedio.

El criterio de selección es el menor costo por vida salvada.

Alternativas planteadas:

A continuación se presenta el árbol de decisiones del proyecto. El criterio de selección es el de menor costo por vida salvada .

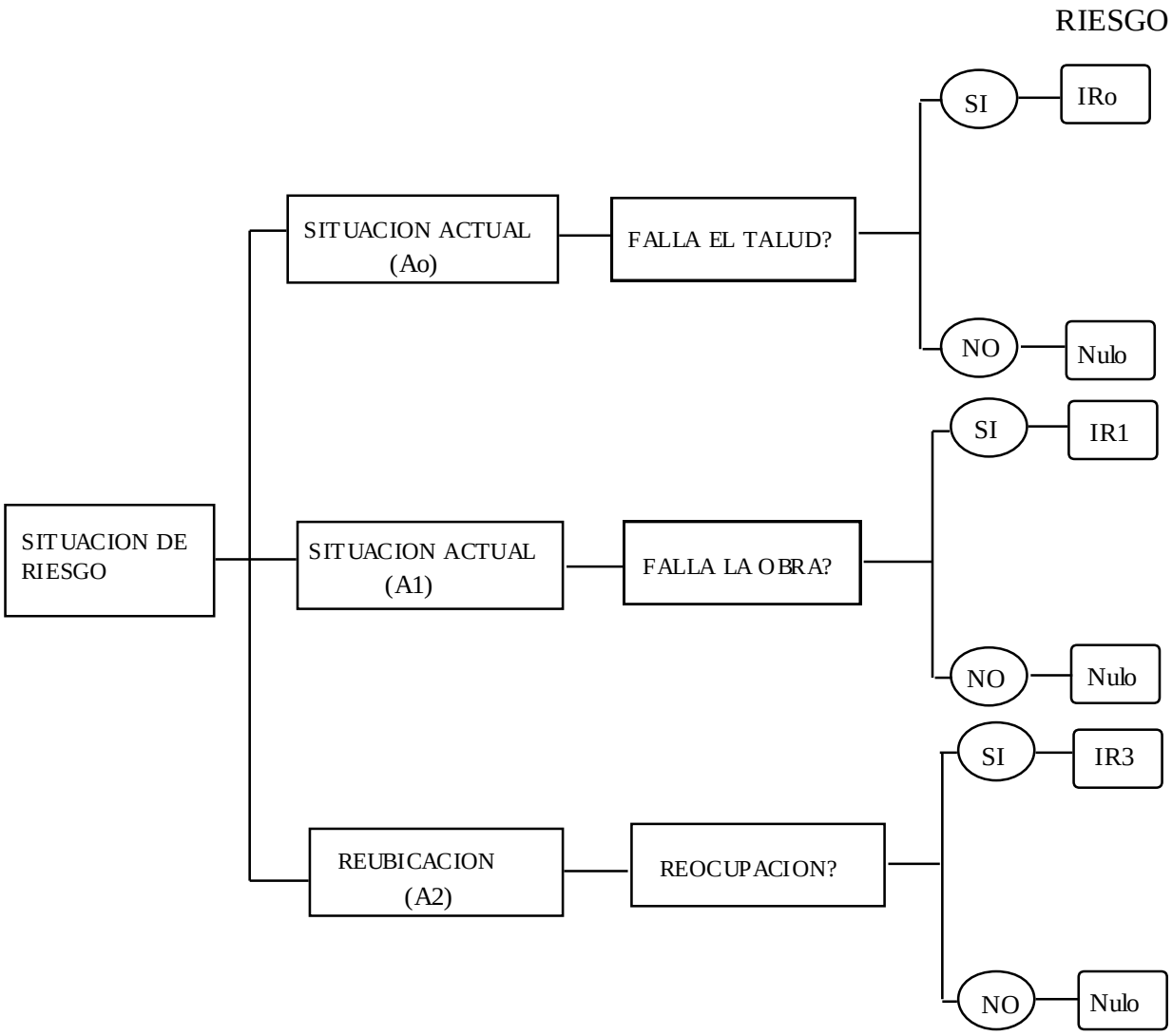


Figura 9.5 Arbol de decisiones.

La alternativa cero no es viable ya que hay viviendas en alto riesgo, es inaceptable.

La alternativa 1 es la indicada en el numeral 9.3, la cual conduce a un valor cercano a **$15'000.000** por vida salvada, como se explica en el Anexo 12 " Análisis de beneficio /costo de la alternativa de mitigación.

La alternativa 2 es reubicar las viviendas localizadas en la parte inferior del talud y que están en riesgo alto o medio.

Número de viviendas a reubicar : 22

- Manzana 20 : Predios (5-6-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24)
- Manzana 21 : Predios (10-11-12-13-14-15-16-17)

Número de persona a reubicar :	**146**
Costo por Vida Salvada CVS :	**$ 32,699,783**
Valor estimado de las viviendas a reubicar :	**$ 743,800,000**

Se resalta que para esta alternativa se tomó un índice de reocupación del 50%.

Los detalles de cálculo se incluyen en el Anexo # 12 " Análisis de beneficio /costo de la alternativa de mitigación."

El resultado del ejercicio anterior conduce a que es mucho mejor construir las obras propuestas con las cuales el nivel de riesgo se reduce a un mínimo en toda el área de estudio, a la alternativa de no hacer nada (reubicación), con la cual el riesgo implícito y calculado en este estudio como el riesgo incial, quedaría igual, lo cual conduce a un costo por vida salvada muy alto comparado con la alternativa de construír las obras propuestas.

10 DISEÑO DETALLADO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

10.1 Descripción de las obras.

Las obras propuestas constan de los siguientes componentes principales:

Muros de contención convencionales en la pata del deslizamiento.

Estos muros se ubican en la curva de la Vía al Llano, en la pata del talud de corte que se hizo para la vía, y son muros convencionales en voladizo de concreto reforzado con unas pilas (caissons) en concreto reforzado de 6 m de longitud promedio que sirven para darle más estabilidad al muro y para apuntillar el terreno en la superficie de falla del deslizamiento.

Muros de contención intermedios no convencionales.

Estos muros se ubican a media ladera o hacia la corona del deslizamiento principal y su objetivo es confinar las masas de suelo de la parte alta y eliminar el potencial riesgo de la zona alta de la ubanzación. Son muros en voladizo sobre caissons empotrados en roca, o muros anclados con anclajes perforados y cementados en roca. También se busca con esta medida reforzar submuraciones que los vecinos han hecho sin técnica ni cálculo, en saltos de nivel de la aldera.

Red de drenaje.

Se propone una red de filtros subsuperficiales que conectan a la red de alcantarillado para reducir la amenaza de saturación de la masa deslizante y reducir los empujes del terreno.

En el Anexo 1, *plano # 14 " Planta general de las obras propuestas "* se observa la disposición de las obras, y en los *planos # 15 a 18 " Planos de detalle"* se observa el detalle de las obras diseñadas.

10.2 Resumen de costos de las obras propuestas.

El siguiente es un resumen del presupuesto de las obras propuestas.

Descripción	***Manzana 20***	***Manzana 21***	***Costo Total***

Obras Básicas	**348'207.765**	**106'234.364**	**454'442.129**
Compra de predios	**161'700.000**	**61'950.000**	**223'650.000**
Totales	**509'907.765**	**168'184.364**	**678'092.129**

El detalle del presupuesto se incluye en el Anexo # 14" Cantidades de obra y presupuesto de obras propuestas"

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .

11.1 Obras de mitigación analizadas.

Confiabilidad de la modelación.

Los fenómenos de inestabilidad presentados en la urbanización San José Suroriental han sido razonablemente modelados mediante las técnicas utilizadas a lo largo del presente estudio, y mediante la caracterización geomecánica de los materiales involucrados y concuerdan con la cronología de eventos presentado en este informe.

Del resultado de las zonificaciones de amenaza , vulnerabilidad y riesgo, y de acuerdo con el análisis de la morfología del terreno y de las zonas afectadas, se enunciaron obras de mitigación que eliminarán el riesgo de inestabilidad a un nivel que permitirá rehabilitar toda la zona afectada. En el enunciado de obras de mitigación, se hace necesario construir algunas estructuras dentro de predios privados, lo cual exigiría comprar 3 predios además de los 3 que la DPAE ya señaló en el 2002 como predios para reubicación. También será necesario tramitar los permisos relativos a la construcción de la red de drenajes y filtros propuestos que cruzan algunos patios de las viviendas como se muestra en el *plano # 14 "Planta general de las obras propuestas".*

Niveles de riesgo.

De acuerdo con el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo realizado se pudieron identificar niveles de riesgo alto y medio por fenómenos de remoción en masa (FRM) en las zonas bajas e intermedias de la zona de estudio, y un nivel de riesgo bajo en la zona alta de las manzanas estudiadas.

Estos resultados se muestran en el *plano # 12 del anexo 13 " Mapa de zonificación de riesgo por FRM"*, y en el *anexo 10 " Memoria de cálculo de análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo"* , donde se puede apreciar el nivel de riesgo calculado para cada uno de los predios de la zona de estudio.

Con las obras propuestas se reduce el nivel de riesgo de toda el área de estudio a nivel bajo, tal como se puede apreciar en los resultados presentados en el *Anexo 12 " Análisis de beneficio costo de la alternativa de mitigación"*, en la determinación de categorías de vulnerabilidad con obras de mitigación.

Geotecnia.

El perfil del suelo en el área de estudio está compuesto por una capa superficial de relleno y limos orgánicos de espesor variable entre 1 y 2 m, seguido por suelos residuales compuestos por arcillas arenosas de consistencia media a dura. Entre 4 y 8 m de profundidad se encuentra la roca competente que consiste en arcillolitas abigarradas y lentes ocasionales de areniscas de la Formación Bogotá.

La inestabilidad local, se atribuye al talud de corte y al muro de contención construidos para la Vía al Llano, en donde se manifiestan fallas locales que afectan los predios aledaños a esta vía. También se debe a la saturación de la masa inestable por falta de drenajes y por una red sanitaria deficiente.

Obras propuestas:

El muro de pata al nivel de la vía al Llano, en la pata de la zona inestable, fué insuficiente para contrarrestar las presiones de tierra generadas por el talud de corte para la misma vía. Todos los análisis conducen a la conlusión de que el realce de dicho muro y la conformación de un apuntillamiento dentro del suelo que "cosa" físicamente la superficie de falla, son claves como parte de la solución.

El muro de pata no es suficiente, aún combinándolo con un aliviamiento de las presiones de tierra, retirando parte del terreno que reposa en la parte baja del predio del ICBF y el taller aledaño, por lo cual se requiere de un segundo nivel de contención que solucione la amenaza directa sobre las construcciones del lomo de baja pendiente, o sea las construcciones que se ubican en la geoforma de la zona superior.

Drenaje.

El otro componente que resulta un detonador de la inestabilidad es, de acuerdo con los análisis, la saturación de las superficies de falla y de grietas de tensión superficiales en las arcillas. Esta conclusión conduce a la necesidad de tener una buena red de drenaje tanto superfical como subsuperficial, mediante filtros franceses, y todo esto combinado con una inspección exhaustiva y reparación de las redes hidráulico sanitarias del barrio.

Asimismo las grietas visibles del terreno deberán ser selladas con arcillas compactadas o morteros fluídos, y las superficies libres deberán ser empradizadas o protegidas luego de los tratamientos subsuperficiales que se diseñen.

11.2. Acción interinstitucional.

Hemos identificado como un aspecto clave del proyecto que se estudia, la acción interinstitucional que debe surgir entre el DPAE, el IDU, el ICBF y Acción Comunal, por cuanto estas entidades tienen intereses muy concretos en la zona, como entramos a detallar a continuación.

Instituto de Desarrollo Urbano, IDU.

De hecho, el corte realizado en la década de los 60 para dar cabida a la curva de la vía al Llano en la pata del deslizamiento ha sido identificado como uno de los

factores detonantes de la inestabilidad, y además dio origen en el inicio de la década de los 80' a la construcción del muro de pata que existe en el sitio, el cual se encuentra desplomado y es insuficiente para contrarrestar los empujes de tierra del deslizamiento.

De acuerdo con informaciones recientes de los habitantes del barrio, el IDU planea una ampliación de la vía al Llano en este sitio, con lo cual se puede acentuar áun más la inestabilidad de la zona o se deberá coordinar con ese Instituto el diseño y construcción del muro de pata similar al que se propone en este estudio que sea compatible con el proyecto de la vía.

Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF.

Por el contrario, el ICBF ha sido parte de los damnificados por el fenómeno, dado que el Hogar Infantil del barrio, construído a principios de los 80' se averió seriamente en su zona Norte por el deslizamiento estudiado, y la zona afectada fue demolida. El Hogar Infantil nunca entró en funcionamiento pero sin embargo hay una zona amplia en pie y en buen estado, que bien podría recuperarse con las obras propuestas. Con estas se recuperaría además el jardín del predio del ICBF, que tratándose de un Hogar Infantil, resulta importante disponer de espacio para juegos.

Acción Comunal.

El salón y las facilidades comunales del barrio, contiguas al hogar infantil del ICBF, también se verían beneficiadas con las obras propuestas, aunque cabe aclarar que esta construcción no se encuentra afectada en la actualidad.

El lindero Norte de esta construcción colinda con una de las cicatrices de inestabilidad por lo cual se encuentra en el límite entre afectación y no afectación.

11.3 Limitaciones.

El presente estudio se ha basado en sondeos, ensayos de laboratorio, observaciones en el campo, y análisis de práctica corriente en ingeniería geotécnica e ingeniería civil. Los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se han adelantado según técnicas propuestas por autores reconocidos, ajustados al caso en estudio. Este tipo de estudios y su metodología ha sido avalado y trabajado en conjunto con la Sociedad Colombiana de Geotecnia.

Las modelaciones de estabilidad han sido adelantadas por criterios comúnmente usados en la simulación de estabilidad de taludes y analizadas estadísticamente mediante programas de computador reconocidos en el área de la geotecnia. Estos modelos suponen simplificaciones y suposiciones para poder ingresar parámetros geomecánicos de las diferentes capas de suelos de una manera uniforme y suponen una calibración inicial. Los resultados de la modelación de estabilidad se consideran acertados dada la coincidencia de los análisis retrospectivos con el fenómeno observado.

El contenido del presente informe no pudo ser complementado con el estudio que hizo la Universidad Nacional sobre los daños a la edificación del Hogar Infantil del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar en el barrio San José Sur Oriental, ya que éste informe no apareció durante la etapa del presente estudio, ni en la Universidad Nacional ni en el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.

Quedo a su entera disposición para aclarar o ampliar cualquier aspecto de este informe. Atentamente,

Héctor Parra F.
Ingeniero Civil.
Mat # 12334 de Cund.