CLASIFICADO

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

Secretaria
GOBIERNO
FONDO DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE EMERGENCIA
FOPAE

GEOCING LTDA.

CRA 27 No. 63C – 25.

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA EL BARRIO MORALBA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL EN BOGOTÁ D.C

CONSULTORÍA
GEOCING LIMITADA
CRA 27 No. 63C – 25.
Bogotá D.C., COLOMBIA

CONTRATO No. 761 de 2009

VOL. 1 INFORME FINAL
ORIGINAL

BOGOTÁ D.C., MARZO DE 2010

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS FOPAE

TITULO: ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA EL BARRIO MORALBA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.

AUTORES: GEOCING LIMITADA

RESUMEN: En este informe se presentan los estudios necesarios para evaluar los riesgos por fenómenos de remoción en masa del barrio Moralba, ubicado en la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C., presentando las medidas de mitigación posibles, y diseñando las obras de prevención y/o control propuestas.

PALABRAS CLAVE: Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Fenómenos de Remoción en Masa, Deslizamientos, Caída de Rocas, Moralba, Localidad de San Cristóbal.

TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:

Fenómenos de remoción en masa: Deslizamientos de tierra, Caída de Rocas.

Amenaza: Probabilidad de excedencia de un fenómeno dado.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD:	CONTRATO:	IDIOMA:	NÚMERO DE PÁGINAS:	NÚMERO DE COPIAS:
Clasificado	**761 de 2009**	Español	130	1

NOTAS Y OBSERVACIONES:

El informe está dividido en tres partes, a saber:

- Volumen 1 – Informe Final.
- Volumen 2 – Anexos.
- Volumen 3 – Planos.

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

CLASE DE DOCUMENTO:	CÓDIGO:	FECHA:
Informe Final	GE-224	

LISTA DE DESTINATARIOS

DESTINATARIO DEL INFORME	IDENTIFICACIÓN

CONTROL DE MODIFICACIONES

ÍNDICE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES	APROBADO

GLOSARIO

Amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso en un periodo de tiempo, en un sitio dado.

Antrópico

Se refieren a todas las actividades mediante las cuales el hombre transforma el medio natural., Obras civiles, Deforestación, Minería, Actividades Agrícolas, Sobrepastoreo, Uso del suelo.

Cuenca

Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones.

Deslizamientos

Son movimientos en masa que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies de falla ó a través de una franja relativamente estrecha del material. Generalmente las superficies de deslizamiento son visibles o pueden deducirse razonablemente.

Deslizamientos Rotacionales

Tienen lugar a lo largo de una superficie de deslizamiento interna, de forma aproximadamente circular y cóncava.

Deslizamientos Traslacionales

En este tipo de deslizamientos la masa de terreno se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación.

Escarpe

Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia de área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.

Geomorfología

En pocas palabras, la geomorfología es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre; pues, según las partículas que componen el término, "geo" es tierra, "morfo" es forma y "logía" es tratado o estudio. Por lo tanto, esta ciencia se remite sólo al estudio de la topografía terrestre. En otras circunstancias, en el estudio de los paisajes de otros astros deberá omitirse el término "geo", y se podrá decir, por ejemplo, morfología de la luna, morfología de Marte, etc. En esos casos, se supone, que habrá toda otra serie de factores muy diferentes a los de la tierra que han dado lugar a la fisonomía de los paisajes en dichos astros.

Riesgo

Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular y como una fusión de la amenaza y la vulnerabilidad.

Superficie De Falla

Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.

Vulnerabilidad

Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultados de la probable ocurrencia de un suceso desastroso.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 19

1.1. JUSTIFICACIÓN 20

1.2. OBJETIVOS 21

1.3. ALCANCE DEL ESTUDIO 22

1.4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS 23

1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS 23

1.6. LOCALIZACIÓN 25

1.7. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 27

1.8. ANTECEDENTES 28

1.9. ORGANIZACIÓN DEL INFORME 31

1.10. GRUPO DE TRABAJO 32

2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 32

2.1. GENERALIDADES 32

2.1.1. Alcance específico del trabajo topográfico 32

2.1.2. Metodología de campo 33

2.1.3. Traslado de coordenadas reales 34

2.2. MÉTODO DE TRABAJO 34

2.2.1. Trabajo de campo 34

2.2.1.1. Altimetría y planimetría 34

2.2.1.2. Trabajo de oficina 35

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 35

3.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 35

3.1.1. Suelos Antrópicos (S1) 38

3.1.2. Suelos Residuales (S2) 38

3.1.3. Roca (R) 39

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO 39

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 40

4.1. INTRODUCCIÓN 40

4.2. METODOLOGÍA 41

4.2.1. Recopilación de información de referencia 41

4.2.2. Antecedentes 41

4.2.3. Análisis de la información 41

4.2.3.1. Información secundaria 41

4.2.3.2. Información primaria 42

4.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES 43

4.3.1. Litoestratigrafía 45

4.3.1.1. Formación Bogotá, Conjunto Inferior(E1bi). 45

4.3.2. Geología estructural 45

4.4. GEOLOGÍA LOCAL 46

4.4.1. Unidades Geológicas Superficiales 46

4.4.1.1. Suelos Residuales (Srs). 47

4.4.1.2. Depósitos de Coluvión Antiguos (Sco3). 48

4.4.1.3. Depósitos de Flujos Tierra Recientes y Actuales. 49

4.4.1.4. Depósitos de Origen Antropogénico. 50

4.4.2. Unidades de rocas 50

4.4.3. Condiciones estructurales 51

4.4.3.1. Estratificación 51

4.5. ASPECTOS DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL..... 51

4.6. CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES..... 54

4.6.1. Morfoestructural..... 54

4.6.2. Subunidades y Elementos de Origen Estructural, Denudativo-Acumulativo y Antropogénico..... 54

4.6.2.1. Subunidades de origen Estructural (E): 54

4.6.2.2. Subunidades de origen Denudativo-Acumulativo (D)..... 54

4.6.2.3. Dentro de las Subunidades y Elementos de Origen Antropogénico, se tienen: 55

4.6.3. Morfodinámica 55

4.6.4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES 58

4.6.4.1. Análisis Multitemporal de fotografías aéreas 58

4.6.5. Caracterización de los Procesos de inestabilidad..... 59

4.6.6. Procesos de inestabilidad..... 60

4.7. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS 63

5. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA..... 64

5.1. OBJETIVOS 64

5.2. METODOLOGÍA..... 64

5.3. MARCO HIDROLÓGICO GENERAL..... 65

5.3.1. Precipitación totales mensuales 65

5.3.2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)..... 68

5.3.3. Lluvia crítica 69

5.4. EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL 72

5.4.1. Coeficiente de escorrentía..... 72

5.4.2. Determinación del tiempo de concentración de la lluvia 75

5.4.3. Cálculos de intensidades máximas 76

5.4.4. Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio 77

5.4.5. Obras de drenaje superficial 77

6. SISMOLOGÍA 79

7. MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO 82

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES 83

7.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA 83

7.2.1. Suelo residual 83

7.2.2. Roca blanda meteorizada 85

7.2.3. Roca Sana 87

8. ANÁLISIS DE AMENAZA 88

8.1. Método de análisis 88

8.1.1. Generalidades 88

8.1.2. Método del equilibrio límite (LEM) 89

8.1.2.1. Parámetros utilizados en los modelos 89

8.1.2.2. Perfiles típicos 90

8.2. ESCENARIOS DE ANÁLISIS 90

8.2.1. Condición actual 91

8.2.2. Condición proyectada. 92

9. DISEÑO DETALLADO DE OBRAS DE MITIGACIÓN 93

9.1. CRITERIOS DE DISEÑO 93

9.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN 94

9.2.1. Alternativa 1 95

9.2.1.1. Obras Propuestas 95

9.2.1.2. Proceso constructivo 95

9.2.2. Alternativa 2 98

9.2.2.1. Obras Propuestas 98

9.2.2.2. Proceso constructivo 98

9.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL 100

10. CANTIDADES DE OBRA, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO 101

10.1. Cantidades de obra 101

10.2. Cronograma 101

10.3. Presupuesto 102

10.3.1. Análisis de precios unitarios 102

10.3.1.1. Porcentaje de AIU 102

10.3.1.2. Presupuesto 103

11. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO 103

11.1. Vulnerabilidad 104

11.1.1. Tipificación de las estructuras 105

11.1.2. Calificación de los daños 106

11.1.3. Tipos de movimientos y solicitaciones 107

11.1.4. Matriz de daño 109

11.1.5. Índice de vulnerabilidad física (IVF) 110

11.1.6. Plano de vulnerabilidad 110

11.2. Riesgo 111

11.2.1. Método de análisis 111

11.2.2. Criterios aplicados y resultados obtenidos 114

12. ANÁLISIS DE VIABILIDAD 115

12.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO 117

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....118

13.1. GENERALIDADES.....118

13.2. ANÁLISIS DE AMENAZA.....119

13.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD 120

13.4. ANÁLISIS DE RIESGO.....121

13.5. PLANTEAMIENTO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN 123

14. LIMITACIONES.....125

15. BIBLIOGRAFÍA.....126

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Actas de Evacuación para Viviendas del Barrio Moralba 29

Tabla 2. Esquema de presentación del estudio 31

Tabla 3. Relación de personal que se encuentra ejecutando los estudios 32

Tabla 4. Puntos referenciados en campo 33

Tabla 5. Listado de coordenadas de los puntos de amarre.....34

Tabla 6. Relación de equipos utilizados en el levantamiento topográfico.....34

Tabla 7. Relación de ensayos de laboratorio.....39

Tabla 8. Relación de fotografías aéreas 58

Tabla 9. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998). 69

Tabla 10. Parámetros y cálculo del tiempo de concentración 75

Tabla 11. Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos 76

Tabla 12. Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio 77

Tabla 13 Parámetros de análisis de estabilidad.....89

Tabla 14. Análisis de estabilidad de talud condición Actual 91

Tabla 15 Análisis de estabilidad de talud condición proyectada 92

Tabla 16. Categorización de amenaza por FRM.....94

Tabla 17. Factores de seguridad mínimo para estructuras de contención según la NSR-98.....94

Tabla 18. Factores de seguridad condicionales para las alternativas planteadas.....101

Tabla 19. Discriminación del AIU.....102

Tabla 20. Costo aproximado de las alternativas planteadas.....103

Tabla 21 Criterios de resistencia de la estructura.....105

Tabla 22 Clasificación de la tipología de vivienda 105

Tabla 23 Clasificación de los daños según el DRM 106

Tabla 24 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio 108

Tabla 25 Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio 109

Tabla 26 Matriz de daño utilizada en el estudio 109

Tabla 27 Criterios de categorización de la vulnerabilidad..... 111

Tabla 28 Categorización del riesgo 115

Tabla 29. Listado de predios afectados por las obras de mitigación de riesgo 116

Tabla 30. Predios que presenta vulnerabilidad media 121

Tabla 31. Predios con vulnerabilidad alta..... 121

Tabla 32 predios que presenta riesgo medio 122

Tabla 33 predios con riesgo alto..... 122

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la zona de estudio.....26

Figura 2. Mapa de amenaza por FRM (Ingeocim – Upes, 1998) 30

Figura 3. Geología regional (Ingeocim – Upes, 1998) 44

Figura 4. Geomorfología regional (Ingeocim – Upes, 1998) 53

Figura 5. Procesos (Ingeocim – Upes, 1998) 62

Figura 6. Curvas de precipitación total anual en Bogotá (Ingeocim – Upes, 1998) 67

Figura 7. Curvas de precipitación critica (Ingeocim – Upes, 1998).....70

Figura 8. Curvas de periodos de retorno de la precipitación crítica (Ingeocim – Upes, 1998) 71

Figura 9. Cuenca hidrográfica. 73

Figura 10. Usos del suelo (Ingeocim – Upes, 1998).....74

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Lluvias medias mensuales (1990 - 2007) en la estación El Delirio 66

Gráfica 2. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio.....68

Gráfica 3. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para suelo residual 85

Gráfica 4. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para roca blanda 86

Gráfica 5. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para roca sana.....87

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Espectros de respuesta sísmica para los tres sismos de diseños, bases del estudio de respuesta sísmica de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).....80

Ilustración 2. Espectro local de aceleraciones en la Zona 1-Cerros. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).....81

Ilustración 3. Rangos aproximados del coeficiente sísmico pseudo-estático "k" para factores de seguridad mínimos propuestos en la literatura (referencias sobre el diagrama) 82

Ilustración 4 Esquema de deslizamiento.....108

Ilustración 5 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.....110

Ilustración 6 Conjuntos difusos trapezoidales.....112

Ilustración 7 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales.....114

LISTADO DE FOTOS

Foto 1 Localización de las viviendas con respecto al deslizamiento rotacional. 24

Foto 2. Localización de las Viviendas con respecto al Deslizamiento Rotacional 25

Foto 3.Sondeo Mecánico SM-1, realizado en el costado centro oriental de la zona de estudio. 37

Foto 4. Muestras alteradas de cuchara partida (Split Spoon) para la elaboración de ensayos de Laboratorio.....37

Foto 5. Barreno Manual 5-, realizado en la zona central del área de estudio. 37

Foto 6. Apique AP-4, realizado en el costado centro occidental de la zona de estudio.....37

Foto 7. Vista general de la parte superior del sector inestabilizado. Obsérvese los flujos de detritos y de tierra recientes y actual por la parte central del drenaje del área.....47

Foto 8. Vista general de la parte media-norte (flanco derecho). 48

Foto 9. Vista general de la parte inferior de la zona Inestabilizada. Obsérvese los depósitos de flujos de detritos y de tierra Claramente diferenciados. 49

Foto 10. Vista general de la parte media de la zona Inestabilizada. Obsérvese en la parte superior el flanco izquierdo de los flujos de detritos y de tierra. 49

Foto 11. Vista de detalle de la corona del deslizamiento reciente. Obsérvese en la parte derecha superior la vía principal que comunica los barrios aledaños. 56

Foto 12. Vista de detalle de la vía que cruza por la parte Superior del zona inestabilizada, el cual la bordea por su orilla Izquierda. 56

Foto 13. Vista de detalle de la parte inferior de los flujos de detritos y tierra. Obsérvese en la parte inferior de la foto, la presencia de aguas no encausadas adecuadamente. 57

Foto 14. Vista de detalle de la parte inferior de la zona Inestabilizada, afectada por movimientos lentos o de reptación. 57

ANEXOS DEL PRESENTE ESTUDIO

CONTENIDO

ANEXO A **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON CONDICIÓN PROYECTADA**

ANEXO B **MEMORIA DE CALCULO MURO DE CONCRETO REFORZADO DE 2.0 M**

ANEXO C **ENCUESTAS DE VULNERABILIDAD**

ANEXO D **REGISTRO FOTOGRÁFICO ENCUESTA**

ANEXO E **CONSOLIDADO ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO**

ANEXO F **PRESUPUESTO MODIFICADO**

ANEXOS CONSULTADOS ESTUDIO ANTERIOR

ANEXO I TOPOGRAFÍA

ANEXO I A CERTIFICADO DEL IGAC

ANEXO I B CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE TOPOGRAFÍA

ANEXO I C DATOS CRUDOS

ANEXO I D LISTA DE COORDENADAS

ANEXO I E CARTERA DE CAMPO

ANEXO II INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

ANEXO II A REGISTROS DE PERFORACIÓN SONDEOS MECANICO

ANEXO II B APIQUES

ANEXO II C REGISTROS DE PERFORACIÓN BARRENOS MANUALES

ANEXO III ENSAYOS DE LABORATORIOS

ANEXO III A COMPRESIÓN INCONFINADA

ANEXO III B CORTE DIRECTO

ANEXO III C GRANULOMETRÍA Y LIMITES

ANEXO III D DENSIDAD DE CAMPO

ANEXO IV HIDROLOGÍA

ANEXO IV A PRECIPITACIÓN TOTALES MENSUALES

ANEXO IV A CALCULO DE CUNETAS

ANEXO V ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON CONDICION ACTUAL

ANEXO V A PERFIL 1

ANEXO V A-1 CON SISMO SECO

ANEXO V A-2 CON SISMO SATURADO

ANEXO V A-3 SIN SISMO SECO

ANEXO V A-4 SIN SISMO SATURADO

ANEXO V B PERFIL Nº3

ANEXO V B-1 CON SISMO SECO

ANEXO V B-2 CON SISMO SATURADO

ANEXO V B-3 SIN SISMO SECO

ANEXO V B-4 SIN SISMO SATURADO

ANEXO VI ANÁLISIS DE ESTABILIDAD CON OBRAS

ANEXO VI A ALTERNATIVA 1

ANEXO VI A-1 SIN SISMO

ANEXO VI A-2 CON SISMO

ANEXO VI B ALTERNATIVA 2

ANEXO VI B-1 SIN SISMO

ANEXO VI B-2 CON SISMO

ANEXO VI C- MEMORIAS DE CALCULO DE MURO EN TIERRA ARMADA

ANEXO VII CANTIDAD DE OBRAS Y PRESUPUESTOS

ANEXO VII A ALTERNATIVA 1

ANEXO VII A 1 PRESUPUESTOS Y CANTIDADES DE OBRA

ANEXO VII A 2 MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO VII A 3 CÁLCULO DEL AIU

ANEXO VII B ALTERNATIVA 2

ANEXO VII B 1 PRESUPUESTOS Y CANTIDADES DE OBRA

ANEXO VII B 2 MEMORIAS DE CÁLCULO

ANEXO VII B 3 CALCULO DEL AIU

ANEXO VIII ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO IX CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA

ANEXO X SOLICITUD DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRA

PLANOS

CONTENIDO

PLANOS CONTRATO 761 DE 2009

PLANO GE224-PL-01	Amenaza Actual
PLANO GE224-PL-01A	Amenaza futura a 50 Años
PLANO GE224-PL-01B	Amenaza con obras
PLANO GE224-PL-01C	Amenaza futura a 50 Años con obras
PLANO GE224-PL-02	Vulnerabilidad
PLANO GE224-PL-02A	Riesgo actual
PLANO GE224-PL-02B	Riesgo con obras
PLANO GE224-PL-03	Localización de obras propuestas
PLANO GE224-PL-04	Detalles y obras propuestas
PLANO GE224-PL-04A	Detalles y obras propuestas

PLANOS CONSULTADOS ESTUDIO GEOCING – UAERMV (2007)

PLANO GE190-PL-S3-001	Levantamiento topográfico y exploración del subsuelo.
PLANO GE190-PL-S3-002	Geología local
PLANO GE190-PL-S3-003	Perfiles Geológicos
PLANO GE190-PL-S3-004	Geomorfología
PLANO GE190-PL-S3-005	Perfiles Geotécnico.
PLANO GE190-PL-S3-006	Geotécnico
PLANO GE190-PL-S3-007	Localización de obras propuestas alternativa 1
PLANO GE190-PL-S3-008	Detalles de obras propuestas alternativa 1
PLANO GE190-PL-S3-009	Localización de obras propuestas alternativa 2
PLANO GE190-PL-S3-010	Detalles de obras propuestas alternativa 2
PLANO GE190-PL-S3-011	Levantamiento topográfico Vrs Planeación

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA EL BARRIO MORALBA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL EN BOGOTÁ D.C.

INFORME FINAL

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 761 de 2009

1. INTRODUCCIÓN

En cumplimiento del Contrato de Consultoría No. 761-2009, suscrito entre el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE y GEOCING LIMITADA, cuyo objeto es la "Estudio de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa para El Barrio Moralba de la Localidad de San Cristóbal en Bogotá D.C.", se presenta este documento que contiene el Informe final, del barrio Moralba de la Localidad de San Cristóbal.

El objeto del estudio consiste en la realización de la evaluación y zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa, a partir de las condiciones actuales de la zona y de los estudios básicos y análisis de estabilidad realizados en el desarrollo del estudio denominado "Diseños de Obras, presupuestos y especificaciones técnicas en cuatro (4) sitios de las localidades de Santa Fe (Barrio El Dorado), Ciudad Bolívar (Barrio Tres Reyes) y San Cristóbal (Barrios Moralba y Panorama) de Geocing Ltda (UAERMV, 2007), evaluando la vulnerabilidad y el nivel de riesgo actual por inestabilidad de terreno para las viviendas incluidas en el área de estudio .

De acuerdo a lo observado en campo y comparando las condiciones presentadas en el estudio de la UAERMV, las características del sitio se han mantenido sin cambios significativos, por tal motivo se mantienen las características en lo referente a Geología y Geomorfología, Geotecnia, Hidrologia, Usos del Suelo,

Sismología, Modelo Geológico-Geotécnico, las cuales se aplican para el desarrollo del presente estudio.

1.1. JUSTIFICACIÓN

En cumplimiento de las medidas cautelares de la acción popular 20006-00045 decretadas por el juzgado (31) administrativo de Bogotá sección tercera del 17 de abril de 2007, que resuelve en el artículo primero." Ordénese a la DPAE establecer una vigilancia permanente y de control sobre la zona, como mínimo realizar visitas semanalmente, a fin de observar e informar los cambios sustanciales que se presenten en las viviendas localizadas entre la carrera 16 B Este y la carrera 17 Este entre las calles 42 A Sur y 42 C sur del barrio Moralba de la localidad de San Cristóbal de esta ciudad, los terrenos donde ella se ubican". En mayo de 2007 se iniciaron las campañas de monitoreo, con el fin de realizar un seguimiento a las condiciones geotécnicas del sector, así como el control de la evolución de los daños estructurales en las edificaciones ubicadas dentro de la zona de influencia directa así mismo. En general, los informes emitidos durante el periodo comprendido entre mayo de 2007 y septiembre de 2009, y de acuerdo con el seguimiento y control del proceso de remoción en masa de la manzana 12 del barrio Moralba; a nivel geotécnico no se advierte cambios significativos que presenten nuevas evidencias de retrogresión del escarpe principal hacia la corona del deslizamiento ubicado sobre la banca de la vía carrera 17A Este, ni cambios en el cuerpo del deslizamiento que evidencie evolución de las condiciones de inestabilidad, ni en los flancos izquierdo y derecho ubicados respectivamente al sur de la zona del deslizamiento, limitado con la calle 42 C sur y al norte localizado en sentido oriente occidente sobre los predios del costado sur de la manzana 12. Por otra parte, el Fondo de Desarrollo de San Cristóbal – FDL y la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial - UAERMV celebraron el convenio 086 de 2007, en desarrollo del cual atendiendo las recomendaciones anteriormente mencionadas la UAERMV celebro con la firma Geocing Ltda. El contrato de consultoría No 206 de 2007 cuyo objeto fue "DISEÑOS DE OBRAS, PRESUPUESTOS Y ESPECIFICACIONES

TÉCNICAS EN CUATRO (4) SITIOS DE LAS LOCALIDADES DE SANTA FE (BARRIO EL DORADO), CIUDAD BOLÍVAR (BARRIO TRES REYES) Y SAN CRISTÓBAL (BARRIOS MORALBA Y PANORAMA), PARA LA INTERVENCIÓN POR RIESGOS ASOCIADOS A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C."

Debido al fallo de la Acción popular 2006-00045 del 28 de mayo 2009 del Tribunal Administrativo de Cundinamarca sección primera subsección "A", se ordena entre otros a la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE " realizar su respectiva reubicación, en el termino de (6) meses, contados a partir de la fecha, realizar los estudios de riegos por remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseño detallado de las obras recomendadas para estabilizar la ladera de los sectores anteriormente mencionados en la demanda, en el término de un (1) año, contados a partir de la fecha y en caso de no ser posible la estabilidad del suelo, tomar las medidas necesarias que impidan el establecimiento de familias, comercio, tráfico peatonal y vehicular por el sector objeto de la presente acción". Teniendo en cuenta lo expuesto, y dado que la UAERMV efectuó parte de los estudios solicitados en el fallo de la Acción (Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseño Detallados de Obras de Mitigación de Riesgo por Fenómenos de Remoción en masa), se requiere la complementación del estudio, en el sentido de realizar los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa para la zona. Que de acuerdo a lo expuesto en el artículo 81 del Decreto 2474 de 2008 en su numeral 2 y por lo establecido en la ley 23 de 1982 en sus artículos 2° y 4°, la Firma GEOCING LTDA, es titular de los derechos morales de autor sobre los estudios referidos, en atención al contrato celebrado con la UAERMV tal y como se ha expuesto acá, se verifica que el supuesto de hecho se adecua en la norma tal y como lo establece el Decreto 2474 de 2.008 en el precitado articulo 81 numeral 2°.

1.2. OBJETIVOS

- ✓ Realizar la complementación del Estudios de Estabilidad de Taludes, Control de Erosión y Manejo de Aguas para garantizar la estabilidad

del Sitio No. 3 Moralba de la Localidad de San Cristóbal en Bogotá D.C.

- ✓ Realizar los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para la zona.

1.3. ALCANCE DEL ESTUDIO

- ✓ Realizar la evaluación y zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa a escala 1:500, siguiendo metodologías de evaluación reconocidas.

- ✓ Evaluar la vulnerabilidad y el nivel de riesgo actuales por inestabilidad del terreno a escala 1:500 para las viviendas incluidas dentro del área de estudio, de acuerdo con los procedimientos y metodologías idóneas y apropiadas al lugar.

- ✓ Evaluar el nivel de riesgo por inestabilidad del terreno a escala 1:500 para las viviendas incluidas dentro del área de estudio, teniendo en cuenta la implementación de la alternativa de mitigación recomendada para la zona, en el estudio ya mencionado, el cual fue elaborado por la firma GEOCING LTDA para la UAERMV

- ✓ Ajustar los modelos geológicos geotécnicos establecidos en desarrollo del estudio que elaboró la firma GEOCING LTDA para la UAERMV, teniendo en cuenta las condiciones actuales de la zona que pudieran llegar a modificarlos.

- ✓ Evaluación de las condiciones de vulnerabilidad física y riesgo por procesos de remoción en masa para los escenarios considerados en la evaluación de amenaza.

1.4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

Revisión y análisis de información secundaria y estudio básico realizado por nuestra firma para la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial UAERMV, en cuanto al modelo geotécnico propuesto, los análisis de estabilidad, la zonificación por fenómenos de remoción en masa.

Realizar la evaluación de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la zona teniendo en cuenta las especificaciones técnicas incluidas en los términos de referencia (Anexo No. 1).

Realizar las encuestas para el inventario de viviendas para el análisis de vulnerabilidad.

Llevar a cabo las correcciones y ajustes al informe, recomendadas por el interventor.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y SUS POSIBLES CAUSAS

Las posibles causas, se presentan por procesos denudativos, y los procesos de inestabilidad actuales y potenciales, está dada principalmente por la acción de saturación de las aguas infiltradas, originadas fundamentalmente por las lluvias, y con la ayuda de la desprotección de los terrenos.

“La zona objeto de estudio se encuentra ubicado en una ladera de pendiente moderada, formando una concavidad típica de una cañada o drenaje natural en la que se presenta un deslizamiento activo de tipo complejo con procesos de flujo de tierras y deslizamientos rotacionales asociados en el cuerpo principal de la masa inestable. El escarpe principal del movimiento, de 2 m de altura por 12 m de longitud aproximadamente, está afectando la banca de la Carrera 17 A Este, vía que conduce a los barrios Molinos de Cafam, Paseito III y Santa Rosa. Como este movimiento se encuentra activo se han venido afectando paulatinamente las

viviendas localizadas en las inmediaciones del deslizamiento, especialmente las habitadas por Rosa Satoba (Calle 42 C Sur N° 16 B – 50 Este)[1] y Luis Alfredo Torres (Calle 42 C Sur N° 16B – 32 Este)[2] en las que se aprecian serios agrietamientos en su estructura comprometiéndose la habitabilidad en el corto plazo (Ver **Foto 1** y **Foto 2)**" [3]



Foto 1 Localización de las viviendas con respecto al deslizamiento rotacional.

[1] Esta vivienda se encuentran en programa de reasentamiento según diagnostico técnico DI-2913, DI-3052 e identificador de reasentamiento SIRE 2006-4-8458

[2] Esta vivienda se encuentran en programa de reasentamiento según diagnostico técnico DI-2913, DI-3052 e identificador de reasentamiento SIRE 2006-4-8460

[3] Texto y Fotos Tomada del Diagnostico Técnico No. DI-3052 del FOPAE.



Foto 2. Localización de las Viviendas con respecto al Deslizamiento Rotacional

1.6. LOCALIZACIÓN

El Barrio Moralba se encuentra localizado hacia los cerros Orientales de la Ciudad de Bogotá, ubicado en la Localidad de San Cristóbal, se encuentra sobre una ladera con un área aproximada de 3.5 Ha, entre los cuales se considera la banca de la carrera 17A Este, ubicada en una ladera de pendiente moderada y la Calle 42C Sur. (Ver **Figura 1).**

Figura 1. Localización general de la zona de estudio.

1.7. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Las siguientes fueron las fuentes de información secundaria recopiladas para el desarrollo del objeto del estudio:

- ✓ Diagnóstico Técnico No DI-3052 Subdirección de Emergencias Coordinación de Asistencia Técnica, Noviembre de 2006.
- ✓ Ficha para Sitios de Intervención en zonas de Ladera. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogota DPAE. Noviembre de 2006.
- ✓ Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Esc. 1:120.000; INGEOMINAS; 2005.
- ✓ Geología de la plancha 209-Sabana de Bogotá; INGEOMINAS, Memoria Explicativa; año 2005.
- ✓ Propuesta metodológica para los estudios de geomorfología aplicados a la ingeniería (Carvajal, J.H, y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2004).
- ✓ Propuesta metodológica para los estudios de geología aplicados a la ingeniería (Padilla, J.P., y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2003).
- ✓ CARO, P., GARCIA, J. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá. INGEOMINAS-DAPD. Bogotá, 1988.
- ✓ CARVAJAL, José Henry. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento Inédito. Bogotá, D. C. 2005.

- ✓ PADILLA, Justo. Geología para Ingeniería de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento inédito. Bogotá, D. C. 2005.

- ✓ Estudio para la Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa de las Localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santa Fe, Chapinero, Usaquén y Suba. INGEOCIM LTDA. – UPES. Octubre de 1998.

- ✓ Fotografías aéreas del IGAC, números 061 y 062, del Vuelo C-2265; sobre – S-33685; año 1986.

- ✓ "Diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en cuatro (4) sitios de las localidades de santa fe (barrio el dorado), ciudad bolívar (barrio tres reyes) y san Cristóbal (barrios Moralba y panorama), para la intervención por riesgos asociados a fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Bogotá D.C.".GEOCING Ltda.- Agosto de 2008

1.8. ANTECEDENTES [4]

En el sector evaluado se está presentando un deslizamiento rotacional activo de gran tamaño para el cual el 14 de Julio de 2006 la Dirección de Atención y Prevención de Emergencias, DPAE, emitió el Diagnostico Técnico N° DI-2868 recomendando incluir en la base de datos de sitios críticos por fenómenos de remoción en masa para intervención por parte de la DPAE y/o el Fondo de Desarrollo Local de San Cristóbal a través de la realización de diseños y ejecución

[4] Según el Diagnostico Técnico No. DI-3052 del FOPAE.

de obras de mitigación de riesgo a lo largo de la ladera afectada: drenajes, contención y limpieza del material deslizado y adelantar un concepto técnico de riesgo, para evaluar las condiciones del barrio en el marco del proceso de regularización y manejo. El 31 de Julio de 2006, la DPAE emitió el Diagnostico Técnico Nº DI-2913 mediante el cual se incluyeron en el programa de reasentamiento de familias localizadas en zonas de Alto riesgo no mitigable por Fenómenos de Remoción en Masa a (7) familias cuyos predios se encuentran localizados en las inmediaciones del deslizamiento rotacional activo[5].

A la vez se llevó a cabo la elaboración de dos (2) actas de evacuación para las viviendas referenciadas en la **Tabla 1**, puesto que su habitabilidad se encuentra comprometida en el corto plazo, según el Diagnostico Técnico No. DI-3052 que corresponde a las visitas realizadas por personal de la Dirección de Atención de Emergencias DPAE en el mes de Noviembre de 2006.

Tabla 1. Actas de Evacuación para Viviendas del Barrio Moralba

ID	Nombre (cabeza de hogar)	Dirección	Acta de Evacuación N°
1	Rosa Satoba	Calle 42 C Sur N° 16 B – 50 Este	002162 de noviembre 15 de 2006
2	Luis Alfredo Torres	Calle 42 C Sur N° 16 B – 32 Este	002162 de noviembre 15 de 2006

De acuerdo con el Plano Normativo de Amenaza por Remoción en Masa del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá – POT (Decreto 190 de 2004, por el cual se cumplían los Decretos 619 de 2000 y 469 de 2003), el sector de estudio se encuentra catalogado en Amenaza Media a Alta por Fenómenos de Remoción en Masa (Ver **Figura 2**)

[5] Según el Diagnostico Técnico No. DI-3052 del FOPAE.

Figura 2. Mapa de amenaza por FRM (Ingeocim – Upes, 1998)

1.9. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

Este informe presenta una descripción de las actividades realizadas, metodologías empleadas, cálculos y análisis de resultados, los cuales están contenidos en el siguiente esquema de presentación:

Tabla 2. Esquema de presentación del estudio

CAP.	TITULO
2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
3	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO
4	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
5	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA
6	SISMOLOGÍA
7	MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO
8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD
9	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA
10	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD
11	ANÁLISIS DE VIABILIDAD
12	ZONIFICACIÓN DEL RIESGO
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
14	LIMITACIONES
15	BIBLIOGRAFÍA

1.10. GRUPO DE TRABAJO

Los trabajos fueron realizados por la firma GEOCING LIMITADA (bajo la dirección del Ing. Flavio Soler Sierra), con supervisión del CONSORCIO IGR (bajo la dirección del Ing. Edgar E. Rodríguez Granados); con el objeto de llevar a cabo las diferentes actividades del presente estudio, GEOCING LIMITADA conformó el grupo de trabajo relacionado en la **Tabla 3.**

Tabla 3. Relación de personal que se encuentra ejecutando los estudios

Nombre	Función o cargo
Flavio Soler Sierra	Director del estudio – Especialista en geotecnia y riesgos
Carlos Santander	Especialista en estructuras
Juan Chilatra	Ingeniero Auxiliar
Diego Soler	Especialista en SIG
William caballero	Dibujante

2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO[6]

2.1. GENERALIDADES

Se presenta en este informe una descripción del trabajo de campo y oficina desarrollado para la elaboración de los planos topográficos del sitio de riesgos Moralba ubicado en la localidad San Cristóbal.

2.1.1.Alcance específico del trabajo topográfico

Llevar a cabo el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico), con coordenadas reales y demarcación de tres (3) vértices, siguiendo los parámetros básicos que se mencionan a continuación:

[6] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

- ✓ Amarre de coordenadas al sistema IGAC utilizando el vértice CODAZZI 2010.(Ver **ANEXO I A**).
- ✓ Información topográfica tomada para cada punto, levantado en las 3 dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- ✓ Levantamiento topográfico detallado del sitio con: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, cercas, y demás detalles.
- ✓ Generación de curvas de nivel cada 0.5 m

2.1.2. Metodología de campo

A continuación se presenta un recuento cronológico del trabajo de campo realizado para llevar a cabo el levantamiento topográfico:

El día 29 de marzo de 2008 se realizó el traslado de coordenadas y demarcación de los tres (3) vértices a referenciar como aparece en la **Tabla 4** y se definieron los auxiliares para la radiación de los detalles.

Tabla 4. Puntos referenciados en campo

MOJÓN	NORTE	ESTE	COTA
GPS1	94244.7170	99583.1880	2960.4950
GPS2	94236.6470	99640.8180	2971.6640
GPS3	94230.5345	99803.3680	3009.7426

En este mismo día se movilizó la comisión de topografía al área de estudio para adelantar labores de levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico tomando en detalle redes de agua, luz y teléfono, así como vías, viviendas y otras características visibles y de importancia para este trabajo.

2.1.3.Traslado de coordenadas reales

Para realizar el traslado de coordenadas del levantamiento topográfico se empleó la información suministrada por el IGAC del vértice CODAZZI 2010 localizado en la base de registro continuo en las instalaciones del INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (ver **ANEXO I A**), cuyas coordenadas se presentan en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Listado de coordenadas de los puntos de amarre

MOJON	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD ELIPSOIDAL
CODAZZI 2010	04º 38' 19,24208"	74º 04' 47,81532"	2.610,816

2.2. MÉTODO DE TRABAJO

2.2.1.Trabajo de campo

2.2.1.1. Altimetría y planimetría

El equipo (ver **ANEXO I B**) y los recursos utilizados por la comisión para realizar el levantamiento topográfico son los que se relacionan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Relación de equipos utilizados en el levantamiento topográfico

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Estación TOPCON GTS 235W	1
GPS SOKIA STRATUS	2
Comisión de Topografía	4
Vigilante	2
Radios de onda corta	4
Vehículo	1
Otros elementos	1

Se realizó el levantamiento de todos los detalles por radiación para la elaboración del plano respectivo utilizando una estación total TOPCON GTS-235W, estos detalles fueron: vías, paramentos, postes, válvulas, cajas, pozos, y puntos de topografía para generar curvas de nivel cada 0.5 m, el total de puntos levantados fue de 2063. Los detalles del levantamiento fueron almacenados en cartera electrónica, lo cual garantiza su veracidad. Las cotas fueron calculadas por nivelación trigonométrica a partir de los datos de la estación, mediante el software SURFACE MODELING. (Ver **ANEXO I C**).

2.2.1.2. Trabajo de oficina

Los datos del levantamiento topográfico realizado, se bajaron directamente desde el colector de datos de la estación total al computador, evitando así errores de trascripción y agilizando este proceso; en el **ANEXO I C** se presentan los datos crudos de la estación, y en el **ANEXO I D** se presenta el listado de coordenadas del levantamiento topográfico.

Los puntos topográficos fueron interpolados utilizando el software *SURFACE MODELING*, hallando las curvas de nivel, y con las carteras de campo se realizó la planimetría del sitio, obteniendo como resultado el Plano **GE190-PL-S1-001.**

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO[7]

3.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Con el fin de conocer la estratigrafía del sector y determinar las características geomecánicas de los diferentes materiales que constituyen el subsuelo en la zona de estudio, se llevó a cabo el programa de investigación del

[7] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

subsuelo detallado a continuación y cuya localización se presenta en el **PLANO GE190-PL-S3-001**.

- ✓ Cuatro (4) sondeos mecánicos (SM-1 a SM-4) ejecutados mediante el procedimiento de percusión y lavado en suelos cohesivos y areno limosos, realizando a profundidades intermedias el ensayo de penetración estándar (SPT), tomando la respectiva muestras alterada con la cuchara partida (Split Spoon), y mediante el procedimiento de perforación con broca diamantada para rocas duras. Las profundidades varían entre los 5,50 m y los 12,00 m. En total se perforaron 37,50 m **(Ver Foto 3 y Foto 4)**

- ✓ Cinco (5) barrenos manuales (BM-1 a BM-5) ejecutadas mediante el Barreno manual, realizando a profundidades intermedias el ensayo de penetración estándar (SPT), tomando la respectiva muestras inalteradas Shelby (SH) y alterada con la cuchara partida (Split Spoon), las profundidades varían entre los 2,5 m y los 5,50 m. En total se perforaron 20,5 m**.(Ver Foto 5)**

- ✓ Seis (6) apiques (AP-01 a AP-06) con profundidades de 1,0 m, tomando muestras alteradas de bolsa, y muestras inalteradas de bloque. **(Ver Foto 6)**



Foto 3.Sondeo Mecánico SM-1, realizado en el costado centro oriental de la zona de estudio.



Foto 4. Muestras alteradas de cuchara partida (Split Spoon) para la elaboración de ensayos de Laboratorio.



Foto 5. Barreno Manual 5-, realizado en la zona central del área de estudio.



Foto 6. Apique AP-4, realizado en el costado centro occidental de la zona de estudio.

De cada una de las perforaciones y apiques realizados, se llevó a cabo un registro continuo de los materiales encontrados, en el cual se consignó la información concerniente al tipo y profundidad de cada muestra, descripción visual de los materiales que conforman cada estrato, profundidad a la cual se producen cambios en la estratigrafía, medición de la posición del nivel freático y resultados de los ensayos de campo, cuyos registros se consignan en el ANEXO II.

A continuación se hace una breve descripción de los materiales encontrados:

3.1.1.Suelos Antrópicos (S1)

Materiales de llenos Antrópicos Correspondientes a Escombros y basuras de composición heterogénea y Materiales seleccionados que conforman las bases para la construcción de viviendas y desarrollo de vías.

3.1.2.Suelos Residuales (S2)

Son los materiales resultantes de la meteorización y alteración de los componentes de las rocas in situ. Estos materiales dentro del sitio de estudio, se presentan en los sectores norte y oriental del sitio, donde los terrenos presentan una morfología en general ondulada.

De acuerdo con las observaciones en los afloramientos rocosos, estos materiales son de color gris amarillento, de textura limo-arcillosa y de consistencia blanda, cubiertos parcialmente por suelo orgánico gris oscuro; sus espesores oscilan entre 0.5 y 1.0m aproximadamente.

3.1.3.Roca (R)

Secuencia de arcillolitas y limolitas, gris rojizas y oscuras, moteadas de amarillo por meteorización, en estratificación de capas delgadas de areniscas gris amarillentas, de grano fino, moderadamente friables.

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras recuperadas durante los trabajos de exploración del subsuelo, fueron llevadas al laboratorio, realizando su descripción visual y sobre un número representativo de los diferentes tipos de materiales encontrados se llevó a cabo un programa de ensayos de laboratorio, con el fin de determinar su clasificación, propiedades in-situ y propiedades de resistencia. En la Tabla 7 se relaciona el tipo de ensayo realizado, la cantidad realizada y su respectiva norma.

Tabla 7. Relación de ensayos de laboratorio

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	NORMA
Contenido de humedad	Un	61	INV-E122
Peso unitario total	Un	28	INV-E161
Limites de Atterberg (líquido y plástico)	Un	52	INV-E125 y 126
Compresión inconfinada en roca	Un	3	INV-E152
Corte directo	Un	4	INV-E154

En el **ANEXO III**, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados.

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA[8]

4.1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presenta los aspectos geológicos y geomorfológicos, tanto regionales como locales y de detalle del barrio Moralba (SITIO 3), Localidad de San Cristóbal en la ciudad de Bogotá D. C.. Igualmente se presentan los aspectos hidrogeológicos y el modelo Geológico-geotécnico, como una temática básica para sus diferentes aplicaciones ingenieriles.

El sitio de estudio se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de Bogotá, dentro de los cerros sur-orientales de la unidad geomorfológica denominada Sabana de Bogotá.

El estudio geológico del sitio se desarrolla bajo dos aspectos: 1) a nivel regional, con el fin de obtener su ubicación dentro de su contexto general e identificar las unidades lito estratigráficas principales, al igual que los elementos estructurales, y 2) a nivel local, identificando, clasificando y cartografiando los diferentes tipos de materiales rocosos (suelos y rocas), y caracterizándolos desde el punto de vista geológico-ingenieril.

Dentro del estudio geológico se realiza el levantamiento de discontinuidades que permite agrupar familias características del macizo rocoso para la posterior evaluación de inestabilidad.

El estudio a nivel de geomorfología analiza la evolución de los terrenos, identifica los procesos de remoción en masa cartografíales tanto antiguos como recientes y/o activos, con el fin de realizar la sectorización de susceptibilidad de inestabilidad de roca o suelo.

Posteriormente se realiza un análisis multitemporal con fotografías aéreas de la zona, evaluando los cambios morfológicos de los terrenos, la intervención

[8] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

antrópica y los procesos de remoción en masa antiguos, así como procesos de rellenos antrópicos para cimentación de viviendas.

4.2. METODOLOGÍA

Para el presente estudio, se realizaron las siguientes actividades: una recopilación y análisis de la información existente y temática básica; reconocimiento de campo, en el cual se analizaron y caracterizaron los materiales geológicos (rocas y suelos), para su utilización en la Ingeniería Geotécnica, dentro del proyecto mencionado.

4.2.1.Recopilación de información de referencia

Para el desarrollo del estudio de los sitios seleccionados, se realizó una recopilación de la información temática existente y disponible de los sitios de estudio, y relacionada con los objetivos del proyecto, la cual se listó en el numeral **1.7.**

4.2.2.Antecedentes[9]

4.2.3.Análisis de la información

Para el análisis de la información obtenida se siguió la siguiente metodología:

4.2.3.1. Información secundaria

Se realizó una revisión y análisis de la información recopilada y disponible de los sitios de estudio, como informes previos sobre los problemas de estabilidad identificados, estudios regionales de zonificación de amenazas, de zonificación geotécnica y microzonificación sísmica; información geológica, geomorfológica,

[9] *Ficha para Sitios de Intervención en la zona de ladera. Localidad de Santa Fe. Barrio El Dorado. Visita realizada en Enero de 2007.*

fotografías aéreas, cartografía temática y en general toda la información que se consideró necesaria para cumplir con el objeto de los estudios.

En lo referente a las temáticas específicas y básicas (geología y geomorfología), en el presente estudio se integró la geología regional, local y de detalle, teniendo en cuenta aspectos de génesis, litología, estratigrafía y geología estructural, unidades de superficie, perfiles de meteorización y procesos de erosión. Igualmente se analizaron fotografías aéreas de diferentes escalas y tomadas por el IGAC en diferentes épocas.

4.2.3.2. Información primaria

Para la obtención de la información primaria se realizaron las siguientes actividades:

- El levantamiento geológico de detalle comprendió las actividades de reconocimiento de campo. Para la caracterización geológica local (detallada), se analizaron los materiales rocosos presentes en los diferentes afloramientos de los sitios de estudio, teniendo en cuenta sus propiedades y condiciones físico-mecánicas necesarias para su aplicación en la ingeniería geotécnica; igualmente, se midieron los elementos estructurales de los materiales rocosos (rumbo y buzamiento de estratos), levantamiento de discontinuidades en número suficiente para tener la información representativa requerida en los análisis de estabilidad del macizo rocoso.

- La información obtenida se proceso en los planos topográficos (Esc. 1:200 /500) levantados por GEOCING LTDA, con lo cual se obtuvieron los planos temáticos correspondientes. Igualmente, se tomaron fotografías generales y de detalle de los diferentes sitios como un elemento ilustrativo.

- La evaluación geológica se orientó principalmente hacia la obtención de un modelo geológico- geotécnico, el cual permitió optimizar la exploración geotécnica e interpretación de las condiciones locales de estabilidad.

4.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONALES

El sitio de estudio se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de Bogotá, dentro de los cerros sur-orientales en la unidad geomorfológica denominada Sabana de Bogotá.

De acuerdo con los estudios geológicos regionales realizados por **INGEOMINAS** hasta la fecha (Mapa geológico de la Sabana de Bogotá; escala 1:12.000; 2005), en el área donde se ubica el sitio de estudio y sus alrededores afloran predominantemente rocas sedimentarias de edad Cretáceo-Terciaria, lo que se es congruente con el Plano Geológico Regional, en escala 1:2500 realizado por Ingeocim – Upes en el año de 1998 (ver **Figura 3**), donde la zona de estudio está localizada sobre rocas de la Formación Bogotá.

El la **Figura 3** se presentan las unidades geológicas aflorantes en el sitio de estudio y sus alrededores, cuya secuencia estratigráfica de la más antigua a la más reciente corresponde: i) Formación Cacho **(Tpc);** ii) Formación Bogotá **(Tpb);** iii) depósitos de flujos de Tierra **(Qft),** y iv) Depósitos Fluvio Glaciares **(Qfg).**

Figura 3. Geología regional (Ingeocim – Upes, 1998)

4.3.1. Litoestratigrafía

De acuerdo con los estudios de referencia y con base en las observaciones de los reconocimientos de campo, se encuentra que en el sitio de estudio ubicado en el Barrio Moralba y alrededores, afloran rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Bogotá, Conjunto Inferior (E1bi), del Terciario.

Igualmente, en sitios puntuales del sector, se presentan depósitos de origen coluvial. A continuación se presentan los aspectos geológicos generales de la unidad litológica aflorante. Los materiales de origen coluvial, se describen en el capítulo correspondiente a las condiciones geológicas locales o de detalle.

4.3.1.1. Formación Bogotá, Conjunto Inferior(E1bi).

Esta subunidad se encuentra constituida por una secuencia alternada de arcillolitas y limolitas, gris oscuras y claras, y rojizo-violáceas por meteorización; con delgadas intercalaciones de areniscas gris a gris rojizas, de grano fino. Sobre esta unidad se encuentra Localizado el Barrio Moralba (Sitio No.3).

4.3.2. Geología estructural

Desde el punto de vista estructural, el área del sitio de estudio es el resultado de los procesos tectónicos propios de la evolución geológica de la Cordillera Oriental, en la región de la sabana de Bogotá.

El Barrio Moralba, se ubica dentro del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y dentro del bloque occidental de la falla de Bogotá.

Entre los elementos tectónicos de mayor influencia estructural del área se tiene la falla de Bogotá, que corresponde a una falla inversa, con un rumbo general N-S. Su traza se presenta aproximadamente a unos 500m al oriente del sitio de estudio.

4.4. GEOLOGÍA LOCAL [10]

De acuerdo con los propósitos del estudio, se llevó a cabo el levantamiento cartográfico a escala de detalle con el objetivo de caracterizar cada una de las unidades rocosas aflorantes en la zona de investigación, (ver PLANO GE190-PL-S3-002).

4.4.1.Unidades Geológicas Superficiales

Con base en las propuestas metodológicas consultadas y analizadas (INGEOMINAS, 2003 y 2005) y de acuerdo con los objetivos del proyecto, los materiales aflorantes en el área de estudio, para su cartografía y caracterización con propósitos ingenièriles, se han denominado como Unidades Geológicas Superficiales, para lo cual se clasificaron en unidades de suelos y unidades de rocas, las cuales se cartografiaron en el **PLANO GE190-PL-S3-002** presentando los perfiles típicos.

Los materiales rocosos aflorantes en el área de estudio, para su cartografía y caracterización con propósitos ingenieriles, se han denominado como Unidades Geológicas Superficiales, para lo cual se clasificaron en unidades de suelos y unidades de rocas.

Las unidades de suelos de acuerdo con su origen, se clasificaron en residuales, coluviales antiguos, depósitos de flujos de tierra recientes y de origen antropogénico; las rocas de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificaron en rocas blandas.

[10] *Enfocadas a propósitos ingenieriles*

4.4.1.1. Suelos Residuales (Srs).

Son los materiales resultantes de la meteorización y alteración de los componentes de las rocas in situ. Estos materiales dentro del sitio de estudio, se presentan en los sectores norte y oriental del sitio, donde los terrenos presentan una morfología en general ondulada.

De acuerdo con las observaciones en los afloramientos rocosos, estos materiales son de color gris amarillento, de textura limo-arcillosa y de consistencia blanda, cubiertos parcialmente por suelo orgánico gris oscuro; sus espesores oscilan entre 0.5 y 1.0m aproximadamente. La roca parental corresponde a las arcillolitas, limolitas y areniscas de la Formación Bogotá, conjunto inferior (E1bi). Los procesos morfodinámicos que se presentan dentro de esta unidad, son predominantemente de tipo erosivo, de baja intensidad, cuyas formas principales son la laminar generalizada y en menor proporción los surcos (ver **Foto 7** y **Foto 8**).



Foto 7. Vista general de la parte superior del sector inestabilizado. Obsérvese los flujos de detritos y de tierra recientes y actual por la parte central del drenaje del área.



Foto 8. Vista general de la parte media-norte (flanco derecho).

4.4.1.2. Depósitos de Coluvión Antiguos (Sco3).

Son los materiales resultantes de la acción de la gravedad y de la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa antiguos, y acumulados en la parte inferior de las laderas y escarpes rocosos. Estos materiales se encuentran ubicados en sitios puntuales principalmente en las márgenes de la pequeña quebrada que pasa por el sitio de estudio, y son de extensión moderada. Son materiales matriz-soportados, fragmentos rocosos de composición arenacea y esporádicamente bloques de tamaño heterométrico, dentro de una matriz areno-limosa, de color gris amarillento; de consistencia blanda. Su espesor oscila entre 0.5 y 3.0m, aproximadamente (ver **Foto 7 y Foto 8).**

4.4.1.3. Depósitos de Flujos Tierra Recientes y Actuales.

Los depósitos de flujos de tierra recientes (Sc2), se presentan principalmente en la parte central del sitio y en la margen derecha del drenaje antiguo. Corresponden a los materiales originados por procesos de remoción en masa recientes que han afectado el sector; son de composición arcillo-limosa; el espesor de estos materiales oscila entre 1.0 y los 3.0m aproximadamente.

Los depósitos de flujos actuales, son los materiales resultantes de los procesos de inestabilidad recientes y actuales, y se presentan en la parte central del drenaje que pasa por el sitio. Son de composición arcillo-limosa; su espesor oscila entre 0.5m los 3.0m aproximadamente, (ver **Foto 9 y Foto 10**).



Foto 9. Vista general de la parte inferior de la zona Inestabilizada. Obsérvese los depósitos de flujos de detritos y de tierra Claramente diferenciados.



Foto 10. Vista general de la parte media de la zona Inestabilizada. Obsérvese en la parte superior el flanco izquierdo de los flujos de detritos y de tierra.

4.4.1.4. Depósitos de Origen Antropogénico.

Estos materiales son de dos clases: i) llenos de escombros, y ii) rellenos ingenieriles.

- ✓ Los llenos de Escombros (Sa1), corresponden a los materiales procedentes principalmente de los desechos y basuras originados de las diferentes actividades de los habitantes del barrio; son en general de composición heterogénea. Estos materiales son de extensión moderada a pequeña y se presentan en sitios puntuales.

- ✓ Los Rellenos Ingenieriles (Sa2), corresponden a los materiales de las capas de base y sub.-base para el desarrollo de las vías y de las construcciones existentes en el sitio. Estos materiales son en general seleccionados y compactados, constituidos por arenas, limos, y gravas. Presentan espesores variables: entre 0.3 y 0.5 m aproximadamente.

4.4.2.Unidades de rocas

Rocas Blandas (Rb). De acuerdo con sus condiciones físicas y mecánicas, los materiales rocosos aflorantes en el sector de estudio y alrededores se clasificaron en rocas blandas; estos materiales **pertenecen a la Formación Bogotá (E1bi).** Están constituidas por una secuencia interestratificada de arcillolitas y limolitas, de color gris rojizo violaceo por meteorización, en estratificación de muy delgada a gruesa; con delgadas intercalaciones de areniscas gris amarillentas por meteorización, de grano fino, moderadamente friables. Las rocas son de resistencia blanda, se presentan poco fracturadas y de moderada a altamente meteorizadas.

4.4.3.Condiciones estructurales

Desde el punto de vista estructural, el sitio de estudio se ubica en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá y dentro del bloque occidental de la falla del mismo nombre, que corresponde a una falla inversa, con un rumbo general N-S.

Entre los elementos estructurales menores de los macizos rocosos se tiene la estratificación; por su composición litológica (predominantemente arcillosa), las rocas no presentan sistemas de diaclasas.

4.4.3.1. Estratificación

Los estratos rocosos dentro del sitio, presentan como aptitudes estructurales: un rumbo promedio de, **N10°E, y un buzamiento promedio de 60° al SE**; cuya dirección es en sentido contrario a la pendiente topográfica de la ladera (ladera en contrapendiente). (Ver **PLANO GE190-PL-S3-003**).

4.5. ASPECTOS DE GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El objetivo de esta temática es obtener información sobre la evolución de los terrenos del área, al igual que la identificación y cartografía de los diferentes procesos denudativos (de remoción en masa y erosión), tanto antiguos como activos y/o recientes, con el fin de realizar la sectorización de susceptiblidad de inestabilidad de los materiales rocosos.

Regionalmente, el área de estudio está localizada en el flanco occidental del anticlinal de Bogotá, en el piedemonte de los Cerros Sur-orientales, de la Morfoestructura denominada Sabana de Bogotá, en la geoforma denominada por el estudio de Ingeocim – Upes (1998) como Terrenos Ondulados (II B),(ver **Figura 4**).

El la **Figura 4** a escala 1:2500 se presentan las unidades geomorfológicas correspondientes a los terrenos conformantes del área de estudio y sus alrededores, entre las que se tienen: i) **IIB,** de origen Colinado de Control Estructural Plegado,

correspondientes a geoformas de Terrenos ondulados; ii) **VA**, de origen Deposicional en Laderas, correspondientes a geoformas de Laderas de Acumulación, y iii) **VIII,** Deposicional en rellenos de valles desarrollados en suelos residuales arcillosos, correspondientes a geoformas de valles de laderas con desarrollo de flujos de tierra.

Figura 4. Geomorfología regional (Ingeocim – Upes, 1998)

4.6. CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES

Esta temática corresponde al estudio de la evolución y origen de la forma de los terrenos y procesos denudativos (fenómenos de remoción en masa tanto antiguos como recientes y procesos erosivos).

4.6.1. Morfoestructural

De acuerdo con la información obtenida en el área de estudio se presentan subunidades y elementos de origen estructural-denudativo, denudativo - acumulativo y antropogénico (ver PLANO GE190-PL-S3-004).

Dentro de las Subunidades de origen estructural, se presentan los elementos correspondientes a laderas estructurales y en contrapendiente; dentro de las subunidades de origen denudativo--acumulativo se presentan los depósitos de coluvión antiguos, y dentro de los antropogénicos se tienen: las laderas explanadas y los llenos de escombros.

4.6.2.Subunidades y Elementos de Origen Estructural, Denudativo-Acumulativo y Antropogénico

4.6.2.1. Subunidades de origen Estructural (E):

Entre estos elementos se tienen Las Laderas en Contrapendiente (E1), que corresponden a terrenos en los que los estratos rocosos buzan en sentido contrario a la pendiente topográfica de los terrenos. Estos elementos son de conformación predominantemente arcillo-limosa.

4.6.2.2. Subunidades de origen Denudativo-Acumulativo (D)

- **Los Depósitos Coluviales Antiguos (D1)**, que corresponden a geoformas producto de la acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca), producto de los fenómenos de remoción en masa antiguos (ver **Foto 7** y **Foto 8**).

- **Los Flujos de Detritos Recientes (D2) y Actuales (D3)**, son las geoformas resultantes de los procesos de inestabilidad recientes y actuales.

4.6.2.3. Dentro de las Subunidades y Elementos de Origen Antropogénico, se tienen:

- **Las Laderas Explanadas (A1)**, que corresponden a terrenos adecuados para el desarrollo de las construcciones de viviendas y las vías de comunicación.

- **Los Depósitos de Escombros (A2),** correspondientes a geoformas resultantes del depósito de materiales producto de las actividades principalmente del desarrollo urbanístico.

4.6.3.Morfodinámica

Esta temática que comprende el estudio del origen y evolución de los procesos denudativos tanto antiguos como recientes, nos indica que los procesos de inestabilidad que han afectado el sitio de estudio, corresponden predominantemente a los fenómenos de remoción en masa tanto antiguos como recientes, de las clases deslizamientos y flujos de tierra, los cuales se ubican principalmente en las márgenes del drenaje antiguo que pasa por la parte central del sitio de estudio,(ver **Foto 7, Foto 8 y Foto 9).**

Los fenómenos de inestabilidad antiguos conformaron algunos depósitos de coluvión, los cuales se ubican en sectores puntuales de las laderas del sector.

Los fenómenos de inestabilidad recientes, corresponden a reactivación progresiva de movimientos antiguos, complejos y retrogresivos, los cuales han originado flujos de detritos y tierra, recientes y actuales, que afectan los terrenos de la parte central del sitio de estudio, (**ver Foto 7 y Foto 10**).

Igualmente, se presentan movimientos lentos o de reptación en la parte inferior de los sectores inestables anteriores, los cuales son originados por los efectos de empuje de los movimientos principales (**ver Foto 13 y Foto 14**). Estos fenómenos han alcanzado a afectar las viviendas localizadas en la parte baja de la zona.



Foto 11. Vista de detalle de la corona del deslizamiento reciente. Obsérvese en la parte derecha superior la vía principal que comunica los barrios aledaños.



Foto 12. Vista de detalle de la vía que cruza por la parte Superior del zona inestabilizada, el cual la bordea por su orilla Izquierda.



Foto 13. Vista de detalle de la parte inferior de los flujos de detritos y tierra. Obsérvese en la parte inferior de la foto, la presencia de aguas no encausadas adecuadamente.



Foto 14. Vista de detalle de la parte inferior de la zona Inestabilizada, afectada por movimientos lentos o de reptación.

Es de anotar que los fenómenos de inestabilidad recientes se inician desde la parte alta del drenaje, los cuales alcanzan a afectar el borde de la vía principal que cruza por el sector, (**ver Foto 11 y Foto 12).**

Entre los factores que han propiciado las inestabilidades presentes en el sitio de estudio, se tienen principalmente la acción de las aguas de escorrentía superficial provenientes de las laderas del sector y que no tienen un encausamiento definido. Igualmente, se observan aguas negras procedentes de algunas de las viviendas aledañas del sector y que confluyen al drenaje principal dentro de la zona inestabilizada, (**ver Foto 7, Foto 10, Foto 13 y Foto 14**).

4.6.4.ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE PROCESOS DENUDACIONALES

4.6.4.1. Análisis Multitemporal de fotografías aéreas

Para la obtención de la información necesaria sobre la evolución de las condiciones geomorfológicas de los terrenos donde se encuentra ubicado el sitio de estudio y alrededores, y el desarrollo de los posibles procesos de remoción en masa que lo hayan afectado, se realizó un análisis multitemporal mediante la interpretación de fotografías aéreas tomadas por el IGAC, en diferentes épocas y en diferentes escalas, complementados con observaciones actuales de campo, para un periodo total de análisis de 23 años y cuya relación se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Relación de fotografías aéreas

Vuelo	Escala	Año	Sobre	Fotos
C-2233	1:30.000	1985	S-33261	077- 078
C-2717	1:20.460	2004	S-39295	048--049

A los diferentes vuelos de fotografías aéreas seleccionadas, se les realizó un análisis detallado de fotointerpretación, con el fin de obtener información que nos ilustre la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad, que puedan afectar dichos terrenos.

Del análisis de las fotografías áreas correspondientes, se observa que el sitio de estudio y sus alrededores presentan en general los siguientes aspectos:

- ✓ Las características y condiciones geológicas y geomorfológicas, locales y de sus alrededores, en general son similares para la época analizada y se corresponden con las descripciones dadas en los apartes pertenecientes a los numeral 4.4 de este documento y mostradas en los **PLANO GE190-PL-S3-002** y **PLANO GE190-PL-S3-003.**

- ✓ La escasa vegetación, características y distribución (consistentes principalmente en pastos), se mantienen en la mayor parte del área desde antes del año de 1985.

- ✓ • El desarrollo urbanístico (construcciones de viviendas y vías) para los alrededores del área de estudio, es un proceso iniciado desde antes del año de 1985, el cual continúa con un avance muy lento hasta los años recientes.

- ✓ Durante la época analizada, no se observaron fenómenos de inestabilidad apreciables, a excepción de los procesos erosivos generalizados de baja intensidad.

- ✓ Como causas posibles sobre la ocurrencia de los fenómenos de inestabilidad tanto antiguos como recientes, se tienen principalmente: la presencia de suelos residuales y depósitos de origen coluvial, sobre los cuales actúa la acción de las aguas superficiales no encausadas adecuadamente, sumado con la falta de protección de los terrenos, los cuales producen sobresaturación de los materiales, originando las inestabilidades presentes.

4.6.5.Caracterización de los Procesos de inestabilidad

En cuanto a la propiedades y condiciones Geológico-Geotécnicas, se tiene que los materiales rocosos aflorantes en el sector de estudio y alrededores, corresponden a rocas de resistencia baja, constituidas principalmente por arcillolitas, limolitas y delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino. Las rocas se presentan en general, moderada a altamente meteorizadas, en algunos sectores con desarrollo de suelo residual, de textura arcillo-limosa, con espesores entre 0.5 y 1.0 m aproximadamente.

El macizo rocoso se presenta moderadamente fracturado, con ausencia de discontinuidades a excepción de la estratificación. Los estratos rocosos presentan

buzamientos en dirección contraria a la pendiente topográfica de la ladera (posición favorable contra los movimientos de remoción en masa).

- ✓ Desde el punto de vista geomorfológico, los terrenos del sitio y sus alrededores presentan: i) laderas en contrapendiente, y ii) laderas explanadas, resultantes del desarrollo urbanístico propio del sector.

- ✓ En cuanto a las características Hidrogeológicas, El macizo rocoso del sitio de estudio se encuentra constituido por rocas de composición predominantemente arcillo-limosa, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino. Estas rocas dentro del área se presentan en posición estructural (buzamiento) contraria a la pendiente topográfica de las laderas.

Las rocas por su composición litológica, de textura fina y posición estructural, no conforman niveles de acuíferos importantes, a excepción de los efectos de las capas delgadas de areniscas, que pueden conducir pequeños volúmenes de agua procedentes de las infiltraciones de la escorrentía superficial, los cuales han influido en parte en el origen de las inestabilidades ocurridas en el sector.

4.6.6.Procesos de inestabilidad

Con el objeto de conocer los antecedentes del área de estudio se clasificó la información recopilada y levantada en el sitio, buscando identificar la susceptibilidad del terreno a procesos de inestabilidad y crear un marco histórico del sitio que permitiera identificar potenciales detonantes y/o condiciones predominantes en el sitio de estudio.

Los procesos de inestabilidad que han actuado sobre los terrenos corresponden a fenómenos denudativos principalmente movimientos de remoción en masa antiguos y recientes, los cuales han originado los depósitos de coluviones antiguos y ubicados principalmente en las márgenes del drenaje principal del sitio

de estudio, y depósitos de flujos de detritos y tierra, recientes y actuales, los cuales se ubican principalmente en la parte central del sitio.

Igualmente, se presentan movimientos de inestabilidad lentos o de reptación y ubicados principalmente en la parte inferior-baja de la zona de estudio, los cuales han afectado a algunas viviendas del sector.

De acuerdo a la información recolectada en los reconocimientos de campo y a las características que presentan las rocas aflorantes y los fenómenos de inestabilidad ocurridos en el sitio, se puede asumir como causa principal, la saturación de los suelos, originada por la acción de las aguas infiltradas provenientes de la escorrentía superficial y subterránea.

Desde el punto de vista regional, se tiene reportado evidencias de rellenos, que puedan estar afectando el sector en estudio (ver **Figura 5.**).

Figura 5. Procesos (Ingeocim – Upes, 1998)

4.7. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

El macizo rocoso del sitio de estudio se encuentra constituido por rocas de composición predominantemente arcillo-limosa, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino. Estas rocas dentro del área se presentan en posición estructural (buzamiento) contraria a la pendiente topográfica de las laderas.

Las rocas por su composición litológica, de textura fina y posición estructural, no conforman niveles de acuíferos importantes, a excepción de los efectos de las capas delgadas de areniscas, que pueden conducir pequeños volúmenes de agua procedentes de las infiltraciones de la escorrentía superficial, los cuales han influido en parte en el origen de las inestabilidades ocurridas en el sector.

Igualmente, se observó presencia de aguas negras procedentes de algunas viviendas cercanas, las cuales son conducidas hacia el drenaje principal.

Los registros de las investigaciones del subsuelo consistentes en perforaciones, con profundidades entre 5,50 - 12,00 m distribuidas dentro del área del sitio de investigación, proporcionan información sobre la presencia de niveles freáticos (ver **ANEXO II**), los cuales aparecieron a profundidades entre 4.0-4.5m (perforaciones 1,2 y 3), (ver **PLANO GE190-PL-S3-003**).

De acuerdo con las observaciones anteriores y los análisis de la información obtenida, la presencia de agua superficial no encausada adecuadamente, causan saturación de los materiales principalmente de los suelos tanto residuales como coluviales, originando por consiguiente movimientos de remoción en masa como los presentados en la parte central del área de estudio.

5. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA[11]

5.1. OBJETIVOS

El estudio hidrológico e hidráulico tiene como principales objetivos los siguientes:

- ✓ Caracterizar el área de drenaje de la cuenca aportante al sitio del proyecto.
- ✓ Determinación y evaluación del régimen de precipitaciones de la zona, de forma tal que se obtenga el patrón temporal y espacial de lluvias de acuerdo con los registros de precipitaciones diarias y totales anuales.
- ✓ Obtención de los aguaceros de diseño, base para el cálculo de caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años).
- ✓ Dimensionamiento de las obras de drenaje superficial.

5.2. METODOLOGÍA

El análisis hidrológico e hidráulico se fundamenta en la recopilación y estudio de la información obtenida por medio de las siguientes fuentes consultadas:

- ✓ Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el objeto de obtener la información hidrológica referente a precipitaciones diarias y totales anuales para las estaciones aledañas a la zona en estudio, de forma que pudiese desarrollarse un análisis hidrológico, base para el cálculo de caudales y análisis de estabilidad.

- ✓ Demarcación de la cuenca de drenaje en los planos existentes del IGAC (escala 1:2000) del año 1981.

[11] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

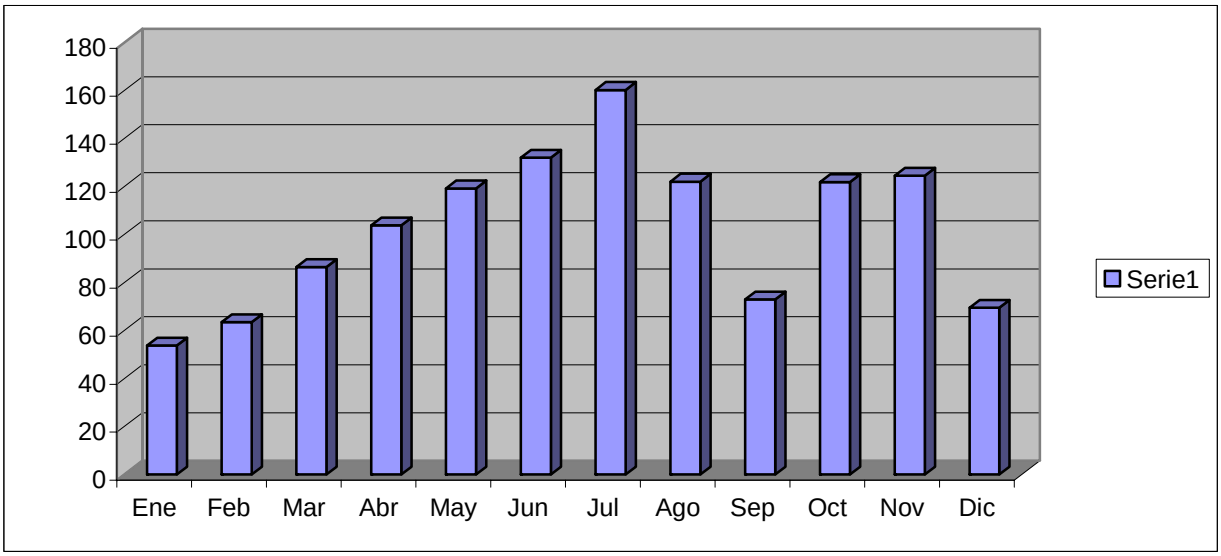
5.3. MARCO HIDROLÓGICO GENERAL

Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están directamente asociados con los períodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales agentes detonantes por el incremento de los caudales de escorrentía superficial, lo que hace necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial; es decir, identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación se hace un resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

5.3.1.Precipitación totales mensuales

Para establecer el régimen pluviométrico en el sector de estudio, se utilizó los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la Estación El Delirio (20013 P-035) operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota EAAB (Ver **ANEXO IV A**), Latitud 04°33´, Longitud 74°04´ y Elevación 3000 m.s.n.m. que está muy cercana a la zona de estudio y está ubicada en la cuenca del río San Cristóbal.

La distribución temporal de la precipitación en la estación seleccionada tiene una tendencia de forma bimodal o ecuatorial, con dos períodos lluviosos entre los meses de abril a agosto y octubre a noviembre, y un período seco entre los meses de diciembre a marzo, como se observa en la Gráfica 1**.** La precipitación media multianual en la Estación El Delirio es de 1229,2 mm (que coincide con la interpolación de las estaciones de la ciudad realizada por Ingeocim – Upes en 1998, y presentada en la **Figura 6.**) y el mes con mayor precipitación es julio con un promedio mensual multianual de 160,2 mm.

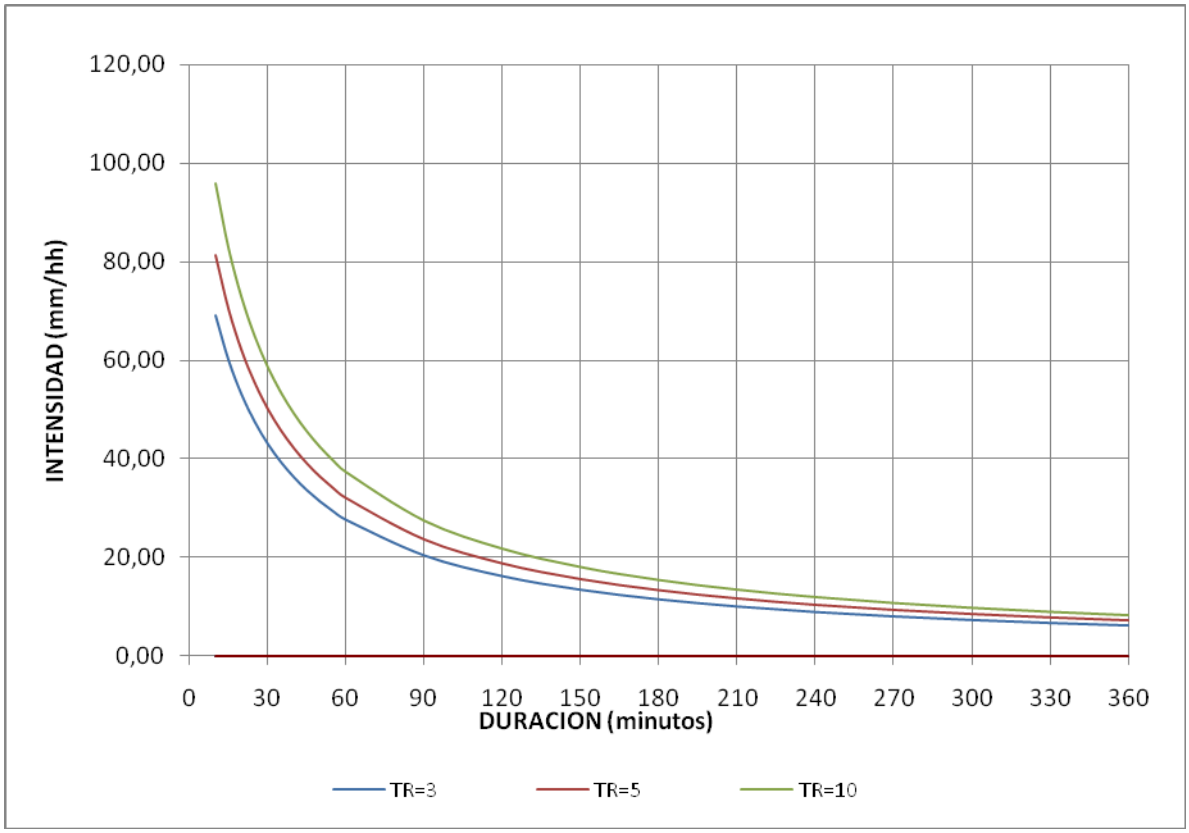


Gráfica 1. Lluvias medias mensuales (1990 - 2007) en la estación El Delirio

Figura 6. Curvas de precipitación total anual en Bogotá (Ingeocim – Upes, 1998)

5.3.2.Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P (1998), y actualizado por Ingetec (2002). En este estudio se dividió a la ciudad de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. El sector de análisis está ubicado en la Zona 7, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es Estación El Delirio (20013 P-035), Latitud 04°33´, Longitud 74°04´ y Elevación 3000 m.s.n.m.; la curva IDF característica para esta zona se presentan en la Gráfica 2**.**



Gráfica 2. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para la zona de estudio

5.3.3.Lluvia crítica

Para determinar la relación precipitación 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:

Tabla 9. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Bogotá (INGEOCIM – UPES, 1998).

Zona	Lluvia crítica (mm)	Duración (dias)
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

El barrio Moralba se encuentra ubicado dentro de la zona de los Cerros Orientales; a partir de los valores de lluvia anual de la estación El Delirio se obtuvo una precipitación crítica de 223 mm (que coincide con lo reportado en el estudio de Ingeocim-Upes, 1998, tal como se puede apreciar en la **Figura 7.**), y un período de retorno del orden de 34 años (ver **Figura 8.**)

Figura 7. Curvas de precipitación critica (Ingeocim – Upes, 1998)

Figura 8. Curvas de periodos de retorno de la precipitación crítica (Ingeocim – Upes, 1998)

5.4. EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

5.4.1.Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta y es función del tipo de suelo, de la impermeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de otros factores que determinan la fracción de lluvias que se convierten en escorrentía; este valor es difícil de determinar directamente, pero se puede inferir satisfactoriamente considerando: el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en la zona de estudio. Teniendo en cuenta las características morfométricas y de cobertura del suelo (zona de uso urbano, como se aprecia en las **Figura 9.** y **Figura 10.** , con calles pavimentadas y alcantarillado oficial) de la cuenca en estudio se asumirá un coeficiente de escorrentía de 0,50.

Figura 9. Cuenca hidrográfica.

Figura 10. Usos del suelo (Ingeocim – Upes, 1998)

5.4.2.Determinación del tiempo de concentración de la lluvia

Para el cálculo del caudal de escorrentía por las laderas, es necesario determinar el tiempo de concentración y con las curvas IDF poder hallar la intensidad (Ic), asumiendo que el caudal pico se debe a una precipitación mantenida durante un tiempo igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración se calculará empleando la formula de Kirpich:

$$T_c = \frac{0.06628 * L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

En donde,

T_c = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud (Km.)

S = Pendiente del terreno (m/m)

En la **Tabla 10** se presentan los parámetros y resultados obtenidos de tiempo de concentración.

Tabla 10. Parámetros y cálculo del tiempo de concentración

PARÁMETRO	VALOR
Longitud, L (Km)	1,4
Pendiente, S (m/m)	0,36
Tiempo de concentración, Tc (min)	7,63

Las fórmulas empíricas para estimar el tiempo de concentración, tal como la de Kirpich, son válidas para rangos mayores a 10 – 15 min; si los valores obtenidos

son menores al umbral mínimo (10 – 15 min), se recomienda utilizar como tiempo de concentración el valor del umbral.

Según la fórmula de Kirpich, se obtiene un tiempo de concentración de 1.91 min; sin embargo, dada la limitación del método, para efectos de cálculo de los caudales se adoptó para esta cuenca un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos.

5.4.3.Cálculos de intensidades máximas

Con base en la curva IDF presentada en la Gráfica 2, se puede estimar la intensidad de la lluvia con una duración del tiempo de concentración (tomado como 10 min), para diferentes períodos de retorno, resultados que se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de intensidad máxima – duración de 10 minutos

Tr (años)	I (mm/h)
3	70
5	81
10	96

5.4.4.Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio

Para la estimación de los caudales máximos esperados en los diferentes sitios de la zona en estudio, se utilizó el Método Racional, aceptado para cuencas con superficies inferiores a 1.0 Km^2; este modelo de estimación, obtiene el caudal máximo por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C * I * A}{0.36}$$

Donde Q es el caudal pico (l/s); I la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/h); A el área aferente (ha); C el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 1 que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo. En la Tabla 12 se presentan los valores obtenidos para el caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio.

Tabla 12. Caudal máximo por escorrentía en la zona de estudio

PARÁMETROS	VALOR
Área de drenaje	38.62 ha
Intensidad	96 mm/h
Coeficiente de escorrentía	0.30
Caudal	3090 l/s

5.4.5.Obras de drenaje superficial

Las obras de drenaje superficial propuestas son cunetas o canales, que servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas de las laderas o los taludes de corte (denominado comúnmente zanja de coronación), con el fin de evitar la erosión superficial y la infiltración y/o saturación en los taludes. Para el cálculo de estas estructuras se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

Donde:

- **Q** es el caudal (m^3/s)
- **R** es el radio hidráulico (m)
- **S** es la pendiente del canal (m/m)
- **A** es el área de la sección mojada del canal (m^2)
- **n** es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Los principales criterios de diseño de las cunetas y canales son los siguientes:

- ✓ Las frecuencias de las crecientes de diseño (Tr) es de 10 años (para estar en concordancia con los lineamientos de la EAAB para este tipo de obras).
- ✓ Si las pendientes longitudinales de las estructuras son superiores al 1.5%, se recomienda revestirlas en piedra pegada, concreto y/o sacos de suelo-cemento, con el fin de evitar la profundización de los mismos.
- ✓ La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.

6. SISMOLOGÍA[12]

Para el análisis de los efectos locales de amenaza sísmica en el EMS [13], las fuentes sismogénicas se dividieron en tres (3) tipos, así:

- ✓ Fuentes lejanas provenientes de la Zona de Subducción, con una distancia epicentral del orden de 400 Km; para su análisis se tomó como base el sismo presentado en México, 1985, de 8.0 en la escala Ms.

- ✓ Fuentes regionales o frontal de la Cordillera Oriental, con una distancia epicentral de 60 km, tomando como referencia el sismo de Tauramena, de 6,6 en la escala Ms.

- ✓ Fuentes cercanas, locales en el área de la ciudad, localizadas a una distancia epicentral del orden de 15 a 20 km, tomando como referencia el sismo de Loma Prieta, 1.989 de 7.0 en la escala Ms.

Con base en estos sismos se determinaron los espectros de respuesta de acelerogramas de diseño, que sirven como base, para el estudio de respuesta dinámica del suelo (ver **Ilustración 1**).

[12] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

[13] *Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá, INGEOMINAS (1997)*

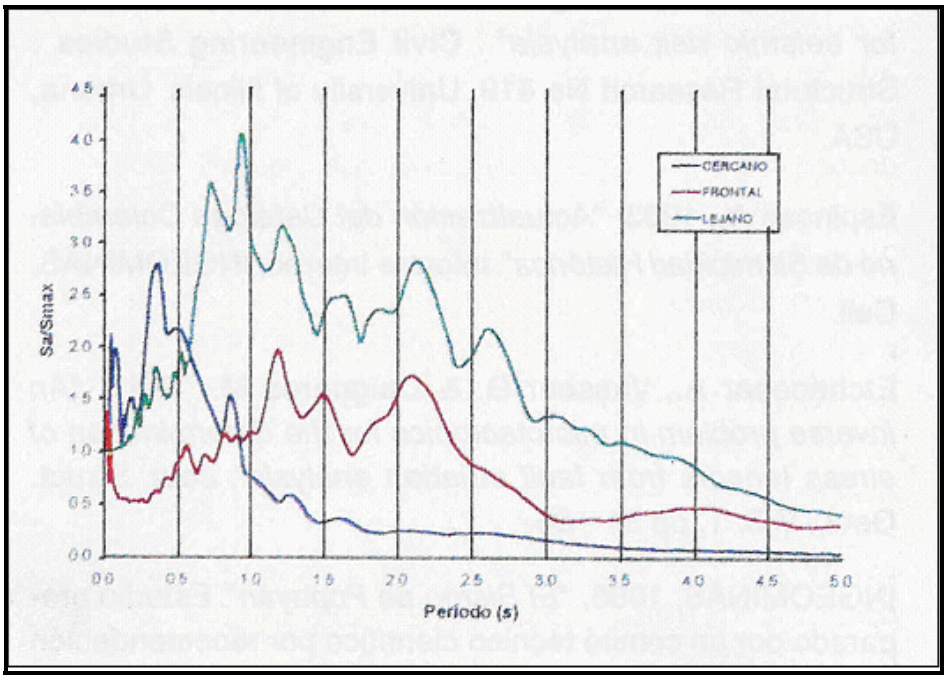


Ilustración 1. Espectros de respuesta sísmica para los tres sismos de diseños, bases del estudio de respuesta sísmica de Bogotá. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997).

Como resultado del estudio de respuesta dinámica de la ciudad de Bogotá (EMS), la zona de estudio fue clasificada como Zona 1-Cerros, donde se define el espectro local de respuesta de diseño presentado en la **Ilustración 2**, el cual tiene las siguientes características:

- Período inicial To = 0.20
- Período corto Tc = 1.00
- Período largo Tl = 5.00
- Aceleración máxima Am = 0.24
- Aceleración nominal An = 0.30

- Factor de amplificación de la aceleración Fa = 1.00

- Factor de amplif. en el intervalo de vel. constantes Fv = 32.48

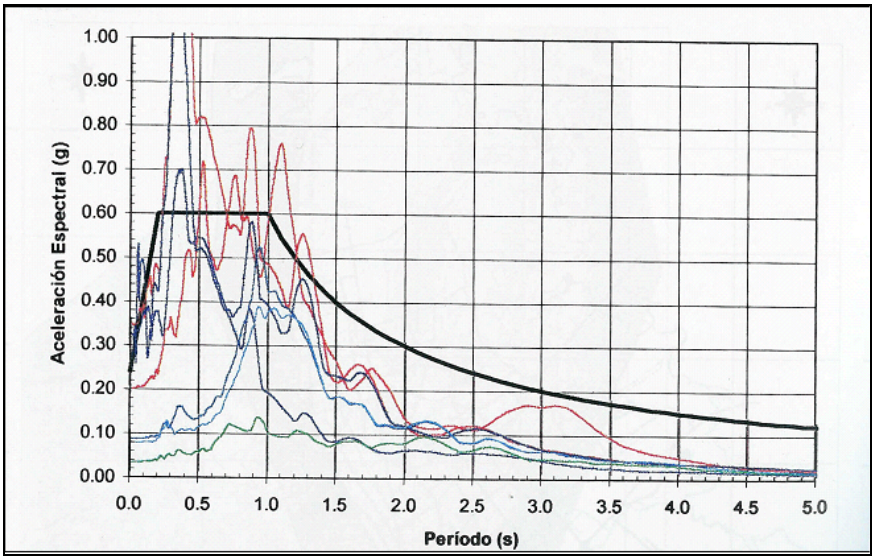


Ilustración 2. Espectro local de aceleraciones en la Zona 1-Cerros. (Tomado del EMS de Bogotá, 1997)

Para efecto de los análisis pseudo-estáticos, se recomienda utilizar un valor de 0,16 g para el valor del coeficiente sísmico pseudo-estático horizontal (k_h), valor que corresponde al mínimo sugerido por la Resolución 227 de 2006 en el numeral 3.4 (2/3 de Am); vale la pena aclarar que este valor de aceleración se encuentra dentro del rango de los valores propuestos por la literatura (ver **Ilustración 3**)

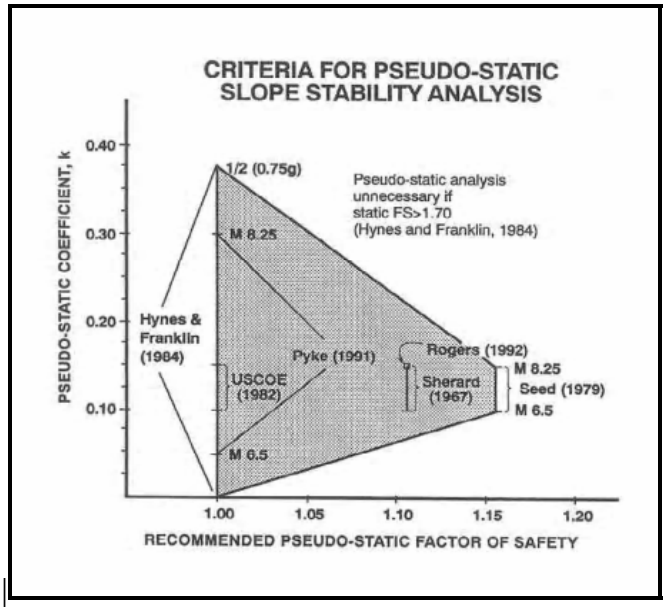


Ilustración 3. Rangos aproximados del coeficiente sísmico pseudo-estático "k" para factores de seguridad mínimos propuestos en la literatura (referencias sobre el diagrama) [14]

7. MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO[15]

Con base en los estudios básicos requeridos y desarrollados, y la caracterización de los procesos de inestabilidad presentados en el sitio de estudio, con el apoyo de secciones y perfiles transversales elaborados para el sitio, el modelo geológico-geotécnico del sector, permite establecer que la relación entre los rasgos geológicos: macizo rocoso de composición arcillo-limosa, altamente meteorizados, y los suelos que conforman las laderas originados por la evolución estructural y modeladas por procesos denudativos, y los procesos de inestabilidad actuales y potenciales, está dada principalmente por la acción de saturación de las aguas infiltradas, originadas fundamentalmente por las lluvias, y con la ayuda de la desprotección de los terrenos.

[14] *Tomado de Special Report 117 – California Geological Survey - "Guidelines for evaluating and mitigating seismic hazards in California".*

[15] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Dentro de los elementos considerados para determinar la influencia y el comportamiento geomecánico de los materiales rocosos, se tienen entre otros: la litología, el grado de meteorización, la información estructural especialmente las discontinuidades, con sus elementos principales el rumbo y buzamiento, espaciado, continuidad, apertura y relleno, y el grado de fracturamiento del macizo rocoso.

7.2. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

En la zona de estudio, se encuentran básicamente tres (3) tipos de materiales: suelos residuales, roca blanda meteorizada y roca blanda sana. Los materiales descritos como depósitos coluviales (ver numeral 4.4.1.2), son el producto de la depositación del material deslizado, y para consideraciones prácticas, se puede suponer que tienen las características de resistencia residual del suelo residual. De otra parte, los materiales denominados depósitos antropogénicos (ver numeral 3.1.1), debido a su poco espesor, no se consideran dentro del modelo de análisis de estabilidad ya que no tienen una mayor influencia sobre ésta.

Con base en los trabajos de investigación del subsuelo descritos en el numeral 3, a continuación se presentan las características geomecánicas de los materiales que constituyen el subsuelo y que hacen parte del modelo geológico-geotécnico propuesto (ver **PLANO GE190-PL-S3-005**).

7.2.1.Suelo residual

Limo arcilloso con algo de arena fina café clara con vetas gris clara y amarilla clara.

DESCRIPCIÓN	MAX.	MIN.	PROMEDIO
WN	48%	26%	35%
LL	84%	28%	52%
LP	36%	20%	29%
IP	48%	8%	23%
PASA T-200	94%	53%	83%

Los parámetros de resistencia utilizados para el suelo residual son el resultado del corte directo realizado sobre la muestra 1 del Barreno Manual No.5 (BM-5):

Ø	6,3º
C`	11 KN/m^2

En los macizos rocosos y suelos residuales se utilizó el criterio de falla propuesto por Hoek et al (2002) el cual se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s\right)^a$$

Donde,

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14\,D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3\,D}\right)$$

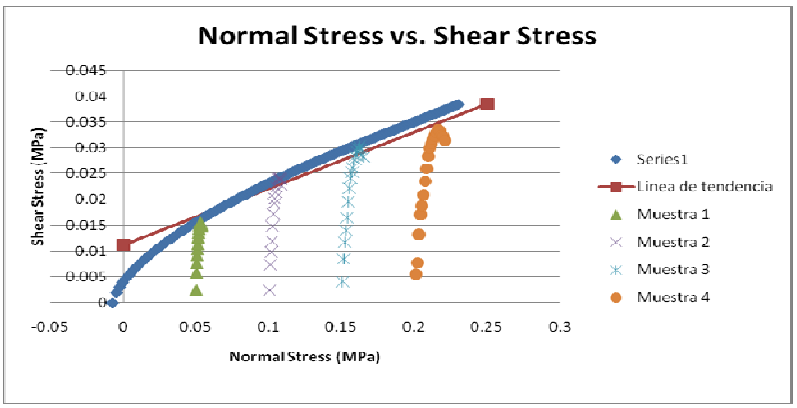
$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}\right)$$

Los parámetros de ajuste para los diferentes tipos de suelos fueron:

DESCRIPCIÓN	Sigci (Mpa)	GSI	mi	D
SUELO RESIDUAL	75	17	1	1
ROCA SANA	75	17	8	1
ROCA METEORIZADA	75	17	3	1

Los puntos de los ensayos de los cortes directo se ajustaron a curvas tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown, obteniendo los siguientes resultados:

Gráfica 3. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para suelo residual



DESCRIPCIÓN	ɣ KN / m³	mb	s	a
SUELO RESIDUAL	18	0,00266228	9,82 e-07	0,553448

7.2.2.Roca blanda meteorizada

Arcilla limosa con rastros de arena fina amarilla clara con vetas café clara y de oxido, con algo de raíces.

DESCRIPCIÓN	MAX.	MIN.	PROMEDIO
WN	57%	9%	28%
LL	57%	25%	42%
LP	31%	22%	23%
IP	26%	3%	19%
Pasa T – 200	100%	83%	94.40%

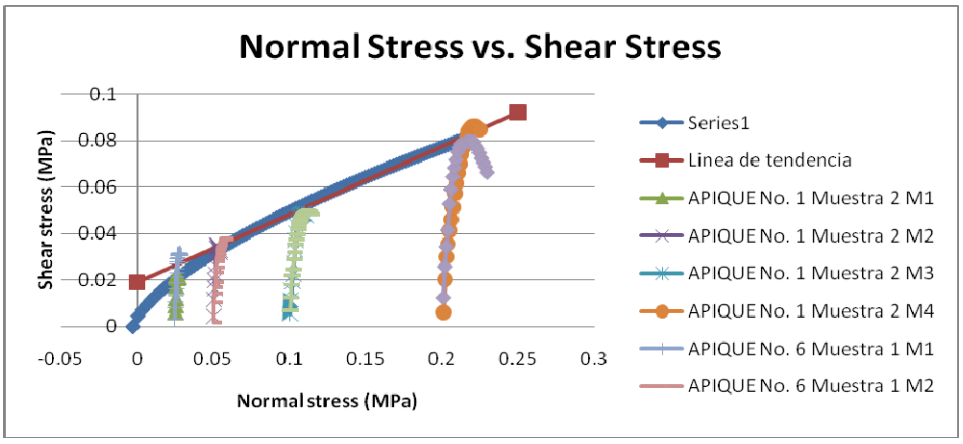
Los parámetros de resistencia utilizados para la Roca Blanda son el resultado del Corte Directo del Apique No.1 (Muestra 2) y el Apique No.6 (Muestra 1):

Apique No.1 (Muestra 2)	
Ø	17,8º
C`	15 KN/m^2

Apique No.6 (Muestra 1)	
Ø	14,7º
C`	23 KN/m^2

Los puntos de los ensayos de los cortes directo se ajustaron a curvas tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown, obteniendo los siguientes resultados:

Gráfica 4. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para roca blanda



DESCRIPCIÓN	**ɣ KN / m^3**	**mb**	**s**	**a**
ROCA METEORIZADA	19	0,00798685	9,82 e-07	0,553448

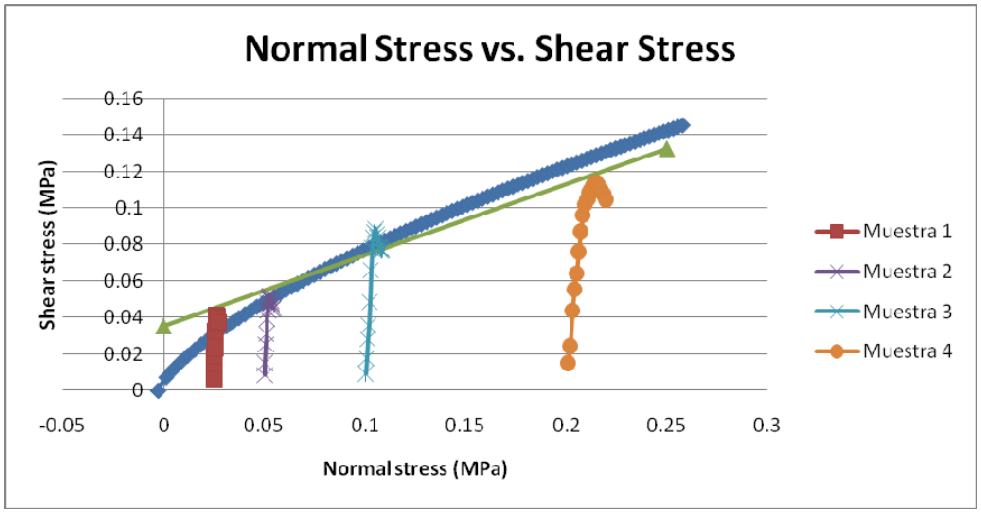
7.2.3.Roca Sana

Arcilla morada con vetas grises claras, rojizas, café clara y de óxido, Los parámetros de resistencia utilizados para la Roca Blanda son el resultado del Corte Directo del Sondeo Mecánico No.1 (Muestra 9):

Ø	21º
C`	35 KN/m^2

Los puntos de los ensayos de los cortes directo se ajustaron a curvas tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown, obteniendo los siguientes resultados:

Gráfica 5. Curva tipo Mohr Coulomb y Hoek Brown para roca sana



DESCRIPCIÓN	ɣ KN / m^3	mb	s	a
ROCA SANA	20	0,0212983	9,82 e-07	0,553448

Para los análisis de estabilidad se utilizaran los de Hoek Brown ya que son los que se ajustan mejor siendo más conservadores para los niveles de esfuerzo que están sometidos los taludes.

8. ANÁLISIS DE AMENAZA[16]

8.1. MÉTODO DE ANÁLISIS

8.1.1.Generalidades

Para resolver un problema se deben tomar en cuenta las ecuaciones de campo y los vínculos constitutivos. Las primeras son de equilibrio, las segundas describen el comportamiento del terreno. Tales ecuaciones son particularmente complejas en cuanto los terrenos son sistemas multifase, que se pueden convertir en sistemas monofase solo en condiciones de terreno seco, o de análisis en condiciones drenadas.

En la mayor parte de los casos se encuentra con materiales que si bien están saturados, es también por lo menos bifase, lo que hace el uso de la ecuación de equilibrio notoriamente complicado. Además es prácticamente imposible definir una ley constitutiva de validez general, en cuanto los terrenos presentan un comportamiento no-lineal aún en el caso de pequeñas deformaciones. A causa de dichas dificultades se introducen hipótesis simplificativas:

- ✓ Se usan leyes constitutivas simplificadas modelo rígido perfectamente plástico. Se asume que la resistencia del material se expresa únicamente con los parámetros cohesión (*c*) y ángulo de fricción interna (φ), constantes para el terreno y característicos del estado plástico, por lo tanto se supone válido el criterio de rotura de Mohr-Coulomb.
- ✓ En algunos casos se satisfacen solo en parte las ecuaciones de equilibrio.

Estas hipótesis se reflejan en el método del equilibrio límite utilizado para los análisis de estabilidad presentados.

[16] Información tomada del estudio Geocing para la Unidad Administrativa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial (UAERMV) 2007

8.1.2.Método del equilibrio límite (LEM)

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f), valorada según el criterio de rotura de *Coulomb;* de tal comparación se deriva la primera indicación sobre la estabilidad con el coeficiente de seguridad $F = \tau_f / \tau$.

Entre los métodos del equilibrio último, algunos consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (*Culman*), otros, por motivos de la ausencia de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas considerando el equilibrio de cada una (*Fellenius, Bishop, Janbu, etc.*); para efectos de los cálculos se utilizó el método propuesto por Gle/Morgenstern-Price, implementado en el software Slide V5.01.

8.1.2.1. Parámetros utilizados en los modelos

Los parámetros geomecánicos utilizados en los modelos bidimensionales de estabilidad para los diferentes materiales se presentan en la Tabla 13:

Tabla 13 Parámetros de análisis de estabilidad

DESCRIPCIÓN	ɣ KN/m³	mb	s	a
SUELO RESIDUAL	18	0,00266228	9,82 e-07	0,553448
ROCA METEORIZADA	19	0,00798685	9,82 e-07	0,553448
ROCA SANA	20	0,0212983	9,82 e-07	0,553448
ROCA INTACTA	20	Infinite strength	Infinite strength	Infinite strength

Los factores detonantes de deslizamientos utilizados en los modelos son el sismo y el agua freática. Para tener en cuenta el sismo se utilizó el método pseudo-estático, el valor del coeficiente de aceleración pseudo-estático (k_h) para un período de retorno de 475 años es de 0,16. Para el agua, se modelaron varios escenarios, desde el más crítico (talud saturado) hasta el menos crítico (talud seco)

8.1.2.2. Perfiles típicos

Los perfiles típicos de análisis se presentan en el **PLANO GE190-PL-S3-005**

8.2. ESCENARIOS DE ANÁLISIS

Los escenarios de análisis contemplados para las condiciones actuales y proyectadas son los siguientes:

Condición sin sismo y seco (normal): para este escenario se analiza el respectivo perfil en condiciones de terreno sin nivel freático y sin coeficiente sísmico.

Condición sin sismo y saturado (normal): para este escenario se analiza en condiciones con nivel freático saturado del terreno y sin coeficiente sísmico.

Condición sin sismo y nivel freático a 2 metros (normal): para este escenario se analiza en condiciones con nivel freático a 2 metros de profundidad del terreno y sin coeficiente sísmico.

Condición con sismo y sin nivel freático (normal): para este escenario se analiza en condiciones sin nivel freático el terreno y con coeficiente sísmico de 0.16.

Condición con sismo y sin nivel freático (normal): para este escenario se analiza en condiciones sin nivel freático del terreno y coeficiente sísmico de 0.16.

La condición con sismo y saturado (extrema 50 años): para este escenario se analiza en condiciones con nivel freático saturado del terreno y coeficiente sísmico de 0.16, debido a que es muy complejo realizar una proyección del nivel de agua para este periodo se toma conservadoramente el nivel freático como saturado para un periodo de retorno de 50 años.

La condición con sismo y nivel freático a 2 metros (extrema): para este escenario se analiza en condiciones con nivel freático a 2 metros de profundidad del terreno y coeficiente sísmico de 0.16, se realiza el análisis bajo esta condición simulando que el nivel del agua se mantendrá en los próximos 50 años.

8.2.1.Condición actual

Posteriormente se realizó un análisis de la situación actual con los parámetros geomecánicos y la topografía de la Firma GEOCING LIMITADA presentada en la Tabla 14 y el PLANO GE224-PL-01 y el PLANO GE224-PL-01A, condición futura a 50 años sin obras

Tabla 14. Análisis de estabilidad de talud condición Actual

CONDICIÓN	PERFIL	F. S.
SIN SISMO SECO (NORMAL)	Perfil No. 1	1.48
	Perfil No. 2	1.554
	Perfil No. 3	1.767
	Perfil No. 4	1.409
SIN SISMO SATURADO (NORMAL)	Perfil No. 1	0.796
	Perfil No. 2	0.85
	Perfil No. 3	1.01
	Perfil No. 4	0.985
SIN SISMO CON NIVEL FREÁTICO a 2m (NORMAL)	Perfil No. 1	1.276
	Perfil No. 2	1.397
	Perfil No. 3	1.676
	Perfil No. 4	1.412
CON SISMO SECO	Perfil No. 1	1.066
	Perfil No. 2	1.05
	Perfil No. 3	1.282
	Perfil No. 4	0.984
CON SISMO SATURADO (EXTREMA 50 AÑOS)	Perfil No. 1	0.529
	Perfil No. 2	0.671
	Perfil No. 3	0.706
	Perfil No. 4	0.671
CON SISMO CON NIVEL FREÁTICO a 2m (EXTREMA)	Perfil No. 1	0.851
	Perfil No. 2	1.205
	Perfil No. 3	1.205
	Perfil No. 4	0.984

El anterior análisis presenta en condiciones favorables (Sin sismo y seco) un factor de seguridad de 1.409, con agua freática a una profundidad de 2.00m y sin sismo con un factor de seguridad de 1.276; sin embargo en condiciones desfavorables (Talud sin sismo y saturado) alcanza un factor de seguridad de 0.85 y

(Talud con sismo y saturado) alcanza un factor de seguridad de 0.529; lo que indica que luego de haber fallado el talud, continuará presentando deterioros en la ladera por efectos hídricos como las altas precipitaciones y el aporte de aguas servidas del alcantarillado en la cara del talud que aun no han sido recogidas; de continuar con lo anterior expuesto, no cesarán los procesos erosivos y de meteorización en la zona objeto de estudio, comprometiendo a mayor grado las viviendas ubicadas en la parte baja del talud. (Ver **ANEXO V**).

8.2.2.Condición proyectada.

Para esta condición se tiene en cuenta las obras de drenaje que se implementaran en el área de estudio, ya que no se tienen obras de infraestructura ni urbanismos proyectadas para este sector, para ello se realizo una modelación con el método de talud infinito, con las condiciones normales y condiciones extremas que se presenta en la Tabla 15 y el **ANEXO A**. PLANO GE-224-PL-01B.

Tabla 15 Análisis de estabilidad de talud condición proyectada

CONDICIÓN	PERFIL	F. S.
SIN SISMO SECO (NORMAL)	PARTE CENTRAL 30,5º	1.48
	COSTADO NORTE 23º	1.88
	COSTADO SUR 27º	1.63
	PARTE MEDIA ÁREA DE ESTUDIO 24º	1.81
SIN SISMO SATURADO (NORMAL)	PARTE CENTRAL 30,5º	1.23
	COSTADO NORTE 23º	1.54
	COSTADO SUR 27º	1.35
	PARTE MEDIA ÁREA DE ESTUDIO 24º	1.49
CON SISMO SECO (EXTREMA)	PARTE CENTRAL 30,5º	1.13
	COSTADO NORTE 23º	1.33
	COSTADO SUR 27º	1.21
	PARTE MEDIA ÁREA DE ESTUDIO 24º	1.30
CON SISMO SATURADO (EXTREMA 50 AÑOS)	PARTE CENTRAL 30,5º	1.00
	COSTADO NORTE 23º	1.09
	COSTADO SUR 27º	1.00
	PARTE MEDIA ÁREA DE ESTUDIO 24º	1.06

Con base a los resultados obtenidos se puede catalogar la amenaza actual del área de estudio en dos zonas la cuales son:

Amenaza alta la cual está localizada entre las calles 42 A sur y la calle 42 C sur entre carreras 16 B y la carrera 17 A y la zona comprendida de los lotes 73 al 78; la amenaza media comprende un 65% del área de estudio en el plano GE-224-PL-001 AMENAZA ACTUAL.

Para la amenaza futura a 50 años, sin implementación de obras la amenaza resulta de Categoría Alta con las condiciones de nivel freático saturado y sismo, lo que se presenta en el Plano GE-224-PL-001A AMENAZA FUTURA 50 AÑOS SIN OBRAS.

Para la condición proyectada con obras, la categorización de la amenaza se presenta como media, manteniéndose la condición para los sectores presentados como amenaza media en el análisis actual y como baja para los sectores donde se implementaran las respectivas obras en el Plano GE-224-PL-001B AMENAZA CON OBRAS, se presenta la categorización de la amenaza.

En el análisis proyectado a 50 años con obras, la amenaza media en la parte central del área de estudio, donde se presenta las obras presenta una retrogresión de unos 8 metros aproximadamente en la parte sobre la carrera 16 de acuerdo a los análisis presentados anteriormente en el numeral 8.2 de este documento, en el plano GE-224-PL-001C AMENAZA FUTURA A 50 AÑOS CON OBRAS, se presenta la categorización de la amenaza.

9. DISEÑO DETALLADO DE OBRAS DE MITIGACIÓN

9.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Para la clasificación de la amenaza de la zona se utilizará como criterios de categorización los presentados en la Tabla 16, teniendo en cuenta lo expuesto en la Resolución 227 del 13 de julio de 2006.

Tabla 16. Categorización de amenaza por FRM

Categoría de amenaza	FS condiciones normales	FS condiciones extremas
Baja	>1,9	>1,3
Media	1,2 - 1,9	1,0 – 1,3
Alta	<1,2	<1,0

En lo posible, los diseños se realizarán para que la amenaza en la zona sea catalogada como baja, o por lo menos media; si se da el segundo caso, se deberán dar las recomendaciones para que la zona susceptible a deslizamiento (con categoría media) presente un riesgo bajo para las viviendas o edificaciones y servicios públicos existentes.

Adicionalmente, para las estructuras de contención se adoptan los valores mínimos del factor de seguridad para este tipo de construcción estipulados en la norma NSR-98, título H, numeral 4.2.11, y que se resumen en la **Tabla 17.**

Tabla 17. Factores de seguridad mínimo para estructuras de contención según la NSR-98

Solicitación	Factor de seguridad mínimo [17]	
	Suelos cohesivos	Suelos granulares
Deslizamiento	2,0	1,5
Volteo	2,0	3,0
Capacidad portante	2,5	2,5

9.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN

Teniendo en cuenta que el costado oriental presenta actualmente bloques de areniscas de 3m de diámetro aproximadamente, estos bloques se encuentran en una matriz arcillosa, la cual está presentando problemas de lavado, dejando en descubierto estos bloques y permitiendo así el desplazamiento de estos ocasionando

[17] *Para el caso en estudio se adoptan como suelos granulares.*

riesgo por este fenómeno tanto las viviendas de la parte baja como el acceso a estas, se deberán implementar obras de estabilización de taludes, que en forma general son:

- Obras de drenaje superficial
- Obras de protección contra la erosión y reconformación del talud.

9.2.1.Alternativa 1

9.2.1.1. Obras Propuestas

1. Localización y replanteo
2. Aislamiento y Protección de la zona a intervenir en repisa y lona verde
3. Descapote
4. Adecuación de las terrazas excavación
5. Empradización con cespedón o similar
6. Construcción de muro de gaviones
7. Suministro y compactación de recebo estabilizado mecánicamente
8. Construcción de cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento
9. Suministro en instalación de tubería PVC 12"
10. Trinchera drenante con dren planar
11. Construcción de cajas de inspección
12. Dren horizontal
13. Cuneta en concreto
14. Construcción de muro de concreto reforzado (**ANEXO B**)

9.2.1.2. Proceso constructivo

1. Localización y replanteo: Se definirá la ubicación exacta de las obras como se especifica en el **Plano GE224-PL-03**.

2. Aislamiento y Protección de la zona a intervenir en repisa y lona verde: Se realizara un cerramiento con postes en repisa y lona verde en la zona de trabajo de 2 m de altura, donde se hará una excavación para los postes y luego se extiende la lona y se clavan puntillas (se deben mantener durante la ejecución de las obras).

3. Descapote: Excavación de 5 cm de espesor quitando las raíces y capa vegetal del terreno.

4. Adecuación de las terrazas excavación: Se realiza una excavación mecánica y manual para dejar el talud horizontal 2 y vertical 1, con una pendiente del 2 % en las terrazas, tal como se especifican en el **Plano GE224-PL-04**

5. Empradización con cespedón o similar: Se adiciona una capa de tierra negra, (espesor 5 cm) después se extiende el manto tipo Ecomatrix sobre el cual se extenderá los cespedones debidamente estacados, luego se toman cuadros de 1 m x 1m de césped, en los taludes se utilizan estacas y/o trinchos para fijar el césped y en las partes planas no hay necesidad de utilizarlas (ver **Plano GE224-PL-03**).

6. Muro en tierra armado:

- Excavar hasta llegar a la cota de cimentación con un talud 1:H y 4:V, tal como se especifican en el detalle 2 **Plano GE224-PL-04** La cimentación del muro debe ser aprobada por un Ing. Geotecnista.

- Disposición de la formaleta de acuerdo a la altura de la primera malla.

- Se extenderá el geodren planar sobre el terreno reconformado.

- Se extenderá la Geomalla TT045 y se dispone el material seccionado en capas con espesores no mayores de 0.15 m compactadas hasta alcanzar una densidad seca no menor del 95% de la máxima obtenida del ensayo proctor modificado.

7. Construcción de cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento: Se adecua el terreno de acuerdo a la forma de las cunetas tal como se observan en el **Plano GE224-PL-03 y Plano GE224-PL-04**, se prepara el saco con suelo cemento y se dispone en el área de interés.

8. Suministro e instalación de tubería PVC 12": Realizar una zanja de mínimo 0.90 m de ancho con una profundidad variable entre 2.00 m y 2.30 m con una pendiente no menor del 2%, se dispondrá una cama de arena con espesor de 10 cm y se colocará la tubería y alrededor de esta se llenará 1/3 de la altura de el tubo con arena para confinarlo.

9. Trinchera drenante con dren planar: Se realiza una zanja con de un ancho de 1.10 m y profundidad de 1.50 m, se instala el geodren planar, se dispondrá material granular (gravilla) con un espesor de 0.50 m y alrededor de la tubería del geodren planar se cubrirá totalmente, con material seleccionado del sitio de excavación y se compactara hasta alcanzar una densidad seca no menor del 85% de la máxima obtenida del ensayo proctor de acuerdo a lo especificado en el **PLANO GE190-PL-S3-008**.

10. Construcción de cajas de inspección: se realiza una excavación de 1.50 m por 1.50 m y una profundidad de 1.80 m, se dispondrá un mortero muerto para la base del cajón de un espesor de 5 cm, se procede a fundir la placa o losa de fondo en concreto con un espesor de 10 cm y resistencia de 3000 psi, se funden las paredes se pañetan e impermeabilizan, como se indica en el **PLANO GE190-PL-S3-008**

11. Dren horizontal: Se realiza una perforación dirigida con un diámetro de 2,5\U+201D con una profundidad de 12 m. Se introduce el tubo perforado de 2\U+201D forrado con geotextil con sus respectivos tapones, como se observa en el **PLANO GE190-PL-S3-008**.

12. Cunetas en concreto: Se adecua el terreno de acuerdo a la forma de la cuneta, para armar la formaleta, se dispondrá la malla electrosoldada de acuerdo a la forma

de la cuneta, y se funde con concreto de 3000 psi tal como se especifica en el detalle 7 (ver **PLANO GE190-PL-S3-008**).

NOTA: Los procesos constructivos se encuentran en el **PLANO GE190-PL-S3-008** las Especificaciones Técnicas se encuentran en el **ANEXO VIII**

9.2.2. Alternativa 2

9.2.2.1. Obras Propuestas

1. Localización y replanteo
2. Aislamiento y Protección de la zona a intervenir en repisa y lona verde
3. Descapote
4. Suministro y compactación de recebo estabilizado
5. Construcción de cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento
6. Trinchera drenante con dren planar
7. Suministro en instalación de tubería PVC 12"
8. Construcción de cajas de inspección
9. Dren horizontal
10. Cunetas en concreto

9.2.2.2. Proceso constructivo

1. Localización y replanteo: Se definirá la ubicación exacta de las obras como se especifica en el **PLANO GE190-PL-S3-009**.

2. Aislamiento y Protección de la zona a intervenir en repisa y lona verde: Se realizara un cerramiento con postes en repisa y lona verde en la zona de trabajo de

2 m de altura, donde se hará una excavación para los postes y luego se extiende la lona y se clavan puntillas (se deben mantener durante la ejecución de las obras).

3. Descapote: Se realiza una excavación mecánica y manual para dejar el talud 2:H y 1:V, con una pendiente del 2 % en las terrazas, tal como se especifican en los perfiles plano **PLANO GE190-PL-S3-010**

4. muro en tierra armada: Excavar hasta llegar a la cota de cimentación con un talud 1:H y 4:V, tal como se especifican en el detalle 3. La cimentación del muro debe ser aprobada por un Ing. Geotecnista.

- Disposición de la formaleta de acuerdo a la altura de la primera malla.

- Se extenderá el geodren planar sobre el terreno reconformado.

- Se extenderá la Geomalla TT045 y se dispone el material seccionado en capas con espesores no mayores de 0.15 m compactadas hasta alcanzar una densidad seca no menor del 95% de la máxima obtenida del ensayo proctor modificado ver **PLANO GE190-PL-S3-010**.

5. Construcción de cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento: Se adecua el terreno de acuerdo a la forma de las cunetas tal como se observan en el **PLANO GE190-PL-S3-010**, se prepara el saco con suelo cemento y se dispone en el área de interés.

6. Suministro e instalación de tubería PVC 12": Realizar una zanja de mínimo 0.90 m de ancho con una profundidad variable entre 2.00 m y 2.30 m con una pendiente no menor del 2%, se dispondrá una cama de arena con espesor de 10 cm y se colocará la tubería y alrededor de esta se llenará 1/3 de la altura de el tubo con arena para confinarlo.

7. Trinchera drenante con dren planar Se realiza una zanja con de un ancho de 1.10 m y profundidad de 1.50 m, se instala el geodren planar, se dispondrá material granular (gravilla) con un espesor de 0.50 m y alrededor de la tubería del geodren

planar se cubrirá totalmente, con material seleccionado del sitio de excavación y se compactara hasta alcanzar una densidad seca no menor del 85% de la máxima obtenida del ensayo proctor de acuerdo a lo especificado en el **PLANO GE190-PL-S3-010**.

8. Construcción de cajas de inspección, se realiza una excavación de 1.50 m por 1.50 m y una profundidad de 1.80 m, se dispondrá un mortero muerto para la base del cajón de un espesor de 5 cm, se procede a fundir la placa o losa de fondo en concreto con un espesor de 10 cm y resistencia de 3000 psi, se funden las paredes se pañetan e impermeabilizan como se indica en el **PLANO GE190-PL-S3-010**

9. Dren horizontal: se realza una perforación dirigida con un diámetro mayor a 2,5" y el tubo de 2" con geotextil y al final se le coloca un dado, como se observa en el **PLANO GE190-PL-S3-010**.

10. Cunetas en concreto: Se adecua el terreno de acuerdo a la forma de la cuneta, para armar la formaleta, se dispondrá la malla electrosoldada de acuerdo a la forma de la cuneta, y se funde con concreto de 3000 psi (ver **PLANO GE190-PL-S3-010**).

NOTA: Los procesos constructivos se encuentran en el **PLANO GE190-PL-S3-010** y las Especificaciones Técnicas entran en el **ANEXO VIII**

9.3. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD GLOBAL

Teniendo en cuenta los análisis de estabilidad global presentados en el **ANEXO VI**, los factores de seguridad para los escenarios posibles se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. Factores de seguridad condicionales para las alternativas planteadas

Escenario	Factores de Seguridad	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Nivel freático abatido y sin sismo	2.074	2.16
Nivel freático abatido y con sismo	1.421	1.239

Para garantizar la amenaza baja en la zona según los análisis realizados, es necesario además del terraceo mantener el nivel freático por lo menos dos metro por debajo del nivel del terreno reconformado, motivo por el cual es necesario la implementación de un drenaje subsuperficial (estilo trincheras drenantes).

La alternativa recomendada es la Alternativa 1 esta nos brinda un considerable mejoramiento en el factor de seguridad y el valor total de las obras es del orden de $ 292.241.601 (costo directo) el precio del AIU $78.408.422, mas el costo del residente social el cual esta $6.200.000 incluido el IVA. Para un gran total de $ 370.650.023.

10. CANTIDADES DE OBRA, CRONOGRAMA Y PRESUPUESTO

10.1. CANTIDADES DE OBRA

En el **ANEXO VII** se presenta el cálculo de las cantidades de obra para la alternativa planteada, teniendo en cuenta los planos de diseño (**Planos GE190-PL-S3-007 a GE190-PL-S3-9**).

10.2. CRONOGRAMA

La construcción de las obras propuestas para mitigar la amenaza que conllevan a disminuir el riesgo por FRM en la zona de estudio, conllevan la realización de las siguientes actividades generales:

Delimitación de las áreas de protección y aislamiento.

Construcción de obras de contención.

Construcción de las obras de manejo de aguas.

Obras de paisajismo y urbanismo en la corona del talud.

En la **ANEXO IX** se presenta el cronograma detallado propuesto para la ejecución de las obras, de acuerdo con las actividades anteriormente enunciadas, y en el cual se establece que la duración de los trabajos de construcción es del orden de veintiún (21) semanas.

10.3. PRESUPUESTO

10.3.1. Análisis de precios unitarios

En el **ANEXO VII** se presentan los análisis de precios unitarios de cada uno de los ítems contemplados para la construcción de la obra.

10.3.1.1. Porcentaje de AIU [18]

En el **ANEXO VII A 3** se presenta el cálculo del porcentaje de AIU, el cual se estableció para la Alternativa 1 en un 30% del costo directo de la obra, discriminado tal como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Discriminación del AIU

Ítem	Porcentaje
Administración	21%
Imprevistos o riesgos	3,0%
Utilidad	6,0%

Los costos administrativos se calcularon bajo las siguientes consideraciones:

Se debe contar con un Director de Obra, con una dedicación del 10%.

[18] *Administración, imprevistos y utilidades*

Se debe contar con un Ingeniero Residente, con una dedicación del 100%.

Se debe contar con un Asesor en Geotecnia, con una dedicación del 15%.

Se debe contar con un Asesor de Calidad, con una dedicación del 10%.

Los impuestos son los de ley[19] a excepción del IVA, y suman un porcentaje del 13.60% en el AIU.

10.3.1.2. Presupuesto

Con base en las cantidades de obra, los precios unitarios y el AIU se estimó el costo de las obras, el cual se discrimina en el **ANEXO F**, en donde se obtuvo que el costo de las obras para cada una de las alternativas planteadas se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Costo aproximado de las alternativas planteadas

Alternativa	Costo directo	AIU	Costo total
Alternativa 1	345.636.027	30	449.326.835

Adicionalmente a los costos de las obras, se debe tener en cuenta que el costo de la Interventora es aproximadamente el 10% del valor de la obra[20].

11. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

En este capítulo se presentan los análisis de vulnerabilidad y riesgo físicos para las estructuras existentes, teniendo como elementos expuestos predominantes

[19] *En el momento de realizar los presupuestos, los impuestos de ley son: Impuesto de Guerra (6.34%), ICA (0.88%), Impuesto de timbre (0.95%), Estampilla Universidad Distrital (1.27%), Retención en la fuente (1.27%), Publicación en el Diario Oficial(0.30%), Cuatro por mil (0.51%), Estampilla Pro-Cultura 0.63%) y Estampilla Pro-Personas Mayores (0.63%).*

[20] *La entidad contratante deberá establecer el monto de la Interventoría, teniendo en cuenta la evaluación de la complejidad de la misma y los requerimientos internos para el control de este tipo de trabajos.*

de la zona de estudio. Otras estructuras tales como tuberías enterradas deberán construirse bajo las normas de la EAAB, para las tuberías de acueducto y alcantarillado deben ser de tipo flexible (PVC), y para su cimentación deben contemplar las normas de la EAAB.

Para el análisis de vulnerabilidad se realizaron 93 encuestas a las viviendas del sector del estudio de acuerdo a la ficha presentada en el **Anexo C,** además se realizo un registro fotográfico de los predios encuestados el cual se presenta en el **Anexo D**.

11.1. VULNERABILIDAD

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos se utiliza el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando, para tal efecto, la metodología propuesta por Leone[21] y modificada por Soler et al[22]. En resumen, el trabajo consiste en calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas). Debido a que en esta etapa del proyecto (Institucional) no se cuenta con la información suficiente para determinar los movimientos de tierra necesarios para la implantación de las edificaciones ni las características de la cimentación del proyecto, los análisis se realizan bajo la hipótesis de cimentación superficial y teniendo en cuenta que los cortes y/o rellenos no afectan las condiciones de estabilidad de la ladera (se deben proyectar las obras de mitigación necesarias durante la etapa de expedición de la licencia de construcción, teniendo en cuenta las características de los movimientos de tierras) en el **ANEXO C**, se presenta las base de datos y las encuestas realizadas y en el **ANEXO D**, se presenta el registro fotográfico de las casa encuestadas.

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

[22] *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.*

En resumen, el trabajo consistió en:

- Clasificar la tipología de viviendas. Esta información es tomada de las construcciones existentes.
- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

11.1.1. Tipificación de las estructuras

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se tipifican las viviendas en la Tabla 21, teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

Tipo de solicitación	Modos de daño	Criterio de resistencia de la estructura
Desplazamientos laterales	Transporte. Deformación. Asentamientos. Ruptura.	Profundidad de la cimentación. Arriostramiento de la estructura.
Empujes laterales	Deformación. Ruptura.	Altura de la estructura. Profundidad de la cimentación. Refuerzo.
Impactos	Deformación. Ruptura.	Refuerzo

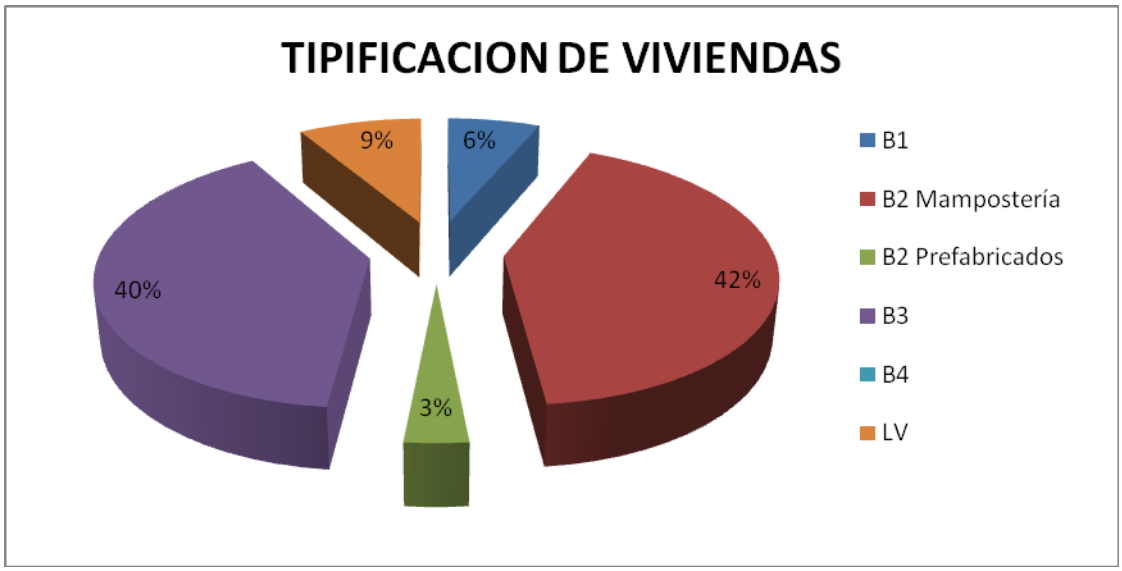
Tabla 21 Criterios de resistencia de la estructura.

De acuerdo con los criterios expuestos anteriormente, para tipificar las viviendas se adopta el criterio de Leone, el cual se resume a continuación en la Tabla 22.

Tipo edificación	Descripción
B1	Viviendas en material de reciclaje
B2 Mampostería	Vivienda en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Vivienda prefabricada.
B3	Casas hasta de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).
B4	Casas de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).

Tabla 22 Clasificación de la tipología de vivienda

De acuerdo con las encuestas realizadas las estructuras de la zona se pueden clasificar dentro de la tipología B2 y B3 en la Gráfica 1, se presenta las diferentes tipos de edificaciones que se encuentran en el área de estudio.



Gráfica 1 tipificación de las viviendas del área de estudio

11.1.2. 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, como se muestra en la Tabla 23:

Índice de daño	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

Tabla 23 Clasificación de los daños según el DRM

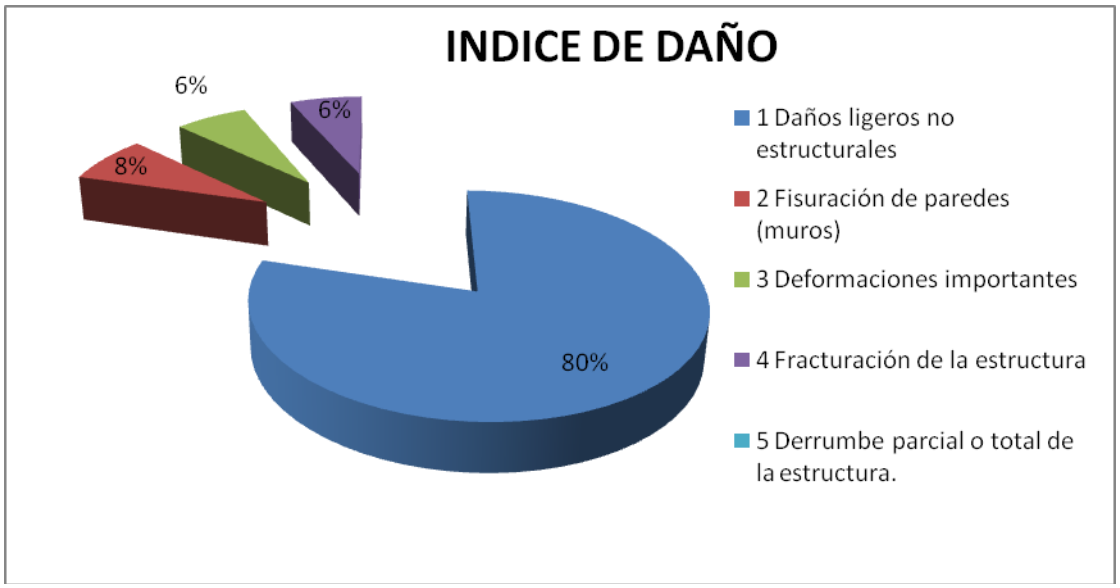
El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

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

Donde,

- Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).
- Vf : Valor final del bien (después del evento).

Según los trabajos de campo las viviendas se clasifican de acuerdo a la Gráfica 2.



Gráfica 2 Índice de daño evaluado con las encuestas realizadas

11.1.3. Tipos de movimientos y solicitaciones

El tipo de solicitación depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno[23], tal como se presenta a continuación.

[23] 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.

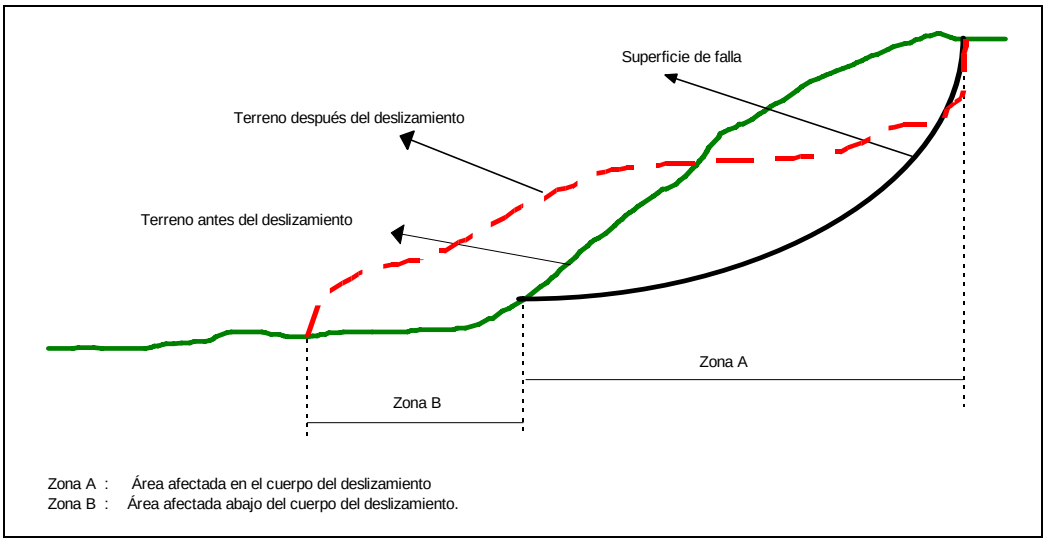


Ilustración 4 Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la Ilustración 4, se distinguen claramente dos (2) zonas.

En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que sufrirían 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 utiliza la escala propuesta por Cruden y Varnes24, presentada a continuación (ver Tabla 24).

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

Tabla 24 Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

[24] Cruden , D. y Varnes D.(1991). **Landslides types and processes.** Universidad de Alberta.

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda (ver Tabla 25):

Descripción	Clase	Característica
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

Tabla 25 Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio

Para el caso en estudio, las solicitaciones corresponde a desplazamientos laterales (DL) que a su vez depende de la velocidad del movimiento, de los cuales se pueden identificar dos clases que son VM3 que afectan el predio 111 y la clase VM5 donde se identifican 69 predios, y solicitaciones relacionadas con los empujes laterales (EL) donde se identifica un predio de clase PL1, 11 predios de clase PL2, dos predios de clase PL3.

11.1.4. Matriz de daño

Se asocian los Índices de Daños Potenciales (IDp) ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda (resistencia del elemento expuesto). A continuación se presenta la matriz de daño utilizada (ver Tabla 26).

	CLASE DE SOLICITACIÓN	**TIPOLOGÍA DE VIVIENDA**			
		B1	**B2**	**B3**	**B4**
DESPLAZAMIENTOS LATERALES	VM1	V	V	V	IV
	VM2	V	V	IV	IV
	VM3	V	IV	III	III
	VM4	IV	III	III	II
	VM5	III	II	I	I
EMPUJES LATERALES	PL1	V	IV	III	III
	PL2	V	IV	III	II
	PL3	IV	III	II	I

Tabla 26 Matriz de daño utilizada en el estudio

El análisis de la vulnerabilidad de las viviendas de la zona de estudio se presenta en el **Anexo E.**

11.1.5. Índice de vulnerabilidad física (IVF)

El Índice de Daño se cuantifica por medio de conjuntos difusos (ver Ilustración 5) para hallar el porcentaje de daño o índice de pérdidas; estos porcentajes de pérdidas dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adopta, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID propuestos por Leone (1996). En el **Anexo E.**

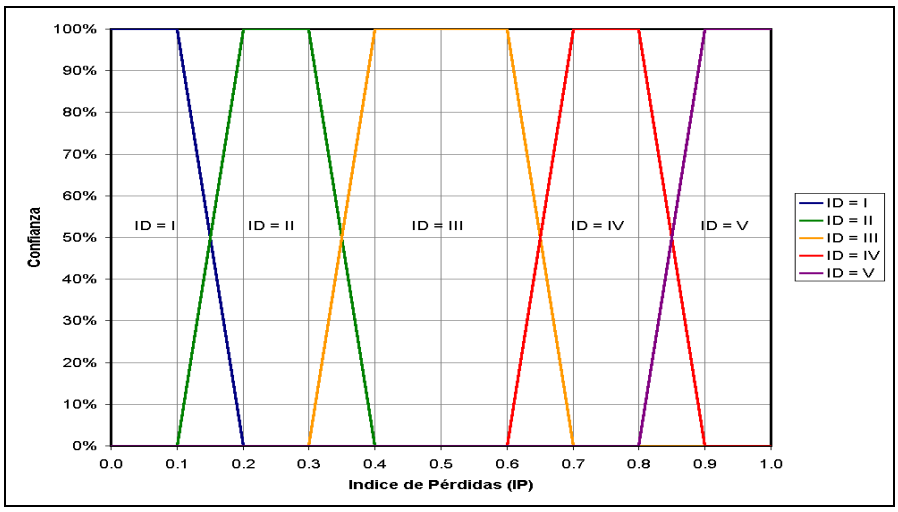


Ilustración 5 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos

11.1.6. Plano de vulnerabilidad

Con base en los resultados de los análisis de vulnerabilidad presentados, se elabora el Mapa de Vulnerabilidad por Deslizamientos (ver Plano GE-224-PL-002), categorizando el valor del IVF de acuerdo con los criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler A. J. González y otros, los cuales se presentan en la Tabla 27.

CATEGORÍA VULNERABILIDAD	CRITERIO
ALTA	IVF promedio ≥ 0.65
MEDIA	0.35 ≤ IVF promedio < 0.65
BAJA	IVF promedio < 0.35

Tabla 27 Criterios de categorización de la vulnerabilidad.

De lo anterior se puede concluir que el 73 % de las viviendas del área de estudio tienen vulnerabilidad baja, un 9% de las viviendas presenta una vulnerabilidad media, un 8 % de las viviendas presenta vulnerabilidad de categoría alta y un 10% de las viviendas presenta lotes.

11.2. RIESGO

11.2.1. Método de análisis

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E,S,A} = \int P(e)\, P_{(E,S,A)}$$

En donde,

$R_{E,}$ Es el riesgo, sea económico (E), social (S) o ambiental (A).

$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; se denomina también amenaza (H).

$P_{(E,S}$ Es la pérdida en el sector, sea económico (E), social (S) o ambiental (A), que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad, se puede estimar el riesgo físico individual de cada edificación definiendo el índice de riesgo (IR) como:

$$IR = P_f \cdot IVF$$

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la Ilustración 6.

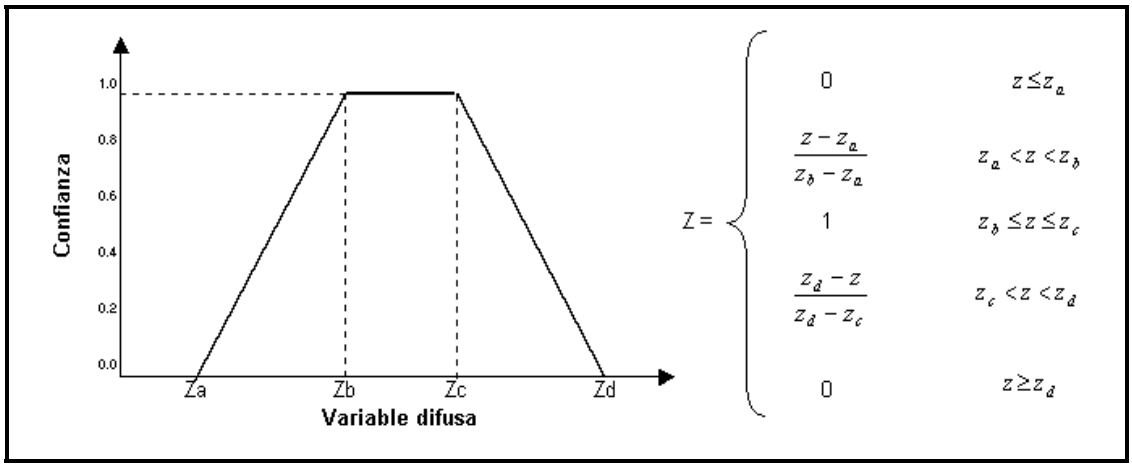


Ilustración 6 Conjuntos difusos trapezoidales

Una vez calculado el índice de riesgo representado como una variable difusa se puede calcular el riesgo como la probabilidad de excedencia de las pérdidas; hay dos (2) posibilidades para calcularla:

Hipótesis 1

En este caso se puede determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente; es decir,

Media

$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z)\, dz$, para la esperanza o media.

Para el conjunto difuso trapezoidal se tiene que:

$$\mu = z_a + \frac{1}{A}\left[\frac{4A_1^{\,2}}{3} + A_2\left(\frac{A_2}{2} + 2A_1\right) + A_3\left(A_2 + 2A_1 + \frac{2A_3}{3}\right)\right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z-\mu)^2 \cdot f(z)\, dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_\mu}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1\left[\mu - \left(\frac{2z_b + z_a}{3}\right)\right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2\left[\mu - \left(\frac{z_c + z_b}{2}\right)\right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3\left[\mu - \left(\frac{z_d + 2z_c}{3}\right)\right]^2$$

Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del IR, se puede calcular la probabilidad de excedencia de cierto valor de referencia (que son las pérdidas admisibles por el propietario, y conocido como el nivel riesgo admisible; este riesgo

aceptado, es denominado en este estudio IRo), que es ajustado a una función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc.).

Hipótesis 2

Se calcula la probabilidad de excedencia de un valor dado como,

$$R = \frac{\int_{IR_0}^{\infty} Z\,dz}{\int_{-\infty}^{\infty} Z\,dz} \qquad Z \equiv IR$$

Para un conjunto difuso trapezoidal, la anterior ecuación da como resultado lo que se presenta en la Ilustración 7.

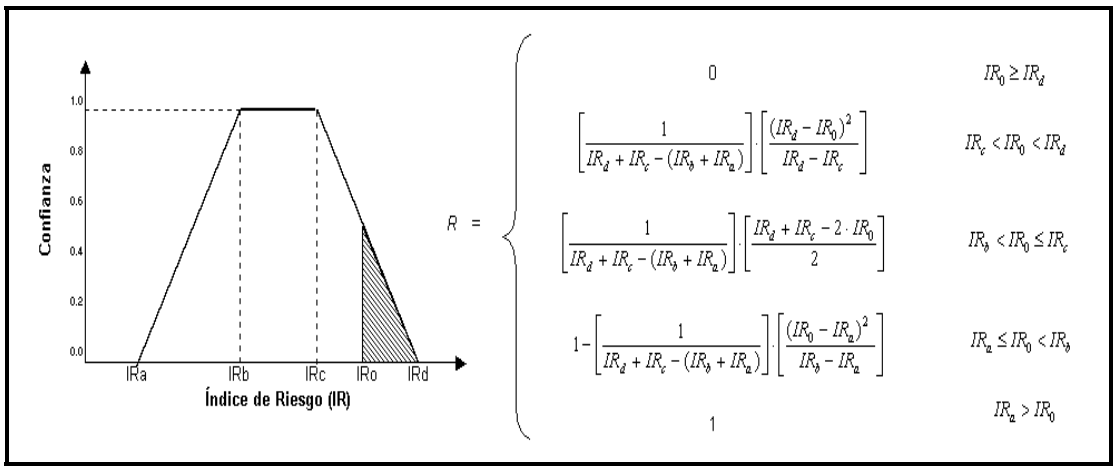


Ilustración 7 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

11.2.2. Criterios aplicados y resultados obtenidos

Para el caso en estudio se aplica la Hipótesis 1, determinando los niveles de riesgo según la probabilidad de excedencia de las pérdidas probables admisibles (IRo), definidas en un 10%, de acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 28.

Nivel de riesgo	Criterio
Bajo	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) es menor al 2%.
Medio	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) está entre el 10% y el 2%
Alto	La probabilidad de excedencia de las pérdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) es mayor al 10%.

Tabla 28 Categorización del riesgo

Se presentan los resultados de vulnerabilidad y riesgo para las edificaciones existentes, en el ANEXO E, se presenta un cuadro consolidado de la vulnerabilidad y riesgo de las viviendas del área de estudio, teniendo en cuenta las condiciones de las obras de estabilización propuestas y para las dos hipótesis de amenaza planteadas a largo plazo (con condiciones de nivel freático a abatido y condiciones secas). En el PLANO GE-224-PL-002 Vulnerabilidad, el PLANO GE-224-PL-002 B se presenta el riesgo con obras.

12. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Nota: se consultó el Mapa Interactivo del Acueducto de Bogotá para definir la red de alcantarillado a intervenir, pozos que recogerán las aguas lluvias y negras y el trazado del alcantarillado propuesto. Adicionalmente el diámetro de tubería propuesto para el desarrollo del proyecto es de 12” que comparativamente es superior al existente (ø= 8”) lo cual garantiza el paso normal del caudal por la red.

ANÁLISIS DE VIABILIDAD PREDIAL: De acuerdo con las obras propuestas se localizan sobre espacio público y privado. Localizado entre la Carrera 17 A hasta la Carrera 16 B y entre Calles 42 A sur hasta 42 C sur.

La información predial, fue suministrada por los habitantes del predio al momento de la visita, por lo que al momento de realizar las obras y adquisición de los predios se debe realizar un análisis jurídico respectivo por la entidad competente. La información de los procesos de reasentamiento fue tomada de la base de datos de reasentamiento de la página del SIRE a julio de 2007.

La obra afectara predios los cuales están relacionados en los **PLANO GE190-PL-S3-007** y **PLANO GE190-PL-S3-009**. Los predios afectados se relacionan en la Tabla 29, las fichas prediales se presentan en el en ANEXO C el PLANO GE190-PL-S3-011 se presenta la relación actual de los predios Vrs Plano de Planeación US31/4.

	CATASTRO		PLANEACIÓN						
CÓDIGO FICHA PREDIAL	Manzana	Lote	Manzana	Lote	Dirección	Nombres y Apellidos	Propietario / Poseedor	Tipo (Promesa de Venta/Escritura/Otra)	Reasentamiento (SI/No)
	12	1	P	15	KR 17AE 42 A 75S				NO
	12	2	P	13	CL 42C SUR 16B 68 ESTE				NO
85	12	4	P	11	CL 42 C SUR 16 B 44 ESTE	Nieto Norelia/Satoba Reinaldo	Propietario		SI
	12	5	P	9	CL 42C SUR 16B 40 ESTE				NO
	12	5A	P	9	Calle 42C Sur # 16B - 50 Este	Satoba Vargas Rosa	Propietario		SI
	12	5 B	P	9	Calle 42C # 16 B - 44	Ardila Ana Milena	Propietario		SI
84	12	5 C	P	9	Calle 42B Sur # 16 B - 40	Tocarruncho Arévalo Jhon Wilson/Tocarruncho Hernández Diana	Propietario		SI
83	12	6	P	7	CL 42C SUR 16B-32 ESTE	Torres Montaño Luis Alfredo/Vargas Ana Beatriz	Propietario		SI
	12	7	P	7	CL 42C SUR 16B 28 ESTE	Avellaneda Francisco	Propietario		SI
	12	8	P	5	CL 42C SUR 16B 22 ESTE				NO
82	12	38A	P	5	Calle 42B Sur # 16B - 18 Este Interior 1	Guarin Cifuentes Yolanda	Propietario		SI
43	12	38B	P	5	CL 42B SUR 16B 18 ESTE Interior 2	Fuentes Romero Maria Teresa	Propietario		SI
	12	9A	P	4	KR 16B ESTE 42A-90 SUR	Bermudez Jorge Raul	Propietario		NO
47	12	9B	P	4	KR 16B ESTE 42A-80 SUR	Bermudez Alcira de Jesus	Propietario		NO
48	12	9C	P	4	KR 16B ESTE 42A-72 SUR	Bermudez Rosa Beatriz de Beltran	Propietario		NO
49	12	10	P	3	KR 16B E 42A 60 S	Bermudez Luis H	Propietario		NO
50	12	11	P	3	KR 16B E 42A 54S	Garavito Eduardo	Propietario		NO
	12	12	P	2	KR 16B ESTE 42A-30 SUR				NO
	12	13	P	1	KR 16B E 42A 12S				NO
	12	14	P	1	CL 42A S 16B 05E				NO
	12	15	P	1	CL 42AS 16B 09E				NO
	12	16	P	1	CL 42AS 16B 13E				NO
	12	17	P	1	CL 42A S 16B 17E				NO
	12	18	P	6	CL 42A SUR 16B-27 ESTE				NO
	12	19	P	6	CL 42AS 16B 33E				NO
	12	20	P	8	CL 42AS 16B 61E				NO
	12	21	P	8	CL 42AS 16B 65E				NO
	12	22	P	10	CL 42A SUR 16B-71 ESTE				NO
	12	23	P	12	CL 42AS 16B 81E				NO
	12	24	P	14	CL 42AS 16B 89E				NO
86	12	40	P	14	CL 42A S 16B 89 E IN 1	Contreras Rubio José Audoro	Propietario		SI
	12	25	P	14	CL 42A SUR 16B-93 ESTE				NO
	12	26	P	18	CL 42A SUR 16B-95 ESTE				NO
	12	27	P	18	CL 42A SUR 16B-97 ESTE				NO
	12	28	P	18	CL 42A SUR 16B-99 ESTE				NO
	12	41	P	18	KR 17A ESTE 42A 13 SUR IN 1				NO
	12	39	P	18	KR 17A ESTE 42A 05 SUR				NO
41	12	29	P	18	KR 17A ESTE 42A-13 SUR				NO

Tabla 29. Listado de predios afectados por las obras de mitigación de riesgo[25]

De acuerdo a las encuestas realizadas, las viviendas presentan cuentan todas con servicios públicos oficiales, las vías aledañas a en su en un 50% se encentran pavimentadas y el restante se encuentran en material de afirmado, el 82% de las casas cuentan con un sistema de cimentación entre los cuales están vigas de amarre, zapatas y placas de concreto; el 85% de las viviendas cuenta con

[25] NOTA: La información fue suministrada por los habitantes del predio al momento de la visita, por lo que al momento de realizar las obras y adquisición de los predios se debe realizar una análisis jurídico respectivo por la entidad competente La información de los procesos de reasentamiento fue tomada de la base de datos de reasentamiento de la pagina del SIRE a julio de 2007

entrepisos de concreto y el restante cuanta con entre pisos de madera o combinados con madera y tierra; el 60% de las viviendas cuenta con la estructura del cubierta de concreto, un 3% con estructura metálica y un 37% poseen estructuras en madera; un 30,8 % de las viviendas cuenta con cubiertas en concreto, un 25% con cubiertas en albesto cemento, un 25% en cubiertas de zinc y el restante es combinación de diferentes materiales; el 87% de las viviendas el suelo de fundación son de rellenos compactos y el restante se han realizado en suelos sueltos o el terreno natural; el 52.23% de las viviendas no presentan humedad, el 25.81% tiene humedad en las paredes estas viviendas se localizan sobre la calle 42 c sur entre las transversales 16 C Este y Transversal 17 este , el 20.97% presentan humedades en pisos o se combinan entre paredes, pisos.

En el ANEXO D, se presenta el registro fotográfico de las viviendas del sector de moralba objeto del presente estudio.

12.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO

Para el seguimiento de las obras se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Reconocimiento visual periódico de la zona: inspecciones detalladas a la zona, las cuales se deberán intensificar en periodos de lluvia.

Medición de movimientos horizontales y verticales: durante la construcción se deben colocar puntos de control topográfico en algunos puntos sobre los taludes, los cuales se deben controlar con una frecuencia no menor de dos veces al año.

Se recomienda a la comunidad, la protección y el buen uso de las obras propuestas para su buen funcionamiento y durabilidad; en cuanto a la disposición de los espacios libres, se recomienda la adecuación de jardines y zonas verdes.

Para la realización de la obra, el contratista deberá realizar el manual de mantenimiento en donde se enmarque los procedimientos de trabajo y de control, ajustándose a las disposiciones de la comunidad y del distrito. Estos procedimientos deben tener las instrucciones en un lenguaje común y de fácil compresión para la comunidad. El diseño del manual de mantenimiento debe contemplar que existen algunas obras las cuales requieren mantenimiento continuo por parte de la comunidad.

Se recomienda realizar un monitoreo o seguimiento durante la ejecución de las excavaciones para la realización de las obras correctivas y una vez se hayan ejecutado las mismas.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. GENERALIDADES

La zona estudio está conformada por rocas arcillolitas pertenecientes al Conjunto de la Formación Bogotá, las cuales están cubiertas por suelos arcillosos residuales de la misma formación y rellenos antrópicos constituidos por materiales heterogéneos de composición arcillosa, arenosa y algunos materiales de construcción generados por asentamientos humanos ilegales (presencia de placas en concreto), los cuales contribuyen a la inestabilidad haciéndolo susceptible a fenómenos de remoción en masa, sobre todo en épocas de altas precipitaciones, ya que la zona de estudio carece de obras de contención en la parte alta, para controlar la banca de las vías existentes (carrera 17 A y calle 42 C sur).

Después de revisados los antecedentes y evolución del problema, en el sector donde se presentó Fenómenos de Remoción en Masa (FRM) tipo rotacional y reptación a nivel superficial con presencia de surcos y cárcavas debidas al mal manejo de las aguas residuales, falta de obras de drenaje que permiten evacuar aguas de escorrentía y fugas en la red de aguas residuales lo cual genera saturación

de los materiales sueltos (rellenos antrópicos y suelo residual) que conforman esta zona de ladera, involucrando un área aproximada de 0.5 Ha.

De acuerdo a lo observado en campo y comparando las condiciones presentadas en el estudio de la UAERMV, las características del sitio se han mantenido sin cambios significativos, por tal motivo se mantienen las características geotécnicas las cuales se aplican para el desarrollo del presente estudio.

13.2. ANÁLISIS DE AMENAZA

Para el análisis de estabilidad se presentaron las condiciones normales (sin sismo, nivel freático a dos metros y seco) para los dos escenarios que son actual y con obras, para la condición extremas (nivel freático Saturado y con sismo) para los dos escenarios sin obras y con obras.

Para las condiciones normales en el escenario actual la amenaza después del análisis realizado, se cataloga como media para las zonas del área de influencia indirecta del proyecto y como amenaza alta para el área directa obteniendo factores de seguridad del orden de 0.79 a 1.01 para el análisis realizado en condiciones de nivel freático saturado. Para el escenario con obras se estableció que el área circundante al sector donde se desarrollaran los trabajos la amenaza que se presenta es baja y en el área de influencia indirecta se presenta la amenaza media con factores de seguridad entre 1.81 a 1.88.

De acuerdo al análisis realizado se estableció que en el escenario actual se presentan dos zonas de amenaza alta, la primera asociada directamente al fenómeno de remoción en masa que se presenta en la zona de la manzana 12 y la segunda a deficientes prácticas constructivas que detonan una inestabilidad local por cortes para la construcción de algunas viviendas en la manzana 11. El área restante presenta amenaza media por remoción en masa. Es de anotar que en condiciones normales y extremas (amenaza futura 50 años) las áreas de amenaza alta son muy semejantes, toda vez que las condiciones geológicas y

geomorfológicas de la zona no permiten un mayor desarrollo del movimiento ya presentado

13.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

La información Predial, fue suministrada por los habitantes del predio al momento de la visita, por lo que al momento de realizar las obras y adquisición de los predios se debe realizar un análisis jurídico respectivo por la entidad competente. La información de los procesos de reasentamiento fue tomada de la base de datos de reasentamiento de la página del SIRE (julio de 2008).

De acuerdo a las encuestas realizadas se tiene que en el barrio Moralba el 6% de las viviendas están construidas en materia de reciclaje como son tejas de Zinc, madera entre otros; un 42% de las viviendas son de mampostería sin estructura; un 3% son viviendas prefabricadas; el 40% son viviendas de dos pisos de altura con estructura; el 9% son lotes vacios, no se presenta edificaciones de más de dos pisos en el barrio.

El índice de daño que presenta el barrio Moralba es de un 80% de las viviendas con daños ligeros no estructurales, estabilidad no afectada; un 8% presentan Fisuración de paredes (muros), Reparaciones no urgentes; un 6% presentan deformaciones importantes, daños en elementos estructurales; un 6% Fracturación de la estructura, evacuación inmediata.

Con base a lo anterior se realizo el análisis de vulnerabilidad encontrándose que el 73% de las viviendas presentan vulnerabilidad baja, el 9% vulnerabilidad media, el 8% vulnerabilidad alta y el restante 10% corresponde a lotes vacíos.

Los predios con categoría de vulnerabilidad media se relacionados en la Tabla 32; los predios identificados como vulnerabilidad alta se presenta en la Tabla 33. En el plano GE-224-PL-002 VULNERABILIDAD, se presenta la vulnerabilidad del sector.

Vivienda	Propietario
44	Se encuentra deshabitado
45	Raúl Bermúdez
46	Raúl Bermúdez
47	Alcira de Jesús Bermúdez
48	Rosa Beatriz Bermúdez
49	Luis Hernando Bermúdez
50	Eduardo Garavito
51	Ana Rosa Soriano Dueñas
62	Calle 42 C Sur # 16B–49 Este

Tabla 30. Predios que presenta vulnerabilidad media

Vivienda	Propietario
43	Se encuentra deshabitado
74	Luz Ángela Gómez
75	Magnolia Vasco
76	Miriam Castañeda
77	Ana Silva Garnica
78	Martha Isabel Castillo
103	Lilia Elisa Garzón
111	Esperanza Chois

Tabla 31. Predios con vulnerabilidad alta

13.4. ANÁLISIS DE RIESGO

De acuerdo a los resultados de los análisis obtenidos, el riesgo actual se distribuye en un 81% de las viviendas como riesgo bajo, un 9% de las viviendas presenta riesgo y un 10% de las viviendas como riesgo medio.

Del análisis de riesgo se concluye que existe una (1) vivienda en riesgo alto ubicada en la zona del deslizamiento la cual se encuentra dehabitada, seis (6) viviendas en la zona de afectación local de la manzana 11 y una (1) en el costado sur de la zona de estudio. De otra parte se estableció que existen siete (7) viviendas en riesgo medio ubicadas en la zona del deslizamiento y una (1) vivienda

en la manzana 11.Finalmente el resto de viviendas presentan riesgo bajo. Es de anotar que al momento de realizar los trabajos de campo (Febrero a marzo de 2010), seis de las 93 viviendas de la zona ya han sido demolidas a causa de los problemas de inestabilidad en la zona.

Los predios con categoría de riego medio se relacionados en la Tabla 32; los predios identificados como riego alto, se presenta en la Tabla 33. En el plano GE-224-PL-002A RIESGO, se presenta el riesgo actual del sector.

Vivienda	Propietario
45	Raúl Bermúdez
46	Raúl Bermúdez
47	Alcira de Jesús Bermúdez
48	Rosa Beatriz Bermúdez
49	Luis Hernando Bermúdez
50	Eduardo Garavito
51	Ana Rosa Soriano Dueñas
62	Calle 42 C Sur # 16B–49 Este

Tabla 32 predios que presenta riesgo medio

Vivienda	Propietario
43	se encuentra deshabitado
74	Luz Ángela Gómez
75	Magnolia Vasco
76	Miriam Castañeda
77	Ana Silva Garnica
78	Martha Isabel Castillo
103	Lilia Elisa Garzón
111	Esperanza Chois

Tabla 33 predios con riesgo alto

13.5. PLANTEAMIENTO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

Como resultado del estudio realizado por la UAERMV se plantearon obras de mitigación, las cuales se ubican en las mismas zonas de amenaza alta definidas en este estudio, las cuales corresponden tal como se describe en el estudio por las siguientes:

Obras Parte superior del movimiento – Manzana 12: Consiste en la limpieza del talud con una pendiente 2H: 1V y la construcción sobre la carrera 17A de un muro en tierra armada, drenes horizontales, cuneta rectangular de coronación, cajas colectoras y tubería de 12" para conexión al sistema de alcantarillado existente sobre la carrera 42ª y la transversal 17 Este. El valor estimado de estas obras es de $100.860.713 (costo directo), un AIU de $ 30.258.214 para un total de $ 131.118.927. Estos valores corresponden a los costos actualizados al año 2010. Es de anotar que estas obras no contemplan la afectación de ningún predio privado.

Obras cuerpo del movimiento – Manzana 12: Consiste en la reconformación y empradización del cuerpo del deslizamiento, la construcción de obras de manejo de aguas compuesta por trincheras drenantes, cunetas y descoles en sacos de suelo-cemento, así como una cuneta rectangular en concreto a lo largo de la calle 42C sur y, finalmente, la construcción de un muro de gaviones para protección de la calle 42 C sur. Estas obras se realizarán sobre terrenos correspondientes a 13 predios privados (aproximadamente) que se pueden ver afectados por el movimiento, de los cuales uno cuenta con la construcción de una vivienda de un piso. Adicionalmente, las obras requieren de la intervención en el predio identificado con nomenclatura Cra 16 B No. 42A – 60, el cual a pesar de no estar directamente afectado por el movimiento debe ser intervenido para la construcción del paso de la tubería de descole propuesta en las medidas de mitigación. El valor estimado de estas obras, actualizado a 2010, corresponde a $230.988.064 (costo directo, un AIU de $ 69.296.419 para un total de $ 300.284.483. Es de anotar que este valor no incluye el costo por adquisición de predios.

Obras en la manzana 11: Consiste en la construcción de un muro de contención en concreto reforzado de 2 m de altura aproximadamente, y sus obras de drenaje conexas, con el fin de controlar el proceso local de remoción en masa que se generó en este sector y que puede afectar seis (6) viviendas. El valor estimado es de $13.787.250 (costo directo,) un AIU de $ 4.136.175 para un total de $ 17.923.425. Este valor es actualizado a 2010 y no incluye el costo para la adquisición de los dos predios requeridos para la construcción de la obra.

Con base a los análisis de amenaza y riesgo adelantados, la implementación de las medidas de mitigación planteadas por la UAERMV modifica las zonas de amenaza alta pasando a zonas de amenaza baja, lo cual conlleva a que las viviendas existentes queden en riesgo bajo, exceptuando a la vivienda con nomenclatura transversal 16C Este No. 42C-49 Sur, predio que a pesar de no ubicarse en la zona directa del movimiento sino en un área con amenaza media, sigue presentando riesgo alto, toda vez que la categoría de vulnerabilidad de la misma es alta dado que su tipo de construcción (prefabricado) no soporta la posible solicitud ante un movimiento (empujes laterales), que vale la pena resaltar se genera debido al corte que se realizo para la construcción de la vivienda. Para esta vivienda en particular se recomienda que el propietario disminuya la vulnerabilidad de la vivienda construyendo una estructura de contención adecuada en el talud de corte realizado por ellos para la construcción de su vivienda.

Finalmente se concluye que para el resto del área de estudio que fue catalogada como de amenaza media y que no cuenta con un sistema de alcantarillado y tampoco posee un sistema para el manejo de la escorrentía superficial que genera saturación de los materiales sueltos (suelo residual y rellenos antrópicos) y procesos erosivos superficiales que localmente están avanzando formando carcavamiento y surcos hacia la parte media-baja de la zona de estudio, y en la cual no se plantearon obras de mitigación de riesgos, se recomienda realizar obras de mejoramiento integral como son: alcantarillado pluvial y sanitario, pavimentación de vías (incluyendo su obras de drenaje conexas) y mejoramiento

integral de viviendas, que indirectamente conlleven a la disminución de la amenaza a una categoría baja. Estas obras no están contempladas ni diseñadas en el estudio realizado por la UAERMV ya que están por fuera de su alcance, pero el consultor recomienda el diseño y construcción de las mismas por la Entidad competente.

En vista de que la zona objeto de estudio se encuentra activa, se recomienda tomar prontas medias para mitigar los fenómenos de lavado de la matriz y así evitar la caída de bloques a las viviendas aledañas a la zona de estudio.

14. LIMITACIONES

La información básica utilizada en el desarrollo de este estudio (Topografía, geología, geotecnia y análisis de estabilidad), fueron tomadas del estudio realizado en agosto de 2008 por Geocing Ltda para UAERMV.

Las recomendaciones dadas en este trabajo se basan en los resultados de los trabajos de investigación del subsuelo, los levantamientos geológicos en superficie; si durante los trabajos de construcción se llegan a encontrar características diferentes a las aquí mencionadas se deberá dar aviso al ingeniero geotecnista para que haga los ajustes del caso.

Geocing Ltda. No se hace responsable de las interpretaciones que personas ajenas a la firma hagan del contenido de este informe ni de las consecuencias que de ello se deriven.

15. BIBLIOGRAFÍA

- ✓ www.sire.gov.co
- ✓ www.acueducto.com.co
- ✓ Diagnóstico Técnico No DI-3052 Subdirección de Emergencias Coordinación de Asistencia Técnica, Noviembre de 2006.
- ✓ Ficha para Sitios de Intervención en zonas de Ladera. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogota DPAE. Noviembre de 2006.
- ✓ Mapa Geológico de la Sabana de Bogotá. Esc. 1:120.000; INGEOMINAS; 2005.
- ✓ Geología de la plancha 209-Sabana de Bogotá; INGEOMINAS, Memoria Explicativa; año 2005.
- ✓ Propuesta metodológica para los estudios de geomorfología aplicados a la ingeniería (Carvajal, J.H, y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2004).
- ✓ Propuesta metodológica para los estudios de geología aplicados a la ingeniería (Padilla, J.P., y otros, Documento inédito; INGEOMINAS, Bogotá D.C, 2003).
- ✓ CARO, P., GARCIA, J. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá. INGEOMINAS-DAPD. Bogotá, 1988.
- ✓ CARVAJAL, José Henry. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento Inédito. Bogotá, D. C. 2005.

- ✓ PADILLA, Justo. Geología para Ingeniería de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento inédito. Bogotá, D. C. 2005.

- ✓ Estudio para la Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa de las Localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santa Fe, Chapinero, Usaquén y Suba. INGEOCIM LTDA. – UPES. Octubre de 1998.

- ✓ Fotografías aéreas del IGAC, números 061 y 062, del Vuelo C-2265; sobre – S-33685; año 1986.

- ✓ Estudio para el Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá. IRH INGENIERÍA y RECURSOS HÍDRICOS LTDA. – EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ, Noviembre de 1995.

- ✓ Estudio de Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá. INGEOMINAS, 1997.

- ✓ Estudio para la Zonificación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa de las Localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Santafé, Chapinero, Usaquén y Suba. INGEOCIM LTDA. – UPES. Octubre de 1998.

- ✓ GUTIÉRREZ & COLEGIAL 1987. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia; INGEOMINAS (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C; INGEOCIM Ltda. – UPES – FOPAE (1998) – Escala 1:10.000

- ✓ INGEOMINAS 1997, Estudio Geológico para el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Escala 1:50.000.

- ✓ INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. 1998, Escala 1:10.000.
- ✓ HELMENS KARIN & VAN DER HAMMEN. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores. En Análisis Geográficos No. 24. IGAC. Subdirección de Geografía.
- ✓ Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, D.C, INGEOCIM LTDA-UPES-FOPAE, 1998.
- ✓ Cardona-Arboleda, O, D, (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE –TÉRMINOS DE USO COMÚN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. Oficina Nacional para la Atención de Desastres. Presidencia de la República de Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- ✓ Ministerio de Obras Públicas y Transporte – La Vialidad Ltda. (1988). Criterios y normas para el diseño geométrico de carreteras: El drenaje como factor determinante en obras viales. Reglamento técnico general de obras viales, Tomo III.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Adaptado de Leone (1996)
- ✓ Cruden, D. y Varnes D. (1991). Landslides types and processes. Universidad de Alberta.

- ✓ Sánchez-Silva, M. Taylor, C.A. & Blockley, D.I. HAZARD MANAGEMENT OF PROJECTS IN A EARTHQUAKE. In: Applications of Statistics and Probability.Lemaire, Favre & Marbarki (eds). Balkema, Rotterdam. 1995.

- ✓ Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996

- ✓ "Diseños de obras, presupuestos y especificaciones técnicas en cuatro (4) sitios de las localidades de santa fe (barrio el dorado), ciudad bolívar (barrio tres reyes) y san Cristóbal (barrios Moralba y panorama), para la intervención por riesgos asociados a fenómenos de remoción en masa en la ciudad de Bogotá D.C.".GEOCING Ltda.- Agosto de 2008