ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE

TITULO: ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO VILLA GLORIA UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

AUTORES: CONSORCIO GEOCONTROL, conformado por GEOCING LIMITADA, y el Ing. FLAVIO SOLER

RESUMEN: En este informe se presentan los estudios necesarios para evaluar los riesgos por fenómenos de remoción en masa del barrio BARRIO VILLA GLORIA UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTA 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, Barrio Arauquita, Localidad de Usaquén.

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: Clasificado	CONTRATO: No. 578 de 2005	IDIOMA: Español	NÚMERO DE PÁGINAS:851	NÚMERO DE COPIAS: 3

NOTAS Y OBSERVACIONES:
El informe está dividido en cuatro volúmenes, a saber:
Resumen ejecutivo.
Volumen I – Informe Final.
Volumen II – Anexos (Con seis partes).
Volumen III – Planos.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION 1

1.1. Generalidades 1

1.2. jUificación 2

1.3. Localización general del área de estudio 3

1.4. Recopilación de información secundaria 5

1.5. Método de análisis 6

2. TOPOGRAFIa 9

2.1. Generalidades 9

2.2. Traslado de coordenadas reales 10

2.3. Trabajo de oficina 11

2.4. Referencias en campo 12

2.5. Mapa digital del terreno 14

2.5.1. Mapa de pendientes del terreno 14

2.5.2. Modelo en 3D del terreno 14

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 17

3.1. Exploración del subsuelo 17

3.2. Ensayos de laboratorio 18

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 19

4.1. Generalidades 19

4.1.1. Fase preliminar contexto geológico. 19

4.1.2. Fase geología de detalle. 19

4.1.3. Información secundaria 20

4.1.4. Fotointerpretación 20

4.1.5. Trabajo de campo 20

4.2. Geología regional 21

4.3. Geología detallada del área 21

4.3.1. Formación Guaduas (KTg) 22

4.3.1.1. Conjunto Medio (KTgm). 22

4.3.1.2. Conjunto Superior (KTgs). 25

4.3.2. Depósitos de ladera 25

4.3.2.1. Depósito coluvial fino (QC_1) 25

4.3.2.2. Depósito coluvial grueso (QC_2) 25

4.3.2.3. Depósitos Antrópicos (Qr). 26

4.3.2.4. Suelos Residuales (Sr) 26

4.4. Geología estructural 27

4.4.1. Sistema de fracturamiento 27

4.5. GEOMORFOLOGIA 28

4.5.1. Introduccion 28

4.5.2. Unidades geomorfologicas 29

4.5.2.1. Ladera estructural de roca sana (LR_1) 29

4.5.2.2. Ladera estructural de roca muy fracturada (LR_2) 29

4.5.2.3. Ladera coluvial en textura gruesa (LC_1) 30

4.5.2.4. Ladera coluvial en textura media (LC_2) 30
4.5.2.5. Ladera coluvial en textura fina a media (QC_3) 30
4.5.2.6. Ladera de suelo residual (LCSr) 31
4.5.2.7. Ladera de escombros (Lr) 31

4.6. ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA 31

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 32

5.1. GENERALIDADES 32

5.2. Secciones de análisis 32
5.2.1. Sección 1 32
5.2.2. Sección 2 33
5.2.3. Sección 3 34

5.3. MATERIALES 35
5.3.1. Depósito de relleno de escombros (Qr) 35
5.3.2. Depósito coluvial fino (Qc1) 36
5.3.3. Depósito coluvial grueso (Qc2) 36
5.3.4. Areniscas (S_s) 37
5.3.5. Lodolitas y arcillolitas (Cs) 37

5.4. VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA 38
5.4.1. Resultados de los ensayos de corte directo 39
5.4.2. De correlaciones con el ensayo de penetración estándar 39

6. HIDROLOGIA E HIDRÁULICA 41

6.1. Generalidades 41

6.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO 41

6.3. MARCO HIDROLÓGICO GENERAL 41
6.3.1. Precipitación 41

6.4. CURVAS DE INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (IDF) 42

6.5. LLUVIA CRÍTICA (RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO) 44

6.6. Caudales máximos por escorrentía en la zona de estudio 49
6.6.1. Método Racional 49
6.6.1.1. Determinación de áreas de drenaje 49
6.6.1.2. Coeficiente de escorrentía 49
6.6.1.3. Tiempo de concentración 50
6.6.1.4. Intensidad 51

6.7. Diseño Hidráulico de las Obras Propuestas 51
6.7.1. Hidráulica de Obras de Drenaje 51
6.7.2. Cunetas 52

7. SUSCEPTIBILIDAD 53

7.1. GENERALIDADES 53
7.1.1. Mapa de pendientes. 53
7.1.2. Mapa de Geología. 53
7.1.3. Mapa de Geomorfología. 54
7.1.4. Mapa de Intervención antrópica 54
7.1.5. Mapa de terracetas. 55

8. AMENAZA POR DESLIZAMIENTO 57

8.1. Generalidades 57

8.2. Secciones de análisis 57

8.3. Método de análisis 58

8.3.1. Deslizamientos en suelos 58

8.3.2. Deslizamientos puntuales en taludes de corte y relleno 60

8.4. Factores intrínsecos 60

8.5. Factores detonantes para el caso de deslizamientos en suelos 61

8.5.1. Lluvia 61

8.5.2. Sismo 63

8.6. Resultados 64

8.7. Mapa de amenaza por deslizamientos 67

9. VULNERABILIDAD Y RIESGO 69

9.1. Vulnerabilidad 69

9.1.1. Tipificación de las viviendas 69

9.1.2. Calificación de los daños 70

9.1.3. Solicitaciones 70

9.1.4. Tipos de movimientos y solicitaciones 70

9.1.5. Matriz de daño 72

9.2. Riesgo 75

9.2.1. Método de análisis 75

9.2.2. Criterios aplicados y resultados obtenidos 78

10. ANALISIS COSTO/BENEFICIO 79

10.1. Método de análisis 79

10.2. alternativas propuestas 80

10.3. resultados 80

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 82

11.1. generalidades 82

11.2. Reubicaciones por riesgo 82

11.3. Objetivos y criterios para el tratamiento de los riesgos 83

11.3.1. Objetivos 83

11.3.2. Criterios 83

11.4. Soluciones posibles 83

11.5. Costo beneficio 85

12. LIMITACIONES 85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Relación de personal que realizó los trabajos..... 5

Tabla 2 Relación de equipos y elementos por comisión..... 10

Tabla 3 Mojones materializados en campo..... 13

Tabla 4 Coordenadas des barrenos y apiques realizados..... 18

Tabla 5 Relación de ensayos de laboratorio..... 18

Tabla 6 Fotografías aéreas de referencia..... 20

Tabla7 Propiedades del material Qr..... 35

Tabla 8 Propiedades del material Qc1..... 36

Tabla 9 Propiedades del material Qc2..... 36

Tabla 10 Propiedades del material Sc..... 37

Tabla 11 Propiedades del material Cs..... 38

Tabla 12 Ensayos de resistencia realizados..... 39

Tabla 13 Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo de corte directo..... 39

Tabla 14. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo SPT..... 40

Tabla 15 Estación hidrometeorológica utilizada para caracterizar la zona de estudio..... 42

Tabla 16 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación Granja - San Jorge (2120172)..... 43

Tabla 17 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá - (INGEOCIM - UPES, 1998)..... 45

Tabla 18 Estaciones estudiadas..... 46

Tabla 19 Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas..... 50

Tabla 20 Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje..... 51

Tabla 21 Categorización de pendientes..... 53

Tabla 22 Categorización geológica..... 54

Tabla 23 Categorización geomorfologica..... 54

Tabla 24 Categorización antropica..... 55

Tabla 25 Caracterización de terrazas..... 55

Tabla 26 Parámetros de resistencia seleccionados..... 61

Tabla 27. Pesos unitarios de los materiales utilizados en los modelos..... 61

Tabla 28 Parámetros estadísticos para el nivel del agua en las diferentes secciones..... 62

29 Facteres de seguridad..... 65

30 Amenaza encontrada en la laderade la ladera..... 66

Tabla 31 Categorización de la amenaza en la zona de estudio 67

Tabla 32 Categorización de la amenaza puntual en la zona de estudio..... 68

Tabla 33 Clasificación de la tipología de vivienda..... 69

Tabla 34 Clasificación de los daños según el DRM..... 70

Tabla 35. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio..... 71

Tabla 36. Categorías de presione laterales utilizadas en el estudio 71

Tabla 37. Matriz de daño utilizada en el estudio..... 72

Tabla 38 Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio..... 73

Tabla 39. Selección del valor de alfa..... 74

Tabla 40 Categorización del riesgo..... 78

Tabla 41 Análisis beneficio costo 81

42 Viviendas es alto riesgo con la implementación de la ALTERNATIVA 1..... 82

Tabla 43 Presupuesto alternativa 1 85

Tabla 44 Presupuesto alternativa 2 85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización del área de estudio..... 4

Figura 2 Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM. 1-8

Figura 3 Mapa de pendientes digital del terreno 15

Figura 4 Modelo en 3D digital del terreno..... 16

Figura 5 Sección No. 1 costado Norte del proyecto condición estática con nivel freático alto.33

Figura 6 Sección No. 1 costado Norte del proyecto condición con sismo con nivel freático alto. 33

Figura 7 Sección No. 2 Parte intermedia del proyecto. 34

Figura 8 Sección No. 3 Parte Intermedia del proyecto, falla traslacional con sismo. 35

Figura 9 Histograma de precipitaciones medias mensuales multianuales - Estación Quiba (1990 - 2002). 42

Figura 10 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación Granja - San Jorge (2120172). 43

Figura 11. Curvas de Precipitación Total Anual - para la zona de estudio. 46

Figura 12 Curvas de Precipitación Crítica - para la zona de estudio. 47

Figura 13 Curvas de Periodos de Retorno de la Precipitación Critica - para la zona de estudio. 48

Figura 14 Mapa de Susceptibilidad 56

Figura 15 Fallas generales y puntuales potenciales 65

Figura 16. Esquema de deslizamiento 71

Figura 17 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos 73

Figura 18 Conjuntos difusos trapezoidales 76

Figura 19 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales 78

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial 64

Grafica 2. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico 66

Grafica 3. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad 67

Grafica 4. Dedeterminación de IVF con un α=0.6..... 74

SECRETARÍA DE GOBIERNO
FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.
FOPAE

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO VILLA GLORIA UBICADO EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.
CONTRATO DE CONSULTORÍA NO. 578 DE 2005
INFORME FINAL – VOLUMEN I
TRABAJO NO GE-134

1. INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 578 de 2005, suscrito entre el FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – FOPAE y el CONSORCIO GEOCONTROL, conformado por GEOCING LIMITADA, y el Ing. FLAVIO SOLER, cuyo objeto es el "Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en el barrio Villa Gloria ubicado en la localidad de ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C.", se presenta este informe el cual contiene el resumen de los trabajos realizados, y las conclusiones y recomendaciones del caso.

Con el fin de cumplir con el objeto del estudio se realizaron los siguientes trabajos:

- Realización de los trabajos de campo (topografía y encuestas de vulnerabilidad).
- Para dar un diagnóstico y presentar las posibles soluciones a los problemas generados por amenazas de origen natural (fenómenos de remoción en masa e inundaciones), se realizaron los estudios técnicos necesarios (geología, geomorfología, hidrología, hidráulica y geotecnia). Con base en dichos estudios se obtuvo el mapa de zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa. Se resalta que este estudio no tiene en cuenta un análisis por efectos de sismos; para tener en cuenta este aspecto en los análisis de estabilidad de taludes, se utiliza el estudio de microzonificación sísmica de Santafé de Bogotá (INGEOMINAS, 1997).
- Análisis de vulnerabilidad de las viviendas ante los fenómenos de remoción en masa posibles en la zona.
- Análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa.
- Diseño de las obras para la prevención y mitigación de riesgos en el barrio Villa gloria.
- Para el análisis de riesgos se seguio la conceptualización sugerida por Omar Darío Cardona (1991, Dirección Nacional de Atención y Prevención de Desastres), que se puede resumir así: "Una vez conocida la amenaza o peligro

(A), entendida como la probabilidad que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (V), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo ® puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado".

1.2. JUIFICACIÓN[1]

El proyecto "Análisis y Evaluación de Riesgos de Origen Socio–natural y Tecnológico en el Distrito Capital" hace parte del plan de inversión del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias "FOPAE" cuya administración está a cargo de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias "DPAE" dependencia de la Secretaría de Gobierno.

En las metas del proyecto se encuentra el "Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa, evaluación de alternativas de mitigación y diseños detallados de las medidas recomendadas en un sector del barrio Villa Gloria, ubicado en la Localidad de Ciudad Bolívar, en Bogotá D. C.", dentro del Componente 1, que corresponde a la elaboración de estudios de evaluación de riesgos de origen socio–natural y tecnológico.

De acuerdo con el "Estudio de inestabilidad del terreno para diferentes localidades de Santafé de Bogotá", realizado por INGEOCIM LTDA (1998) para el FOPAE, a escala 1:10.000, el área de estudio se encuentra en una zona de amenaza media por fenómenos de remoción en masa.

El área de estudio se encuentra en una zona de ladera, de alta pendiente, donde se ha dado un desarrollo irregular de viviendas con abundantes cortes verticales entre 1 y 4 metros de profundidad, sin sistemas de protección de los taludes ni de manejo de aguas superficiales, por esta razón se han presentado en la zona varios fenómenos locales de inestabilidad, como pequeños deslizamientos traslacionales y caídas de material de los cortes de los taludes, detonados fundamentalmente por lluvias fuertes.

A pesar de que los volúmenes de material removido han sido de poca magnitud, algunas viviendas se han visto parcialmente afectadas porque se encuentran a muy poca distancia de los taludes de corte y porque sus precarios sistemas constructivos las hacen altamente vulnerables. Ante estos eventos la DPAE ha realizado varias visitas de reconocimiento a la zona y ha emitido los respectivos diasgnósticos técnicos.

El estudio que aquí se plantea permitirá conocer de manera objetiva las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a las que están expuestas la población y la infraestructura de la zona de estudio del barrio Villa Gloria, por fenómenos de remoción en masa y tomar decisiones oportunas sobre la ejecución de medidas y acciones para mitigar el riesgo, en beneficio de la comunidad.

[1] Tomado de los Términos de Referencia de la Contratación Directa FOPAE 7302-65-2005.

1.3. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio hace parte del barrio Villa Gloria, de la localidad de Ciudad Bolívar. El polígono seleccionado es de forma irregular y tiene un área aproximada de 1.7 Ha. En algunos sitios del sector no es clara la nomenclatura por lo cual se indicarán los límites con base en la nomenclatura actual pero se dejará entre paréntesis la nomenclatura antigua en la **fotografía 1** se observa claramente esta circunstancia.



FOTO 1. *Nomenclaturas existentes en el Barrio Villa Gloria*



FOTO 2. *Delta 21 a Delta 19*

El área de estudio está limitada por el norte por la calle 68 D Sur (calle 69 K Sur), por el oriente por la carrera 18 L (carrera 18 M), por el sur por la calle 68 M Sur (calle 69 R Bis Sur) y por el occidente por la carrera 18 N que corresponde al límite con el barrio Villas del Diamante, como se muestra en la **Figura** 1 Localización del área de estudio". A la zona del estudio se puede acceder utilizando servicio publico, Nueva Transportadora rutas 361 y 362 Villa Gloria, las cuales tienen su terminal en el barrio Villa Gloria.

Figura 1 Localización del área de estudio

El CONSORCIO GEOCONTROL conformó el grupo de trabajo relacionado en la **Tabla** 1 Relación de personal que realizó los trabajos" para llevar a cabo las diferentes actividades relacionadas con el presente estudio.

Tabla 1 Relación de personal que realizó los trabajos

Nombre	**Función o cargo**
Flavio Soler Sierra	Director del estudio – Especialista en geotecnia y riesgos
Daniel Jimenez	Geólogo
Holman Téllez	Especialista en hidrología e hidráulica
Diana Franco	Especialista en geotecnia SIG
Rocío Rincón P.	Ingeniera auxiliar – Cartografía y SIG
John Vargas Q.	Ingeniero auxiliar - Trabajos de exploración del subsuelo
Andres Parra	Ingeniero auxiliar – Encuestas de vulnerabilidad
Edwin Gaitan	Topógrafo
Yuly Casallas	Dibujante
Ingeomar Limitada	Ensayos de laboratorio
Nelson Hernández	Ensayos de laboratorio
Universidad de los Andes	Ensayos de laboratorio

A su vez, la Interventoría del proyecto fue realizada por el Ingeniero Cesar A. Palomino S.

1.4. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

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

- 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.

De la revisión bibliográfica para el marco geológico y geomorfológico, se tomaron los siguientes estudios:

- CARO, P., GARCIA, J. Zonificación Geotécnica del Distrito Especial de Bogotá. INGEOMINAS-D.A.P.D. Bogotà, 1988.

- CARVAJAL, José Henry. Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá. Memoria Explicativa de mapas a escala 1:25.000. INGEOMINAS. Documento inédito. Bogotà, D. C. 2005.
- HELMES, K., VAN DER HAMMEN T. Memoria explicativa de los Mapas del Neogeno-Cuaternario de la Sabana de Bogotá. IGAC. Análisis Geográfico. Bogotá, 1995.
- INGEOMINAS. Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Estudios Tectónicos y Geotectónicos. Bogotá, 1996.
- INGEOMINAS-CAR. Mapa Hidrogeológico de la Sabana de Bogotá. Bogotá, 1995.
- VARGAS C., Germán. Geomorfología de la Sabana de Bogotá. En Publicación Geológica Especial de INGEOMINAS No. 27. Bogotà, D. C., 2004
- VERSTAPPEN and VAN ZUIDAM. El Sistema ITC para levantamientos geomorfolígos. En Publicación ITC No. 10. Villanueva de Huelva, 1992
- Geología y Aspectos Geotécnicos de la parte central del sector denominado "Ciudad Bolívar" en el Distrito Especial de Bogotá, 1987. Gutiérrez G y Colegial, J.
- Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, D.C, INGEOCIM LTDA-UPES-FOPAE, 1998.
- Zonificación de Amenaza por remoción en masa en los barrios Cordillera Sur, Tierra Linda y Los Alpes de la Localidad de Ciudad Bolívar, UT IGR – GIA, 2003.
- Zonificación por remoción en masa en los barrios Villas de Diamante de la Localidad de Ciudad Bolívar, 2003.

De la revisión hidrológica se empleo la siguiente información:

- Consulta en la 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, determinando de forma previa la información disponible y que tan aplicable al desarrollo del estudio pudiera ser.

1.5. MÉTODO DE ANÁLISIS

Para el análisis de riesgos por fenómenos de remoción en masa (FRM) se seguirá la metodología sugerida por Omar Darío Cardona, que se puede resumir así: "una vez conocida la amenaza o peligro (*A*), entendida como la probabilidad de que se presente un evento con una intensidad mayor o igual a cierto nivel durante un período de exposición determinado, y conocida la vulnerabilidad (*V*), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado o de ser susceptible de sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un evento con cierta intensidad, el riesgo ® puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto, como consecuencia de un evento con una intensidad mayor o

igual a cierto nivel, es decir, la probabilidad de exceder unas consecuencias sociales y económicas durante un período de tiempo determinado".[2]

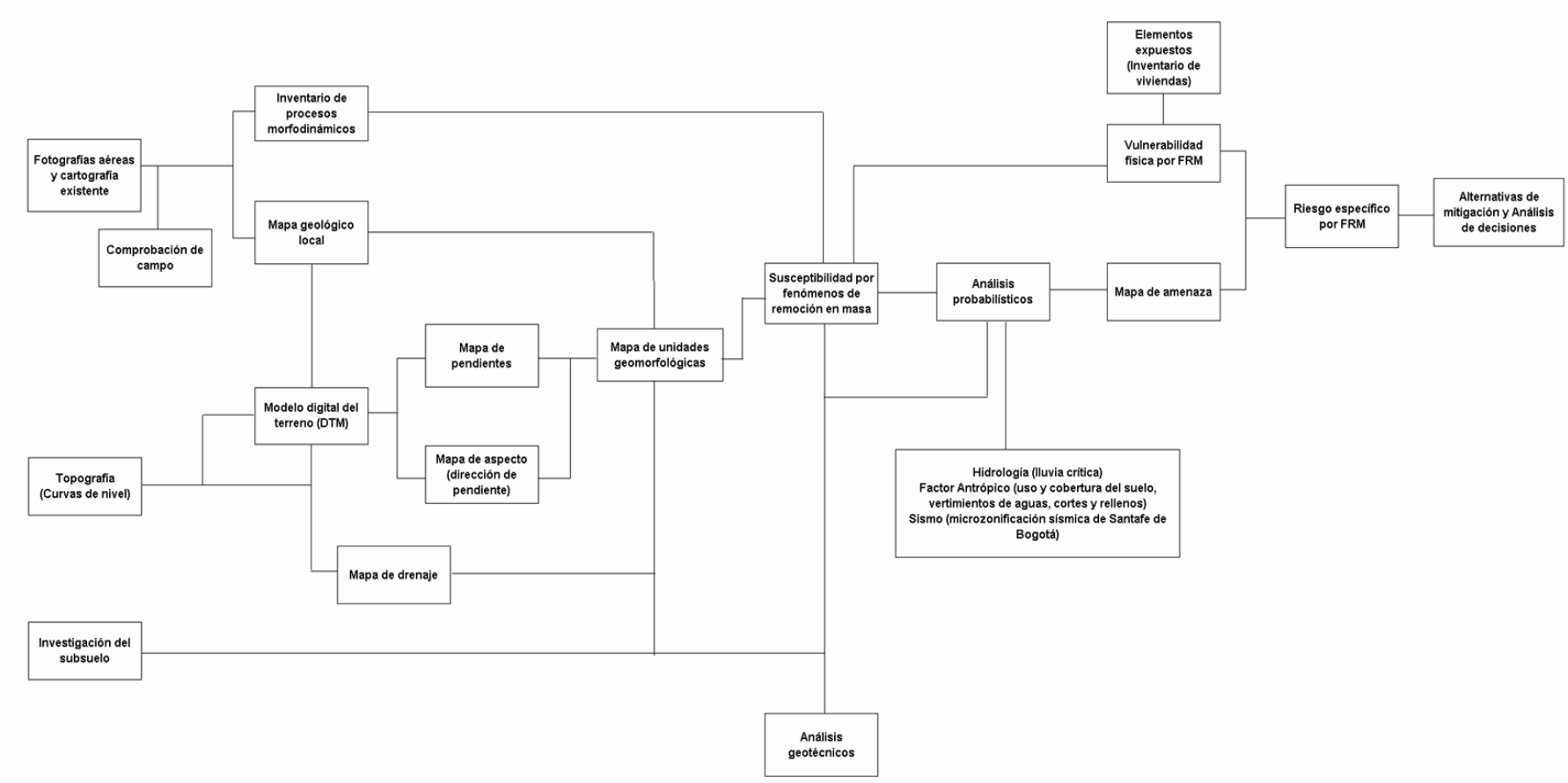
Para obtener los tres componentes mencionados en la anterior definición (amenaza, vulnerabilidad y riesgo), se lleva a cabo el proceso resumido en la **Figura** 2 Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM" y descrito a continuación:

- Determinación de las zonas de comportamiento geotécnico similar (zonas homogéneas) con base en los trabajos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de investigación del subsuelo.
- Determinación de los factores detonantes naturales (sismo y lluvia). Para el sismo se utilizará los datos de la microzonificación de Santafé de Bogotá. Para la lluvia se determinará el período de retorno de la lluvia crítica, basándose en los trabajos realizados en 1998 por Ingeocim Ltda. – Upes. Es importante resaltar que los factores detonantes antrópicos (producidos por el hombre) se tendrán en cuenta al determinar las zonas de cortes y rellenos y la sobrecarga de las estructuras.
- Determinación de los parámetros geotécnicos (máximos y mínimos) en cada uno de las los materiales que conforman el subsuelo en la zona de estudio, necesarios para realización de los análisis de estabilidad.
- Análisis de estabilidad probabilísticos, determinando los factores de seguridad y la probabilidad de falla teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros de resistencia del suelo y los factores detonantes.
- Con base en la zonificación de amenaza realizada (determinando las posibles solicitaciones) y la tipificación de estructuras existentes, se determina la vulnerabilidad y el riesgo de las estructuras ante fenómenos de remoción en masa.
- De acuerdo a los resultados de los trabajos precedentes, se propondrán las obras de mitigación posibles.

Con base en lo anterior, para llevar a cabo el estudio se realizaron los trabajos necesarios, los cuales se presentan en los siguientes capítulos.

[2] 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.

Figura 2 Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM



2. TOPOGRAFIA

2.1. GENERALIDADES

Como base para la zonificación, se debe conocer la topografía del sector incluyendo curvas de nivel y los detalles de la urbanización; dado el detalle del trabajo, este levantamiento se hizo al detalle de escala 1:500 (curvas de nivel cada 0.5 m), obteniendo la división de las manzanas a nivel loteo.
Para realizar el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico), con coordenadas reales y mojones en tres (3) vértices se siguieron los parámetros básicos que se mencionan a continuación:

- Amarre de coordenadas reales utilizando el punto CD-610 con señal azimut a la iglesia de Monserrate.
- 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

En la visita de campo inicial se definieron los límites del levantamiento en campo, haciendo coincidir el esquema con las vías de dicha zona, esto dado que la variedad de nomenclatura que existe en la zona no permitió definirla completamente por nomenclatura vial ver **fotografía 1**.
El levantamiento se realizó con dos Estaciones Totales Marca Topcon 235, de precisión angular al segundo y con alcances de lectura con prisma sencillo de 1.200 m de distancia en longitud, con capacidad para almacenar hasta 500 puntos topográficos, con lectura vertical cenital y el acompañamiento de dos prismas para la lectura de los puntos.
El equipo y los recursos utilizados por la comisión para realizar el levantamiento topográfico son los que se relacionan en la **Tabla 2** Relación de equipos y elementos por comisión

Tabla 2 Relación de equipos y elementos por comisión

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Estación TOPCON 235	1
Ingeniero Catastral y Geodesta	1
Cadenero primero (estudiante de Ingeniería Catastral y Geodesta)	2
Cadenero segundo (habitantes de la zona)	2
Radios de onda corta	3
Vehículo	1

Se realizó el levantamiento de todos los detalles por radiación para la elaboración del plano respectivo utilizando una estación total TOPCON 235, estos detalles fueron: vías, paramentos, postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, cercas, y puntos de topografía para generar curvas de nivel cada 0,5 m, el total de puntos levantados fue de 2.073. 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.

2.2. TRASLADO DE COORDENADAS REALES

Para realizar el traslado de coordenadas del levantamiento topográfico se utilizó la información del punto certificado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (IGAC), CD-610-A, con azimut a la iglesia de Monserrate, con el fin de amarrar tres vértices amojonados a coordenadas reales. La precisión del traslado de la poligonal es de 1: 27.690 mientras que la de la poligonal interna fue de 1:100.000.

El levantamiento topográfico se realizó en dos etapas, tal como se describe a continuación:

Zona Abierta: Toma de información únicamente del área despejada mediante la toma de puntos y en lo posible la toma de secciones transversales, colocando los prismas en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área de estudio; los intervalos entre las secciones varían entre 1 a 4 m de distancia, según las condiciones del terreno.

Zona de Construcciones y Detalles: Toma de información de los puntos topográficos de infraestructura como son paramentos, andenes, construcciones, postes, pozos, cercas, etc. Es importante resaltar que, el levantamiento de las viviendas se realizó según con lo que se encuentra construido en el terreno, a diciembre de 2.006, viéndose que la urbanización no corresponde con el manzaneo de la zona plasmada en los planos digitales del IGAC ni de Catastro Distrital.

El barrido con nube de puntos se utiliza para la definición de los taludes en cote, relleno, secciones de los cursos de y de elementos urbanísticos como: manzanas, pozos de inspección, vías y caminos peatonales. Complementariamente, se toman puntos adicionales en los vértices de las manzanas para la definición precisa de las mismas y el ajuste de los predios de cada una de ellas.

2.3. 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. Los puntos topográficos fueron interpolados utilizando el software SURFACE MODELING, hallando las curvas de nivel, y con las carteras de campo y se realizó la planimetría del sitio, obteniendo como resultado el **Plano GE134-PL-01**; El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, ya que primero se elaboraron las diferentes capas (coberturas) y posteriormente se adelanta la interpolación. De esta manera, se define el manzaneo de manera completa, se seleccionaron los postes de alumbrado y los pozos de inspección, se delinearon las vías y se delimitaron los taludes. Para una mejor aplicación del programa se procesan parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados, lo cual da como resultado la no generación de errores y una mayor precisión y calibración para los límites y contornos. Con base en lo anterior y para terminar la generación del mapa base, se realiza la integración e interpretación final de todo el conjunto.

2.4. REFERENCIAS EN CAMPO

Para el posible replanteo de las obras propuestas, se dejaron en la zona de estudio tres (3) mojones cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 3 Mojones materializados en campo, y localizados tal como se puede ver en el **Plano GE134-PL-01** y en las fotografías que se presentan a continuación:



FOTO 3. *Mojón CD 610 parte superior*



FOTO 4. *Mojón CD 610 parte superior*



FOTO 5. *Vista general del mojón*



FOTO 6. *Visual desde el mojón 2*



FOTO 7. *Excavación realizada en la construccion del mojo 1*



FOTO 8. *Refuerzo de la estructura del mojon*



FOTO 9. *Proceso constructivo del Mojón 1*



FOTO 10. *Acabado y afinado del Mojón 1*



FOTO 11. *Visual desde Mojón 1 a Mojón 2*



FOTO 12. *Excavación realizada para la materializacion del mojon 2*



FOTO 13. *Refuerzo con cuatro varillas de ½*



FOTO 14. *fundida del Mojón 2*

Se materializaron en campo 3 mojones para el amarre de futuros trabajos de replanteo en la zona, estos mojones fueron fundidos con armazón de 4 varillas y cuatro flejes, estos mojones presentan visibilidad entre ellos con el fin de poder replantear en cualquier momento un punto dado.

Tabla 3 Mojones materializados en campo

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACION
Mojón 1	91597.43	95232.38	2671.18
Mojón 2	91632.45	95090.34	2707.04
Mojón 3	91642.56	95017.76	2716.98



FOTO 15. *Visual Mojón 2*



FOTO 16. *Visual desde Mojón 2 a Mojón 3*



FOTO 17. *Construcción mojón 3*



FOTO 18. *Armadura del Mojón 3*



FOTO 19. *Fundida del Mojón 3*



FOTO 20. *Vista lado del Mojón 3*

En el **Anexo I** se presentan las certificaciones de calibración de los equipos y de los puntos de amarre del IGAC, así como los datos crudos del levantamiento topográfico realizado.

2.5. MAPA DIGITAL DEL TERRENO

2.5.1. **Mapa de pendientes del terreno**

Con las curvas digitalizadas y elevadas, se procedió a realizar el mapa de pendientes utilizando el método del círculo flotante, implementado en el software ArcView, tal como se presenta en la **Figura** 3 Mapa de pendientes.

2.5.2. **Modelo en 3D del terreno**

Igualmente, con la herramienta de sombras de este software, se realizaron vistas en 3-D de la zona. En la **Figura** 4 Modelo en 3D se presenta una de las vistas obtenidas, las cuales sirvieron para ajustar los trabajos de geomorfología.

Figura 3 Mapa de pendientes digital del terreno

Figura 4 Modelo en 3D digital del terreno

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

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

3.1. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para determinar las características del suelo del área de estudio, se llevó a cabo el siguiente programa de exploración del subsuelo en forma directa:

- Seis barrenos mecanicos (SM-1 a SM-6) ejecutados con broca helicoidal (auger de fondo sólido) con profundidades que varían entre los 4,0 m y los 8.0 m.
- Cinco apiques (AP-1 a AP-5) con profundidades que varían entre los 1,5 m y los 2,0 m.

En los barrenos, a profundidades intermedias se efectuó el ensayo de penetración estándar (SPT), recuperando la respectiva muestra alterada con la cuchara partida (Split Spoon); en los suelos arcillosos de consistencia blanda, se tomaron muestras inalteradas con el tubo de pared delgada (tubo Shelby). En las trincheras y apiques se recuperaron muestras alteradas de bolsa e inalteradas en bloque.

De cada uno de las perforaciones realizadas, se llevó a cabo un registro continuo de los materiales encontrados y se midió la posición del nivel freático. Los registros de los barrenos y apiques, se presentan en el **Anexo II**. La ubicación de las perforaciones se presenta en el **Plano GE134-PL-01** y en la **Tabla 4** Coordenadas des barrenos y apiques realizados

	***FOTO 21.****Núcleos de roca obtenidos en las perforaciones No 1, 3, y 4.*

Tabla 4 Coordenadas des barrenos y apiques realizados

TIPO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
SM-1	91647.10	95009.35
SM-2	91640.72	95053.26
SM-3	91631.62	95102.25
SM-4	91661.82	95143.40
SM-5	91634.87	95235.49
SM-6	91653.35	95113.02
AP-1	91602.68	95233.86
AP-2	91605.37	95203.02
AP-3	91621.30	95154.58
AP-4	91648.32	94983.82
AP-5	91678.80	95127.16

3.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

Todas las muestras obtenidas de los trabajos de exploración del subsuelo fueron identificadas visualmente, y sobre un número representativo de los tipos de suelos encontrados se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar su clasificación, propiedades in-situ, resistencia y deformación. A continuación se presenta la **Tabla** 5 Relación de ensayos de laboratorio" con el tipo de ensayo realizado, su respectiva norma y la cantidad realizada (en el **Anexo III** se presentan los resultados de cada uno de los ensayos).

Tabla 5 Relación de ensayos de laboratorio

ENSAYO	NORMA	CANTIDAD
Contenido de humedad	INV-E122	15
Límite líquido y plástico	INV-E125 y 126	7
Granulometría por lavado y tamizado	INV-E123	1
Peso unitario total	INV-E121	8
Gravedad específica de sólidos	INV-E128	1
Triaxial estático	INV-E153	1
Compresión inconfinada en roca	INV-E152	3
Corte directo en suelo	INV-E154	7

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.1. GENERALIDADES

La zona del estudio ocupa parte de la superficie estructural de los cerros y serranías que conforman las laderas sobre los cerros sur orientales que circundan la altiplanicie de Bogotá. Las laderas en el área y sectores aledaños presentan evidencias de procesos antiguos de remoción en masa, erosión laminar y alto grado de intervención antrópica.

El levantamiento y cartografía geológica y geomorfológica consistió en primera instancia en la recopilación, procesamiento y evaluación de la información secundaria disponible tales como: informes técnicos, bases cartográficas del IGAC, fotografías aéreas, entre otras; se fotoidentificaron las unidades litoestratigráficas de las unidades cuaternarias, y los rasgos estructurales como pliegues y fallas principales y secundarias. En segunda medida, se adelantó un trabajo de reconocimiento de campo a nivel regional y local que involucró actividades de exploración subsuperficial (exploración del subsuelo), levantamiento de datos estructurales y columnas estratigráficas, y la comprobación de la fotointerpretación realizada previamente.
A continuación se relacionan paso a paso las actividades ejecutadas en el desarrollo del componente geológico:

4.1.1. **Fase preliminar contexto geológico.**

- Reconocimiento general del terreno e identificación de las problemáticas y potenciales franjas de inestabilidad. Visita de reconocimiento.
- Obtención de fotografías aéreas en las escalas disponibles.
- Interpretación de fotografías aéreas
- Recopilación bibliográfica de información geotécnica, geológica, hidrogeológica, etc. existente del área de estudio en las diferentes entidades públicas y privadas.

Las labores preliminares se enfatizan en la interpretación fotogeológica y cartografía geológica regional y el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes sin asociarlas en primera instancia a las unidades litoestratigráficas descritas en informes o planos geológicos seleccionados en la recopilación de información.

4.1.2. **Fase geología de detalle.**

Una vez establecido el contexto geológico regional del área de estudio, se procede a adelantar el trabajo geológico de detalle con base en:

- Ejecución de sondeos y apiques.
- Fotointerpretación de fotos a escala 1:16.000 que permiten aumentar el nivel de precisión de la cartografía geológica.
- Levantamiento de datos estructurales y de columnas estratigráficas detalladas de las formaciones y litologías aflorantes.
- Corroborar en campo la fotointerpretación litológica y estructural efectuada e identificar depósitos recientes, antrópicos y unidades litológicas aflorantes no fotoidentificables en el barrio, especialmente en los cortes mineros y excavaciones hechas para viviendas, describiendo su litología, texturas y estructuras locales relacionadas..
- Levantamiento del inventario de fenómenos de remoción en masa.
- Elaboración de informe sobre condiciones geológicas y geomorfológicas de la zona de estudio.

4.1.3. **Información secundaria**

La información secundaria consultada se encuentra referenciada en le numeral 1.4 del presente informe.

4.1.4. **Fotointerpretación**

La fotointerpretación se realizo con el material relacionado en la **Tabla 6** Fotografías aéreas de referencia. Sobre las que se identificaron los rasgos litológicos, estructurales, y geomorfológicos.

Tabla 6 Fotografías aéreas de referencia.

VUELO No.	SOBRE	FOTO No.	ESCALA	FECHA
C-2717	39297ª	114,115 y 116	1:16.000	2004

4.1.5. **Trabajo de campo**

La labor de campo se hace con levantamientos geológicos puntuales en todo el barrio y zonas aledañas, que permiten ajustar el modelo geológico regional planteado con base en la información secundaria y en la fotointerpretación regional. Se complementan tales levantamientos con los datos que proporcionan los trabajos de investigación del subsuelo.
La comprobación de campo se basa en el reconocimiento de las unidades litológicas aflorantes, para conformar el marco geológico y su correlación y límites estructurales; incluye la identificación de unidades litoestratigráficas, asociadas con la fotointerpretación efectuada y de los rasgos estructurales.

4.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente el área se encuentra ubicada en el flanco occidental del sinclinal de Usme – Tunjuelito, el cual se encuentra plegado y fallado; específicamente hace parte del bloque que se forma entre las Fallas de Limas al oriente del área y la falla inversa de Mochuelo al oriente (de acuerdo al Mapa Geológico para la Zonificación Geotécnica de Bogota, Convenio DAPD – INGEOMINAS, agosto de 1988.
En el **Plano GE134-PL-02** se muestra el marco Geológico del sector alrededor del área de estudio, el cual es el resultado de una reinterpretación de la Geología de acuerdo a las observaciones realizadas en el presente estudio. Se presentan rocas sedimentarias de edad terciario inferior –Cretaceo Superior, correspondiente a la Formación Guaduas en sus tres niveles:

1. Conjunto Inferior(KTgi) compuesto por arcillolitas grises, areniscas cuarzosas y limolitas; 2.
2. Conjunto Medio(KTgm) conformado por areniscas gris claras, lodolitas y arcillolitas gris a amarillas.
3. Conjunto Superior(KTgs) compuesto por lodositas grises, limonitas y areniscas arcillosas.

Discordante sobre estas unidades se presentan depósitos de ladera resultado de la fracturación y arrastre que han sufrido los materiales por las altas pendientes y por acción de la gravedad, compuesto por bloques, guijarros, cantos angulares a subangulares en mayor proporción en matriz arenosa a arcillosa hacia el sector de Villas del Diamante y cantos y gravas en menor proporción envueltos en matriz arcillosa a arenosa, en mayor proporción.

Estructuralmente en el sector se presentan: Falla Normal de Limas, la Falla vertical de desplazamiento lateral que se presenta hacia el sector de Villas del Diamante y al Oriente La Falla de desplazamiento lateral del Lucero; En la escala utilizada para el plano geológico regional no se alcanza a identificar esta ultima falla. Igualmente se presentan tres pliegues de dirección noroeste a norte sur correspondiente al Sinclinal de Villas de Diamante, Anticlinal de Villa Gloria y Sinclinal de Villa Gloria; estas estructuras afectan a las rocas sedimentarias del Guaduas.

4.3. GEOLOGÍA DETALLADA DEL ÁREA

En el levantamiento Geológico detallado del área sobre los pocos afloramientos que se pueden encontrar por estar el sector totalmente urbanizado, se determinaron y definieron unidades litológicas y estructurales (pliegues, fallas, diaclasas), depósitos de ladera, depósitos residuales y depósitos antrópicos, a escala 1:500. En particular se definieron las siguientes unidades, las cuales se muestran en **el Plano GE 134 PL 03** del Barrio Villa Gloria.

- Reciente:
- Deposito de Relleno de Escombros (Qr)
- Cuaternario:

- Suelo Residual (Sr).
- Depósitos de ladera: Coluvial Grueso (Qc2)
- Coluvial Fino (Qc1)
- Terciario – Cretáceo:
- Formación Guaduas correspondientes a los Conjuntos Superior(KTgs) y Conjunto Medio (KTgm)



FOTO 22.*En la zona del estudio los afloramientos están cubiertos por las viviendas que se han construido.*



FOTO 23.*El proceso de urbanización en el barrio Villa Gloria es altó en secciones de media ladera.*

Dentro de las condiciones tectónicas se identificaron los lineamientos correspondientes a pliegues, diaclasas principales y secundarias e igualmente la relación entre la pendiente y la estructura geológica.

El sector estudiado del Barrio Villa Gloria corresponde a una ladera estructural, cuya pendiente topográfica esta controlada principalmente por el rumbo e inclinación de los estratos que conforman la ladera. Sobre esta ladera de roca fracturada a muy fracturada se encuentran depósitos coluviales colgados de alta pendiente, suelos residuales y depósitos de origen antrópico. A continuación se describen las características principales de las unidades geológicas cartografiadas:

4.3.1. **Formación Guaduas (KTg)**

Se cartografiaron dos conjuntos correspondientes a esta Formación, de edad Cretáceo Superior- Terciario Inferior.

4.3.1.1. Conjunto Medio (KTgm).

Esta unidad de roca ocupa el 90% del área estudiada y se presenta a manera de pequeñas ventanas a lo largo del talud, principalmente donde se han realizado excavaciones profundas para la cimentación de las habitaciones. Los principales afloramientos donde se observaron las rocas fueron las estaciones No2, 3, 5, 7, 8, 12,

13, 14, 16,20,22, 25 y 26. En todos los afloramientos se presentan estratos de areniscas. En donde la roca se presenta sana, macroscópicamente muestra las siguientes características: de color que varían de gris a amarillo, duras, de composición cuarzosa, de grano medio a fino, subangular a subredondeado, esfericidad media, en matriz feldespática y cemento silíceo, de bien cementadas a ligeramente friables, en estratos que varían de 5 a 50 centímetros , y de fracturada a muy fracturada y en sectores fragmentada, y de débilmente meteorizada a altamente meteorizada. La calidad y condiciones de fracturamiento de las rocas en las estaciones observadas se resumen a continuación:

- **Estación No 2**

Arenisca gris a gris amarilla, dura y muy fracturada, cubierta por un depósito coluvial de espesor mayor a 2,5 metros. Se presentan 3 sistemas de diaclasas que junto con la estratificación forman bloques tabulares de tamaño pequeños entre 2 y 10 cmts., Indice de fracturamiento(Jv) de 15, RQD de 66% y GSI del 55%.(ver formato anexo).

- **Estación No 3**

Arenisca amarilla a gris, dura, ligeramente friable, en estratos de 5 a 20 cmts, cubierta por depósito coluvial de 2,5 metros de espesor. Se presentan tres sistemas de fracturas que junto con la estratificación forma bloques tabulares de 5 a 10 cmts. Indice de fracturamiento (Jv) de 15, RQD de 66% y GSI del 55% (Ver formato anexo)

- **Estación No 5**

Arenisca amarilla a gris, grano fino a medio, dura y fracturada, cubierta por depósito coluvial. 2 sistemas de fracturas y con la estratificación forma bloques tabulares de 10 a 15 cmts. Jv de 10, RQD de 80% y GSI del 60% (Ver formato anexo)

- **Estación No 7**

Roca altamente meteorizada, fragmentos de areniscas pequeños, se observan algunos bloques con planos de estratificación que se conservan. Roca muy fragmentada. Encima depósito coluvial de 2,0 metros de espesor. RQD de 30% y GSI de 25%

- **Estación No 8**

Arenisca amarilla altamente meteorizada y fragmentada. Encima deposito coluvial de 2,0 metros de espesor. RQD de 40% y GSI del 25%

- **Estación No 12**

Arenisca amarilla altamente meteorizada y fragmentada, se presentan bloques orientados que muestran estratificación Encima deposito coluvial de 1.5 metros de espesor. RQD de 40% y GSI del 25%

- **Estación No 13**

Arenisca amarilla, cuarzosa, de grano medio a fino, dura, bien cementada, en estratos de 15 centímetros y muy fracturada. Se presentan tres sistemas principales de diaclasas, cuya separación fluctúa entre 10 y 30 cm.

- **Estación No 14**

Arenisca amarilla altamente meteorizada y fragmentada. Encima deposito coluvial de 2,0 metros de espesor. RQD de 40% y GSI del 25%

- **Estación No 16**

Arenisca gris a amarilla, altamente meteorizada y fragmentada, con bloques orientados y fragmentos angulares de tamaño de 2 a 5 cm. RQD de 40% y GSI del 25%

- **Estación No 20**

Arenisca amarilla, cuarzosa de grano medio, subredondeado, bien cementada, dura, en estratos de 30 a 50 cm y fracturada. Se presentan dos sistemas de fracturas y con la estratificación forma bloques tabulares de 20 a 50 cm. Jv de 10, RQD 86% y GSI del 65% al 70%.

- **Estación No 22**

Arenisca gris a amarilla, pobremente cementada, friable, en estratificación delgada, moderadamente meteorizada y el 50% de la roca descompuesta en fragmentos angulares muy pequeños y muy fracturada. Jv de 20, RQD de 80% y GSI de 45% al 50%.

- **Estación No 25**

Arenisca amarilla, cuarzosa, de grano medio, subredondeada, bien cementada, algo friable, en estratificación de 10 a 20 cmts. Y de fracturada a muy fracturada. Intercalación de liditas en estratificación delgada. Se presenta pliegue anticlinal. Se presentan dos sistemas de diaclasas continuas y forman bloques tabulares de 10 a 40 cmts. Jv de 10, RQD de 82% y GSI de 60%.

- **Estación No 26**

Arenisca amarilla de grano medio, subangulares, algo friables, en estratificación de 60 cmts. y de fracturada a muy fracturada. Se presentan tres sistemas de fracturas formando bloques rómbicos de tamaño de 10 a 20 cmts. Jv de 15 , RQD de 82% yGSI de 60%.

4.3.1.2. Conjunto Superior (KTgs).

En el área se presenta en la parte baja del talud y principalmente en el sector del Centro Escolar Villamar. Se presenta arcillolitas, limonitas y areniscas arcillosas en estratificación delgada a laminar, que se encuentran de altamente meteorizada a completamente meteorizadas, formando suelos arcillosos a areno-arcilloso, de color rojo, amarillos a grises. En el sector en las afueras del sector estudiado esta unidad se presenta plegado formando una estructura Sinclinal.

4.3.2. **Depósitos de ladera**

4.3.2.1. Depósito coluvial fino (QC_1)

Este depósito se encuentra cubriendo el 90% del área de estudio y cubre en forma discordante a areniscas y arcillolitas fracturadas a muy fracturadas que conforman el talud o escarpe estructural donde se encuentra ubicado el Barrio Villa Gloria.
El depósito se encuentra en la parte superior media y baja de la ladera estructural que hace parte del flanco oriental de un pliegue anticlinal, cuyo eje pasa por la parte alta del talud y que junto con la litología es la responsable de la morfología y la superficie irregular del talud.

En todas las estaciones de observación geológica se observa este tipo de depósito cubriendo la roca y en otros sectores el depósito cubre roca altamente meteorizada y muy fracturada.

En general, el depósito está conformado por fragmentos angulares, gravas (g, m, f) angulares a subangulares y algunos bloques y cantos angulares en matriz areno-limosa, predominando la matriz sobre los fragmentos; son depósitos de color que varía de amarillo a gris, presentan consistencia alta a media, densas y condición de humedad de seco a ligeramente húmedo. El espesor del depósito es mayor de 1.5 metros y, en general, fluctúa entre 1.5 y 3.0 metros. La mayoría de las habitaciones y casas de un piso o dos pisos están construidas sobre este depósito; en resumen, el depósito es matriz-soportado.

4.3.2.2. Depósito coluvial grueso (QC_2)

Se encuentra en menor proporción comparado con el depósito fino. Ocupa la parte alta del talud y es depositado en forma discordante sobre el nivel de areniscas amarillas a grises que conforman la parte alta del escarpe.
En general, está conformado en un 40% por bloques, cantos angulares, gravas subangulares gruesas, y un 60% de matriz arenosa gris a amarilla; consistencia media a firme, densa y de seca a humedad baja. El espesor observado en los afloramientos varía de 1.0 a 2.0 metros. Es un depósito matriz soportado que se encuentra cubierto

de pasto kikuyo y presenta terracetas y ablandamiento del suelo; muestra además algunas estructuras relictas de las areniscas que conforman el talud.

4.3.2.3. Depósitos Antrópicos (Qr).

Como producto de relleno de excavación, por botadero de escombros de construcción y de basuras, se diferenció un depósito de relleno de materiales de corte, muy heterogéneo, compuesto por bloques de areniscas, fragmentos de materiales de excavación, ladrillos, bloques de construcción y basuras, no compactados, y espesor de 1.0 a 2.0 metros. Hacia la media ladera y en la parte baja se presentan materiales de relleno por construcción de la vía de la Carrera 18 y de las escaleras y vías de las Calles 68D, 68E y 68F, materiales estos que presentan buena compactación y materiales seleccionados.



FOTO 24.*Los rellenos antrópicos en esta área están conformados principalmente por 1. materiales sobrantes de obras civiles y en particular por materiales de construcción y basuras sin seleccionar*



FOTO 25.*En la corona de los taludes se encuentran depósitos antrópicos conformados por materiales varios.*

4.3.2.4. Suelos Residuales (Sr)

Hacia el sector oriental y nororiental del área se desarrolla suelos arcillosos a limo-arcillosos de colores amarillo, rojizos y grises, de consistencia blanda a firme y húmedo. Se presentan involucrados fragmentos de limonitas y areniscas arcillosas. El espesor del suelo residual varía de 1 a 3 metros; este suelo es producto de la meteorización de arcillolitas, limolitas y areniscas del Conjunto Superior de la Formación Guaduas.



FOTO 26. *Los suelos residuales encontrados son de poca profundidad y en algunos puntos se encontraron evidencias de rellenos antropicos en la parte superior.*



FOTO 27. *El material encontrado en la excavación que se muestra en la fotografia es de origen al final de la excavación y en la parte superior se encontro una capa vegetal de 30 cm de espesor*

4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura más importante del área corresponde a un pliegue anticlinal que se presenta hacia la parte alta del escarpe en el sector sur-occidental del área (Estación Nº 25). Es una estructura asimétrica, de dirección N45 a 50ºW, cuyo flanco occidental buza entre 35 y 40º al SW, y el flanco orienta de 40º a 60º al NE; este pliegue es el responsable de la dirección del filo que conforma la Serranía donde está ubicado el barrio. Hacia la parte occidental del área y por fuera del sector de estudio se presenta un pliegue sinclinal, al igual que hacia el extremo más oriental y por fuera del área del estudio se presenta un pliegue sinclinal amplio en que las rocas tienen buzamientos menores de 30º en ambos flancos. Estas estructuras plegadas se encuentran haciendo parte del bloque que se forma entre la Falla de Limas al occidente, y la Falla de Mochuelo al oriente.

4.4.1. **Sistema de fracturamiento**

Debido a los escasos afloramientos donde se presenta la roca poco meteorizada y fracturada, solamente se pudo realizar levantamiento de fracturas en las Estaciones Nº 2, Nº 13, Nº 20, Nº 25 y Nº 26. En el resto de estaciones se presentaba la relación de depósito coluvial sobre areniscas altamente meteorizadas y muy fracturadas a fraccionadas.
De las medidas realizadas se puede resumir que se presentan los siguientes sistemas de fracturas a lo largo del talud y sus principales características:

- **Sistema Nº 1**
  Continuo
  Dirección E-W
  Buzamiento 90º a 85ºN
  Características Cerrada, paredes oxidadas, rugosa, sin flujo de agua.
  Separación De 5-20 cm.
- **Sistema Nº 2**
  Dirección N-40º E
  Buzamiento 40-50º al S.W.
  Características lisa, plana, cerrada, paredes oxidadas, sin relleno, sin flujo de agua.
  Separación 10 a 30 cm
- **Sistema Nº 3**
  Dirección N-S
  Buzamiento 75-80ºW
  Características Lisa, de plana a ondulada, cerrada, paredes oxidadas, sin relleno y seca.
  Separación 10-20 cm.
- **Sistema Nº 4**
  Dirección De 35º E a N50º E
  Buzamiento De 85º SE a 90º
  Características Lisa, rugosa, abierta, relleno arenoso; sueldo, paredes oxidadas y sin flujo de agua.
  Separación 20 cmts.

Los cuatro sistemas de diaclasas, junto con la orientación de la estratificación que es de N45 a 55º W e inclinación de 45º a 65º NE, al analizarlos en conjunto nos permite considerar que la estratificación y los Sistemas 1 y 4 son favorables para la formación de cuñas pequeñas que se deslizan por la pendiente del talud. Los otros dos Sistemas Nº 2 y Nº 3 son los responsables del escalonamiento en el talud. Por las condiciones de fracturamiento observadas se puede analizar que las rocas del Conjunto Medio de la Formación Guaduas presentan un grado de fracturamiento de macizo muy fracturado, registrando Indice de Fracturamiento de 25 a 30, R.Q.D. de 60% - 70%, e Indice Geológico de Resistencia (G.S.I.) que varía entre 40% y 50%.
La pendiente y orientación del talud se debe principalmente a la orientación e inclinación de la estratificación y a la geometría a lo largo del talud a los sistemas de diaclasas Nº 2 y Nº 3.

4.5. GEOMORFOLOGIA

4.5.1. **Introduccion**

El área de estudio que ocupa el Barrio Villa gloria, de acuerdo con el *"Estudio para Zonificación Geotécnica de Bogotá"*, elaborado por INGEOMINAS, dentro del Convenio D.A.P.D.-INGEOMINAS, de 1988, se ubica dentro de la Zona Geomorfológico XI, la cual se caracteriza por morfología abrupta a escalonada por la alternancia de niveles duros y blandos. Pendiente topográfica que varía entre 20º y 70º. Geotécnicamente

se ubica en la Zona Geotécnica I.B.M., caracterizada por la presencia de carcavas, deslizamientos de roca y caída de bloques.

4.5.2. **Unidades geomorfologicas**

El estudio geomorfológico consistió en analizar la relación entre las formas observadas en la superficie, los materiales que conforman el área, la disposición estructural y los procesos que lo originaron. Igualmente se analizó el comportamiento del terreno, su interrelación con la infraestructura existente y las amenazas naturales. Con la ayuda de la información existente, observación de fotografías aéreas y trabajo de campo, se clasificaron las Unidades Geomorfológicas, clasificación que se basó al tomar como parámetros: contraste de relieve, inclinación de la ladera, longitud y forma de la ladera, procesos morfodinámicos, características litológicas, disposición estructural, condiciones hidrológicas, drenaje, de acuerdo con la metodología ITC-Verstapeen y Van Zuidam (1992).
Con base en la metodología citada se dividieron las siguientes unidades geomorfológicos: Ladera Estructurada de roca sana (LR_1), Ladera Estructural de Roca muy Fracturada (LR_2), Ladera Coluvial de Textura Gruesa (LC_1), Ladera Coluvial de Textura media (LC_2), Ladera Coluvial de Textura fina (LC_3), Ladera de Suelo Residual y Roca altamente meteorizada (LCSr) y Ladera Antrópica (Lr); estas unidades corresponden al denominado Componente Geomorfológico dentro del Esquema de Jerarquización Geomorfológico propuesta por Carvajal (2003) con base en Velásquez (1999) e INGEOMINAS (2000). En general, el área es una ladera estructural recta que hace parte de una serie de lomas y colinas del suroriente de Bogotá.
En la zona de estudio se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas (ver **Plano GE134-PL-05**):

4.5.2.1. Ladera estructural de roca sana (LR_1)

Se presenta a lo largo del talud en la parte más alta del mismo; conformada por areniscas de grano medio a grueso, cuarzosas, duras y moderadamente fracturadas. Presenta un suelo orgánico arenoso con pocas raíces y de espesos de 15 a 20 cmts.
Es un ladera muy corta, escarpada a muy escarpada, recta, forma al extremo suroccidental una cresta anticlinal redondeada, con textura de drenaje gruesa, frecuencia y densidad de drenaje de baja a muy baja. No se observan movimientos de remoción en masa y como fenómeno de erosión: *erosión laminar.*

4.5.2.2. Ladera estructural de roca muy fracturada (LR_2)

Se presenta a la parte alta del talud. Conformada por areniscas amarillas de grano fino a medio, duras, algo friables, muy meteorizadas y muy fracturadas a fragmentadas. Cubierta por depósito coluvial, es una ladera con contraste de relieve bajo, escarpada, recta, muy corta, de densidad de drenaje gruesa y frecuencia y densidad de drenaje baja. No se observa en la actualidad movimiento en masa, aunque potencialmente se puede presentar caída de bloques muy pequeños. Se observa erosión laminar.

4.5.2.3. Ladera coluvial en textura gruesa (LC_1)

Se presenta en la parte más alta de la cresta de la loma donde se observa escarpe de sierra anticlinal; formada por depósito coluvial grueso matriz-soportada, en espesor de 1 a 2 metros, encontrándose discordante sobre areniscas moderadamente fracturadas. Forma una ladera cóncava de textura de drenaje gruesa, y densidad y frecuencia baja. Se presenta infiltración y flujo superficial de aguas lluvias y aguas negras, produciéndose lavado de matriz (finos), e igualmente erosión laminar y diferencial.

4.5.2.4. Ladera coluvial en textura media (LC_2)

Comprende la parte alta y media del talud y se extiende a lo largo del mismo; está constituida esta ladera por fragmentos, cantos y gravas (40%) en matriz arenosa a limosa (60%), densa, compactación media y espesor de 2.5 metros. Se encuentra discordante sobre areniscas muy fracturadas y meteorizadas, y registra las siguientes características:

- Forma de ladera: Recta
- Inclinación de la ladera: Escarpada a muy escarpada.
- Longitud de la ladera: Muy corta.
- Elevaciones: Moderada.
- Drenaje: Interno.
- Permeabilidad: Alta
- Densidad Drenaje: Baja
- Frecuencia Drenaje: Muy baja
- Escorrentia: Superficial e interna.

No se observan fenómenos de remoción en masa, mas sí se detecta erosión laminar, flujo superficial de agua en la parte alta de la ladera e igualmente ablandamiento del suelo y terracetas.

4.5.2.5. Ladera coluvial en textura fina a media (QC_3)

Comprende la parte media y baja del talud que conforma la ladera estructural. Se extiende a lo largo de la ladera. Constituida por gravas angulares a subangulares (30%) en matriz areno-limosa, compactación media, humedad alta y permeabilidad alta. Espesor de 2.0 a 3.0 metros, descansa discordante sobre rocas muy fracturas y altamente meteorizadas.
Ladera de forma recta, inclinación de la ladera de inclinada a abrupta, longitud de ladera corta y densidad y frecuencia de drenaje de baja a muy baja. Presenta escorrentia tanto superficial como interna y permeabilidad alta. No se observan fenómenos de remoción en masa pero sí erosión laminar, flujo superficial e interno, donde se puede detectar humedad alta en las habitaciones construidas, principalmente en las paredes.

4.5.2.6. Ladera de suelo residual (LCSr)

Se presenta en la parte baja en el pie de la ladera. Compuesta por suelo arcilloso a limo-arcilloso de varios colores, como producto de la alta meteorización a descomposición de arcillolitas, limonitas y areniscas. El espesos es mayor de 2.0 metros.
Ladera de forma recta, elevación muy baja, inclinación de suave a inclinada, longitud de pendiente corta y densidad y frecuencia del drenaje muy baja. La pendiente presenta escorrentia superficial alta e igualmente escorrentia interna. No se observan fenómenos de remoción en masa; solamente ablandamiento de suelo y erosión laminar, y en surcos.

4.5.2.7. Ladera de escombros (Lr)

Tanto en la parte alta como en la baja de la ladera se presentan laderas de relleno de escombros de construcción, bloques de areniscas, basuras, de muy baja compactación que se encuentra sobre rocas muy fracturadas o depósito coluvial.
Hacia la parte media y baja de la ladera, el material de relleno es seleccionado y compactado como producto de la construcción de vía y escaleras.
La morfología de la ladera es similar a la ladera donde se deposita el relleno; se presenta húmedo y ablandamiento de suelo.

4.6. ESTABILIDAD GENERAL DE LA LADERA

La estabilidad actual de la ladera, de acuerdo con las observaciones en el terreno, se pueden clasificar así:

- No se observan fenómenos por remoción en masa, aunque en los depósitos de relleno en la parte alta muestran indicios de desprendimiento de materiales que los componen.
- Actualmente se detecta fenómenos de erosión tales como terracetas, ablandamiento de suelos y surcos en la parte alta, debido principalmente a la acción del agua de escorrentia tanto superficial como subsuperficial así como por el mal manejo de las aguas servidas.
- A lo largo de la ladera se observa erosión laminar y flujo de agua con arrastre de material fino.
- La estabilidad potencial de la ladera puede indicar una estabilidad regular a mala, principalmente en las laderas coluviales LC_1, LC_2 y en los depósitos de relleno de escombros donde se podrían presentar deslizamiento sobre plano inclinado del coluvión y desprendimiento de material de los depósitos de relleno.
- La alta permeabilidad de los depósitos coluviales y de la roca muy fracturada podrían generar deslizamientos traslacionales sobre plano inclinado, que podrían afectar las viviendas localizadas en la parte alta y media de la ladera, las cuales tienen su cimentación sobre el coluvión y la costra de roca muy fracturada.
- La superficie de falla se localizaría en el contacto coluvión-roca muy fracturada, apoyado por la alta inclinación del talud.

5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

5.1. GENERALIDADES

Con base en los trabajos precedentes, se procedió a seleccionar las secciones de análisis típicas junto con las propiedades geotécnicas de los materiales que la conforman. En la actualidad se han ejecutado ya tres secciones típicas las cuales se ubican en la planta y se muestra el perfil de cada una de ellas:

5.2. SECCIONES DE ANÁLISIS

Para los modelos bidimensionales de estabilidad, se seleccionaron las tres (3) secciones de análisis típicas presentadas en el **Plano GE134-PL-06B**, donde se pueden distinguir cinco (5) tipos de materiales. Se anota que el terreno natural ha sido intervenido en una forma escalonada en donde además de los cortes también se presentan zonas de rellenos. La mayoría de estos taludes está sin muros de contención y presentan algunos procesos de caídas tanto de suelo como de bloques de coluviones y areniscas fracturadas.

5.2.1. **Sección 1**

Corresponde a la zona Norte en donde hay presencia de coluviones de diferentes propiedades (fino y grueso), Se anota que los escalonamientos han intervenido los colusiones generando taludes que aunque pequeños han cambiado la superficie original. En la zona de los escalonamientos se evaluaron dos condiciones así: teniendo en cuenta si existe un muro y que este contraresta la presión activa de los depósitos y otra condición sin muro. La condición más desfavorable es cuando existe el escalonamiento y sin muro para lo cual se obtienen factores de seguridad con sismo y con agua de 0.23, deprimiendo el nivel freático este factor se incrementa a 0.86, de donde se concluye que no cumple con las normas para un valor mayor a 1.1. Para la condición con muro, nivel freático alto y sismo el factor de seguridad es de 1.22, este factor de seguridad es válido únicamente cuando se haga una verificación estructural y se corrobore que los muros existentes en la urbanización cumplen con esta condición, de lo contrario se deben construir estos elementos de contención para lo cual se puede asumir un diseño típico.

Figura 5 Sección No. 1 costado Norte del proyecto condición estática con nivel freático alto.

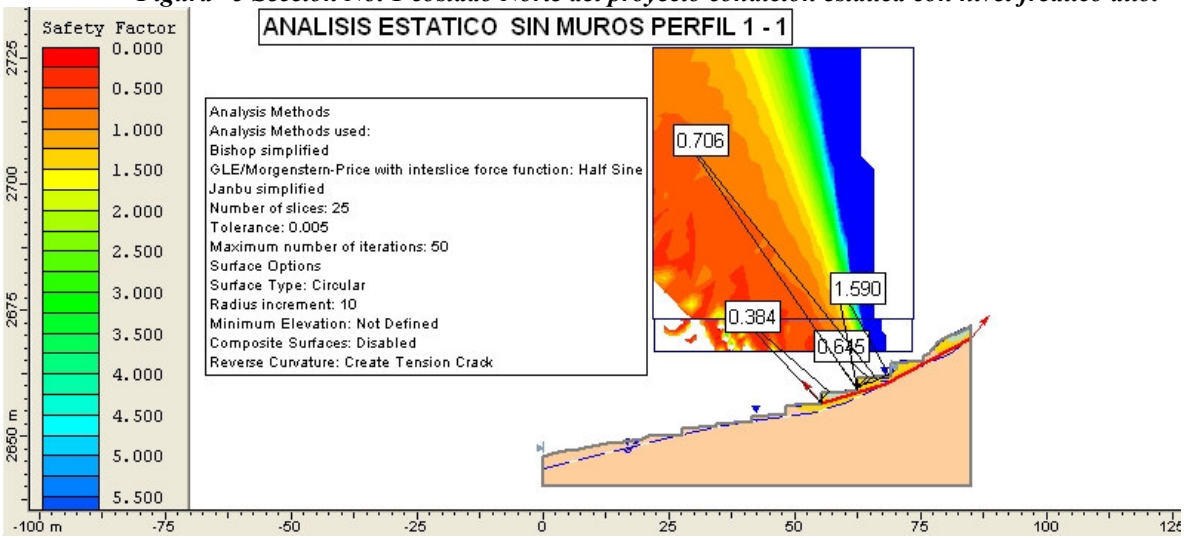
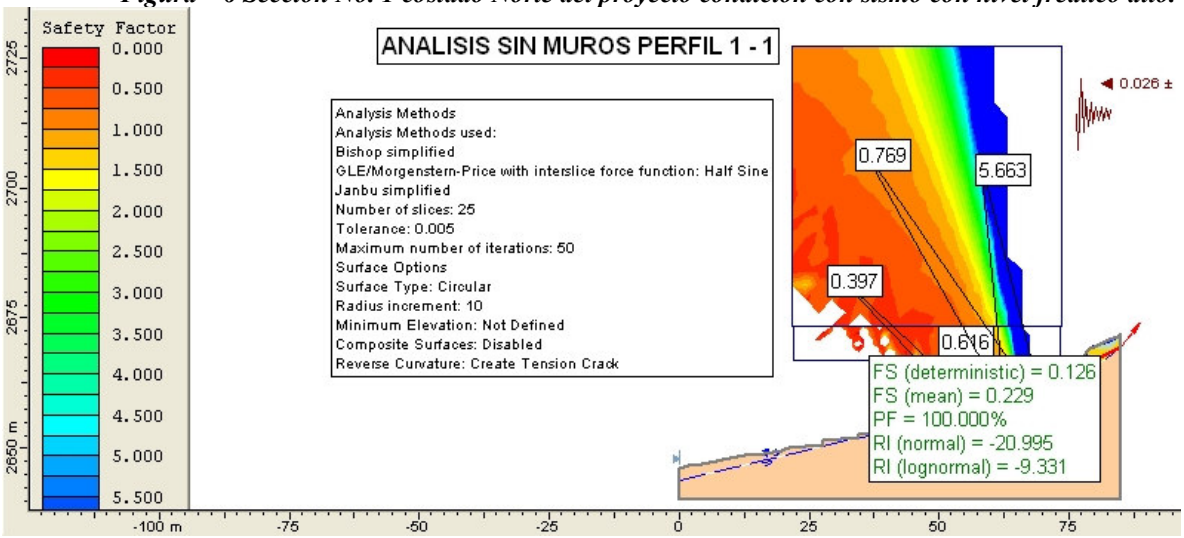


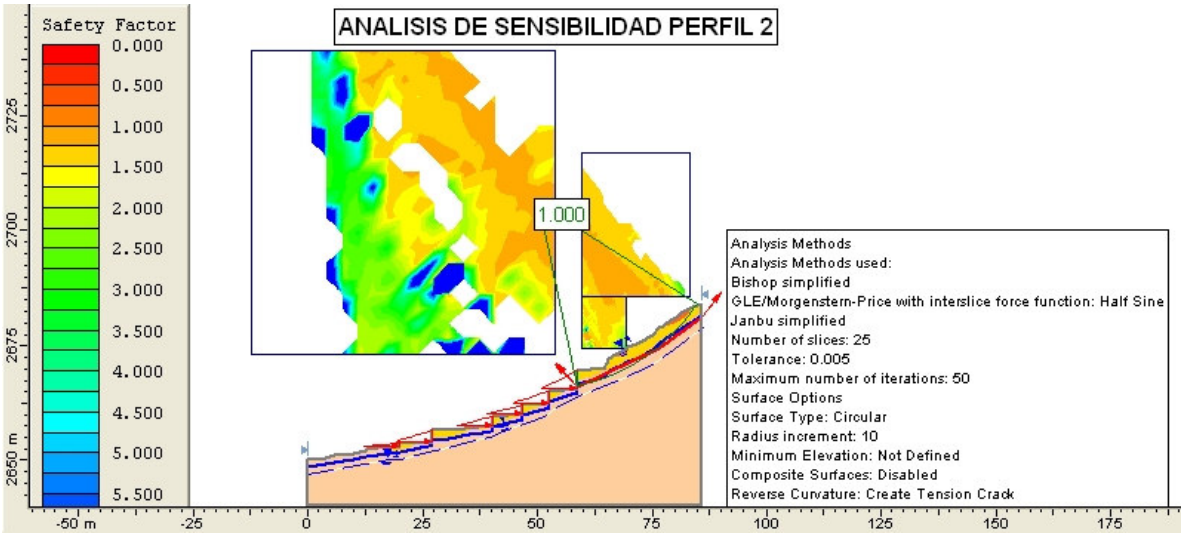
Figura 6 Sección No. 1 costado Norte del proyecto condición con sismo con nivel freático alto.



5.2.2. **Sección 2**

Se considera como la representativa de la parte media y se observa que los depósitos coluviales son extensos y además sobre ellos en la parte superior hay rellenos producto de escombros de construcción y basuras. Esta sección contrasta con la Sección 1 en donde los materiales coluviales son de menor extensión. En el análisis de estabilidad se evaluó localmente el talud superior en condición con sismo y con nivel freático alto para lo cual se obtuvo un factor de seguridad de 0.98, abatiendo el nivel freático se obtiene un factor de 1.07 para lograr un factor de seguridad confiable la solución sería implementando una fila de 5 anclajes espaciados cada 6m preferiblemente conectados con una viga de amarre.

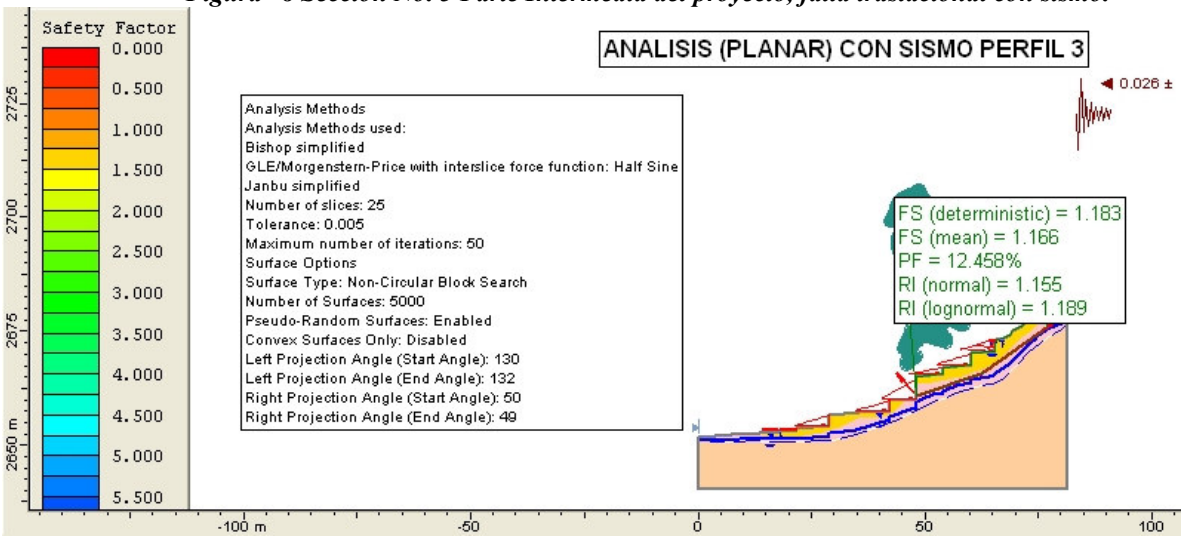
Figura 7 Sección No. 2 Parte intermedia del proyecto.



5.2.3. **Sección 3**

Se aprecia que los coluviones son más profundos pero que debido a la intervención antrópica de la parte media hacia arriba existe una alta posibilidad a la formación de deslizamientos remontantes puesto que se le ha quitado el soporte lateral a la parte media del coluvión el cual es bastante denso. Adicionalmente se evaluó la posibilidad de un deslizamiento traslacional en uno de los escalones de este perfil en donde los factores de seguridad para una condición con sismo son de 1.16, teniendo en cuenta que el muro existente cumple con su objetivo, si al evaluar estructuralmente el muro actual no cumple con esta condición se deberá demoler o superponer otro que cumpla con las exigencias para este análisis de estabilidad.

Figura 8 Sección No. 3 Parte Intermedia del proyecto, falla traslacional con sismo.



5.3. MATERIALES

Con base en los resultados del programa de investigación del subsuelo y los trabajos geológicos, se definieron los siguientes tipos de materiales los cuales se describen en los siguientes numerales:

- Depósito de relleno de escombros (Qr)
- Depósito coluvial grueso (Qc2)
- Depósito coluvial fino (Qc1)
- Areniscas (Ss)
- Lodolitas y/o Arcillolitas (Cs)

5.3.1. Depósito de relleno de escombros (Qr)

Rellenos antrópicos compuestos en mayoría por sobrantes de obras civiles en matriz de limos y arcillas de alta compresibilidad y alta plasticidad producto de las excavaciones realizadas por los habitantes del área durante los procesos de construcción de las viviendas; en algunas oportunidades se observó la presencia de basuras sin clasificar en estos depósitos. La mayoría de estos rellenos están cubiertos por una capa vegetal de hasta 0.20 metros de profundidad.

Tabla7 Propiedades del material Qr

PROPIEDADES	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	1.88	1.88	1.88
HUMEDAD NATURAL W (%)	61.8	61.8	61.8
ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ (º)	14.2	14.2	14.2
COHESION C' (ton/m^2)	0.89	0.89	0.89
LIMITE LÍQUIDO Ll (%)	81	81	81
LIMITE PLASTICO Lp (%)	46	46	46

5.3.2. **Depósito coluvial fino (Qc1)**

El depósito está conformado por fragmentos angulares de gravas y algunos bloques angulares a subangulares y cantos en matriz areno-limosa la cual predomina sobre los fragmentos; son depósitos de color amarillo a gris que presentan consistencia alta a media; la humedad varía en un rango de seco a medianamente húmedo, con plasticidad media y baja compresibilidad. Descansa discordante sobre un macizo rocoso moderadamente fracturado. Espesor de 2 a 3 metros. Pendiente menor del 45%. Discordante sobre roca

Tabla 8 Propiedades del material Qc1

PROPIEDADES	MINIMOS	MAXIMOS	PROMEDIOS
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	1.81	1.83	1.82
HUMEDAD NATURAL W (%)	2.08	21.6	10.99
ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ (º)	16.71	32.62	25.47
COHESION C' (ton/m^2)	0	0	0
LIMITE LÍQUIDO Ll (%)	15.4	39	20.73
LIMITE PLASTICO Lp (%)	8.7	26	14.73

5.3.3. **Depósito coluvial grueso (Qc2)**

En general, está conformado en un 40% por bloques, cantos angulares, gravas subangulares gruesas, y un 60% de matriz arenosa gris a amarilla de alta compresibilidad y alta plasticidad de consistencia media a firme. La humedad natural es baja, permeabilidad alta. Pendiente de 60%, con profundidades variables hasta 5m; las principales características geotécnicas se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 9 Propiedades del material Qc2

PROPIEDADES	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	1.92	1.95	1.94
HUMEDAD NATURAL W (%)	27.1	34.2	29.47
ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ (º)	30.5	34.4	32.45
COHESION C' (ton/m^2)	0	0	0
LIMITE LÍQUIDO Ll (%)	65	65	65
LIMITE PLASTICO Lp (%)	31	31	31

5.3.4. **Areniscas (S_s)**

Arenisca cuarzosa moderadamente fracturada, con buzamiento en dirección de la pendiente, se presenta localizada principalmente en la parte alta y media de la ladera de color gris a amarillo. Las variabilidad de las características geotécnicas de este material se presentan a continuación:

Tabla 10 Propiedades del material Sc

PROPIEDADES	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	1.63	5.94	3.03
HUMEDAD NATURAL W (%)	3.8	3.8	3.8
ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ (º)	31.4	31.4	31.4
COHESION C' (ton/m^2)	1.11	1.11	1.11
LIMITE LÍQUIDO Ll (%)	25	25	25
LIMITE PLASTICO Lp (%)	22	22	22
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	8173.9	81.4	4909.6



FOTO 28. *Aforamiento de areniscas altamente meteorizadas y fracturadas en la pata del talud del muro de la escuela Villas del Diamante la parte superior del Barrio Villa Gloria*

5.3.5. **Lodolitas y arcillolitas (Cs)**

Lodolitas o arcillolitas, color amarillo grisáceo, que se presentan en la zona en bastante laminar, humedad media. Las siguientes son sus características geotécnicas:

Tabla 11 Propiedades del material Cs

PROPIEDADES	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
PESO UNITARIO γ (ton/m^3)	1.83	1.9	1.91
HUMEDAD NATURAL W (%)	21.6	69.8	41.89
ANGULO DE FRICCION INTERNA Φ (º)	28.7	28.7	28.7
COHESION C' (ton/m^2)	1.43	1.43	1.43
LIMITE LÍQUIDO Ll (%)	39	122	76.67
LIMITE PLASTICO Lp (%)	26	39	32.67

5.4. VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Para determinar la variabilidad de los parámetros de resistencia de los diferentes materiales se tuvieron en cuenta tanto los datos obtenidos directamente en laboratorio (ensayos de corte directo y triaxial) como correlaciones con el ensayo de penetración estándar (SPT), ajustándolos a una envolvente de falla tipo Mohr – Culomb, y obteniendo la variación de los mismos según el método de Larson.

5.4.1. Resultados de los ensayos de corte directo

En la **Tabla 12** Ensayos de resistencia realizados" se relaciona el número de ensayos de resistencia al corte, cuyos resultados se presentan en el **Anexo II**. Los análisis de los parámetros obtenidos por el método de Larson se presentan en el **Anexo VI**.

Tabla 12 Ensayos de resistencia realizados

Tipo de ensayo	Cantidad
Triaxial CU con medición de presión de poros	1
Corte directo en suelo	5
Compresión inconfinada en roca	3

Tabla 13 Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo de corte directo

Material	ϕ' (º)		c' (ton/m²)	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Qc1	27,121	13,715	0,771	0,500
Qc2	30,384	4,536	0,000	0,000
Qr	13,536	0,176	0,957	0,013
Cs	27,804	0,124	0,221	0,001
Ss	31,216	2,560	0,000	0,000

5.4.2. De correlaciones con el ensayo de penetración estándar

Se utilizó la metodología propuesta por el Ingeniero Álvaro González[3], donde, en primera instancia se obtiene el ángulo de fricción interna del material por medio de la correlación con el SPT, propuesta por Kishida; posteriormente se determina el esfuerzo de corte en la falla (utilizando el criterio de falla de Mohr-Coulomb) dado esté ángulo (suponiendo un esfuerzo normal de falla igual al esfuerzo efectivo in-situ). Teniendo el total de los resultados (puntos de corte a diferentes esfuerzos normales) se puede determinar la línea de falla, obteniéndose así el ángulo de fricción efectivo y la cohesión efectiva del material.

A continuación se enuncian los pasos realizados para obtener los parámetros de resistencia de los materiales:

- El primer paso consiste en encontrar el N_{70} o número de golpes por pie corregido a una energía del 70%.

[3] González, A. (1999). **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT**. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. SCI – SCG. Santafé de Bogotá D.C.

- Una vez obtenido N_{70} se calcula el valor del ángulo de fricción interna (ϕ) por la correlación de Kishida:

- $\phi = \sqrt{20 \times N_{70}} + 15$

- Siguiendo el criterio de falla de Mohr – Coulomb, se procede a calcular el valor correspondiente al esfuerzo cortante suponiendo una cohesión de cero (suponiendo que el ϕ hallando anteriormente es el ángulo de fricción total).
- Se realiza una gráfica esfuerzo normal efectivo v.s. esfuerzo cortante obteniendo de la correlación lineal los valores de c' y ϕ'.

Los análisis de los parámetros obtenidos por el método de Larson se presentan en el **Anexo VI**, y se resumen en la Tabla 14. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo SPT

Tabla 14. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo SPT

Material	ϕ' (º)		c' (ton/m²)	
	Promedio	**Desviación**	**Promedio**	**Desviación**
Ss	28,806	1,596	1,520	0,100
Qc1	35,139	1,994	0,000	0,000
Qc2	30,797	3,740	0,000	0,000
Qra	23,680	11,496	0,000	0,000
Cs	31,778	1,732	0,000	0,000

6. HIDROLOGIA E HIDRÁULICA

6.1. GENERALIDADES

La zona de estudio está ubicada al Suroccidente de Bogotá, entre la quebrada Limas y el zanjón de Limas; al norte del barrio Villas del Diamante. En este sector, durante los últimos años se ha presentado una creciente intervención urbana, debido al desarrollo de barrios de invasión en sus laderas y rondas, sin ningún control de las aguas lluvias y negras. Esto ha dado lugar a un aumento en la escorrentía superficial y en la energía erosiva de la lluvia y por ende a la generación de procesos de erosión superficial. Estos últimos causados por alteración de la red de drenaje natural existente y por la falta de un sistema de drenaje adecuado y acorde al comportamiento hidrológico del sector.
Con el objeto de realizar la zonificación de remoción en masa, se hace necesario desarrollar el presente estudio hidrológico para la zona en estudio
Los objetivos del estudio hidrológico son:

- 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 a 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 (2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

6.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El análisis hidrológico fundamenta su análisis en la recopilación y estudio de la información obtenida mencionada en el numera 1.4 del presente estudio.

6.3. 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, con el incremento de los caudales de escorrentía superficial, por lo que se 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.

6.3.1. **Precipitación**

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico, se utilizaron los registros históricos de precipitación total mensual de la estación Quiba (2120205 - QBA), la cual es la estación más cercana y representativa para la zona en estudio. A continuación en la

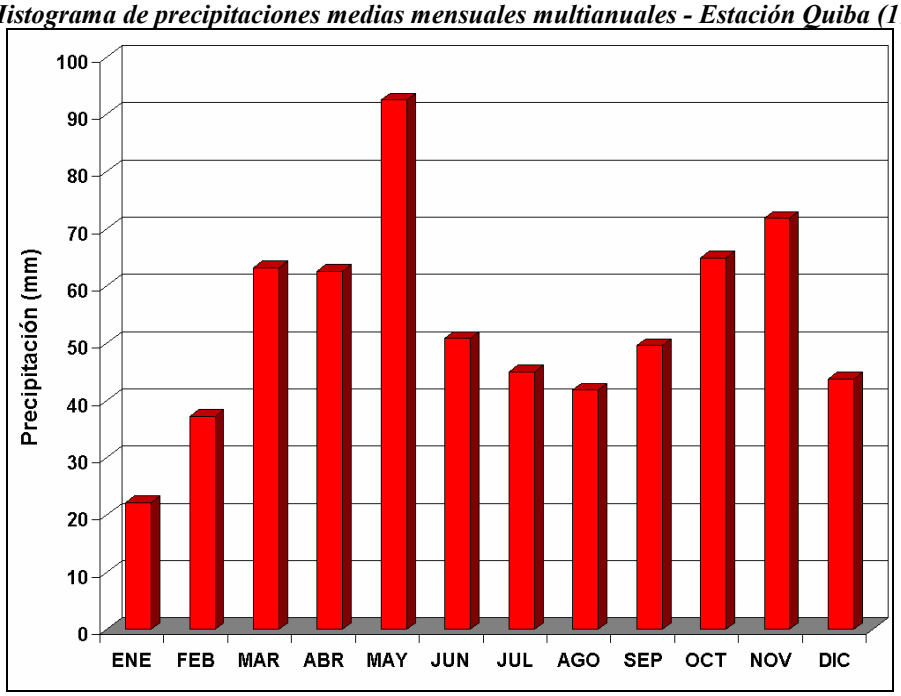
Tabla 15 Estación hidrometeorológica utilizada para caracterizar la zona de estudio. se presentan las características de la estación hidrometeorológica utilizada:

Tabla 15 Estación hidrometeorológica utilizada para caracterizar la zona de estudio.

CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	COORDENADAS		PERIODO	ENTIDAD OPERADORA
			NORTE	ESTE		
2120205	QUIBA	3000	992.734	990.484	1990 - 2002	E.A.A.B.

La distribución temporal de la precipitación presenta una tendencia en forma bimodal o ecuatorial, con dos períodos lluviosos entre los meses de marzo a mayo, en el primer semestre del año y octubre a noviembre en el segundo semestre, observándose un máximo de precipitación hacia mediados de año en el mes de mayo con un promedio mensual multianual de 92.5 mm.

Figura 9 Histograma de precipitaciones medias mensuales multianuales - Estación Quiba (1990 - 2002).



La precipitación media multianual en la estación Quiba es del orden de 645.7 mm, registro muy similar a los 600 mm obtenidos espacialmente en 1998 con la Distribución espacial de la Precipitación media Anual en Bogotá. (Véase **Figura** 10 y 13).

6.4. 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. En este estudio se dividió la ciudad capital, Bogotá en 7 zonas

pluviográficas y a cada una se le asignó una curva IDF característica. Con base en el Estudio reseñado, el sector de análisis está ubicado en la Zona 4, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es La Granja-San Jorge (2120172), operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B - ESP; la curva IDF para esta zona se presenta a continuación en la **figura** 10 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación Granja - San Jorge (2120172).

Figura 10 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación Granja - San Jorge (2120172).

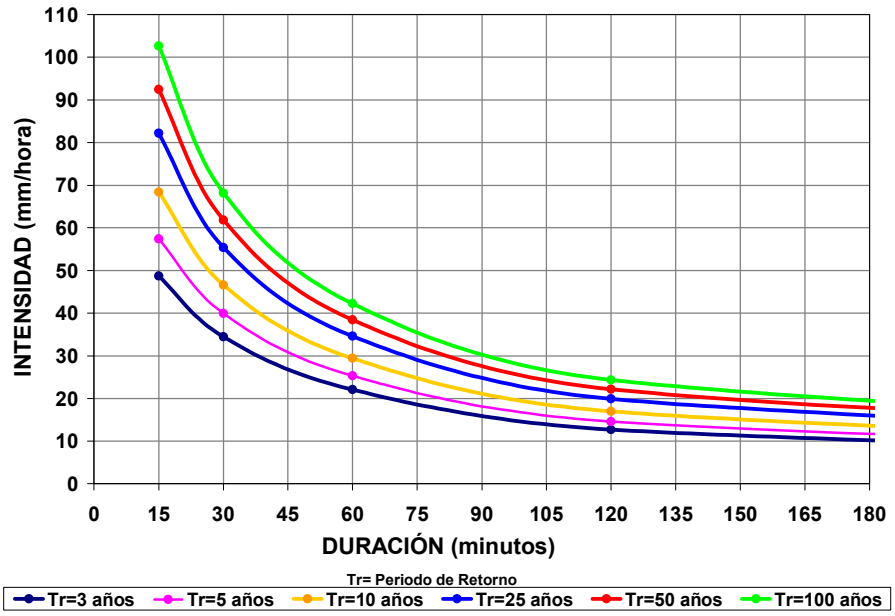


Tabla 16 Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) Estación Granja - San Jorge (2120172).

duración	tr (años)					
minutos	2.33	5	10	25	50	100
15	48.72	57.42	68.38	82.21	92.49	102.67
30	34.47	39.91	46.64	55.4	61.82	68.19
60	22.09	25.34	29.43	34.59	38.43	42.23
120	12.68	14.55	16.95	19.92	22.15	24.35
360	4.85	5.5	6.37	7.47	8.27	9.06

Con las curvas presentadas en la figura anterior, Se obtienen las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno, con una duración dada (tiempo de concentración); estos valores son fundamentales para la generación de caudales, con el fin de establecer las secciones de diseño; de las obras de drenaje.

6.5. LLUVIA CRÍTICA[4] (RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO)

La precipitación es el factor que comúnmente se asocia con los fenómenos de remoción en masa, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de aguaceros de gran magnitud, o durante los periodos lluviosos, ya que al producirse la precipitación, el agua puede ser conducida por la superficie en forma de escorrentía o puede filtrarse a través de ella. El primero de estos dos fenómenos ocasiona problemas de erosión, principalmente en zonas donde no hay cobertura vegetal, donde la presencia de surcos y cárcavas puede hacer al talud susceptible al deslizamiento por medio de la infiltración, el agua procedente de la lluvia puede actuar en el talud o ladera de varias formas:

- Aumentando la presión de poros y por consiguiente disminuyendo los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte.
- Originando presiones hidrostáticas en las diaclasas de las masas rocosas.
- Produciendo fuerzas hidrodinámicas, especialmente cuando el agua fluye en sentido paralelo a la superficie del talud o ladera.
- Reduciendo la cohesión del material (ablandamiento).
- Acelerando la meteorización.
- Produciendo erosión interna.
- Incrementando el peso total de la masa por humedecimiento de la misma.

El efecto adverso de los anteriores procesos en la estabilidad del talud o ladera es aumentado por la ocurrencia de las lluvias, durante varios días consecutivos o con pocos días de diferencia debido a que el talud no ha drenado el agua infiltrada de una lluvia cuando ocurre la siguiente y produce un fenómeno de acumulación progresiva hasta alcanzar los umbrales de inestabilidad que disparan el movimiento de una parte o de toda la ladera.
Debido a la falta de un inventario de deslizamientos con fecha de ocurrencia y localización del evento dentro del área de estudio; no se logró hacer un análisis estadístico local y detallado de la relación lluvia deslizamiento para la zona en estudio. Por esta razón se optó por utilizar el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998), para determinar la relación precipitación crítica – duración (relación lluvia – deslizamiento). En este estudio en donde a partir de un inventario histórico de deslizamientos (en Bogota) detonados por lluvias y de registros históricos de precipitaciones diarias de estaciones ubicadas en Bogota; se encontró que la ciudad de Santafé de Bogotá se puede dividir en dos zonas, a partir de la lluvia crítica y de su duración, mediante las ecuaciones ilustradas en la **Tabla 17** Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá - (INGEOCIM - UPES, 1998).

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

Tabla 17 Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá - (INGEOCIM - UPES, 1998).

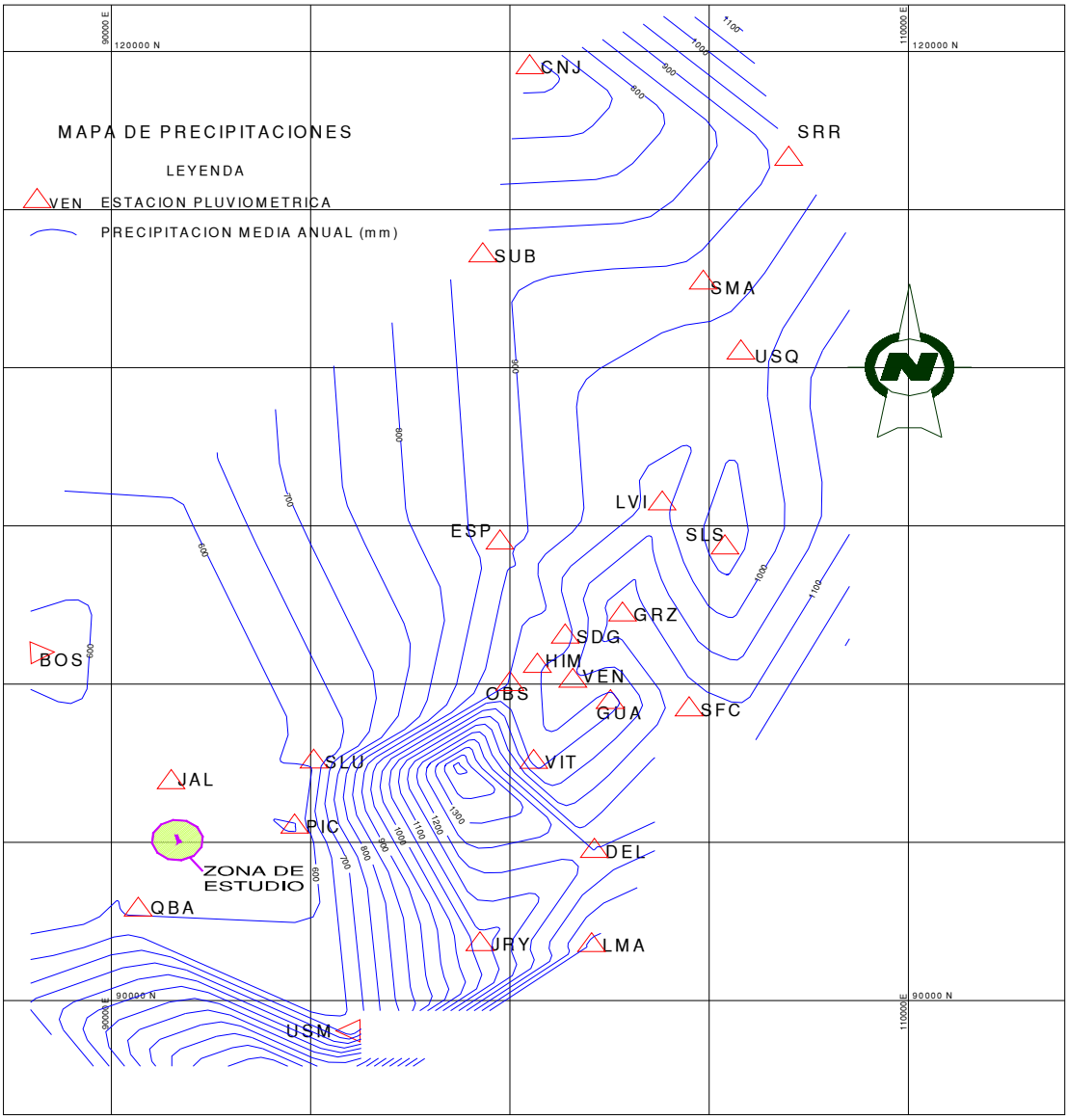
ZONA	LLUVIA CRÍTICA (mm)	DURACIÓN (DÍAS)
Suroccidental	0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$
Cerros orientales	12.6325 + 0.1814 x Lluvia anual (mm)	0.04923 * LLcrit

Con base en los análisis se logró determinar que el sector de estudio corresponde a la zona Suroccidental (INGEOCIM - UPES, 1998), para lo cual, a partir de los valores de lluvia anual registrados en la estación Quiba se obtuvo una precipitación acumulada critica de 216.5 mm, con duración de 30.7 días y un período de retorno de 29 años. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la probabilidad anual de ocurrencia de la precipitación acumulada crítica, con duración de 30.7 días es del orden de 3.45%. A continuación se presenta la estimación obtenida en la estación Quiba.

Tabla 18 Estaciones estudiadas

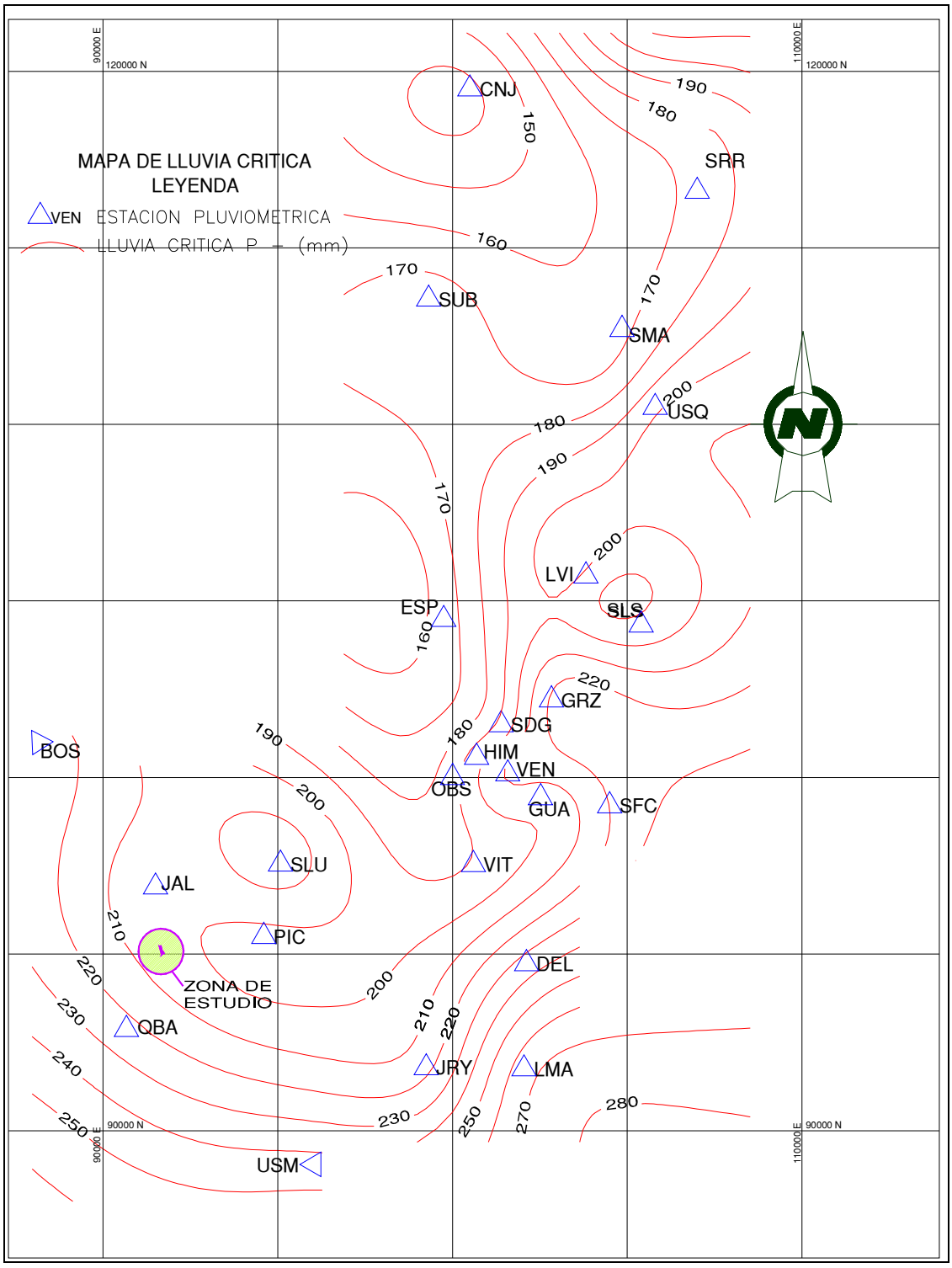
	ZONA SUROCCIDENTAL			
	LLUVIA ANUAL	**LLUVIA CRITICA**	**DURACIÓN**	**T. DE RETORNO**
Estación Quiba	600	217	31	29

Figura 11. Curvas de Precipitación Total Anual - para la zona de estudio.[5]



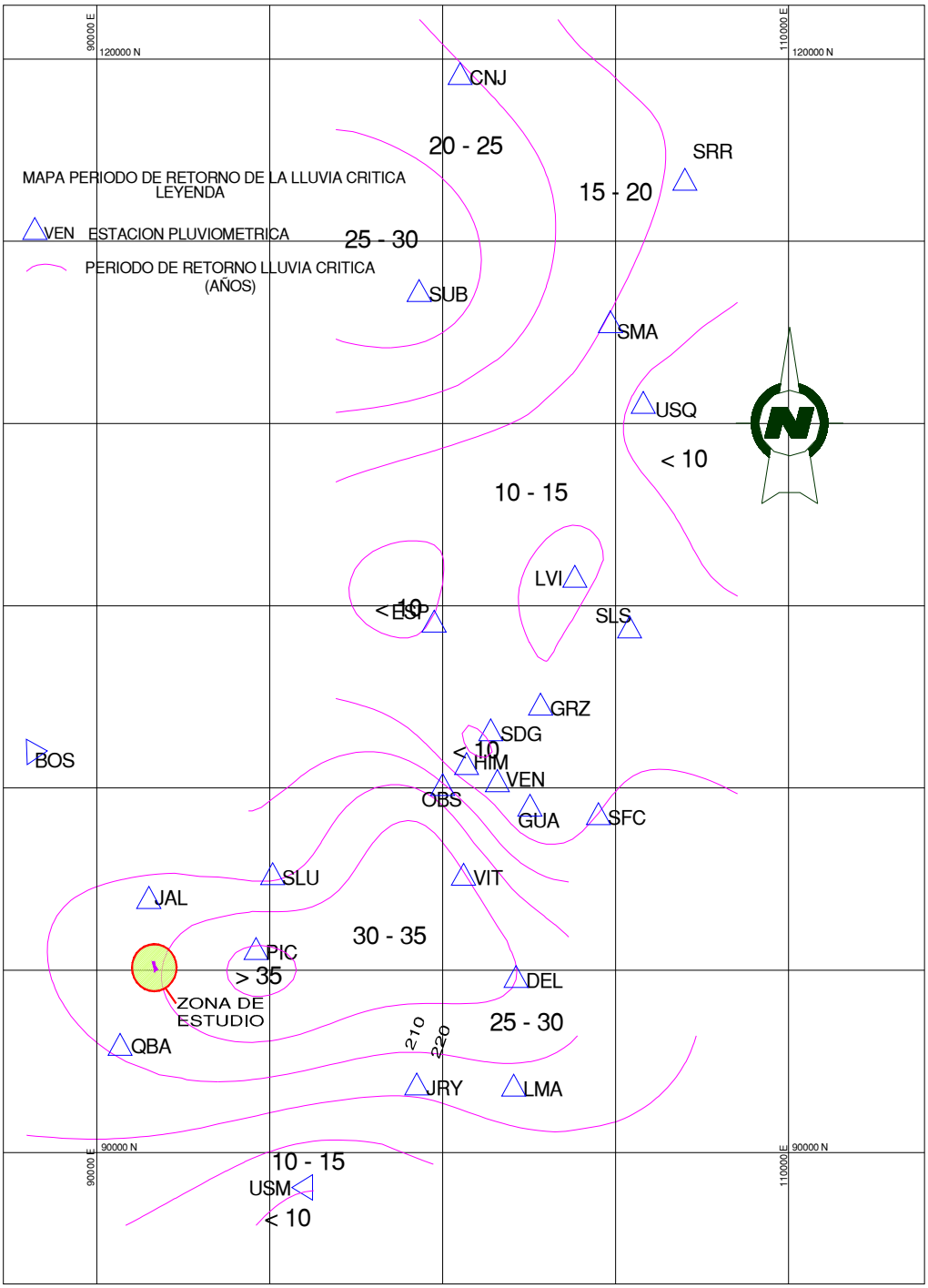
[5] Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998)

Figura 12 Curvas de Precipitación Crítica - para la zona de estudio.[6]



[6] Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998)

Figura 13 Curvas de Periodos de Retorno de la Precipitación Critica - para la zona de estudio.[7]



[7] Tomado de "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998).

6.6. CAUDALES MÁXIMOS POR ESCORRENTÍA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Para la estimación o el cálculo 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:

6.6.1. **Método Racional**

Este planteamiento o modelo de estimación de caudales máximos generados por escorrentía, se identifica con la siguiente ecuación:

$$Q = k \times i \times A \times c$$

Donde Q es el caudal pico (m^3/s); k un factor de conversión que en el sistema métrico es igual a 0.028 ($lt/s/m^2$ mm/hr); i la intensidad máxima para la frecuencia de diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca vertiente (mm/hr); A el área aferente (ha); c el coeficiente de escorrentía, con valor numérico entre 0 y 0.8, que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo.

6.6.1.1. Determinación de áreas de drenaje

En primer lugar se definieron las áreas de drenaje en los sitios; donde se requiere de la evaluación de los caudales máximos generados por escorrentía, como se mencionó anteriormente para áreas de drenaje inferiores a 1.0 Km^2.

6.6.1.2. 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. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es de difícil determinación, si se emplea la información observada. Por tal motivo se optó por asumir el valor del coeficiente de escorrentía teniendo en cuenta el uso del suelo; bajo las siguientes recomendaciones, que incluyen el relieve del terreno, permeabilidad, vegetación y la capacidad de almacenaje en las microcuencas, tal como se pueden apreciar en la siguiente Tabla.

Tabla 19 Parámetros recomendados para la estimación del coeficiente de escorrentía en zonas no urbanizadas.

RELIEVE DEL TERRENO	**40**	**30**	**20**	**10**
	Muy accidentado	**Accidentado**	**Ondulado**	**Llano**
	m>30%	**10%<m<30%**	**5%<m<10%**	**M<5%**
PERMEABILIDAD DEL SUELO	20	15	10	5
	Muy Impermeable	bastante Impermeable	bastante Permeable	muy Permeable
	Roca	Arcilla	Normal	Arenas
VEGETACIÓN	20	15	10	5
	ninguna	Poca	Bastante	Mucha
		- del 10% de la superficie	hasta el 50% de la superficie	hasta el 50% de la superficie
CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE AGUA	20	15	10	5
	ninguna	Poca	Bastante	Mucha
VALOR DE K	75 - 100	50 – 75	30 – 50	25 – 30
VALOR DE C	0.65 - 0.80	0.50 - 0.65	0.35 - 0.50	0.20 - 0.35

Con esta gama de valores de los coeficientes de escorrentía; para las zonas no urbanizadas, además de la distribución de áreas por uso en la zona de estudio y teniendo en cuenta el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje; se optó por estimar un valor conservador para el coeficiente de escorrentía igual a C = 0.50.

6.6.1.3. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, o tiempo requerido para que el agua caída en el punto más alejado de la cuenca hidrográfica fluya a una sección específica de análisis en el drenaje, es función de las características topográficas de la cuenca. En este caso, por tratarse de microcuencas de pendiente media a baja, el tiempo de concentración se pudo evaluar gracias a la formula de Kirpich:

$$Tc = 4 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

- En donde:
- Tc: tiempo de concentración en minutos
- L: Longitud en kilómetros
- S: la pendiente en m/m

Bajo el marco reseñado, los tiempos de concentración calculados que sean inferiores a 15 minutos; para efectos de cálculo de los caudales se adoptó de manera conservativa en estas cuencas como tiempo de concentración mínimo 15 minutos.

6.6.1.4. Intensidad

Para la aplicación del método racional la intensidad de diseño se deduce de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (Véase Curvas de intensidad - duración - frecuencia "IDF" (figura 2). La frecuencia se determina con base en el riesgo de que el evento de diseño sea igualado o excedido por lo menos una vez. La duración del aguacero de diseño es igual al tiempo de concentración.
Con base en los parámetros anteriormente enunciados, se estiman los caudales máximos con áreas de drenaje iguales a 0.5 Ha, 1.0 Ha, 2.0 Ha, 3.0 Ha y 4.0 Ha aplicando el método racional.
A continuación se presentan los cálculos obtenidos en la estimación de caudales:

Tabla 20 Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje

				PERIODO DE RETORNO					
				2.33	5	10	25	50	100
				Intensidad (mm/hr)					
ZONA	**ÁREA**	**C**	**Tc**	**56.9**	**69.4**	**90.4**	**101.8**	**130.0**	**164.0**
	Ha		**Min**	**CAUDALES (m³/s)**					
Área 1	0.50	0.5	10.0	0.03	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
Área 2	1.00	0.5	10.0	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14
Área 3	2.00	0.5	10.0	0.14	0.16	0.19	0.23	0.26	0.29
Área 4	3.00	0.5	10.0	0.20	0.24	0.29	0.34	0.39	0.43
Área 5	4.00	0.5	10.0	0.27	0.32	0.38	0.46	0.51	0.57

6.7. DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS PROPUESTAS

En este capítulo se relacionan los principales criterios tenidos en cuenta en la evaluación del drenaje, los resultados obtenidos y el plan de obras propuestas para su implementación.
El objeto de este estudio es evaluar la capacidad hidráulica en función de sus dimensiones y características de disposición para evacuar los caudales máximos a que se verán exigidas.
Los trabajos se desarrollaron según la siguiente recomendación:
Se fijaron 10 años de Periodo de retorno para los caudales de diseño de las cunetas colectoras y/o zanjas de coronación en concreto.

6.7.1. **Hidráulica de Obras de Drenaje**

Específicamente, los criterios adoptados para el análisis y evaluación hidráulica de las obras se detallan a continuación:

6.7.2. **Cunetas**

Son canales colectores de drenajes o laterales a las vías, que recogen las aguas de escorrentía; en este caso, las cunetas servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas de las laderas, de los taludes de corte y relleno, con el fin de evitar la erosión y la infiltración y/o saturación en los taludes.

Para el cálculo de las cunetas 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 son los siguientes:
Las frecuencias de las crecientes de diseño para las cunetas:

- Cunetas Tr
- Capacidad Total 10 años

Las pendientes longitudinales de la zona de estudio, en donde se utilizaran estructuras son superiores al 2%; por lo tanto se recomienda revestir las obras (canales, cunetas, etc) en concreto, piedra pegada y/o suelo cemento etc, con el fin de evitar la profundización de los mismos. Para las zonas donde las velocidades sean superiores a 6.0 m/s, se recomienda combinar cunetas con disipadores de energía.
La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.

7. SUSCEPTIBILIDAD

7.1. GENERALIDADES

De acuerdo con los reconocimientos de campo y la cartografía ejecutada la zona presenta una alta susceptibilidad a la formación de fenómenos de remoción en masa por deslizamiento traslacional principalmente. Estos deslizamientos traslacionales se pueden ver acelerados durante las épocas de lluvia e involucran las zonas en donde se han construido todas las habitaciones del barrio.
Durante los recorridos se observaron a la parte superior algunas casas colapsadas y este fenómeno puede ser extensivo para aquellas casas en donde no haya muros de contención en las excavaciones y los rellenos no hayan sido debidamente confinados. Por esta razón se seleccionaron los mapas de pendientes, geología, geomorfología, intervención antrópica así como las franjas de terracetas y manifestaciones de agua. A cada uno de estos poligonos se les asignó un valor de susceptibilidad entre 1 y 10. Siendo 1 el menos susceptible y 10 el de mayor susceptibilidad.
Posteriormente con el programa ILWIS, se combinaron cada uno de estos productos y se obtuvo una sectorización por susceptibilidad al deslizamiento.
Este mapa será uno de los insumos para los análisis de riesgo.

7.1.1. **Mapa de pendientes.**

Se considera que las zonas de las áreas con rojo y naranja corresponden a aquellas zonas de mayor pendiente y que debido a la presencia de depositos pueden ser las mas susceptibles al desarrollo de fenómenos de remocion en masa. Así mismo los poligonos amarillos y verdes las pendientes son menores y por consiguiente hay una menor susceptibilidad a la formación de deslizamientos traslacionales.

Tabla 21 Categorización de pendientes

Categoría	Peso
Menor de 5	1
5 a 15	2
16 a 30	4
31 a 45	5
Mayor de 45	6

7.1.2. **Mapa de Geología.**

En este mapa se observan los poligonos a los cuales según el tipo de roca o deposito se les asignaron valores de mayor o menor susceptibilidad siendo los más susceptibles aquellas unidades litológicas con menor grado de consolidación.

Tabla 22 Categorización geológica

Categoria	Peso
Menor de 5	1
Ktgm	3
Ktgs	4
qcl1	3
qcl2	5
Qra	6

7.1.3. **Mapa de Geomorfología.**

A este mapa se le asignaron valores de susceptibilidad dependiendo de las caracteristicas geomorfologicas, dando valores bajos para aquellas zonas rocosas de alta consolidación y disminuyendo hasta las zonas modeladas por depósitos no consolidados y botaderos locales.

Tabla 23 Categorización geomorfologica

Categoria	Peso
LR1	2
LR2	4
LC1	5
LC2	3
LC3	3
LCSR	4
LR	6

7.1.4. **Mapa de Intervención antrópica**

Este mapa fue elaborado con base en el tipo de intervención antrópica para la zona aterrazada para la construccion de las viviendas se le asignó un mayor valor y las franjas de las escaleras un valor intermedio, para los taludes naturales un menor valor. Es de anotar que este mapa es muy importante puesto que por ejemplo para las zonas de las casas intervenidas por las explanaciones han dejado cortes y rellenos, los cortes pueden colapsar en las zonas de contacto entre el coluvion y la roca y los rellenos se pueden asentar o deslizar sobre las casas vecinas. Debido a que su levantamiento detallado es muy complejo se tomaron polígonos amplios para las zonas de las casas y las escaleras agrupándolas y dándoles su respectivo valor. También se tuvo en cuenta que aquellas zonas de construcción aislada (con un buffer de 3 m), también se les dio una calificación alta debido a la intervención de la ladera asignándole un valor similar al del área intervenida por las casas en el centro del barrio. Puesto que en la edificación misma y los alrededores ha habido intervención, la cual ha cambiado las condiciones originales del terreno y pueden generar caídas de los cortes por pérdida de soporte lateral o asentamientos y deslizamientos traslacionales en las áreas de relleno.

Tabla 24 Categorización antropica

Categoría	Peso
Alta	5
Baja	2
Media	1

7.1.5. **Mapa de terracetas.**

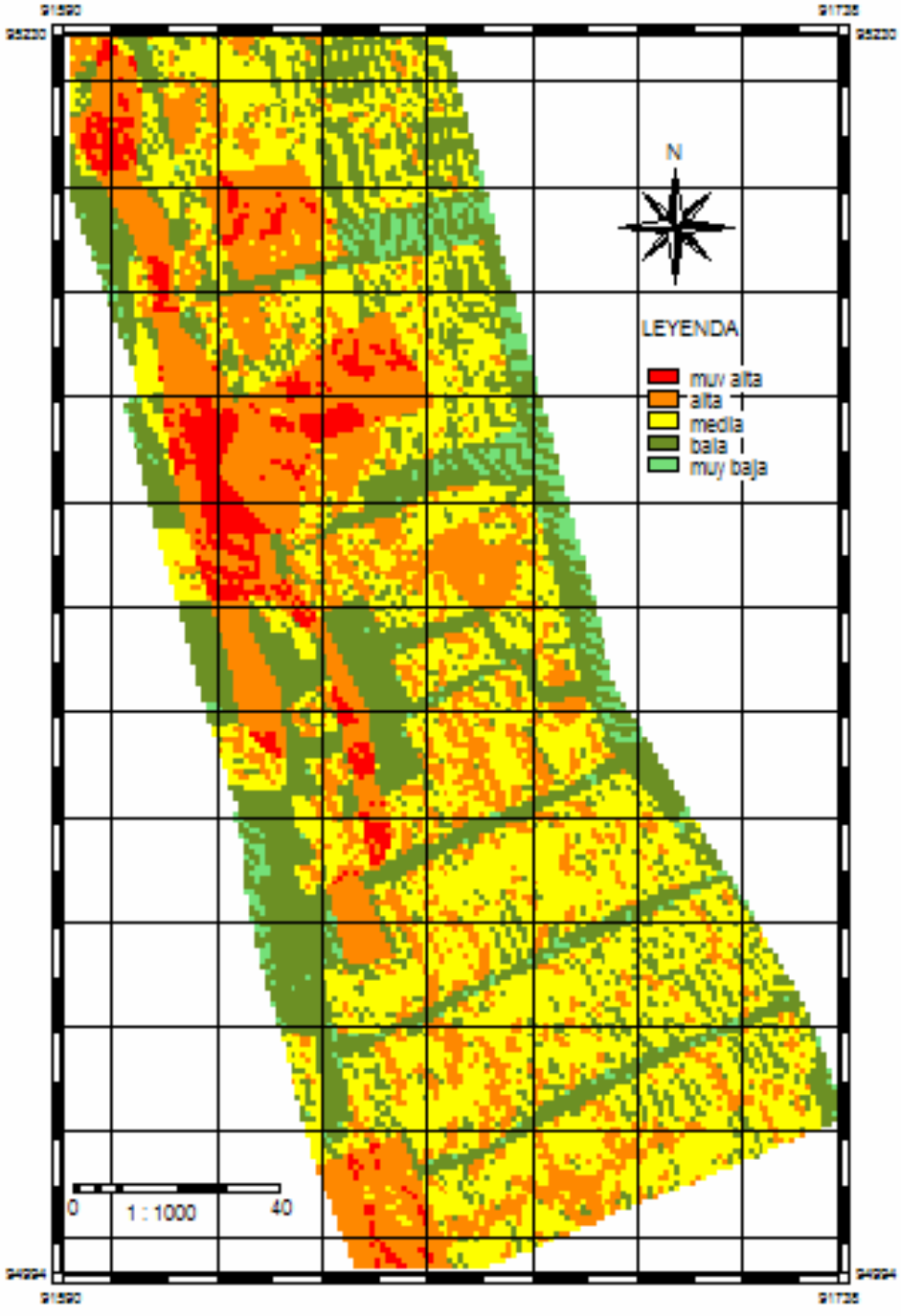
Los datos de agrupación de grietas y de resurgencia de aguas tambien fueron tenidos en cuenta y se generaron franjas a las cuales se les asignó un grado de susceptibilidad puesto que estos dos elementos son indicios que constituyen elementos propicios para la generación de fenómenos de remoción.

Tabla 25 Caracterización de terrazas

Categorías	Peso
Manifestaciones de agua	8
Manifestaciones de Terracetas	9

A continuación se presenta el mapa de susceptibilidad producto de los insumos mencionados anteriormente: Se aprecian las zonas de susceptibilidad alta y muy alta asociadas a las áreas con pendientes mayores a 45 grados, intervención antrópica alta y zonas con presencia de terracetas y manifestaciones de agua. Susceptibilidad media para las zonas con intervención antrópica alta y pendientes entre 16 y 45 grados. Susceptibilidad baja y muy baja para las zonas con intervención antrópica media a baja.

Figura 14 Mapa de Susceptibilidad



8. AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

8.1. GENERALIDADES

En forma general, el Factor de Seguridad (FS) de un talud está dado por la relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. A su vez las fuerzas resistentes son función de los parámetros de resistencia del material (ángulo de fricción ϕ, y cohesión c), la presión de poros, la aceleración producida por el sismo (α), el peso unitario (γ) y el ángulo del talud (β); las fuerzas actuantes, a su vez, son función del peso unitario (γ), el ángulo del talud (β), la presión de poros y la aceleración producida por el sismo (α). Se puede decir que, todas las anteriores variables son aleatorias (con su respectiva distribución de probabilidad) que se pueden considerar como independientes; la convolusión de estas variables (según el modelo de falla) determina la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad (FS); se puede determinar la probabilidad de falla del talud (Pf) determinando la probabilidad de que el FS sea menor o igual a 1.0.
Bajo la hipótesis de que las variables son independientes, se puede decir que la distribución de probabilidades del factor de seguridad es igual a la multiplicación de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias, es decir:

$$f(FS) = f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)$$

Además, se tiene que:

$$FS = \varphi(\phi, c, \alpha, Ru)$$

Entonces, la probabilidad de falla se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Pf = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS)\, dFS = \iiint_S f(\phi) \cdot f(c) \cdot f(\alpha) \cdot f(Ru)\, d\phi\, dc\, d\alpha\, dRu$$

Donde S es el conjunto de todo (ϕ, c, α,Ru) tal que φ(ϕ, c, α,Ru) es menor o igual a 1.0, es decir cuando el FS es menor a la unidad (o sea, falla el talud).

8.2. SECCIONES DE ANÁLISIS

Para los modelos bidimensionales de estabilidad, se seleccionaron las seis (6) secciones de análisis típicas presentadas en el **Plano GE134-PL-06A**, donde se pueden distinguir cinco (5) tipos de materiales, tal como se describe en el numeral 5.

8.3. MÉTODO DE ANÁLISIS

8.3.1. **Deslizamientos en suelos**

En los suelos, para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas establecidas (ver Secciones 1 a 6 del **Plano GE135-PL-06A**) se utilizó el método de Monte Carlo, implementado en el software Slide 5.0 [8] de la casa RocScience Inc, en el cual por medio del método de equilibrio límite se dan resultados del factor de seguridad promedio probabilístico y determinístico, desviación estándar del factor de seguridad, valores máximos y mínimos del factor de seguridad y curva de mejor ajuste. Por último, los resultados del factor de seguridad, se ajustaron a una función de distribución de probabilidad beta.

La idea básica del método de Monte Carlo consiste en escribir la integral requerida como el valor esperado de alguna función con respecto a alguna distribución de probabilidad, lo cual sugiere una solución "estadística" al problema de integración.
Dada una función *y* (en este caso el factor de seguridad del talud), con variables aleatorias $x_1, x_2, \ldots x_n$, es decir:

$$y = f(x_1, x_2, \ldots\ldots x_n)$$

se definen los valores máximos y mínimos de cada una de las variables aleatorias como:

$x_n^+ = \bar{x}_n + \sigma(x_n)$, para el caso máximo

$x_n^- = \bar{x}_n - \sigma(x_n)$, para el caso mínimo

entonces, se define la probabilidad de cada combinación de casos (máximos y mínimos), así

$$p^{\pm\pm\ldots\ldots\pm} = \frac{1}{2^n}\left(1 + \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} a_{ij} \cdot \rho_{ij}\right)$$

Donde:

a_{ij} = 1 si las dos variables (*i*,*j*) son máximas o mínimas, o –1 en caso contrario

ρ_{ij} = Coeficiente de correlación entre las variables x_i y x_j

En general, para *n* variables se tienen 2^n probabilidades condicionales y $n(n-1)/2$ coeficientes de correlación.
Se define el valor esperado de la variable *y* como:

$$E(y) = \sum_{k=1}^{2^n} p_k^{\pm\pm\ldots\ldots\pm} \cdot f_k(x_1^{\pm}, x_2^{\pm}, \ldots\ldots x_n^{\pm})$$

[8] Software de análisis bidimensional de estabilidad por equilibrio límite.

y la desviación de la variable *y* como:

$$\sigma(y) = \sqrt{E(y^2) - (E(y))^2}$$

definiendo,

$$E(y^2) = \sum_{k=1}^{2^n} p_k^{\pm\pm\ldots\pm} \cdot \left[f_k(x_1^{\pm}, x_2^{\pm}, \ldots\ldots x_n^{\pm}) \right]^2$$

Una vez definido el valor esperado y la desviación de la variable aleatoria (factor de seguridad) se puede definir la probabilidad de excedencia de un valor determinado (en este caso FS>1) ajustándola a una función de probabilidad determinada (normal, lognormal, etc.)

En forma general, el factor de seguridad de un talud es función de cuatro variables; dos de ellas intrínsecas (los parámetros de resistencia) y dos extrínsecas (o factores externos, lluvia y sismo). Sin embargo, simplificando el problema se puede determinar probabilidades condicionales para los casos de factores externos, determinando cuatro casos, a saber:

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

De esta forma, la probabilidad de falla se puede determinar utilizando la regla de probabilidad total (González, 1992):

$$P(FS \le 1) = \sum_{i=0}^{1} \sum_{j=0}^{1} P\left[FS \le 1 / (S_i \cap L_j)\right] \cdot P(S_i \cap L_j)$$

Donde:
S_1 : Probabilidad de ocurrencia del sismo.
$S_0 = 1 - S_1$: Complemento de la probabilidad de ocurrencia del sismo.
L_1: Probabilidad de ocurrencia de la lluvia.
$L_0 = 1 - L_1$: Complemento de la probabilidad de ocurrencia de la lluvia.
Además, como la lluvia y el sismo son eventos independientes, se tiene que:

$$P(S_i \cap L_j) = P(S_i) \cdot P(L_j)$$

Con estas simplificaciones, se tiene que el factor de seguridad condicional es una función de los dos parámetros de resistencia (cohesión y ángulo de fricción), que se pueden representar como dos variables difusas (representadas por números difusos).

8.3.2. **Deslizamientos puntuales en taludes de corte y relleno**

En la zona, algunos de los habitantes del sector adecuan los sitios, realizando cortes (ver fotografía 30 y 31) y/o rellenos para la construcción de las viviendas. Algunas de estas viviendas carecen de materiales y especificaciones estructurales confiables.

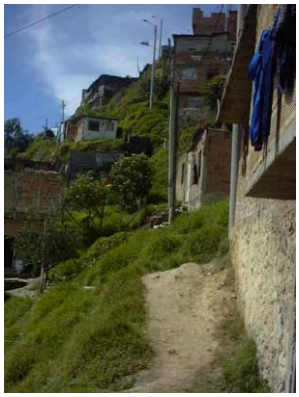


FOTO 29. *Muro construidos en la pata del talud de la vivienda en piedra pegada como parte de la cimentación de la vivienda, esta práctica es muy frecuente en el barrio Villa Gloria.*



FOTO 30. *Muro, construido para la adecuación de la vivienda sin vigas de amarre y con procesos constructivos deficientes.*

Para evaluar la estabilidad de estos cortes y rellenos, de forma conservadora y simplificada, se determinó la altura crítica (altura máxima para la cual el material de corte o relleno es estable sin necesidad de tener una estructura de contención), mediante la siguiente ecuación:

$$Hc = \frac{4 \cdot c \cdot Sen(\alpha) \cdot Cos(\phi)}{\gamma \cdot [1 - Cos(\alpha - \phi)]}$$

Donde:

c : Cohesión
ϕ : Ángulo de fricción
γ : Peso unitario
α : Ángulo del corte o relleno con la horizontal (en este caso 90°)

8.4. FACTORES INTRÍNSECOS

A continuación se presenta la variabilidad de los factores intrínsecos de los diferentes materiales que conforman el área de estudio, los factores detonantes influyentes y los resultados de los análisis de estabilidad probabilísticas.
De acuerdo con los resultados presentados anteriormente, se realizaron los análisis estadísticos para determinar la variabilidad de los parámetros de resistencia siguiendo

el criterio de falla Mohr-Coulomb, ajustándose a funciones de distribución normales truncadas (calculando los valores máximos y mínimos con una confiabilidad del 95%); los valores seleccionados luego de estos análisis se presentan en la **Tabla 26** Parámetros de resistencia seleccionados.

Tabla 26 Parámetros de resistencia seleccionados

Material	Parámetro	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Qc1	ϕ' (º)	27	1	25,3551	28,6449
	c' (kPa)	6	0,5	0	14,2243
Qc2	ϕ' (º)	31	4	24,4206	37,5794
	c' (kPa)	0	0,2	0	3,28971
Qr	ϕ' (º)	18	4,1	11,256	24,7439
	c' (kPa)	3	0,5	0	11,2243
Cs	ϕ' (º)	31	31	26,0654	35,9346
	c' (kPa)	0	0,5	0	8,22427

Los pesos unitarios utilizados en los modelos de estabilidad se presentan en la siguiente:

Tabla 27. Pesos unitarios de los materiales utilizados en los modelos

Material	γ_d (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)
Qr	18,8	11,62
Qc1	18,2	16,40
Qc2	19,4	14,98
Cs	19,1	13,46
Ss	22,8	21,97

8.5. FACTORES DETONANTES PARA EL CASO DE DESLIZAMIENTOS EN SUELOS

8.5.1. **Lluvia**

La distribución de probabilidad acumulada del nivel de agua, se ajustó a una distribución de probabilidad exponencial truncada, entre el nivel mínimo (referido como 0) y el nivel máximo (referido como 1), teniendo en cuenta el período de retorno de la lluvia crítica (**ver numeral** "LLUVIA CRÍTICA (RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO)

$$P(N \geq x) = \begin{cases} 1 & x < 0 \\ e^{-\lambda\left(\frac{x}{x-1}\right)} & 0 \leq x < 1 \\ 0 & x \geq 1 \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{1 - N_c}{N_c} \cdot Ln\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$Np = \frac{Ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\lambda + Ln\left(\frac{1}{2}\right)}$$

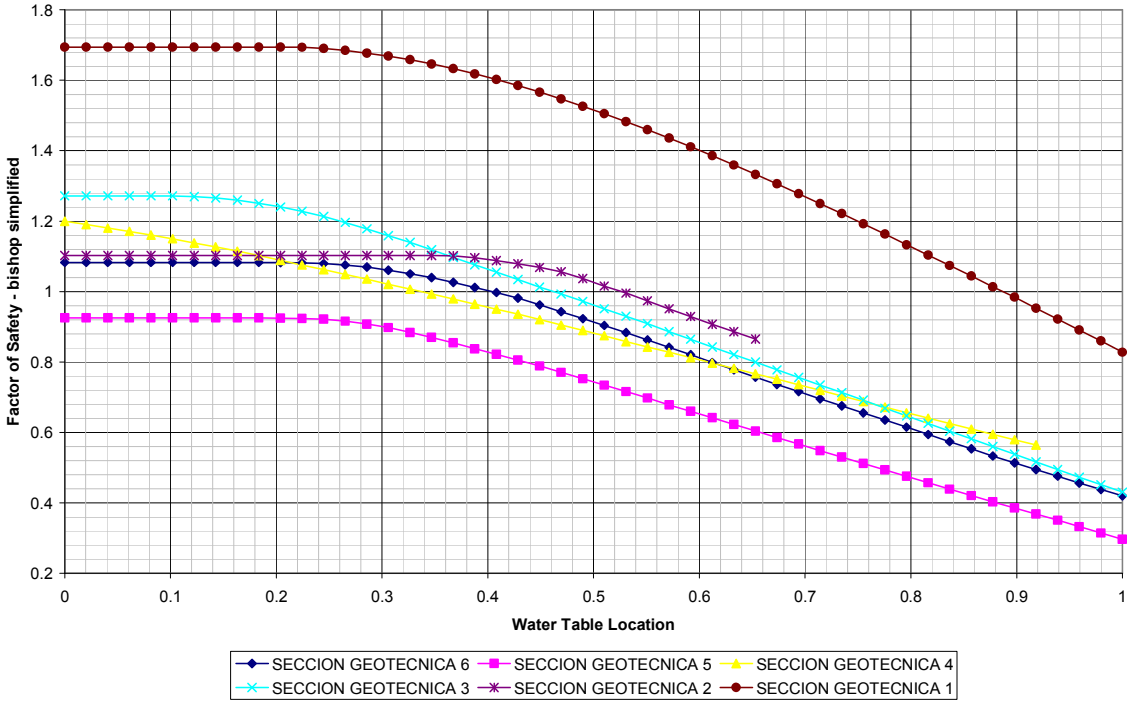
Nc : Nivel de agua crítico
T : Período de retorno de la lluvia crítica
Np : Nivel de agua promedio

El nivel de agua crítico se define como el nivel del agua para el cual, en condiciones promedio de resistencia, el talud presenta un factor de seguridad de 1,0; para determinarlo, se realizaron análisis de sensibilidad del factor de seguridad y el nivel del agua para las diferentes secciones de análisis (tomando como mínima el contacto con la roca y el máximo el nivel del terreno); los resultados de cada una de las secciones se resumen en la **Tabla** 28 Parámetros estadísticos para el nivel del agua en las diferentes secciones" en el la **figura** Factor de seguridad vs. Nivel del nivel freático"

Tabla 28 Parámetros estadísticos para el nivel del agua en las diferentes secciones

SECCION	λ	Np
1	-0.5032	0.579
2	-3.030	0.1861
3	-3.965	0.1504
5	-6.6276	0.0947
6	-4.9573	0.1227

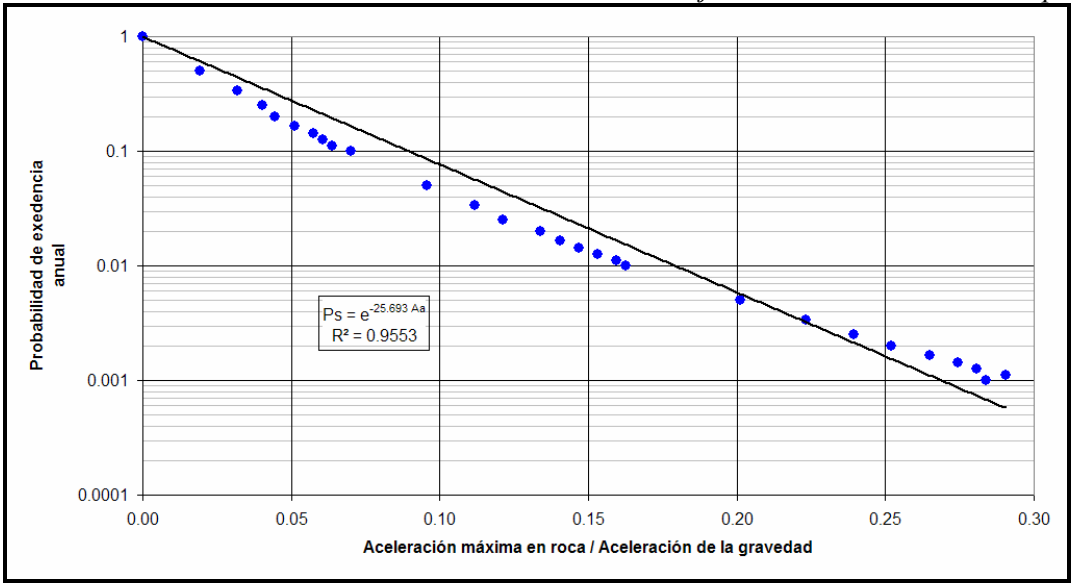
Grafica 1. Factor de seguridad vs. Nivel del nivel freático



8.5.2. **Sismo**

Para determinar la variabilidad de la aceleración máxima horizontal a nivel de roca, se utilizaron los datos del estudio de microzonificación sísmica de Bogotá (AIS, 1997), ajustándo loa datos a una función de probabilidad exponencial.

Grafica 2. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial

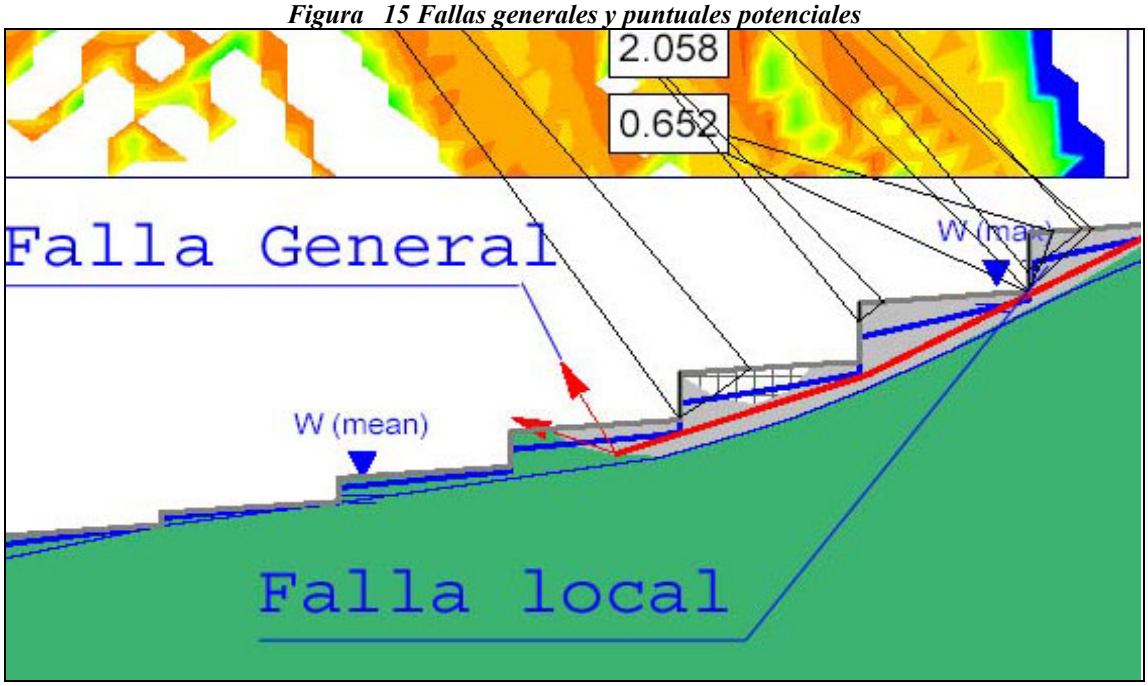


8.6. RESULTADOS

Los resultados de los análisis de estabilidad se clasificaron probabilísticas en suelos se presentan en el **Anexo VIII,** cuyo resumen se presenta a continuación.

En cada una de las secciones geotécnicas de se realizo un análisis general de estabilidad de la ladera y un análisis puntual de cada uno de las terrazas o muros presentes en la zona como se inda en las **figura** 15.

Figura 15 Fallas generales y puntuales potenciales



En total se corrieron 32 modelos con el ánimo de identificar las zonas potencialmente inestables las cuales se encuentran en el **Anexo VI y VII**

El principal material sobre el que potencialmente ocurrirían los movimientos son los depósitos coluviales que se encuentran en todas as las secciones de la ladera (parte alta media y baja) El análisis de estabilidad permitió determinar que La estabilidad de los materiales coluviales esta gobernada por la pendiente y el contenido de humedad, de la ladera; siendo de amenaza alta en la parte superior, media y baja cuando la pendiente decrece.

En las secciones de análisis, los depósitos couviales fueron característicos en todas las secciones y se encuentran localizadas en el **Plano GE134-PL-06B;**

El espesor de los depósitos son variables con profundidades de hasta 5.0 metros de profundidad, que suprayace sobre la roca. De acuerdo con los resultados presentados en el **Anexo VIII**, los factores de seguridad de la ladera en la parte alta varían de pendiendo de la sección de la ladera como se indica en la siguiente tabla:

29 Facteres de seguridad

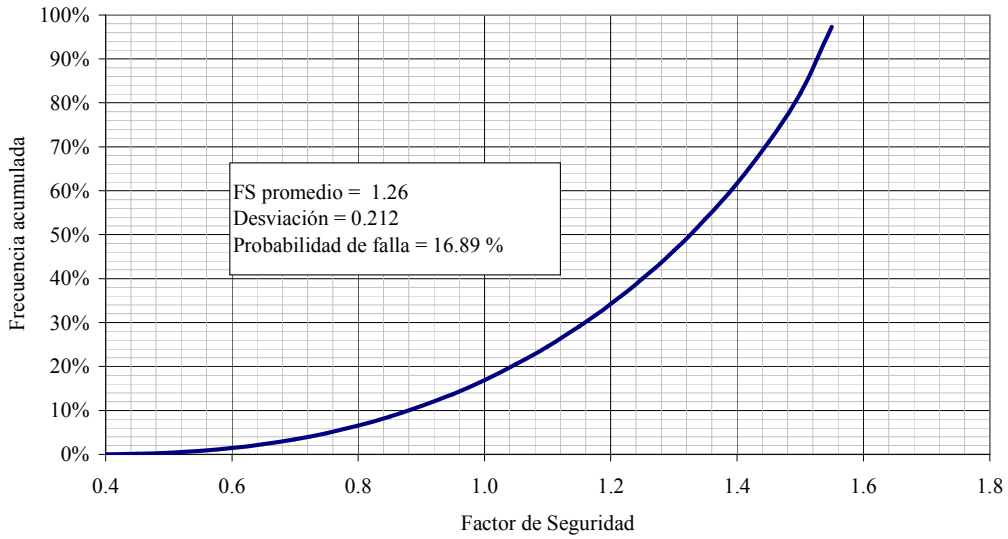
Zona geotecnica	FS MED	FS MAX	FS MIN	DES EST	PROB FALLA
1 Parte alta de la ladera	1.21	1.459	0.450	0.172	13.44%
2 Parte alta de la ladera	1.053	1.192	0.493	0.095	24.47%
3 Parte alta de la ladera	1.076	1.208	0.573	0.102	13.44%
5 Parte alta de la ladera	0.908	1.354	0.449	0.1522	73.43%
1 Parte media de la ladera	1.260	1.555	0.373	0.212	16.89%
2 Parte media de la ladera	1.121	1.532	0.742	0.147	4.07%
3 Parte media de la ladera	0.978	1.290	0.410	0.143	54.02%
5 Parte media de la ladera	0.72	0.879	0.394	0.0915	100.00%

La probabilidad de falla para los diferentes factores de seguridad se presentan en la Grafica 3 y en la siguiente tabla se resumen los factores de seguridad máximos, mínimos y promedios para una amenaza alta media y baja; así mismo se relaciona la probabilidad de falla para los valores antes mencionados:

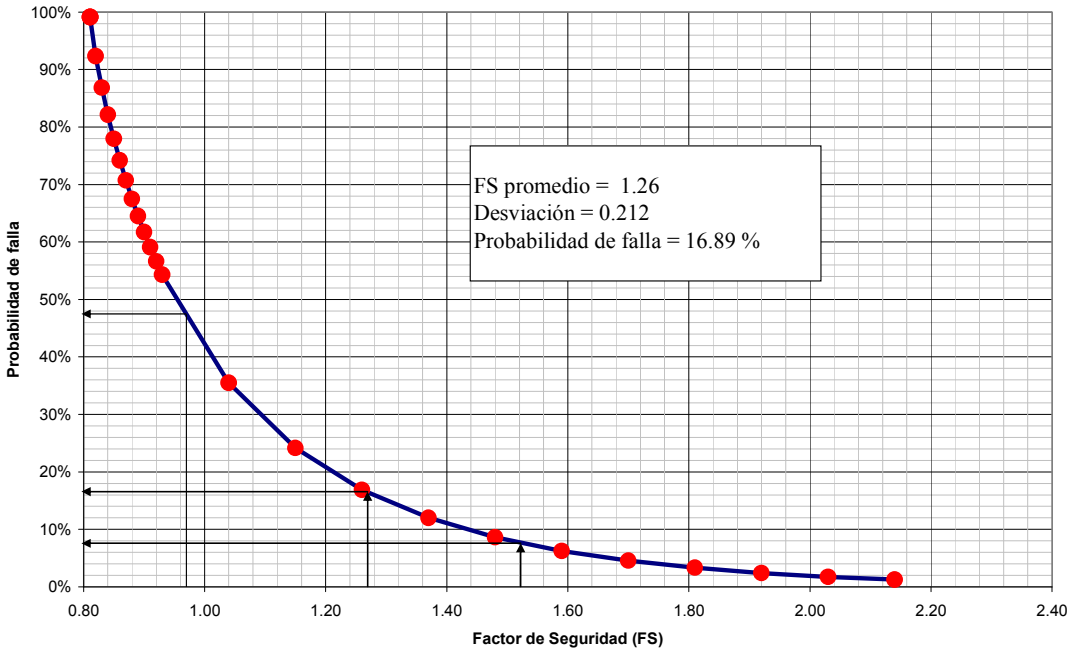
30 Amenaza encontrada en la laderade la ladera

ITEM	AMENAZA ALTA	AMENAZA MEDIA	AMENAZA BAJA
Factor de seguridad ALTA	1.10	1.53	2.22
Factor de seguridad PROMEDIO	0.91	1.26	1.90
Factor de seguridad MINIMO	0.71	0.99	1.58
Probabilidad de falla ALTA	29%	8%	1%
Probabilidad de falla PROMEDIO	73%	17%	3%
Probabilidad de falla BAJA	99%	48%	7%

Grafica 3. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico



Grafica 4. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad



8.7. MAPA DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS

Teniendo en cuanta el factor de seguridad mínimo en cada una de las zonas, se realizó el mapa de amenaza por deslizamientos, categorizando la amenaza de acuerdo con los criterios presentados en la Tabla 31 Categorización de la amenaza en la zona de estudio. Se realizó el plano de amenaza por deslizamiento, presentado en el **Plano GE134-PL-08**.

Tabla 31 Categorización de la amenaza en la zona de estudio

Categoría de amenaza	Factor de seguridad
Alta	FS menor o igual a 1,2
Media	FS entre 1,2 y 1,9
Baja	FS mayor o igual a 1,9

Adicionalmente, se categorizó la amenaza puntual en cada uno de los predios existentes, dependiendo de la altura de corte o relleno existente, de acuerdo con los criterios presentados en laTabla 32 Categorización de la amenaza puntual en la zona de estudio". Estos resultados fueron plasmados en el **Plano GE1345-PL-10**

Tabla 32 Categorización de la amenaza puntual en la zona de estudio

Categoría de amenaza	Relación con la altura crítica (Hc)
Alta	Altura de corte o relleno mayor o igual a 0,8 Hc
Media	Altura de corte o relleno menor a 0,8 Hc y mayor a 0,6 Hc
Baja	Altura de corte o relleno menor a 0,6 Hc

9. VULNERABILIDAD Y RIESGO

9.1. VULNERABILIDAD

Dado que el objeto del trabajo es el mejoramiento de las condiciones del hábitat del sector y que, por ende, el principal elemento a evaluar son las viviendas (las cuales implican indirectamente a las personas que las habitan), los análisis de vulnerabilidad se encaminaron a determinar los posibles daños en las edificaciones. Para tal efecto, la vulnerabilidad se basó en el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), utilizando para tal efecto la metodología propuesta por Leone[9] y modificada por Soler et al[10]. En resumen, el trabajo consistió en:

- Clasificar la tipología de vivienda a nivel lote, determinando el nivel de daño que presenta actualmente la vivienda. Esta información se obtuvo de las encuestas realizadas.
- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las solicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

9.1.1. **Tipificación de las viviendas**

Para tipificar las viviendas se utilizó el criterio de Leone, el cual se resume a continuación:

Tabla 33 Clasificación de la tipología de vivienda

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

Además, se identificaron los lotes donde no hay viviendas como LV ("lotes vacíos").
En el **Plano GE1345-PL-08** se presenta la tipología de cada una de las viviendas encontradas en la zona de estudio, para la fecha de realización de las encuestas (enero de 2006).

[9] 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.

[10] 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.

9.1.2. 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 al criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, a saber:

Tabla 34 Clasificación de los daños según el DRM

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

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

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

Donde,

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

Para tener en cuenta el estado actual de las viviendas (de acuerdo con la calidad de la estructura), se determinó para cada una de las edificaciones del barrio el Índice de Daño Actual (IDa).

9.1.3. Solicitaciones

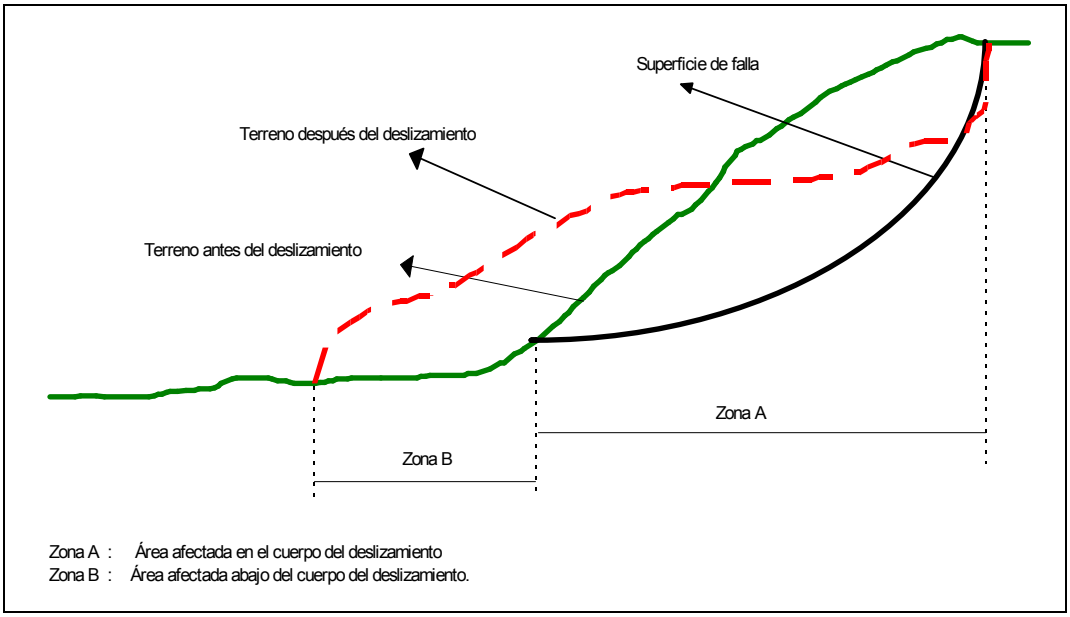
9.1.4. Tipos de movimientos y solicitaciones

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno[11], tal como se presenta a continuación.

a) Deslizamientos

[11] 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.

Figura 16. Esquema de deslizamiento



Como se puede observar en la figura anterior, se pueden distinguir dos zonas.
En la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes[12], presentada a continuación.

Tabla 35. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

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

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, así:

Tabla 36. Categorías de presione laterales utilizadas en el estudio

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

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

9.1.5. **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.

Tabla 37. Matriz de daño utilizada en el estudio[13].

	CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE VIVIENDA			
		B1	B2	B3	B4
IMPACTOS	EC1	V	V	V	IV
	EC2	V	V	IV	III
	EC3	V	IV	III	II
	EC4	IV	III	II	I
	EC5	III	II	II	I
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

Índice de vulnerabilidad física (IVF)

Para la cuantificación de los dos índices de daño determinados anteriormente (IDa y IDp) se utilizó la teoría de los conjuntos difusos (ver Figura 17 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos), adoptando la metodología utilizada para la evaluación de daños durante sismos[14]; de esta forma se determina el porcentaje de daño o índice de pérdidas (IPa, asociado al IDa; y el IPp, asociado al IDp). Estos porcentajes de pérdidas, dependen del nivel de confianza en la valoración; en este caso se adoptó que, para una confianza de 1.0, los rangos de valores de cada ID fueran los propuestos por Leone (1996). Para efectos de los cálculos se tomó una confianza de 0.5.

[13] Ver Tablas 4.3. para el tipo de daño y Tablas 3.2, 3.3 y 3.4 para el tipo de solicitación.

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

Figura 17 Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos

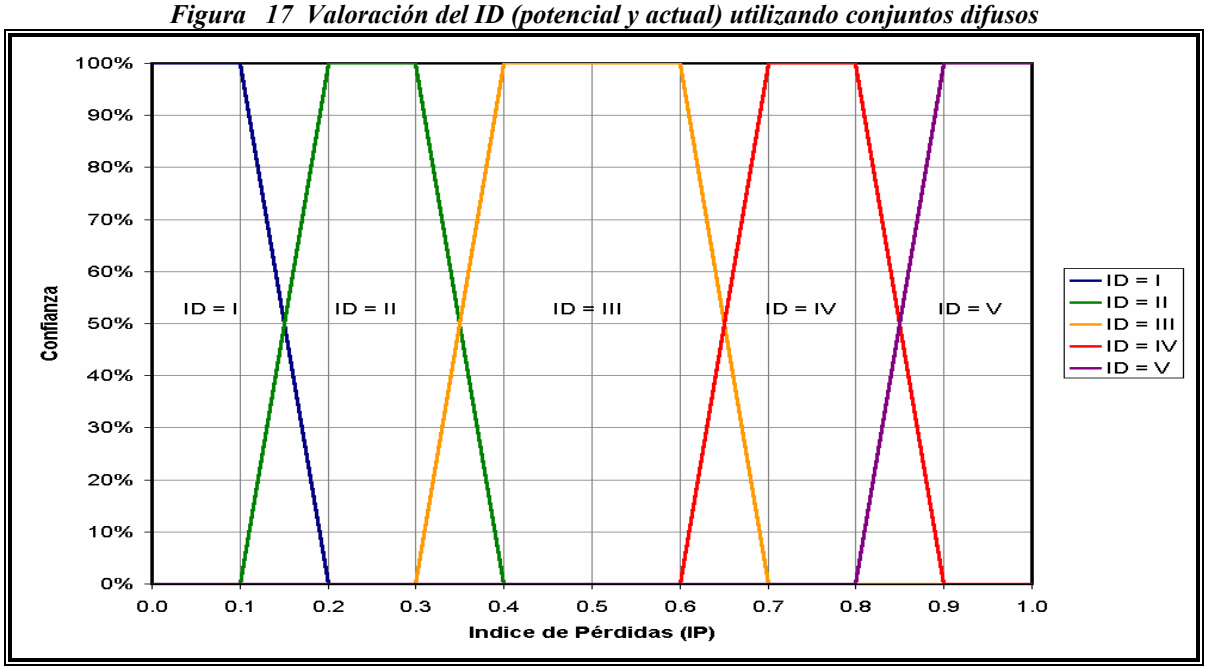


Tabla 38 Valores de IP utilizados para valorar el ID en el estudio.

Indice de Daño	IP MIN	IP MAX
I	0.00	0.15
II	0.15	0.35
III	0.35	0.65
IV	0.65	0.85
V	0.85	1.00

En teoría, la evaluación de la vulnerabilidad debería estar dada como la probabilidad de los daños debido al fenómeno dado una condición o predisposición del elemento expuesto. Si estamos evaluando la vulnerabilidad física, determinada como un Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), teniendo en cuenta los dos índices de pérdidas definidos anteriormente (IPa e IPp); lo expuesto se puede expresar probabilísticamente como:

$$IVF = P(IPp / IPa)$$

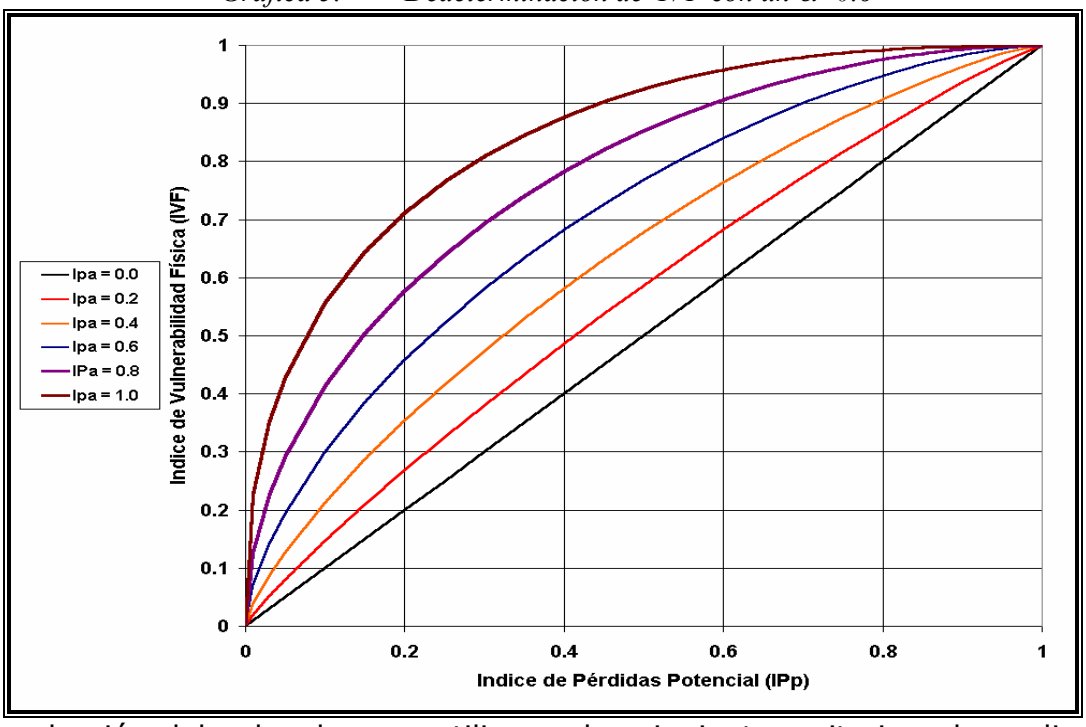
Esta expresión es muy difícil de evaluar ya que las variables involucradas (IPp e IPa) son dependientes; es por ello que, para la valoración de la vulnerabilidad física ante fenómenos de remoción en masa (IVF) se utilizó la expresión empírica propuesta por Soler et al[15] para involucrar otras variables diferentes al tipo de solicitación y la tipología de vivienda. De esta forma:

[15] 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.

$$IVF = \left[1-(1-IPp)^{\frac{1}{(1-\alpha\, IPa)}} \right]^{(1-\alpha\, IPa)}$$

Donde α es la dependencia o importancia del IPa en la valoración del IVF (0 cuando es mínima y 1 cuando es máxima). Como ejemplo, a continuación se presenta la gráfica que relaciona el IPp y el IPa con el IVF para un α=0.6.

Grafica 5. Dedeterminación de IVF con un α=0.6



Para la selección del valor de α se utilizaron los siguientes criterios, dependiendo del grado de amenaza por fenómenos de remoción en masa a que esté sometida la estructura.

Tabla 39. Selección del valor de alfa

Grado de amenaza	Valor de α
Muy Baja	0.0
Baja	0.2
Media	0.4
Alta	0.6
Muy Alta	0.8

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

9.2. RIESGO

9.2.1. **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):

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

en donde,

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

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

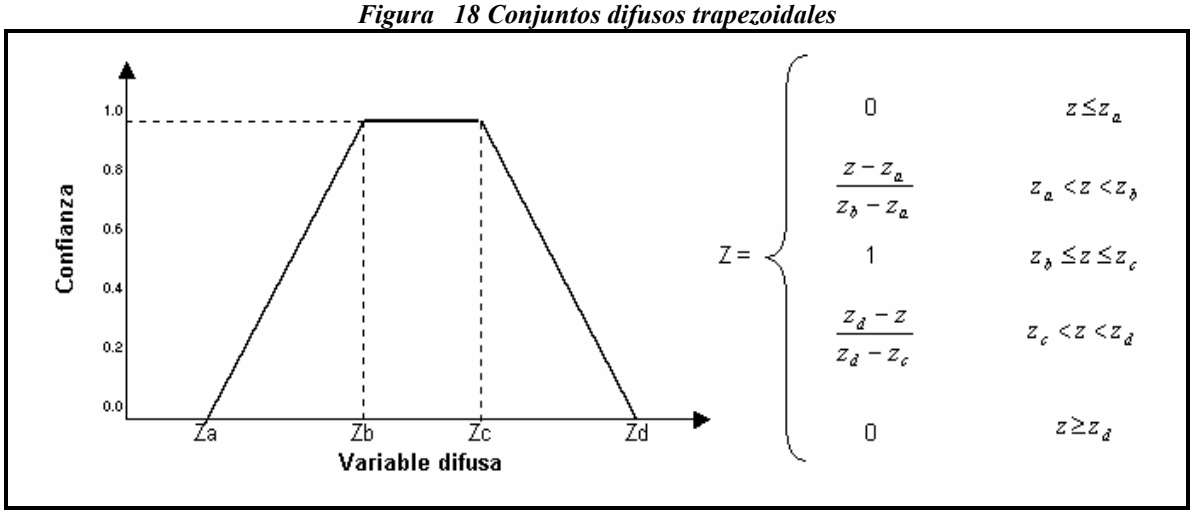
$\mathrm{P}_{(E,\,S,\,A)}$ Es la pérdida en el sector ya sea económico (E), social (S) o ambiental (A) que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

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 Figura v 18 Conjuntos difusos trapezoidales.

Figura 18 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, habiendo dos posibilidades de calcularla:

Hipótesis 1

En este caso se pueden 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:

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

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,

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

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

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

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 decidor, es decir un riesgo aceptado, y denominado en este estudio IRo), ajustándolo a una función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc.).

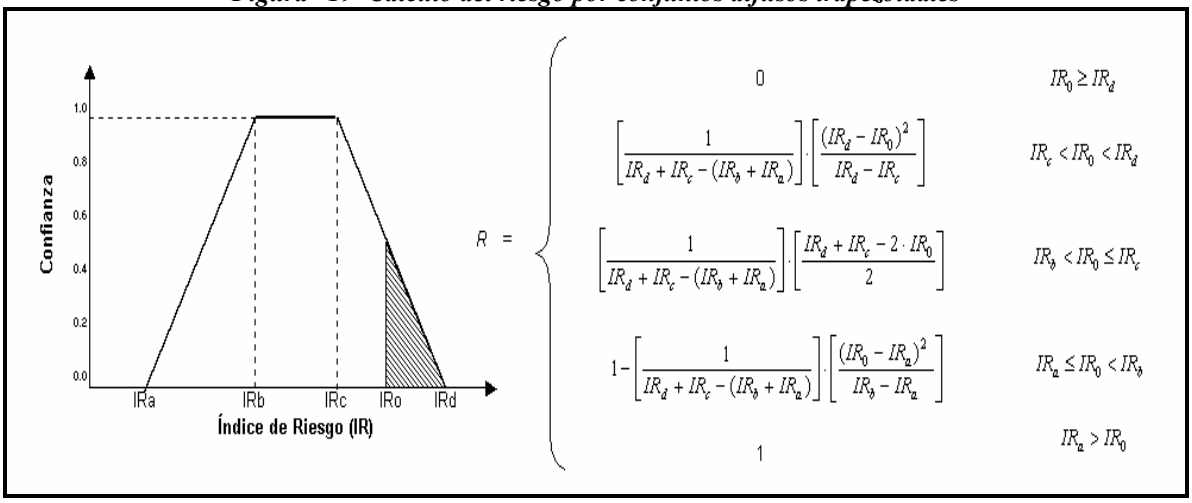
Hipótesis 2

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 presentado a continuación.

Figura 19 Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales



9.2.2. **Criterios aplicados y resultados obtenidos**

Para el caso de estudio se aplicó 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 a continuación.

Tabla 40 Categorización del riesgo

Nivel de riesgo	Criterio
Bajo	La probabilidad de excedencia de las perdidas 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 perdidas máximas admisibles (definidas como 10%, valor de IRo) es mayor al 10%.

Los cálculos para el cálculo del riesgo en cada una de las edificaciones del barrio Villa Gloria II sector, se presentan en el **Anexo VIII.**

En el **Plano GE134-PL-10** se presenta la categorización del riesgo para cada uno de las edificaciones existentes en el área de estudio.

Las viviendas que están en riesgo sin obras es de 96, si se implementan las obras ALTERANTIVA 1 este numero se reduce a nueve y luego de realizar las la ALTERNATIVA 2 se reduce a cero

10.ANALISIS COSTO/BENEFICIO

10.1. MÉTODO DE ANÁLISIS

La metodología utilizada para el análisis de costo/beneficio es la de Costo por Vida Salvada (CVS)[16], el cual consiste en relacionar la diferencia de pérdidas esperadas entre una situación con obras y la situación actual, con la diferencia en personas perjudicadas entre la condición actual y la situación con obras, es decir:

$$CVSi = \frac{E(Ai) - E(Ao)}{E(Po) - E(Pi)}$$

Donde,

CVSi : Costo por vida salvada de la alternativa I.
E(Ai) : Costo esperado de las pérdidas para la alternativa I.
E(Ao) : Costo esperado de las pérdidas para la situación actual.
E(Pi) : Costo esperado de las personas afectadas para la alternativa I.
E(Po) : Costo esperado de las personas afectadas para la situación actual.

De otra parte:

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

Donde,

Coi : Costo de la obra.
IRi : Índice de riesgo promedio de las viviendas afectadas[17].
Pva : Valor de las viviendas afectadas.

Para el cálculo del índice de riesgo de la alternativa (IRi) se analizaron las probabilidades de falla de los taludes con cada una de las obras planteadas en cada una de las alternativas, teniendo en cuenta la probabilidad de falla de la obra y realizando el cálculo de la probabilidad total.

Es de anotar que, todas las alternativas se están comparando con la situación actual, en donde las pérdidas esperadas están dadas por:

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

[16] Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996
[17] Para el caso de reubicación se tomó un índice del 20%.

Donde,

IRo : Índice de riesgo promedio actual.

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

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

10.2. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Para el sector del barrio Villa Gloria, y dado que la gran mayoría de las viviendas en la zona coluvial, se plantearon dos alternativas, la primera es de manejos de agua, subsuperficial (trincheras) y superficial (cunetas), junto con algunas pequeñas obras de urbanismo (caminos peatonales) que además de brindar una mejor calidad de vida a los habitantes del sector, antes de su reubicación, armonizan con los diseños paisajísticos realizados por la EAAB. La segunda consiste en la construcción de de 812 pilotes con el objetivo de aumentar la estabilidad de la zona central del barrio hacia la parte occidental se recomienda construir unas pantallas de pilotes de Φ = 6" con angulos inclinación de 9º, 16º, 26º y 0º con la vertical amarrados por un cabezal de concreto, de 8m. de profundidad.

Las obras de drenaje, aunque no garantizan una disminución en la categoría de amenaza, si disminuye un poco la probabilidad de ocurrencia de eventos, y más se pueden ver como obras de tipo preventivo y no correctivo. Las alternativas planteadas son:

- Caminos peatonales y drenaje (ver **Planos GE134-PL-11A, C y D**).

Ya que no se contempla la intervención de la calidad de las viviendas (vulnerabilidad), es decir que la estabilidad puntual de los muros de las viviendas depende en gran medida de la calidad de los mismos y por ende de los propietarios de las construcciones, la categorización del riesgo por fenómenos de remoción en masa en la zona no cambia con las obras propuestas (ver **Plano GE134-PL-12**), aunque si hay una pequeña disminución en la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos.

En términos de la probabilidad de ocurrencia de un sismo la ladera seria potencialmete afectada y por ende se proyecto la estabilización general mediante la construcción de un bosque de pilotes con drenajes (ver **Plano GE 134-12**) sin embargo como se menciono anteriormente la estabilidad puntual de los pequeños muros de las viviendas depende de la calidad de los mismos.

10.3. RESULTADOS

- Número viviendas posiblemente afectadas en la zona 175
- Número de lotes vacíos en la zona 0

- Valor vivienda promedio en la zona 18,000,000
- Valor lote vacío promedio en la zona 8,500,000
- Número de personas en la zona 875
- Probabilidad de ocupación de la zona 10%
- Nivel de confianza del cálculo 90%

Tabla 41 Análisis beneficio costo

Alternativa	Costo obra (Co)	INDICE DE RIESGO				Costo daños posibles	
		Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Actual	0	11.9%	39.2%	62.2%	11.9%	1,958,937,763	375,825,301
1	375,077,097	5.0%	4.9%	11.3%	0.0%	730,200,094	375,077,097
2	1,460,298,688	4.6%	2.8%	8.2%	1.0%	1,717,149,203	1,492,468,659
Reubicación	3,150,000,000	1.2%	39.2%	51.5%	0.0%	4,770,694,992	3,150,000,000

Personas afectadas		CVS		Costo por Vida Salvada CVS		
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Promedio
544	104					
99	0	2758083.9	7166.9855	2,758,084	7,167	1,382,625
71	9	511394.95	11697523	11,697,523	511,395	6,104,459
450	0	29926215	26573594	29,926,215	26,573,594	28,249,905

La mejor alternativa es la que tiene un CVS promedio de 1.382.625 que corresponde a la alternativa 1

11.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1. GENERALIDADES

Como conclusión de los trabajos realizados, se pudo establecer para cada uno de los lotes que conforman el barrio Villa Gloria, el grado de riesgo geotécnico esta asociado a una falla general de la ladera en el evento de un sismo y puntualmente debido a los deficientes procesos constructivos de las viviendas de la zona.

Las medidas que en este informe se proponen están enfocadas en dos frentes; El primero es controlar las aguas que potencialmente pueden infiltrarse en los depósitos coluviales manteniendo estos materiales cercanos o por debajo de la humedad natural de la ladera y de esta manera aumentar la succión y por ende la resistencia de los depósitos; la segunda fase es la construcción de obras civiles de gran magnitud las cuales buscan mitigar el impacto producido en la ladera bajo las fuerzas sísmicas

En la actualidad la ladera requiere ser drenada para incrementar el Factor de seguridad estático mediante la implementación de obras de drenaje.

11.2. REUBICACIONES POR RIESGO

Como conclusión de los trabajos realizados, se pudo establecer para cada uno de los lotes que conforman el barrio Villa Gloria, Las viviendas que están en riesgo sin obras es de 96, si se implementan las obras ALTERANTIVA 1 este numero se reduce a nueve y luego de realizar las la ALTERNATIVA 2 se reduce a cero.

A continuación se listan los predios que están en riesgo alto una ves se implementen la obras de la alternativa 1 y que deberán se reubicados:

42 Viviendas es alto riesgo con la implementación de la ALTERNATIVA 1

ID	PROPIETARIO	DIRECCION	PLANEACION	
			LOTE	MANZANA
75	Maria Daza	Cll 71 Bis Sur Nº 18M-50	10	D
174	Carlos Julio Pamo	Cll 68 J Nº18C-54 Sur	21	F-II
173	Jose Muñoz	Cll 71C Bis Nº 18M-54 Sur	20	F-II
170	Alfonso Nuñez	Cll 71C Nº 18M-37 Sur	9	F-II
171	Jaquelin Valencia	NO SE ENCONTRABAN	10	F-II
172		Cll 71C Bis Nº 18M-46 Sur	11	F-II
158	John Jairo Montoya	Cll 71 C Bis Sur Nº 18M-49	19	F-II
154	Ademiras Porras	Cll 71A Bis Sur Nº 18M-48	6	F-I
144	Fabio Dias	Cll 71A Bis Nº 18M-48Sur	18	F

11.3. OBJETIVOS Y CRITERIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RIESGOS

Los estudios efectuados han determinado que es necesario reubicar edificaciones por estar comprometidas en riesgo de diverso orden o por estar afectando negativamente el medio ambiente o las condiciones urbanísticas con perjuicio de la comunidad. La suma de factores negativos determinó que casas se recomienda reubicar. De acuerdo a criterios sociales, se tratará de reubicar el menor número de casas. En lo posible, la reubicación se hará dentro del mismo barrio o en barrios anexos o cercanos. En caso extremo se deberá considerar el desplazamiento a otra zona de la ciudad

11.3.1. **Objetivos**

- Prevenir desastres debido a fenómenos de remoción en masa.
- Preservar y mejorar las condiciones del medio natural.
- Contribuir a mejorar la calidad del hábitat (viviendas y servicios públicos).
- Crear espacios verdes y valorar el espacio público.
- Difundir información sobre riesgos y protección del medio ambiente.

Para mitigar el riesgo en el bario Villa Gloria se proponen dos fases de obras:

11.3.2. **Criterios**

Los estudios efectuados han determinado que es necesario reubicar edificaciones por estar comprometidas en riesgo. La suma de factores negativos determinó que casas se recomienda reubicar. De acuerdo a criterios sociales, se tratará de reubicar el menor numero de casas. En lo posible, la reubicación se hará dentro del mismo barrio o en barrios anexos o cercanos. En caso extremo se deberá considerar el desplazamiento a otra zona de la ciudad.

El reasentamiento de un grupo de viviendas debe liberar una importante franja de terreno a la cual se debe restituir su condición de bosque natural y acondicionar como área verde, paso peatonal y lugar de esparcimiento. Pero en todo caso se deberá implementar un plan de manejo de aguas debido a que la infiltración en los depósitos en esta zona son un detonante de los fenómenos de remoción en masa.

11.4. SOLUCIONES POSIBLES

Para el sector del barrio Villa Gloria, y dado que la gran mayoría de las viviendas en la zona coluvial, se plantearon dos alternativas, la primera es de manejos de agua,

subsuperficial (trincheras) y superficial (cunetas), junto con algunas pequeñas obras de urbanismo (caminos peatonales) que además de brindar una mejor calidad de vida a los habitantes del sector, antes de su reubicación, armonizan con los diseños paisajísticos realizados por la EAAB. La segunda consiste en la construcción de de 812 pilotes con el objetivo de aumentar la estabilidad de la zona central del barrio hacia la parte occidental se recomienda construir unas pantallas de pilotes de Φ = 6" con angulos inclinación de 9º, 16º, 26º y 0º con la vertica, de 8m. de profundidad amarrados por un cabezal de concreto.

Las obras de drenaje, aunque no garantizan una disminución en la categoría de amenaza, si disminuye un poco la probabilidad de ocurrencia de eventos, y más se pueden ver como obras de tipo preventivo y no correctivo. Las alternativa planteada son caminos peatonales y drenaje (ver **Planos GE134-PL-11A, C y D**).

Ya que no se contempla la intervención de la calidad de las viviendas (vulnerabilidad), es decir que la estabilidad puntual de los muros de las viviendas depende en gran medida de la calidad de los mismos y por ende de los propietarios de las construcciones, la categorización del riesgo por fenómenos de remoción en masa en la zona no cambia con las obras propuestas (ver **Plano GE134-PL-21**), aunque si hay una pequeña disminución en la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos.

En términos de la probabilidad de ocurrencia de un sismo la ladera seria potencialmente afectada y por ende se proyecto la estabilización general mediante la construcción de un bosque de pilotes con drenajes (ver **Plano GE 134-12**) sin embargo como se menciono anteriormente la estabilidad puntual de los pequeños muros de las viviendas depende de la calidad de los mismos.

ALTERNATIVA 1

Alternativa 1 es inmediata la cual contempla la reubicación de nueve predios y la construcción de escaleras en concreto, un sendero peatonal, drenes horizontales, baterías de subdrenes, corta corrientes y cunetas.

De acuerdo con los análisis geotécnicos realizados se obtuvo que los factores de seguridad aumentaron con las obras propuestas en la fase 1, pasando de un FS = 1.1 a un FS = 1.25 en promedio, disminuyendo así el riesgo existente en gran parte del área de estudio.

VIAS PEATONALES

Para el mejoramiento de las vías peatonales, de muy frecuente utilización en el barrio Villa Gloria, se recomienda adecuar y pavimentar el sistema de gradas para el tránsito de personas.

Se propone la construcción de seis escaleras y nueve tramos de senderos peatonales en concreto.

OBRAS DE DRENAJE

Para el control de las aguas superficiales y subsuperficiales se proyectaron construir cunetas a lo largo de la escaleras, en los tramos del sendero peatonal se diseño una trinchera drenante , en diferentes puntos del área de estudio se recomienda construir baterias de subdrenes y para el control de la erosión corta corrientes en sacos de suelo cemento.

Tabla 43 Presupuesto alternativa 1

COSTO DIRECTO FASE 1	165’038.275
AIU 29%	47’861.099
IVA (SOBRE UTILIDAD)	2’508.582
COSTO TOTAL	231’086.593

Alternativa 2

PILOTES

Para aumentar la estabilidad de la zona central del barrio hacia la parte occidental se recomienda construir unas pantallas de pilotes de Φ = 6” con ángulos inclinación de 9º, 16º, 26º y 0º con la vertical amarrados por un cabezal de concreto, de 8m. de profundidad.

SUBDRENES HORIZONTALES

Son subdrenes orientados perpendicularmente a los frentes de las casas para estabilizar los materiales sobre los cuales están fundadas

Tabla 44 Presupuesto alternativa 2

COSTO DIRECTO FASE 2	1.288’753.021
AIU 29%	373’738.376
IVA (SOBRE UTILIDAD)	19’589.036
COSTO TOTAL	1.804’511.980

11.5. COSTO BENEFICIO

La mejor alternativa es en términos de beneficio costo es la que tiene un CVS promedio de 1.382.625 que corresponde a la alternativa 1

12.LIMITACIONES

Las recomendaciones dadas en este trabajo se basan en los resultados de los trabajos de Investigación del Subsuelo realizados; 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.