ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN, EN BOGOTA D.C.

CONSORCIO GEOTEC
(Conformado por GEOCING LIMITADA, FRAMING LIMITADA Y el Ing. FLAVIO SOLER)

CONSULTORIA

CONTRATO: No. 577 de 2005



FONDO PARA PREVENCIÓN Y ATENCION DE EMERGENCIAS - FOPAE

BOGOTA 1 MARZO 2006

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 Arauquita II Sector, ubicado en la localidad de Usaquén, en Bogotá D.C.

AUTORES: Consorcio GEOTEC (conformado por GEOCING LIMITADA, FRAMING 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 Arauquita II Sector, ubicado en la localidad de Usaquén, en Bogotá D.C., presentando las medidas de mitigación posibles, y diseñando las obras de prevención y/o control propuestas.

PALABRAS CLAVE: Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Fenómenos de Remoción en Masa, Deslizamientos, Caída de Rocas, 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:	CONTRATO:	IDIOMA:	NÚMERO DE PÁGINAS:	NÚMERO DE COPIAS:
Clasificado	No. 577 de 2005	Español	139	3

NOTAS Y OBSERVACIONES:

El informe está dividido en cuatro partes, a saber:

- Resumen ejecutivo.
- Volumen I – Informe Final.
- Volumen II – Anexos (son cinco tomos).
- Volumen III – Planos.

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

CLASE DE DOCUMENTO:	CODIGO:	FECHA:
Informe Final	GE-135	19/05/2006

LISTA DE DESTINATARIOS

DESTINATARIO DEL INFORME	IDENTIFICACION
FOPAE	ORIGINAL
FOPAE	COPIA 1
FOPAE	COPIA 2
GEOCING LTDA	COPIA 3

CONTROL DE MODIFICACIONES

INDICE REVISIÓN	CAPITULO MODIFICADO	FECHA DE MODIFICACION	OBSERVACIONES	APROBADO

GLOSARIO

Amenaza

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

Antropico

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

Cuenca

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

Deslizamientos

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

Deslizamientos Rotacionales

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

Deslizamientos Traslacionales

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

Escarpe

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

Geomorfologia

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

Riesgo

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

Superficie De Falla

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

Vulnerabilidad

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

CONTENIDO GENERAL

JUSTIFICACION 22

INTRODUCCION 23

OBJETIVOS 23

1. GENERALIDADES 23

1.1. Localización general del área de estudio 24
1.2. Grupo de trabajo 26
1.3. Recopilación de información secundaria 27
1.4. Método de análisis 27

2. TOPOGRAFÍA 30

2.1. Generalidades 30
2.2. Traslado de coordenadas reales 31
2.3. Trabajo de oficina 33
2.4. Referencias en campo 33
2.5. Mapa digital del terreno 34
2.5.1. Mapa de pendientes 34
2.5.2. Modelo en 3D 36

3. INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 36

3.1. Exploración del subsuelo 36
3.2. Ensayos de laboratorio 38

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 39

4.1. Generalidades 39
4.1.1. Información secundaria 40
4.1.2. Fotointerpretación 40
4.1.3. Trabajo de campo 42
4.2. Geología 42
4.2.1. Geología regional 42
4.2.1.1. Formación Arenisca de Labor (Kgal) 42
4.2.1.2. Formación Arenisca Tierna (Kgat) 43
4.2.1.3. Formación Sabana (Qs) 44
4.2.1.4. Depósitos torrenciales (Qalt) 44
4.2.1.5. Depósitos coluviales (Qcl) 44
4.2.2. Geología local 45
4.2.2.1. Areniscas / Arcillolitas o lodolitas de espesor variable (Kgal) 45
4.2.2.2. Cenizas volcánicas (Qcv) 47
4.2.2.3. Limos orgánicos (Qo) 47
4.2.2.4. Rellenos antrópicos (Qra) 47

4.2.3. Aspectos estructurales 48
4.3. Geomorfología 54
4.3.1. Unidades geomorfológicas 54
4.3.1.1. Laderas estructurales en areniscas 54
4.3.1.2. Escarpes de roca 55
4.3.1.3. Laderas en suelo de origen natural 57
4.3.1.4. Geoformas de origen antrópico 57
4.3.2. Morfodinámica 58
4.3.2.1. Antecedentes de fenómenos de remoción en masa 58
4.3.2.2. Erosión 58
4.3.2.3. Fenómenos de remoción 58
4.3.3. Drenaje 59
4.4. Aspectos hidrogeológicos 60

5. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO 61

5.1. Matorral o rastrojo alto (Ra) 61
5.2. Pastos y rastrojo bajo (P/Rb) 61
5.3. Uso residencial o vivienda (URU) 61

6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 63

6.1. Materiales 63
6.1.1. Suelo orgánico (Qo) 63
6.1.2. Cenizas volcánicas (Qcv) 63
6.1.3. Rellenos antrópicos (Qra) 64
6.1.4. Areniscas (S_s) 65
6.1.5. Lodolitas y arcillolitas (C_s) 67
6.2. Variabilidad de los parámetros de resistencia 68
6.2.1.1. De correlaciones con el ensayo de penetración estándar 68
6.2.1.2. Resultados de los ensayos de corte directo y triaxial 69
6.3. Zonificación geotécnica 70

7. HIDROLOGIA E HIDRÁULICA 71

7.1. Generalidades 71
7.2. Precipitación 71
7.2.1. Precipitación totales mensuales 73
7.2.2. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) 75
7.2.3. Lluvia crítica 76
7.3. Caudales máximos por escorrentía 79
7.3.1. Metodología 79
7.3.2. Determinación de áreas de drenaje 79
7.3.3. Coeficiente de escorrentía 79
7.3.4. Tiempo de concentración 79
7.3.5. Intensidad 80
7.3.6. Diseño hidráulico de cunetas 80
7.4. Amenaza por inundaciones 81

7.5. Socavación de la quebrada Arauquita 82
7.6. Ronda de la quebrada Arauquita 82

8. AMENAZA POR CAIDA DE ROCAS 85

8.1. Posibilidad cinemática de caída de bloques 85
8.2. Distancias de viaje y energía de impacto 87

9. AMENAZA POR DESLIZAMIENTO 90

9.1. Generalidades 90
9.1.1. Secciones de análisis 92
9.1.2. Método de análisis 92
9.1.2.1. Deslizamientos en suelos 92
9.1.2.2. Deslizamientos planares en roca 93
9.1.3. Deslizamientos puntuales en taludes de corte y relleno 95
9.2. Factores intrínsecos 96
9.3. Factores detonantes para el caso de deslizamientos en suelos 97
9.3.1. Lluvia 97
9.3.2. Sismo 98
9.4. Resultados 99
9.4.1. Deslizamientos en suelos 99
9.4.1.1. Laderas en ceniza volcánica 99
9.4.2. Laderas en rellenos antrópicos 101
9.4.2.1. Laderas en suelos orgánicos 102
9.4.3. Deslizamientos planares en roca 104
9.5. Mapa de amenaza por deslizamientos 104

10. VULNERABILIDAD Y RIESGO 107

10.1. Vulnerabilidad 107
10.1.1. Tipificación de las viviendas 107
10.1.2. Calificación de los daños 108
10.1.3. Solicitaciones 109
10.1.3.1. Tipos de movimientos y solicitaciones 109
10.1.3.2. Matriz de daño 111
10.1.4. Índice de vulnerabilidad física (IVF) 112
10.1.5. Resultados obtenidos 114
10.2. Riesgo 115
10.2.1. Método de análisis 115
10.2.1.1. Hipótesis 1 116
10.2.1.2. Hipótesis 2 117
10.2.2. Criterios aplicados y resultados obtenidos 118

11. ANALISIS COSTO/BENEFICIO 119

11.1. Método de análisis 119
11.2. Análisis de alternativas 120

12. CONCLUSIONES 122

12.1. Lotes afectados ..... ¡Error! Marcador no definido.
12.2. Criterios para el tratamiento de los riesgos ..... ¡Error! Marcador no definido.
12.2.1. Criterios ..... **¡Error! Marcador no definido.**

13. RECOMENDACIONES 126

13.1. Soluciones posibles 126
13.1.1. Recuperación de la quebrada Arauquita 126
13.1.2. Vías peatonales 126
13.1.2.1. Zona Peatonal 1 127
13.1.2.2. Zona Peatonal 2 129
13.1.2.3. Zona Peatonal 3 130
13.1.3. Zonas de drenaje 133
13.1.3.1. Obras de drenaje 1 133
13.1.3.2. Zona de drenaje 2 134
13.1.3.3. Zona de drenaje 3 135
13.1.3.4. Zona de drenaje 4 136
13.1.3.5. Zona de drenaje 5 137
13.1.3.6. Zona de drenaje 6 137
13.2. Acciones 138
13.2.1. Reubicación de viviendas (reasentamiento de familias) 138
13.2.1.1. Primera fase 139
13.2.1.2. Segunda fase 139
13.2.1.3. Recomendaciones para la reubicación 139
13.2.2. Reestructuración de los caminos peatonales y del espacio público ... 140
13.2.3. Recuperación geotécnica y ambiental de la quebrada Arauquita 140

14. BIBLIOGRAFIA 140

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Relación de personal que realizó los trabajos 26
Tabla 2. Relación de equipos y elementos por comisión 30
Tabla 3. Mojones materializados en campo 34
Tabla 4. Coordenadas de los barrenos, trincheras y apiques realizados 38
Tabla 5. Relación de ensayos de laboratorio 39
Tabla 6. Fotografías aéreas de referencia 42
Tabla 7. Descripción de los diferentes niveles encontrados en la Formación Arenisca de Labor 46
Tabla 8. Localización de las estaciones de control geológico del presente estudio 51
Tabla 9. Localización de estaciones de control geológico (Hidrotec, 1998) 53
Tabla 10. Descripción de las laderas estructurales 54
Tabla 11. Descripción de los escarpes en roca 56
Tabla 12. Descripción de las laderas en suelo de origen natural 57
Tabla 13. Geoformas de origen antrópico 57
Tabla 14. Características geotécnicas del material Qcv 64
Tabla 15. Características geotécnicas del material Qra 64
Tabla 16. Características geotécnicas del material Ss 65
Tabla 17. Características estructurales del macizo rocoso 67
Tabla 18. Características geotécnicas del material Cs 67
Tabla 19. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo SPT 69
Tabla 20. Ensayos de resistencia realizados 69
Tabla 21. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayos de corte directo y/o triaxiales 69
Tabla 22. Zonificación geotécnica 70
Tabla 23. Intensidad (mm/hora) para diferentes duraciones y períodos de retorno, para la Estación Serrezuela 75
Tabla 24. Relación entre la lluvia crítica y la lluvia anual para la ciudad de Santafé de Bogotá (INGEOCIM - UPES, 1998) 76
Tabla 25. Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje 80
Tabla 26. Caudales y niveles en cada una de las secciones hidráulicas analizadas 82

Tabla 27. Azimut de buzamiento y buzamiento de los taludes en roca analizados 85
Tabla 28. Posibilidad cinemática de movimiento 85
Tabla 29. Parámetros de resistencia seleccionados 96
Tabla 30. Pesos unitarios de los materiales utilizados en los modelos 97
Tabla 31. Parámetros estadísticos para el nivel del agua en los diferentes materiales 98
Tabla 32. Categorización de la amenaza en la zona de estudio 105
Tabla 33. Categorización de la amenaza puntual en la zona de estudio 105
Tabla 34. Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa 106
Tabla 35. Criterios de resistencia de las estructuras según el tipo de solicitación 107
Tabla 36. Clasificación de la tipología de vivienda 108
Tabla 37. Clasificación de los daños según el DRM 108
Tabla 38. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio 110
Tabla 39. Categorías de presione laterales utilizadas en el estudio 110
Tabla 40. Solicitaciones características de la zona de influencia indirecta por caída de rocas 111
Tabla 41. Matriz de daño utilizada en el estudio. 112
Tabla 42. Selección del valor de α 114
Tabla 43. Criterios de categorización de la vulnerabilidad ante deslizamientos 115
Tabla 44. Categorización del riesgo 118
Tabla 45 Resumen de zonificación geotécnica .. **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 46 Resumen tipos de intervención ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 47. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 1 (Alternativa 1) 128
Tabla 48. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 1 (Alternativa 2) 128
Tabla 49. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 2 (Alternativa 1) 129
Tabla 50. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 2 (Alternativa 2) 130
Tabla 51. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 3 (Alternativa 1) 131
Tabla 52. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 3 (Alternativa 2) 131
Tabla 53. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 4 (Alternativa 1) 132

Tabla 54. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 4 (Alternativa 2) 133
Tabla 55.Presupuesto para la construcción del Drenaje 1 (Alternativa 1 y 2) 134
Tabla 56. Presupuesto para la construcción del Drenaje 2 (Alternativa 1 y 2) 135
Tabla 57. Presupuesto para la construcción del Drenaje 3 (Alternativa 1 y 2) 135
Tabla 58. Presupuesto para la construcción del Drenaje 4 (Alternativa 1 y2) 136
Tabla 59. Presupuesto para la construcción del Drenaje 5 (Alternativa 1 y 2) 137
Tabla 60. Presupuesto para la construcción del Drenaje 6 (Alternativa 1)..... 138
Tabla 61. Listado de predios a reubicar en la primera fase..... 139

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del área de estudio 25
Figura 2. Diagrama de flujo para el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por FRM 29
Figura 3. Comparación del levantamiento realizado con el mapa digital de Bogotá D.C. 32
Figura 4. Mapa de pendientes 35
Figura 5. Modelo digital del terreno 37
Figura 6.Fotointerpretación Barrio Arauquita localidad Usaquén. 41
Figura 7. Levantamiento geológico estructural 50
Figura 8. Uso actual y cobertura vegetal 62
Figura 9. Cuencas hidrográficas 72
Figura 10.Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá 74
Figura 11.Distribución espacial de la precipitación critica en Bogotá 77
Figura 12.Distribución espacial de periodos de retorno de la precipitación critica en Bogotá 78
Figura 13.Zona de manejo y protección ambiental 84
Figura 14. Taludes analizados para caídas de rocas 86
Figura 15. Envolvente trayectoria y energía de impacto para la sección CR-1 91
Figura 16. Revegetalización 121

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Carta de plasticidad de Casagrande 63
Gráfica 2. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Qcv..... 64
Gráfica 3. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Qra..... 65
Gráfica 4. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Ss 66
Gráfica 5. Parámetros de Hoek-Brown para la arenisca (taludes de hasta 4 m)..... 66
Gráfica 6. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Cs 67
Gráfica 7. Lluvias medias mensuales (1990 - 2005) en la estación Serrezuela 73
Gráfica 8. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para la zona de estudio..... 75
Gráfica 9. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial 99
Gráfica 10.Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qcv.....100
Gráfica 11. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qcv 100
Gráfica 12.Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qra.....101
Gráfica 13. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qra.....102
Gráfica 14. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qo 103
Gráfica 15. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qo.....103
Gráfica 16. Árbol de eventos para el deslizamiento planar en la sección 6 104
Gráfica 17. Árbol de eventos para el deslizamiento planar en la sección 7 104
Gráfica 18. Esquema de deslizamiento.....109
Gráfica 19. Esquema de caída de rocas.....110
Gráfica 20. Valoración del ID utilizando conjuntos difusos.....113
Gráfica 21. Gráfica para determinar IVF con un α=0,6 114
Gráfica 22. Conjuntos difusos trapezoidales.....116

Gráfica 23. Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales 118

LISTADO DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 Panorámica del barrio Arauquita. A la izquierda se ven parte de las casas que conforman el barrio, y en la parte central se observa la margen derecha (sin urbanizar) de la quebrada Arauquita. Al fondo se observa la Sabana de Bogotá..... 26
Foto 2. Mojón D-1..... 34
Foto 3. Mojón D-2..... 34
Foto 4. Mojón D-3..... 34
Foto 5. Mojón CACL D-2 34
Foto 6. Mojón CACL D-3 34
Foto 7. Afloramiento del segundo conjunto de la arenisca de labor (Kgal), cerca de la cuneta de coronación, en la vía más oriental del barrio Arauquita II Sector. 43
Foto 8. Escarpe localizado hacia el norte del área de estudio (fuera de ella). El tope del escarpe corresponde a la Arenisca Tierna (Kgat), en tanto que el primer plano corresponde a la Arenisca de Labor (Kgal). 44
Foto 9. Bancos de arenisca presentes en el área de estudio. 46
Foto 10. Intercalaciones laminares de arcillolitas y limolitas. 46
Foto 11. Vista de corte localizado en el costado sur de la vía de acceso. Se observa la ceniza volcánica (de color amarilo), sobreyacida por la capa orgánica (color negro). 47
Foto 12. Obsérvese la capa de suelo orgánico sobre el depósito de ceniza volcánica..... 48
Foto 13. Vista general de flujo de tierras..... 48
Foto 14. Vista general de uno de los escarpes localizados en las márgenes de la quebrada Arauquita..... 49
Foto 15. Detalle de uno de los escarpes rocosos localizados en la zona de estudio. Nótese las capas intercaladas de lodolita, limolita y arenisca arcillosa, en pequeños espesores (laminares). 49
Foto 16. Estación GMM-1. Arenisca (pertenece al conjunto Kgal) pardo amarillenta de grano medio a fino, dura, bien cementada en capitas de 0,05 a 0,12 m de espesor; los planos de estratificación son lisos y ondulados, presentan estrías de fricción originados, probablemente, por microfallamiento entre capas. Las diaclasas son discontinuas, ligeramente abiertas, planas sin rellenos en sus paredes; por lo general las diaclasas afectan 1 a 2 capitas de arenisca. 51

Foto 17. Estación GMM-2. Pertenecen al conjunto medio de la Areniscas de Labor (Kgal): Arenisca pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, estratificación fina, plana, regular u ondulada; el espesor de las capas es similar a al del GMM-1. Las diaclasas son discontinuas, lisas, planas, que generan un patrón de facturación que conforma bloques casi rectangulares. 51
Foto 18. Estación GMM-3. Arenisca pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, estratificación fina, plana, regular u ondulada; el espesor de las capas es similar a al del GMM-1 y GMM-2. Las diaclasas son discontinuas, lisas, planas, que generan un patrón de facturación que conforma bloques casi rectangulares. 52
Foto 19. Estación GMM-4. Algunas capitas de arenisca, de 0,2 m de espesor, de color pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, que pertenece al conjunto Kgal; en este sector la estratificación está invertida. Las diaclasas son verticales o sub-verticales, planos, discontinuas, lisas, sin relleno, que producen un patrón de fracturamiento escalonado, espaciados entre 0,01 y 0,02 m. 52
Foto 20. Estación GMM-5. Intercalaciones de areniscas y arcillolitas. Presentan daclasas regulares irregulares, discontinuas, planos lisos o cóncavos, cerradas a algo abiertas, con paredes cubiertas por oxido de hierro y/o arena fina con algo de materia vegetal..... 52
Foto 21. Estación GMM-6. Limolita pardo amarillenta a verdosa formando capitas de 0,01 a 0,03 m de espesor que alternan con capitas de lidita de 0,02 a 0,05 m de espesor; constituyen en paquete de 0,8 m de espesor aproximadamente. La facturación produce un fracturamiento en forma de rombos bastante regular del mismo tipo al que desarrolla en algunos niveles de la Formación Plaeners (Kgp). 52
Foto 22. Estación GMM-7. Arenisca pardo amarillenta de grano medio, cimentación arcillosa, friable, con planos de estratificación algo irregulares. 53
Foto 23. Estación GMM-8. Intercalaciones de areniscas, arcillolitas y lodolitas. 53
Foto 24. Al fondo se puede apreciar la ladera estructural cubierta por pasto. 55
Foto 25. Vista de la ladera estructural, en la margen izquierda de la quebrada, sector fuertemente urbanizado. 55

Foto 26. Detalle del escarpe rocoso formado por el entallamiento de la quebrada Arauquita. 56
Foto 27. Vista general de uno de los taludes de corte encontrados el costado occidental de la zona de estudio. 56
Foto 28. Vista general de unos de los flujos de tierras, formados por el movimiento de los rellenos antrópicos localizados en las depresiones de la margen izquierda de la quebrada Arauquita. 59
Foto 29. Obsérvese Al fondo las “terracetas”, formadas por el movimiento de la ceniza volcánica, en la margen derecha de la quebrada Arauquita. 59
Foto 30. Mojón localizado en el costado oriental de la zona de estudio; fue colocado por la EAAB para delimitar la zona de ronda. 83
Foto 31. Corte para construcción de viviendas. Están construyendo muro en piedra pegado, con columnas. 95
Foto 32. Muro de gaviones, construido para la adecuación de la vivienda (en relleno). 95
Foto 33. Panorámica del sector donde se proyecta la Zona Peatonal 1. 127
Foto 34. Detalle del sector de la Zona Peatonal 1. 127
Foto 35. Detalle del sector de la zona peatonal 2.....129
Foto 36. Detalle del sector de la zona peatonal 3.....130
Foto 37. Detalle del sector de la zona peatonal 3.....132
Foto 38. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 1.....133
Foto 39. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 2.....134
Foto 40. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 3.....136
Foto 41. Vista hacia arriba de la zona donde se proyectan las obras de drenaje 4 136
Foto 42. Vista general de la zona donde se proyecta la construcción de las obras de drenaje 5.....137
Foto 43. Vista de la zona donde se proyecta la construcción de las obras de drenaje 6 138

ANEXOS (VOLUMEN II)

PARTE 1 DE CINCO PARTES

ANEXO I LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO..... 2
ANEXO I – A Certificado IGAC..... 4
ANEXO I – B Calibración equipos..... 6
ANEXO I – C Datos crudos..... 8
ANEXO II EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO..... 130
ANEXO II – A Barrenos..... 132
ANEXO II – B Trincheras..... 141
ANEXO II – C Apiques..... 149

PARTE 2 DE CINCO PARTES

ANEXO III ENSAYOS DE LABORATORIO..... 154
ANEXO IV FOTOGRAFÍAS AÉREAS..... 254
ANEXO V GEOLOGÍA ESTRUCTURAL..... 260
ANEXO V-A Datos Hidrotec (1998)..... 261
ANEXO V-B Datos Geocing (2006)..... 285

PARTE 3 DE CINCO PARTES

ANEXO VI PARÁMETROS DE RESISTENCIA..... 292
ANEXO VI-A Correlaciones STP..... 294
ANEXO VI-B Ensayos..... 299
ANEXO VI-C Correlaciones y ensayos..... 306
ANEXO VII DISEÑO DE CUNETAS..... 312
ANEXO VIII CAÍDA DE ROCAS..... 315
ANEXO VIII – A CR -1..... 316
ANEXO VIII – B CR -2..... 354
ANEXO VIII – C CR -3..... 386
ANEXO VIII – D CR -4..... 414
ANEXO VIII – E CR -5..... 438

PARTE 4 DE CINCO PARTES

ANEXO IX ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... 472
ANEXO IX – A Análisis de sensibilidad material Qcv 473
ANEXO IX – B análisis de sensibilidad material Qo 476
ANEXO IX – C Análisis de sensibilidad material Qra 479
ANEXO X ANÁLISIS DE ESTABILIDAD..... 482

ANEXO X - A Análisis de estabilidad seccion SG -1 483
ANEXO X - B Análisis de estabilidad seccion SG -2 492
ANEXO X - C Análisis de estabilidad seccion SG -4 501
ANEXO XI ENCUESTAS DE VULNERABILIDAD..... 510
ANEXO XII VULNERABILIDAD Y RIESGO..... 644

PARTE 5 DE CINCO PARTES

ANEXO XIII PRESUPUESTO..... 652
ANEXO XIII-A Alternativa 1..... 653
ANEXO XIII-B Alternativa 2..... 670
ANEXO XIV ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN..... 689
ANEXO XV TIPOS DE INTERVENCIÓN..... 737

PLANOS (VOLUMEN III)

	PARTE 1
GE135-PL-01 A	Levantamiento topográfico y exploración del subsuelo
GE135-PL-01B	Redes de servicios públicos existentes
GE135-PL-02	Geología regional
GE135-PL-03	Geología local
GE135-PL-04	Perfil A - A' geológico
GE135-PL-05	Perfil B - B' geológico
GE135-PL-06	Perfil C - C' geológico
GE135-PL-07	Geomorfología
GE135-PL-08	Zonificación geotécnica
GE135-PL-09	Secciones geotécnicas
	PARTE 2
GE135-PL-10	Ronda hídrica y secciones hidráulicas
GE135-PL-11	Secciones hidráulicas
GE135-PL-12 A	Amenaza por deslizamiento
GE135-PL-12B	Amenaza por predio
GE135-PL-12C	Amenaza general por fenómenos de remoción en masa
GE135-PL-13	Tipología de viviendas
GE135-PL-14	Vulnerabilidad
GE135-PL-15	Riesgo actual
GE135-PL-16 A	Obras propuestas alternativa 1
GE135-PL-16B	Obras propuestas alternativa 1
	PARTE 3
GE135-PL-16C	Obras propuestas alternativa 1
GE135-PL-17	Cortes y detalles alternativa 1
GE135-PL-18 A	Obras propuestas alternativa 2
GE135-PL-18B	Obras propuestas alternativa 2
GE135-PL-18C	Obras propuestas alternativa 2
GE135-PL-19	Cortes y detalles alternativa 2
GE135-PL-20	Revegetación de los taludes de la margen de la quebrada Arauquita
GE135-PL-21	Riesgo con la alternativa seleccionada
GE135-PL-22	Intervención recomendada en los predios

JUSTIFICACION

El proyecto "Análisis y evaluación de riesgos socio–naturales y tecnológicos 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 Arauquita II Sector, ubicado en la Localidad de Usaquén, 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.

El barrio Arauquita se desarrolló de forma irregular sobre terrenos de alta pendiente de los Cerros Nororientales de Bogotá, en condiciones poco tecnificadas, lo cual ha sido causa de eventos locales de inestabilidad y por tal motivo, la DPAE ha emitido en el sector varios diagnósticos por problemas de remoción en masa. Adicionalmente, el FOPAE ha adquirido algunos predios que están en el área de estudio para incluir a sus moradores dentro del Programa de Reasentamiento de Familias Localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable.

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, la mayor parte del área de estudio se encuentra en zonas de amenaza media y baja por fenómenos de remoción en masa; sin embargo, en los últimos años se ha dado un proceso irregular de urbanización que ha modificado las condiciones generales de amenaza en la zona, principalmente por la ocupación del área de un antiguo cauce que atraviesa el barrio de oriente a occidente, por la ejecución de numerosos cortes en la ladera y por las deficiencias en infraestructura vial y de servicios públicos.

Existen en la zona próxima dos estudios detallados de riesgo por movimientos en masa contratados por el FOPAE pero que no cubren al área que aquí se plantea. El primero de ellos se adelantó en la parte baja o Primer Sector del barrio Arauquita (GEOCING LTDA, 1999) y el segundo en el sector oriental del barrio Santa Cecilia, Parte Baja, que colinda por el occidente con área planteada en este estudio.

El estudio que aquí se desarrolla permitirá conocer de manera objetiva las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a las que están expuestas la población y la infraestructura del barrio Arauquita – Segundo Sector, 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.

INTRODUCCION

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 577 de 2005, suscrito entre el FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – FOPAE y el CONSORCIO GEOTEC, conformado por GEOCING LIMITADA, FRAMING 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 Arauquita II Sector, ubicado en la localidad de Usaquén, en Bogotá D.C.", se presenta este informe el cual contiene el resumen de los trabajos realizados, y las conclusiones y recomendaciones del caso.

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.

1. GENERALIDADES

En desarrollo del Contrato de Consultoría No. 577 de 2005, suscrito entre el FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – FOPAE y el CONSORCIO GEOTEC, conformado por GEOCING LIMITADA, FRAMING 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 Arauquita II Sector, ubicado en la localidad de Usaquén, en 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 e inundaciones (incluyendo la ronda de la quebrada Arauquita). Se resalta que en este estudio no se realizó un análisis de amenaza sísmica local; 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 Arauquita II Sector.

Para el análisis de riesgos se seguirá 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 (R) 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".

1.1. Localización general del área de estudio

El área seleccionada es de forma irregular, de aproximadamente 4,9 Ha. Está limitada por el norte por una zona no urbanizada subparalela al cauce de la quebrada Arauquita (N60°W), por el oriente por una línea en sentido NS que es aproximadamente la continuación de la Carrera 1, por el sur por las calles 163A y 163B (vía pavimentada de acceso al barrio) y por el occidente por una línea que es la prolongación de la carrera 5 y constituye el límite entre los barrios Arauquita Primer Sector (parte baja) y Arauquita II Sector (parte alta), como se muestra en la Figura 1.

El barrio Arauquita II Sector está situado en la Localidad de Usaquén, sobre una ladera estructural de los cerros nororientales de la ciudad, altura de la Calle 163B entre Carreras 5 y 1, constituyendo una franja angosta y alargada que remonta desde los 2.800 hasta los 2.900 metros de altitud, aproximadamente Foto 1; este asentamiento se ha formado como una extensión del barrio Arauquita I Sector.

El acceso al barrio mediante vehículo automotor consiste en una sola vía, la calle 163B, y es el punto de contacto principal con el resto de la ciudad por la cual se accede a la carrera 7ª. La vía es de difícil tránsito debido a las altas pendientes del terreno y a las curvas forzadas, aunque se encuentra pavimentada. Por esta vía se presta el servicio de transporte informal, de manera intermitente, con vehículos particulares (camperos) que hacen el recorrido entre la carrera séptima y la parte alta del barrio. El tránsito peatonal es predominante y se hace por senderos pavimentados. Recientemente, el barrio experimentó un buen dinamismo pues se ejecutaron varias obras, tales como construcción de gradas de concreto en los caminos peatonales, pavimentación de vías, etc. La mayoría de las casas están apostadas a lo largo del costado norte de la Calle 163B, carretera que constituye la única vehicular pues las demás vías son peatonales. Siguiendo la configuración de la carretera la urbanización ha tomado una forma curvilínea y longitudinal.

Figura 1. Localización general del área de estudio



Foto 1 Panorámica del barrio Arauquita. A la izquierda se ven parte de las casas que conforman el barrio, y en la parte central se observa la margen derecha (sin urbanizar) de la quebrada Arauquita. Al fondo se observa la Sabana de Bogotá.

1.2. Grupo de trabajo

Para llevar a cabo los trabajos, el CONSORCIO GEOTEC conformó el grupo de trabajo relacionado en la Tabla 1

Tabla 1. Relación de personal que realizó los trabajos

Nombre	Función o cargo
Flavio Soler Sierra	Director del estudio – Especialista en geotecnia y riesgos
Mario A. Monroy Arias	Geólogo
Rodolfo Franco Latorre	Especialista en fotointerpretación
Holman Téllez	Especialista en hidrología e hidráulica
Luis Fernando Urrego L.	Especialista en SIG
Rocio Rincón P.	Ingeniera auxiliar – Cartografía y SIG
John Vargas Q.	Ingeniero auxiliar - Trabajos de exploración del subsuelo
Aldemar Mantilla	Ingeniero auxiliar – Encuestas de vulnerabilidad
Carlos Castillo L.	Topógrafo
Jully Casallas	Dibujante
Ingeomar Limitada	Ensayos de laboratorio
Nelson Hernández	Ensayos de laboratorio
Universidad Javeriana	Ensayos de laboratorio

A su vez, la Interventoría del proyecto fue realizada por la firma Moya y García Limitada, bajo la coordinación del Ingeniero José Vicente Amórtegui y la colaboración del Geólogo Julio Fierro.

1.3. 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.

- Estudios y diseños de estabilidad de taludes, control de erosión y manejo de aguas para la estabilización del barrio Santa Cecilia, Hidrotec Ltda. – Upes, Agosto de 1998.

- Estudio de riesgo por remoción en masa y diseño de obras de control, protección y estabilización para los barrios Cerro Norte y Villa Nidia de la localidad de Usaquén. MGL – DPAE, Noviembre de 2002.

- Monitoreo y seguimiento al deslizamiento de los barrios Cerro Norte y Villa Nidia de la localidad de Usaquén. GEOS – DPAE. Enero de 2003.

- Estudio de evaluación y zonificación de riesgos del barrio Arauquita. GEOCING – SECRETARIA DE GOBIERNO. Julio de 1999.

- Consultoría para la elaboración de los diseños definitivos detallados, para construcción de las obras de adecuación, de la quebrada Arauquita localidad de Usaquén. CONSORCIO MUR PROYECTOS LTDA & SAMUEL HERNANDEZ AYALA - EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (Octubre de 2001).

- Planchas a escalas 1:2000 y 1:5000 del IGAC, las cuales cubren las áreas de las cuencas vertientes que drenan hacia la zona de estudio.

1.4. 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 (*R*) 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]

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 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.

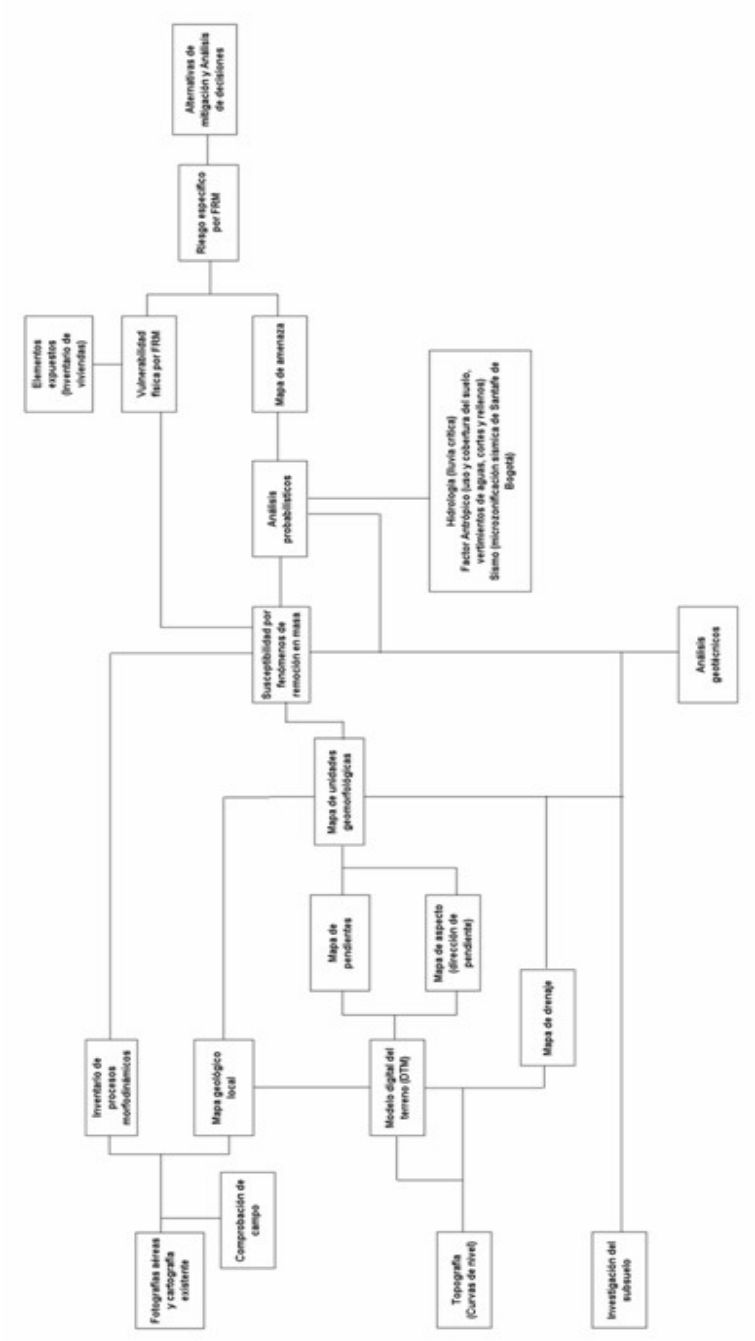
- De acuerdo a los resultados de los trabajos precedentes, se propondrán las obras de mitigación posibles.

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

[1] 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

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



2. TOPOGRAFÍA

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, se procedió a realizar:

- Amarre de coordenadas reales utilizando el punto CD-325-A con señal azimut al CD-323-A.
- Información topográfica tomada para cada punto, levantado en las 3 dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- Levantamiento topográfico detallado del sitio con: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, cercas, y demás detalles.
- Generación de curvas de nivel cada 0.5

El levantamiento se realizó con una Estación Total Marca Topcon GTS-235W, 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.

Tabla 2. Relación de equipos y elementos por comisión

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Estación TOPCON GTS-235W	1
Topógrafo	1
Cadenero primero	1
Cadenero segundo	1
Vigilante	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 GTS-235W, 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 2.412. 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-325-A, con azimut al punto CD-323-A, 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 Tal cual como se encuentra construido en el terreno, a enero de 2.006, se objeta que la urbanización no corresponde con el manzaneo de la zona plasmada en los planos digitales del IGAC ni de Catastro Distrital (ver Figura 3).

El barrido con nube de puntos se utiliza para la definición de los taludes de disección de los cursos de agua y de corte, 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.

Figura 3. Comparación del levantamiento realizado con el mapa digital de Bogotá D.C.

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 GE137-PL-01A; adicionalmente se presentan las redes de servicios públicos en el Plano GE137-PL-01B. 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 cinco (5) mojones (ver Foto 2 a Foto 6) cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 3, y localizados tal como se puede ver en el Plano GE135-PL-01.

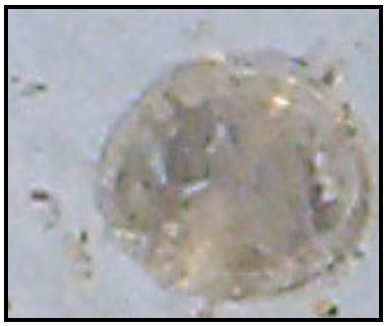


Foto 2. Mojón D-1

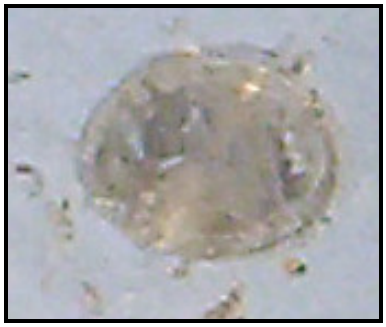


Foto 3. Mojón D-2



Foto 4. Mojón D-3



Foto 5. Mojón CACL D-2



Foto 6. Mojón CACL D-3

Tabla 3. Mojones materializados en campo

PUNTO	COORDENADAS		ELEVACIÓN
	NORTE	ESTE	
D-1	115.409,100	107.262,020	2.954,780
D-2	115.499,181	107.013,163	2.854,006
D-3	115.390,318	107.039,431	2.873,181
CACL D-2	115.327,767	107.033,650	2.885,227
CACL D-3	115.386,961	106.993,256	2.862,323

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

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 4.

Figura 4. Mapa de pendientes

2.5.2. Modelo en 3D

Igualmente, con la herramienta de sombras de este software, se realizaron vistas en 3-D de la zona. En la Figura 5; se presenta una de las vistas obtenidas, las cuales sirvieron para ajustar los trabajos de geomorfología.

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:

- Cinco barrenos manuales (BM-1 a BM-5) ejecutados con broca helicoidal (auger de fondo sólido) con profundidades que varían entre los 3,0 m y los 5,5 m.
- Siete (7) trincheras (T-1 a T-7) con longitudes variables entre 4,2 m a 15,8 m.
- Cuatro apiques (AP-1 a AP-4) con profundidades que varían entre los 1,2 m y los 2,5 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, trincheras y apiques, se presentan en el Anexo II. La ubicación de las perforaciones se presenta en el Plano GE135-PL-01 y en la Tabla 4.

Figura 5. Modelo digital del terreno

Tabla 4. Coordenadas de los barrenos, trincheras y apiques realizados

TIPO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
BM-1	106.856,32	115.529,25
BM-2	106.873,01	115.521,75
BM-3	107.279,72	115.376,27
BM-4	107.204,79	115.430,17
BM-5	107.237,06	115.426,19
BM-6	107.071,42	115.379,78
BM-7	106.928,49	115.473,36
BM-8	106.942,31	115.446,56
T-1	107.093,53	115.411,36
T-2	107.057,59	115.450,44
T-3	106.909,82	115.479,21
T-4	106.909,73	115.488,69
T-5	106.851,44	115.466,86
T-6	106.994,03	115.497,30
T-7	107.145,67	115.421,94
AP-1	107.252,23	115.448,07
AP-2	107.146,59	115.449,64
AP-3	107.231,36	115.418,06
AP-4	107.197,49	115.356,70

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 en la Tabla 5; se presenta 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	8
Límite líquido y plástico	INV-E125 y 126	11
Granulometría por lavado y tamizado	INV-E123	7
Peso unitario total	INV-E121	10
Gravedad específica de sólidos	INV-E128	3
Triaxial estático	INV-E153	3
Compresión inconfinada en roca	INV-E152	3
Corte directo en suelo	INV-E154	10
Corte directo en roca	INV-E154	4

4. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

4.1. Generalidades

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:

a) Fase preliminar contexto geológico

- Reconocimiento general del terreno e identificación de las problemáticas y potenciales franjas de inestabilidad.
- Obtención de fotografías aéreas en las escalas disponibles.
- Interpretación de fotografías aéreas. Se logró fotointrepretar fotos a escalas 1:16.000 correspondiente al año 2004.
- Recopilación bibliográfica de información geotécnica, geológica, hidrogeológica, etc. existente del área de estudio en las diferentes entidades públicas y privadas.

Las labores preliminares se enfatizaron en la interpretación fotogeológica, la revisión de 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.

b) Fase geología de detalle

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

- Resultados de los trabajos de investigación del subsuelo.
- Fotointerpretación de fotos a escala 1:16.000.
- 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, 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.

4.1.1. Información secundaria

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

- GUTIÉRREZ & COLEGIAL 1987. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia;
- INGEOMINAS (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C.
- INGEOCIM Ltda. – UPES – FOPAE (1998) – Mapas geológico regional. Escala 1:10.000.
- INGEOMINAS 1997, Estudio Geológico para el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Escala 1:50.000.
- HELMENS KARIN & VAN DER HAMMEN. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores. En Análisis Geográficos No. 24. IGAC. Subdirección de Geografía.

4.1.2. Fotointerpretación

La fotointerpretación se hizo de las fotografías relacionadas en la Tabla 6, sobre las que se identificaron los rasgos litológicos y estructurales, y geomorfológicos (ver Figura 6).

Figura 6. Fotointerpretación Barrio Arauquita localidad Usaquén.

Tabla 6. Fotografías aéreas de referencia

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

Adicionalmente, se contó con fotografías de diferentes años (ver **Anexo IV**), obtenidas del estudio de Moya y García Ltda. (2.002), donde se puede observar que el área se mantuvo prácticamente sin intervención antrópica hasta el año 1.986, año en el que ya se ve la urbanización de la parte baja del barrio (barrio Arauquita I Sector), viéndose en la foto del año 1.998 que ya ha comenzado la urbanización del sector objeto de estudio (barrio Arauquita II Sector). Adicionalmente, se observa que desde el año 1.940 se están realizando la explotación de la parte baja de las ladera (canteras), actividad que ha desencadenado grandes movimientos, tal como los presentado en junio de 2.002 en el barrio Villa Nidia (Moya y García, 2.002); sin embargo, estas explotaciones no están afectando directamente la estabilidad de la zona en estudio.

4.1.3. 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

4.2.1. Geología regional

En el ámbito regional, en el área donde se encuentra la zona de estudio se identificaron las unidades (ver Plano GE135-PL-02 y Tabla 6) cuya descripción se presenta a continuación, de la más antigua a la más reciente:

4.2.1.1. Formación Arenisca de Labor (Kgal)

Este término fue propuesto por Pérez y Salazar, 1971, quienes clasificaron la antigua formación Guadalupe como Grupo Guadalupe con cuatro formaciones: Arenisca Dura (Kgad), Plaeners (Kgp), Arenisca de Labor (Kgal) y Arenisca Tierna (Kgat).

La sección tipo de la Arenisca de Labor fue descrita por los autores en las quebradas La Vieja y El Higuerón; se le reconocieron tres (3) conjuntos cuyo espesor total es del orden de 177 m, a saber:

El primer conjunto inferior, corresponde a niveles de arenisca arcillosa grisácea a blancas, hay capas de arcillolitas intercaladas; los ichnofósiles son escasos. El espesor es del orden de 25 m en este conjunto.

El segundo conjunto (el que aflora en el área aquí estudiada, tal como se observa en la Foto 7 comprende bancos de arenisca y paquetes de lodolita, blanca a pardo amarillenta, de granulometría variada con frecuentes nódulos fosfáticos y espículas de peces. Hay ondulitas en los planos de varios estratos, como se aprecia en la parte alta del área de estudio. El espesor de este conjunto es de 90 m aproximadamente.



Foto 7. Afloramiento del segundo conjunto de la arenisca de labor (Kgal), cerca de la cuneta de coronación, en la vía más oriental del barrio Arauquita II Sector.

El tercer conjunto, el superior, corresponde a una secuencia de arenisca arcillosa de estatificación gruesa con planos frecuentes de estratificación inclinada. Se aprecian ichnofósiles en algunos planos de de estratificación. El espesor de este conjunto es de 60 m según los autores arriba mencionados.

4.2.1.2. Formación Arenisca Tierna (Kgat)

Esta formación corresponde a un paquete de areniscas friables las cuales afloran al norte del área de estudio y fuera de está (Foto 8), y según los levantamientos (Pérez y Salazar) tiene un espesor promedio de 50 m.

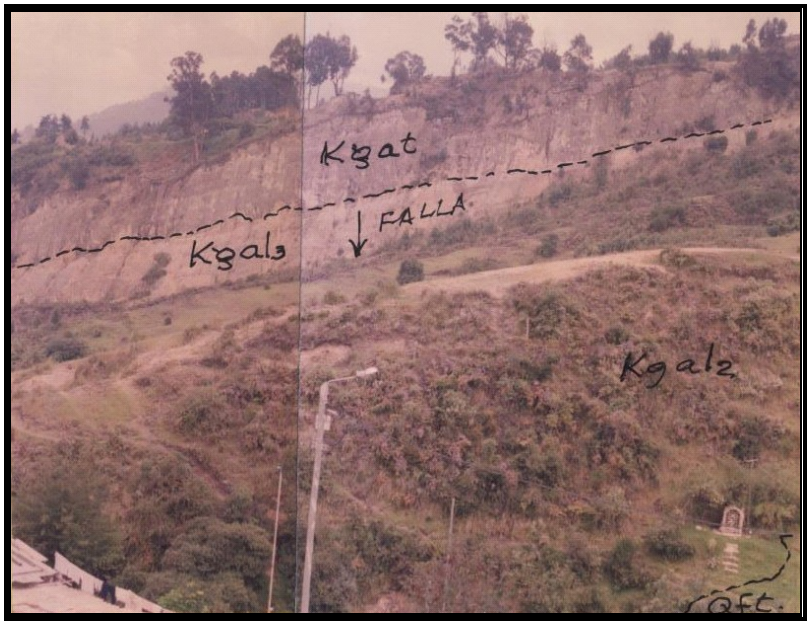


Foto 8. Escarpe localizado hacia el norte del área de estudio (fuera de ella). El tope del escarpe corresponde a la Arenisca Tierna (Kgat), en tanto que el primer plano corresponde a la Arenisca de Labor (Kgal).

4.2.1.3. Formación Sabana (Qs)

Corresponden a depósitos fluviolacustres de la Sabana de Bogotá; aparecen identificados en la fotografía aérea (abajo de la Carrera 7), pero está por fuera del área del barrio Arauquita II Sector.

4.2.1.4. Depósitos torrenciales (Qalt)

Se ubican hacia el piedemonte de los cerros orientales, corresponden a la acumulación de masas sueltas de eventos de erosión de la parte alta de los cerros y concentrados en la zona de cambio de pendiente. Están fuera del área de estudio, como se ilustra en la Figura 6 y el Plano GE-135-PL-02.

4.2.1.5. Depósitos coluviales (Qcl)

Debido a la desintegración del escarpe superior (limite oriental) se han generado depósitos coluviales, conformados por fragmentos de arenisca (principalmente de la formación arenisca tierna) embebidas en una matriz de suelo orgánico. Están en el límite oriental del área de estudio, como se ilustra en la Figura 6 y el Plano GE135-PL-02.

4.2.2. Geología local

Los trabajos de geología local se encaminaron a determinar las formaciones superficiales (ver Plano GE135-PL-03) así como el levantamiento de las columnas estratigráficas con el fin de determinar los diferentes niveles (areniscas y lodolitas) de la formación Arenisca de Labor (ver Planos GE135-PL-04 a GE135-PL-06).

Las unidades o formaciones superficiales identificadas se explican a continuación:

4.2.2.1. Areniscas / Arcillolitas o lodolitas de espesor variable (Kgal)

En el área de estudio aflora una secuencia de rocas sedimentarias de edad cretácica correspondiente a la Formación Arenisca de Labor del Grupo Guadalupe (Kgal), suprayacida por depósitos recientes de origen natural y antrópico.

El Grupo Guadalupe constituye junto con las formaciones terciarias los cerros que circundan a la ciudad de Bogotá y en principio cada unidad en particular determina de acuerdo con su litología y actitud estructural su comportamiento geotécnico.

En el barrio Arauquita las capas aflorantes presentan un rumbo preferencial de N20E a N30E y un buzamiento promedio entre 20º y 30° con una dirección preferencial hacia el Noroeste (NW) y que hacen parte del flanco occidental del Anticlinal de Usaquén (ver Foto 8).

La Formación Arenisca de Labor (Kgal) está constituida por areniscas cuarzosas, blancas o gris claras y ocasionalmente amarillentas, de grano muy fino hasta medio, con dureza y resistencia de moderada a alta, las cuales están dispuestas en bancos delgados hasta muy gruesos (ver Foto 9), con intercalaciones delgadas hasta gruesas de arcillolitas gris verdosas, laminadas, débiles y limolitas silíceas gris verdosas (ver Foto 10). Estudios estratigráficos calculan un espesor para esta formación entre 150 y 200 metros.



Foto 9. Bancos de arenisca presentes en el área de estudio.



Foto 10. Intercalaciones laminares de arcillolitas y limolitas.

En el área del barrio Arauquita II Sector se tienen afloramientos rocosos en algunos sectores a lo largo del cauce de la quebrada Arauquita; adicionalmente, y más regionalmente, se tienen afloramientos rocosos en los frentes de explotación abandonados (como por ejemplo la Cantera Cerro Norte); el resto del área se encuentra cubierta por depósitos de ceniza volcánica y rellenos de origen antrópico. En los sectores donde afloran las rocas se levantaron dos (2) columnas estratigráficas, como se puede observar en los Planos GE135-PL-04 y GE135-PL-05; adicionalmente, y de manera regional se tomó información secundaria del estudio de Geocing (1.998), tomando la información de la columna realizada hacia el sur de la zona de estudio (ver Figura 7 y Plano GE135-PL-06).

De acuerdo con los levantamientos geológicos de detalle realizados, se pudieron distinguir tres (3) subdivisiones en la Formación Arenisca de Labor, localizados tal como se presenta en el Planos GE135-PL-03, y descritos en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de los diferentes niveles encontrados en la Formación Arenisca de Labor

Sigla	Descripción
Kgal 3	Sucesión de bancos de arenisca, de más de un metro de espesor, separado ocasionalmente entre sí por capas muy delgadas de arcillolita. Las arenisca Es de color grisácea a blanca, de grano muy fino a medio, bien cementada. Es muy compacta y dura.
Kgal 2	Secuencia de arcillolita y limolita silícea, de color gris verdosa, amarilla o parda. Se presentan en paquetes laminares, y forman pequeños prismas por fracturación. La secuencia tienen un espesor de 10,5 m.
Kgal 1	Secuencia alterna de limolita y lodolita silícea, arcillolita y arenisca. La limolita silícea y la arcillolita están dispuestas en capas finas (láminas) y están algo meteorizadas, se fracturan en prismas. Su color es blanco, amarillo, pardo o gris. La arenisca tiene espesores comprendidos entre 0,5 a 1 m.

4.2.2.2. Cenizas volcánicas (Qcv)

La investigación del subsuelo ha permitido identificar un depósito de ceniza volcánica generalmente cubierto por la capa de suelo orgánico. Este depósito presenta señales de meteorización intensa. Esta constituido por un limo arcilloso con arena fina, amarillo, figurado por algunas raíces vegetales finas en la parte superior; su espesor esta comprendido entre 1,0 y 4,5 m, y está localizado en la zona noreste del área de estudio, y se puede apreciar puntualmente en el costado sur de la vía de acceso (ver Foto 11) y la zona urbanizada de la ladera estructural de la margen izquierda de la quebrada Arauquita.



Foto 11. Vista de corte localizado en el costado sur de la vía de acceso. Se observa la ceniza volcánica (de color amarillo), sobreyacida por la capa orgánica (color negro).

4.2.2.3. Limos orgánicos (Qo)

Sobre las areniscas y depósitos de ceniza volcánica se ha desarrollado una capa de suelo vegetal un alto contenido de materia orgánica (ver Foto 12) la cual al erosionarse se deposita en los pequeños valles formando franjas en las deposiciones.

4.2.2.4. Rellenos antrópicos (Qra)

Corresponden a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML-CL, CL o MH, ocasionalmente con algo de basuras, desechos de construcción y, esporádicamente, bloques y cantos de arenisca.

Están localizados en las depresiones que alcanza a taponar la quebrada (por ejemplo, en el sector de la cancha); algunos de ellos presentan evidencias de movimiento (tipo flujo de tierras, tal como se puede ver en la Foto 13). Igualmente, se clasificaron dentro de esta categoría, los existentes sobre la vía de acceso al barrio.



Foto 12. Obsérvese la capa de suelo orgánico sobre el depósito de ceniza volcánica



Foto 13. Vista general de flujo de tierras.

4.2.3. Aspectos estructurales

El barrio Arauquita II Sector se encuentra ubicado hacia el tope de una superficie estructural que buza al noroccidente, la cual hace parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá; el eje de la estructura anticlinal se logró identificar en la fotografía aérea y queda registrado en la Figura 6 y el Plano GE135-PL-02.

La superficie estructural es continua y se puede apreciar en algunos cortes para la construcción de viviendas, en los escarpes de las canteras localizada aguas debajo de la zona de estudio, así como en los taludes de la quebrada que drena la zona (ver Foto 14); su inclinación comprende valores entre 20º y 30º, y es notable el número de planos de estratificación, que los paquetes finos - laminares presentan (por ejemplo y como se puede apreciar en la Foto 15, en la carrera 5ª con calle 164 hay un afloramiento de lodolita, limolita y arenisca arcillosa, que tiene un espesor del orden de 3 m, y se pueden apreciar 25 planos de estratificación en 0,2 m).



Foto 14. Vista general de uno de los escarpes localizados en las márgenes de la quebrada Arauquita.



Foto 15. Detalle de uno de los escarpes rocosos localizados en la zona de estudio. Nótese las capas intercaladas de lodolita, limolita y arenisca arcillosa, en pequeños espesores (laminares).

En cuanto a las fallas, al norte del área de estudio pero fuera de ella, se presenta una regmita asociada con un escarpe (ver Foto 8), que según información verbal del Ing. José Vicente Amórtegui se trata del área de falla, identificada en otros estudios ejecutados en áreas circundantes a la aquí tratada. Esta regmita está identificada en la fotointerpretación del área (ver Figura 6 y Plano GE135-PL-02). En cuanto a las discontinuidades del macizo rocoso, se identificaron los sistemas universales de diaclasas que fracturan los conjuntos rocosos aflorantes en el barrio Arauquita, mediante la toma de datos de control geológico en ocho (8) puntos (estaciones), localizados en la Figura 7 y en la Tabla 8.

Figura 7. Levantamiento geológico estructural

Tabla 8. Localización de las estaciones de control geológico del presente estudio

ESTACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
GMM-1	107.262	115.401
GMM-2	107.034	115.398
GMM-3	106.980	115.511
GMM-4	106.924	115.432
GMM-5	106.911	115.467
GMM-6	106.918	115.483
GMM-7	107.049	115.468
GMM-8	106.855	115.473

A continuación se presenta una descripción de cada una de las estaciones de recolección de datos geológicos realizadas en este estudio (ver Foto 16 a Foto 23). En el **Anexo V** se presentan los datos recolectados en campo.



Foto 16. Estación GMM-1. Arenisca (pertenece al conjunto Kgal) pardo amarillenta de grano medio a fino, dura, bien cementada en capitas de 0,05 a 0,12 m de espesor; los planos de estratificación son lisos y ondulados, presentan estrías de fricción originados, probablemente, por microfallamiento entre capas. Las diaclasas son discontinuas, ligeramente abiertas, planas sin rellenos en sus paredes; por lo general las diaclasas afectan 1 a 2 capitas de arenisca.



Foto 17. Estación GMM-2. Pertenecen al conjunto medio de la Areniscas de Labor (Kgal): Arenisca pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, estratificación fina, plana, regular u ondulada; el espesor de las capas es similar a al del GMM-1. Las diaclasas son discontinuas, lisas, planas, que generan un patrón de facturación que conforma bloques casi rectangulares.



Foto 18. Estación GMM-3. Arenisca pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, estratificación fina, plana, regular u ondulada; el espesor de las capas es similar a al del GMM-1 y GMM-2. Las diaclasas son discontinuas, lisas, planas, que generan un patrón de facturación que conforma bloques casi rectangulares.



Foto 19. Estación GMM-4. Algunas capitas de arenisca, de 0,2 m de espesor, de color pardo-amarillenta, de grano fino, bien cementada, que pertenece al conjunto Kgal; en este sector la estratificación está invertida. Las diaclasas son verticales o sub-verticales, planos, discontinuas, lisas, sin relleno, que producen un patrón de fracturamiento escalonado, espaciados entre 0,01 y 0,02 m.



Foto 20. Estación GMM-5. Intercalaciones de areniscas y arcillolitas. Presentan daclasas regulares irregulares, discontinuas, planos lisos o cóncavos, cerradas a algo abiertas, con paredes cubiertas por oxido de hierro y/o arena fina con algo de materia vegetal.



Foto 21. Estación GMM-6. Limolita pardo amarillenta a verdosa formando capitas de 0,01 a 0,03 m de espesor que alternan con capitas de lidita de 0,02 a 0,05 m de espesor; constituyen en paquete de 0,8 m de espesor aproximadamente. La facturación produce un fracturamiento en forma de rombos bastante regular del mismo tipo al que desarrolla en algunos niveles de la Formación Plaeners (Kgp).



Foto 22. Estación GMM-7. Arenisca pardo amarillenta de grano medio, cimentación arcillosa, friable, con planos de estratificación algo irregulares.



Foto 23. Estación GMM-8. Intercalaciones de areniscas, arcillolitas y lodolitas.

Adicionalmente, y para aumentar el espectro de datos del diaclasamiento del macizo rocoso a nivel regional, se tomaron los datos estructurales reportados por Hidrotec (1998) en las estaciones relacionadas en la Tabla 9; en el **Anexo V** se presentan los datos recopilados.

Tabla 9. Localización de estaciones de control geológico (Hidrotec, 1998)

ESTACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
2	106.797	115.416
3	106.844	115.538
4	106.779	115.541
5	106.781	115.529
5ª	106.693	115.501
6	106.663	115.490
8	106.508	115.252
10	106.473	115.687
F-3	106.651	115.434
F-4	106.916	115.237
N-5	106.976	115.210
N-6	106.917	115.229

4.3. Geomorfología

4.3.1. Unidades geomorfológicas

De acuerdo con su origen se cartografiaron las unidades geomorfológicas que se presentan en la zona de estudio, correspondiendo a unidades de origen estructural - deposicional, formadas dentro del ámbito de plegamiento y levantamiento de la cadena montañosa que circunda la Sabana de Bogotá.

Es importante hacer énfasis que en el piedemonte de los Cerros Orientales, la acción urbanizadora ha cambiado las características geomorfológicas, tal como se puede observar en las laderas de la margen izquierda de la quebrada Arauquita.

En la zona de estudio se identificaron las siguientes unidades geomorfológicas (ver Plano GE135-PL-07):

4.3.1.1. Laderas estructurales en areniscas

Hacen parte de la geoforma básica que es la montaña, cuyo origen se debe a factores estructurales tal como el plegamiento o el fallamiento. En la zona de estudio corresponden a la geoforma predominante, y su pendiente está definida por los planos de estratificación de la roca (areniscas); localmente esta recubierta por pastos o por la urbanización. En la zona se presenta una subdivisión de esta unidad geomorfológico (ver : hacia la margen derecha de la quebrada Arauquita no ha sido intervenida por acción del hombre (LEAn), mientras que la margen izquierda ha sido fuertemente intervenida por la construcción de viviendas (LEAi).

Tabla 10. Descripción de las laderas estructurales

SIGLA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
LEAn	Ladera estructural en arenisca no intervenida.	Laderas en roca (arenisca) cuya pendiente es del orden de 30° está controlada por la estratificación. No presenta mayor intervención antrópica y está recubierta por pastos. No se presentan fenómenos de remoción en masa. Ver Foto 24
LEAi	Ladera estructural en arenisca intervenida	Laderas en roca (arenisca) cuya pendiente es del orden de 30°, está controlada por la estratificación. Debido a la intervención antrópica, la geoforma ha sido enmascarada por la urbanización. Presenta problemas locales de estabilidad en los cortes realizados para la construcción de las viviendas; además, el aporte de las aguas servidas, puede servir de detonante de movimientos generales de la ladera. Potencialmente, se pueden presentar deslizamientos planares, en los cortes perpendiculares al buzamiento y que afecten las capas de limonitas y arcillolitas presentes en la Formación Areniscas de Labor. Ver Foto 25.



Foto 24. Al fondo se puede apreciar la ladera estructural cubierta por pasto.



Foto 25. Vista de la ladera estructural, en la margen izquierda de la quebrada, sector fuertemente urbanizado.

4.3.1.2. Escarpes de roca

Estas formas de terreno se presentan por:

a) El entallamiento del cauce de la quebrada Arauquita, presentando una orientación paralela al buzamiento; generalmente están cubiertas pequeñas capas de suelo orgánico y vegetación (ver Foto 26).
b) La realización de cortes por acción del hombre, posiblemente por antiguos frentes de explotación de material; se presentan perpendiculares a la orientación del buzamiento (ver Foto 27).



Foto 26. Detalle del escarpe rocoso formado por el entallamiento de la quebrada Arauquita.



Foto 27. Vista general de uno de los taludes de corte encontrados el costado occidental de la zona de estudio.

En la zona de estudio, se subdividió está geoforma en dos tipos: relativamente estable y potencialmente inestable; la características de estas subdivisiones se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción de los escarpes en roca

SIGLA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
ERE	Escarpes de roca relativamente estable	Escarpes en arenisca (pendiente mayores a 45º) formados por el entallamiento de la quebrada Arauquita y que presentan una dirección predominantemente paralela al buzamiento (N28°E). Están recubiertos por vegetación generalmente, que evita la caida de los pequeños bloques formados por el diaclasamiento del macizo rocoso.
ERI	Escarpes de roca potencialmente inestables	Escarpes en arenisca (pendiente mayores a 45º) formados por el corte de antiguas explotaciones, con una dirección perpendicular al buzamiento, que al no estar recubiertos, pueden potencialmente presentar caída de pequeños bloques (menores a 0,5 m³) formados por la discontinuidades y estratificación presentes; debido a la presencia de pequeñas capas de arcillolitas y limolitas, generalmente en la base de los taludes, y a la disposición estructural, es probable la ocurrencia de deslizamientos planares, debido al remoldeo de dichas capas. En esta unidad, también se clasificó un pequeño tramo del escarpe izquierdo de la quebrada Arauquita, donde, por el aporte de aguas servidas y la falta de cobertura vegetal se presentan caídas de pequeños bloques de arenisca.

4.3.1.3. Laderas en suelo de origen natural

Son las geoformas originadas por la depositación de materiales sobre la ladera estructural. Se distinguen dos tipos, según el tipo de material, tal como se aprecia en la Tabla 12.

Tabla 12. Descripción de las laderas en suelo de origen natural

SIGLA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
LCV	Ladera de ceniza volcánica	Ladera constituida por la depositación de ceniza volcánica sobre la ladera estructural, con pendientes de 15 a 30º. En la margen derecha de la quebrada está recubierta por una pequeña capa de suelo orgánico y presenta reptaciones y flujo; en la margen derecha, recubre una pequeña parte de la ladera estructural y ha sido fuertemente intervenida, por la realización de cortes para la construcción de las viviendas.
LSO	Ladera de suelo orgánico	Ladera constituida por la depositación de suelos orgánicos sobre la ladera estructural, que presentan algunos signos de reptación y con pendientes inferiores a 45º.

4.3.1.4. Geoformas de origen antrópico

Corresponden a las formas antrópicas ocasionadas por la indiscriminada disposición de materiales sobrantes en diferentes sectores del área, las cuales conforman franjas alargadas en dirección de la pendiente o relativamente planas sobre la quebrada. Se distinguen dos tipos, tal como se aprecia en la Tabla 13.

Tabla 13. Geoformas de origen antrópico

SIGLA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
LA	Laderas antrópicas	Ladera constituida por material de relleno depositado en dos depresiones de la margen izquierda de la quebrada Arauquita, y que presentan movimientos tipo flujo de tierras. Están constituidos por arcillas y limos, mezclados con basuras, desechos de construcción, materia orgánica y, ocasionalmente, algunos bloques de arenisca, presenta pendientes inferiores a 45º.
DFV	Depósito de fondo de valle	Rellenos de origen antrópico, localizados sobre la quebrada Arauquita, generalmente saturados, constituidos por limos y arcillas.

4.3.2. Morfodinámica

4.3.2.1. Antecedentes de fenómenos de remoción en masa

En la zona de estudio no hay antecedentes de fenómenos de remoción en masa, salvo pequeños problemas locales producto de los cortes realizados para la construcción de las viviendas. Sin embargo, cabe la pena resaltar que, en los alrededores y hacia las partes bajas, en el sector de las canteras, se han presentado deslizamientos planares en roca (arenisca) producto del desconfinamiento del talud, sumado al reblandecimiento de las capas de limolitas y arcillolitas presentes en la Formación Arenisca de Labor, producto de los aportes de aguas de las viviendas localizadas en las partes altas de la cantera y el remoldeo de la estos materiales por deformación.

4.3.2.2. Erosión

En la zona los focos de erosión son muy concentrados en taludes que han sido excavados para vivienda, canchas y vías. Allí la erosión es laminar, provocada por la lluvia.

Adicionalmente, se puede observar alguna erosión laminar con evolución a surcos por actividad antrópica en sitios concentrados hacia la parte alta del valle.

4.3.2.3. Fenómenos de remoción

En general, los fenómenos de remoción en masa que posiblemente se pueden presentar en la zona son:

- Flujos en tierra: En segmentos de pequeños valles, en un proceso de movimiento latente, y con alguna actividad en las zonas mas húmedas. Se lograron identificar 3 valles (afluentes al principal): dos de ellos, localizados en la margen izquierda (ver Foto 28), constituidos por rellenos de limos orgánicos y algunos depósitos de escombros (rellenos antrópicos) y el otro, en la margen derecha, constituido por cenizas volcánicas (ver Foto 29). En estos sectores se presentan síntomas de pequeños movimientos indicados por la presencia de escalonamientos menores, similares a la reptación. Estas zonas son susceptibles al desplazamiento lento; eventualmente por mal manejo de aguas servidas o aguas lluvias, torrenciales, se pueden generar deslizamientos.



Foto 28. Vista general de unos de los flujos de tierras, formados por el movimiento de los rellenos antrópicos localizados en las depresiones de la margen izquierda de la quebrada Arauquita.



Foto 29. Obsérvese Al fondo las "terracetas", formadas por el movimiento de la ceniza volcánica, en la margen derecha de la quebrada Arauquita.

- Caídas de rocas: En los escarpes por entallamiento de la quebrada Arauquita, allí hay presencia de bloques limitados por cuñas. Durante el reconocimiento se pudo observar una buena cobertura vegetal, pero hay bloques expuestos con tendencia a inestabilizarse. Adicionalmente, se puede presentar deslizamiento planares sobre los estratos de limolita, especialmente en los cortes perpendiculares a la estratificación (sentido norte-sur aproximadamente).

- Reptación: Hacia las cabeceras de la quebrada Arauquita se aprecian zonas de reptación, en los depósitos de suelos orgánicos que suprayacen las areniscas.

- Deslizamientos potenciales: En los depósitos antrópicos a media ladera, especialmente los localizados en la margen izquierda de la quebrada Arauquita. También se pueden presentar deslizamientos locales, en los cortes y/o rellenos antrópicos de las excavaciones realizadas para la construcción de las viviendas, que han sido ejecutadas sin ningún control de compactación ni muros de contención de especificaciones exigidas para este tipo de obra

Adicionalmente, en la zona de superficie estructural se pueden generar deslizamientos planares, siempre y cuando se realicen cortes que intercepten la superficie de estratificación, principalmente a los niveles de limolitas y arcillolitas.

4.3.3. Drenaje

Los estudios de geología y geomorfología para el sector de la referencia se hizo un análisis de la red de drenaje teniendo en cuenta la integración, adaptación, génesis y patrón. Seguidamente se hace una descripción del drenaje teniendo en cuenta estas características:

Integración. En la fotointerpretación y en los reconocimientos de campo se pudo observar que la red de drenaje presenta dos sectores con diferencias en cuanto a la integración, hacia el costado Norte de la quebrada Arauquita el drenaje esta bien integrado es decir se puede ver la continuidad de las pequeñas depresiones sin que estas se interrumpan. En el cauce principal de la quebrada se pudo apreciar que debido a la actividad antrópica el drenaje pierde su integridad especialmente en la cancha de fútbol y en aquellos sectores donde la quebrada ha sido intervenida con los sistemas de alcantarillado. Hacia el costado sur de la quebrada el drenaje sin duda en el pasado presentaba una buena integración similar al del costado Norte pero debido al desarrollo de las urbanizaciones el drenaje natural ha sido interrumpido tanto por las viviendas como por las calles y en la actualidad el drenaje prácticamente es subsuperficial.

En cuanto a la adaptación se debe recordar que la vertiente oriental en general muestra cauces que corren perpendiculares al rumbo de la estructura del anticlinal lo cual los clasifica como valles de tipo inadaptado por antecedencia, sin embargo se destaca que al Norte y fuera del área de estudio se ha cartografiado una zona de falla la cual sí esta controlada por la estructura; en este caso, se clasifica como un drenaje adaptado a la estructura pero como se dijo está fuera del área de estudio. Así pues la quebrada Arauquita es un drenaje inadaptado por antecedencia.

Teniendo en cuenta el aspecto genético en la medida en que se levantaban los cerros Orientales se desarrollaron los cauces de tipo consecuente siguiendo la dirección de la pendiente estructural, estos canales inicialmente eran superficiales y en la medida que se han entallado como es el caso de la quebrada Arauquita ya se puede clasificar como de tipo resecuente. También se anota que la depresión por el costado Norte fuera del área de estudio que está siguiendo una zona de falla este drenaje se puede clasificar como subsecuente. Los drenajes menores en el área de la urbanización que corresponden a depresiones incipientes son el reflejo de la combinación de los sistemas de diaclasas y en este caso se podrían denominar como subsecuentes.

En cuanto al patrón en la zona el drenaje de las corrientes principales se puede clasificar de tipo subparalelo pero debido a que los cauces de menor orden llegan oblicuos a los principales, el patrón en general en la zona de la urbanización se puede clasificar como una combinación entre subparalelo y subdendrítico.

4.4. Aspectos hidrogeológicos

El agua subsuperficial proviene de la recarga desde la parte alta de la ladera, cuya infiltración es favorecida por la orientación o buzamiento de los estratos (paralelos a la pendiente), infiltrándose el agua a través de las diaclasas y fluyendo a través de las capas de roca más permeables (areniscas).

Desde el punto de vista regional, esta recarga sucede en las capas más inferiores de la formación Arenisca de Labor o de otra unidad más inferior como la Formación Arenisca Dura, y el aporte que hace en la zona debe ser mínimo. Por esta razón, es de esperar

que el flujo de agua que influye en la estabilidad de la ladera, está concentrado en los aportes de las descargas de agua de las viviendas y la de escorrentia superficial que puede infiltrarse por el sistema de diaclasas, situación que puede verse agravada por la presencia de capas de muy baja permeabilidad que, además, pueden permitir reblandecimiento de este material.

Es de anotar que, durante los trabajos de campo no se detectaron afloramientos de agua en el macizo rocoso.

5. USO ACTUAL Y COBERTURA DEL SUELO

El uso actual y la cobertura vegetal hacen referencia a las diferentes formas de ocupación de la tierra, representadas por actividades (ya sea de tipo agropecuario, minero, industrial o urbano y por clases de vegetación) cuya dinámica ha sido una consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas, edáficas, etc., del área en consideración y de las características socioeconómicas y culturales propias de la zona.

El análisis cartográfico e interpretativo desarrollado está fundamentado en el trabajo de fotointerpretación y de comprobación en campo, definiéndose patrones de uso o cobertura vegetal identificados previamente en aerofotografías del año 1998. Las unidades se representan cartográficamente en la Figura 8, cuya síntesis descriptiva e interpretativa es la siguiente:

5.1. Matorral o rastrojo alto (Ra)

Esta unidad se localiza al norte de la zona de estudio, pero sin estar en ella, por ambos costados del brazo derecho de la quebrada. Se constituye por un conjunto de coberturas vegetales referidas a rastrojos de estrato medio, bajo y matorrales.

5.2. Pastos y rastrojo bajo (P/Rb)

Este tipo de cobertura se ubica en pequeños sectores que corresponde a una formación caracterizada por la dominancia de pastos naturales, con presencia de árboles y arbustos nucleados y dispersos. Dentro de la zona de estudio ocupa el costado derecho de la quebrada Arauquita, en un área de 2,38 Ha.

5.3. Uso residencial o vivienda (URU)

Corresponde a este uso todas las edificaciones destinadas a servir como lugar de habitación a los residentes del área. Dentro de la zona se identifican construcciones de uno a tres pisos, localizadas a lo largo de la margen derecha de la quebrada Arauquita. Ocupa un área de 2,41 Ha del área de estudio.

Figura 8. Uso actual y cobertura vegetal

6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

6.1. Materiales

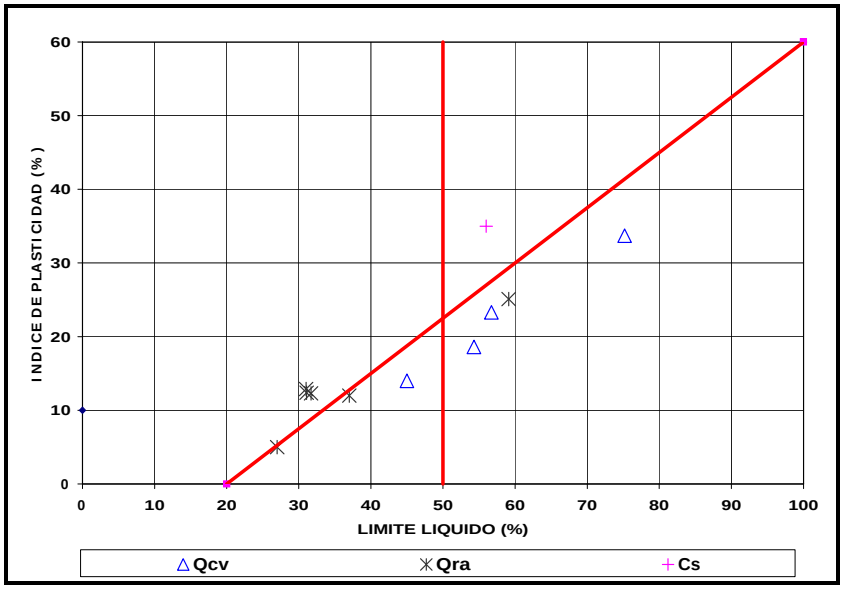
Con base en los resultados del programa de investigación del subsuelo y los trabajos geológicos, se definieron los siguientes tipos de materiales:

6.1.1. Suelo orgánico (Qo)

Son limos orgánicos de color negro (tierra negra), fisurados por raíces, de plasticidad media alta y de consistencia blanda. Están cubiertos por pastos.

6.1.2. Cenizas volcánicas (Qcv)

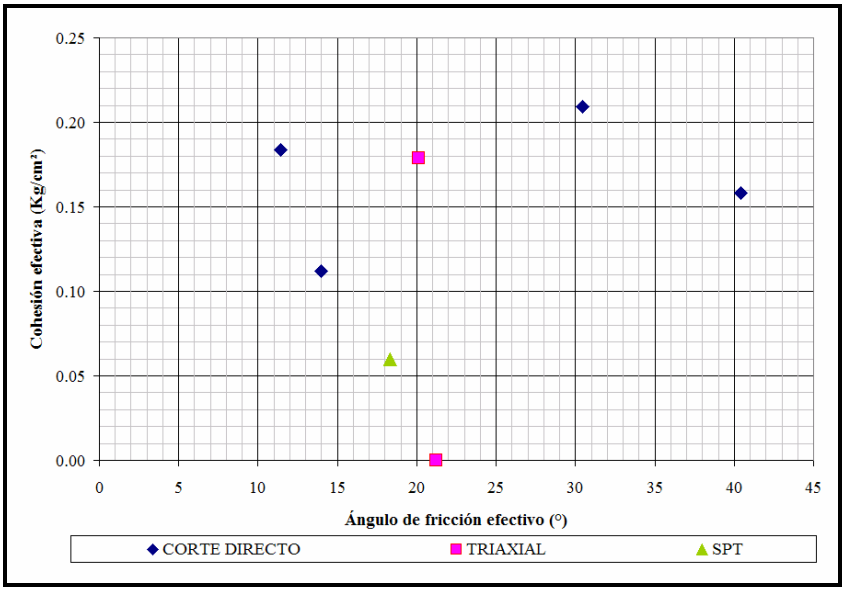
Las cenizas volcánicas son limos arenosos algo arcillosos color habano, carmelito, amarillo y en ocasiones grises, de plasticidad alta a media, de consistencia blanda a medianamente firme, y humedad media a alta, que clasifican según el sistema USC como MH o ML (ver Gráfica 1). Las variabilidad de las características geotécnicas de este material se presentan en la Tabla 14, mientras que en la Gráfica 2 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia al corte realizados.



Gráfica 1. Carta de plasticidad de Casagrande

Tabla 14. Características geotécnicas del material Qcv

CARACTERISTICA	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
HUMEDAD NATURAL (%)	34,6	50,1	39,2
LIMITE LIQUIDO (%)	45,0	75,2	57,8
LIMITE PLASTICO (%)	31,0	41,5	35,4
PESO UNITARIO (ton/m^3)	1,39	1,65	1,52



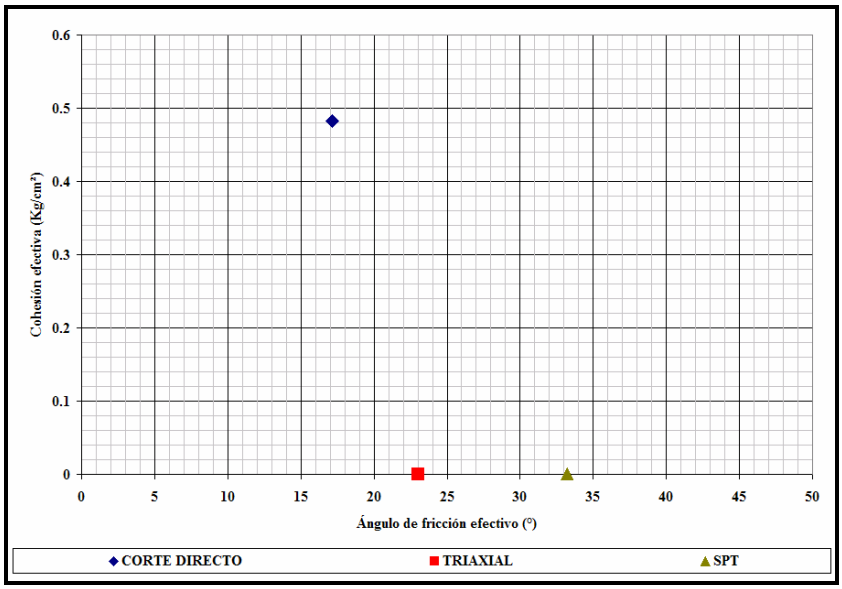
Gráfica 2. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Qcv

6.1.3. Rellenos antrópicos (Qra)

Los materiales identificados como rellenos antrópicos, corresponden a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano, carmelito, gris o negro, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML-CL, CL o MH (ver Gráfica 1). Ocasionalmente, este material contiene algo de basuras, detritos de construcción, y bloques o cantos de arenisca. La variabilidad de las características geotécnicas de este material se presentan en la Tabla 15, mientras que en la Gráfica 3 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia al corte realizados.

Tabla 15. Características geotécnicas del material Qra

CARACTERISTICA	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
HUMEDAD NATURAL (%)	10,8	57,8	26,7
LIMITE LIQUIDO (%)	27,0	59,1	42,4
LIMITE PLASTICO (%)	18,1	34,0	25,7
PESO UNITARIO (ton/m^3)	1,58	1,66	1,62



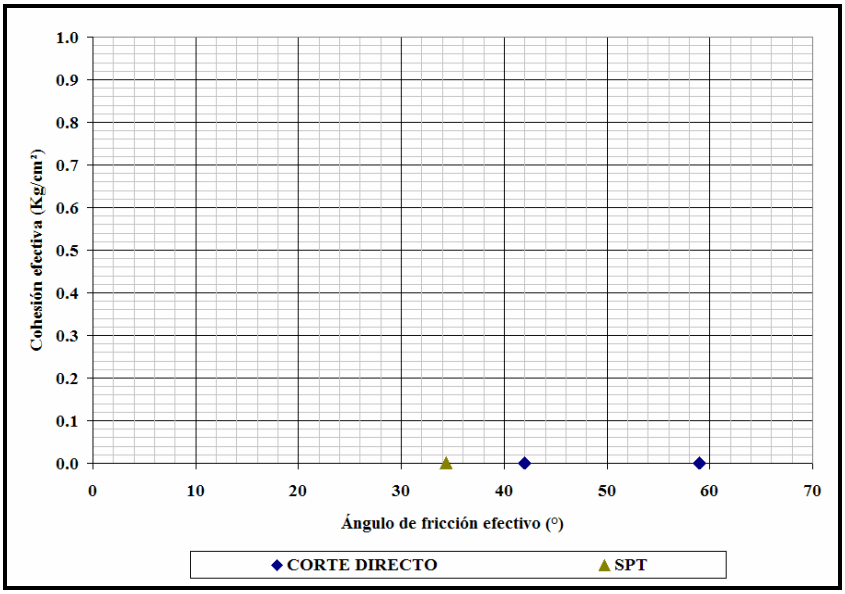
Gráfica 3. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Qra

6.1.4. Areniscas (S_s)

Roca arenisca color amarillo, muy delesnable y meteorizada. La variabilidad de las características geotécnicas de este material se presentan en la Tabla 16, mientras que en la Gráfica 4 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia al corte realizados.

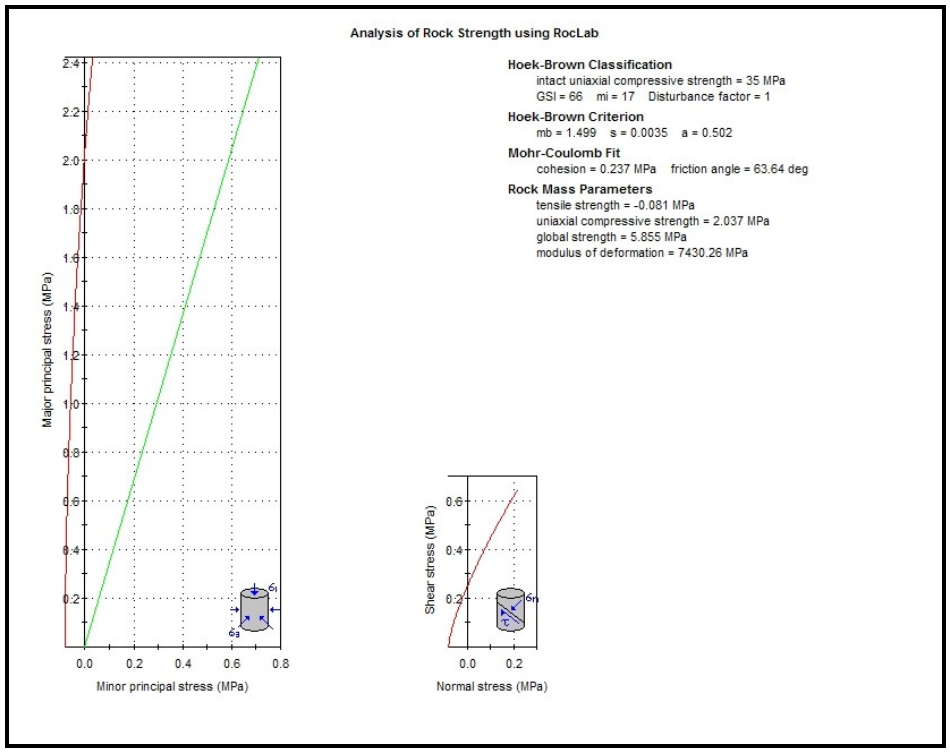
Tabla 16. Características geotécnicas del material Ss

CARACTERISTICA	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
HUMEDAD NATURAL (%)	11,7	12,4	12,1
PESO UNITARIO (ton/m^3)	2,15	2,15	2,15
COMPRESIÓN INCONFINADA (kg/cm²)	212,9	486,6	349,8



Gráfica 4. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Ss

Adicionalmente, se determinaron los parámetros de resistencia del macizo rocoso diaclasado, bajo los criterios de Hoek-Brown (ver Gráfica 5).



Gráfica 5. Parámetros de Hoek-Brown para la arenisca (taludes de hasta 4 m)

De acuerdo con el levantamiento estructural llevado a cabo en la zona (ver **Anexo V**), las familias de discontinuidades promedio del macizo rocoso son:

Tabla 17. Características estructurales del macizo rocoso

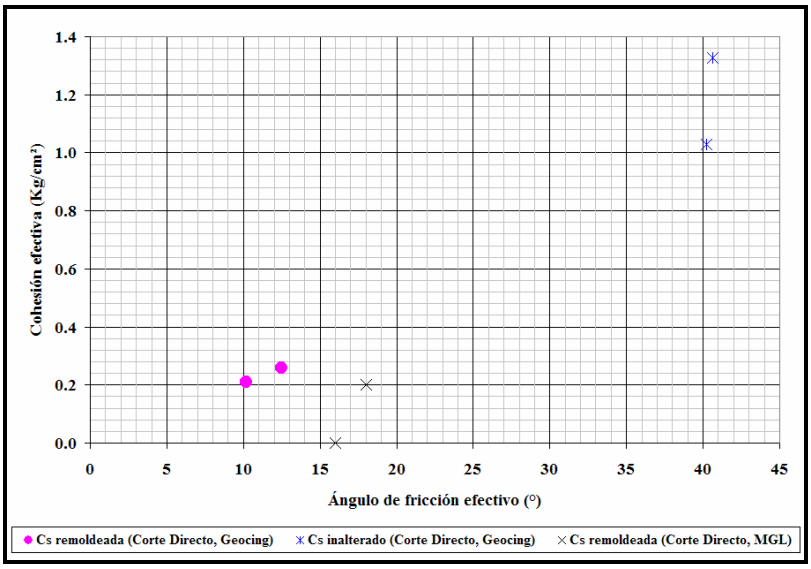
Tipo de estructura	Rumbo / buzamiento
Estratificación	N28E / 28 NW
Diaclasas 1	N32E / 78 SE
Diaclasas 2	N48W / 83 NE
Diaclasas 3	N84E / 84 SE

6.1.5. Lodolitas y arcillolitas (C_S)

Lodolitas o arcillolitas, color amarillo grisáceo, que se presentan en la zona bastante laminar, humedad media. Las variabilidad de las características geotécnicas de este material se presentan en la Tabla 18, mientras que en la Gráfica 6 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia al corte realizados.

Tabla 18. Características geotécnicas del material Cs

CARACTERISTICA	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
HUMEDAD NATURAL (%)	16,2	16,2	21,5
LIMITE LIQUIDO (%)	56,0	56,0	56,0
LIMITE PLASTICO (%)	21,0	21,0	21,0
PESO UNITARIO (ton/m^3)	1,79	2,09	1,93



Gráfica 6. Resultados de los ensayos de resistencia al corte del material Cs

6.2. 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.

6.2.1.1. De correlaciones con el ensayo de penetración estándar

Se utilizó la metodología propuesta por el Ingeniero Álvaro González[2], 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%.

~ 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 vs 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 19.

[2] 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.

Tabla 19. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayo SPT

Material	ϕ' (°)		c' (ton/m²)	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Qo	25,9	3,88	0,0	0,00
Qcv	17,8	1,30	0,5	0,04
Qra	24,1	2,20	0,2	0,36
Ss [3]	34,0	1,63	0,0	0,00

6.2.1.2. Resultados de los ensayos de corte directo y triaxial

En la Tabla 20 se relaciona el número de ensayos de resistencia al corte realizados, cuyos resultados se presentan en el **Anexo III**. Los análisis de los parámetros obtenidos por el método de Larson se presentan en el **Anexo VI**, y se resumen en la Tabla 21.

Tabla 20. Ensayos de resistencia realizados

Tipo de ensayo	Cantidad
Triaxial CU con medición de presión de poros	3
Corte directo en suelo	10
Corte directo en roca	4
Compresión inconfinada en roca	3

Tabla 21. Parámetros estadísticos de los parámetros de resistencia obtenidos de correlaciones con el ensayos de corte directo y/o triaxiales

Material	ϕ' (°)		c' (ton/m²)	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Qra	17,8	8,68	0,4	0,33
Qcv	19,6	4,77	0,8	0,20
Cs remoldeada [4]	10,9	0,69	2,4	0,16
Cs inalterada	37,9	3,13	12,0	1,36
Ss [5]	51,6	1,52	10,4	0,57

[3] Corresponde a material desintegrado (meteorizado).
[4] Ensayos realizados sobre muestras remoldeadas a una humedad cercana al límite líquido.
[5] Corresponde a ensayos sobre planos de discontinuidades.

6.3. Zonificación geotécnica

Con base en los trabajos precedentes, se procedió a realizar la zonificación geotécnica del área de estudio y sobre cada una de ellas se seleccionaron las secciones de análisis típicas, describiendo las propiedades geotécnicas de los materiales que las conforman.

En la zonificación geotécnica realizada, presentada en el Plano GE128-PL-08, se pueden distinguir seis (6) zonas, tal como se describe en la Tabla 22.

Tabla 22. Zonificación geotécnica

Nombre	Descripción
ZG-1	Ladera estructural en arenisca no intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Cinemáticamente se pueden presentar deslizamientos sobre los planos de estratificación, siempre y cuando se desconfine el talud, situación que no se presenta en la zona de estudio. Es relativamente estable.
ZG-2	Ladera estructural en arenisca intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Presenta condiciones similares a la ZG-1, pero existen cortes para la construcción de viviendas, que pueden generar pequeños deslizamientos puntuales.
ZG-3	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), con orientación paralela al buzamiento (más o menos este-oeste), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente puede presentar caída de bloques por volteo, pero que al estar recubiertos por vegetación se disminuye esta posibilidad.
ZG-4	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente pueden presentar caída de bloques por volteo; adicionalmente, al haber cortes perpendiculares al buzamiento, y quedar expuesta una superficie potencial de deslizamiento (capas de arcillolitas y limolitas), se pueden presentar deslizamientos planares debido al remoldeo (por deformación) o ablandamiento (por acción del agua subsuperficial), de los materiales de dicha capa.
ZG-5	Son taludes en ceniza volcánica, con pendientes entre 15° y 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada).
ZG-6	Taludes en rellenos antrópicos, con pendientes entre 15° y 30°, que presentan síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada). Adicionalmente, se pueden presentar flujos debido a que algunos de ellos están taponando la quebrada Arauquita.
ZG-7	Taludes en suelos orgánicos, con pendientes del orden de 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca).

Es así como, para los modelos bidimensionales de estabilidad, se seleccionaron las seis (6) secciones de análisis típicas presentadas en el Plano GE128-PL-09, donde se pueden distinguir los materiales descritos en el numeral 6.1.

7. HIDROLOGIA E HIDRÁULICA

7.1. Generalidades

El estudio hidrológico e hidráulico tiene como objetivo describir el régimen temporal y espacial de la precipitación media anual y determinar los aguaceros de corta duración para calcular los caudales y niveles máximos esperados, con el fin de elaborar el mapa de amenazas por inundación y diseñar las obras de drenaje para la estabilización y control de erosión del talud en el barrio Arauquita II Sector.

La zona de estudio está ubicada al nororiente de la ciudad de Bogotá, en la parte media y alta de la quebrada Arauquita, sobre la margen izquierda. Durante los últimos años en el sector se ha presentado una creciente intervención urbana, debido al desarrollo de barrios de invasión en sus laderas y ronda, sin ningún control de las aguas lluvias y negras. Esto hace que la energía erosiva de la lluvia y la escorrentía superficial aumenten, generando procesos de erosión superficial y fenómenos de remoción en masa, ocasionados de manera directa por alteración de la red de drenaje natural existente y la falta de construcción de un sistema de drenaje adecuado y acorde al comportamiento hidrológico del sector.

Para el análisis hidrológico se estudiará solamente el elemento climatológico precipitación, ya que es el principal agente de la erosión hídrica y uno de los factores desencadenantes de los fenómenos de remoción en masa.

Sobre la cartografía escala 1:5.000 se delimitaron las cuencas vertientes de las corrientes principales (ver Figura 9). La información cartográfica se complementó con visitas de campo y con el análisis de los levantamientos topográficos de la quebrada.

7.2. Precipitación

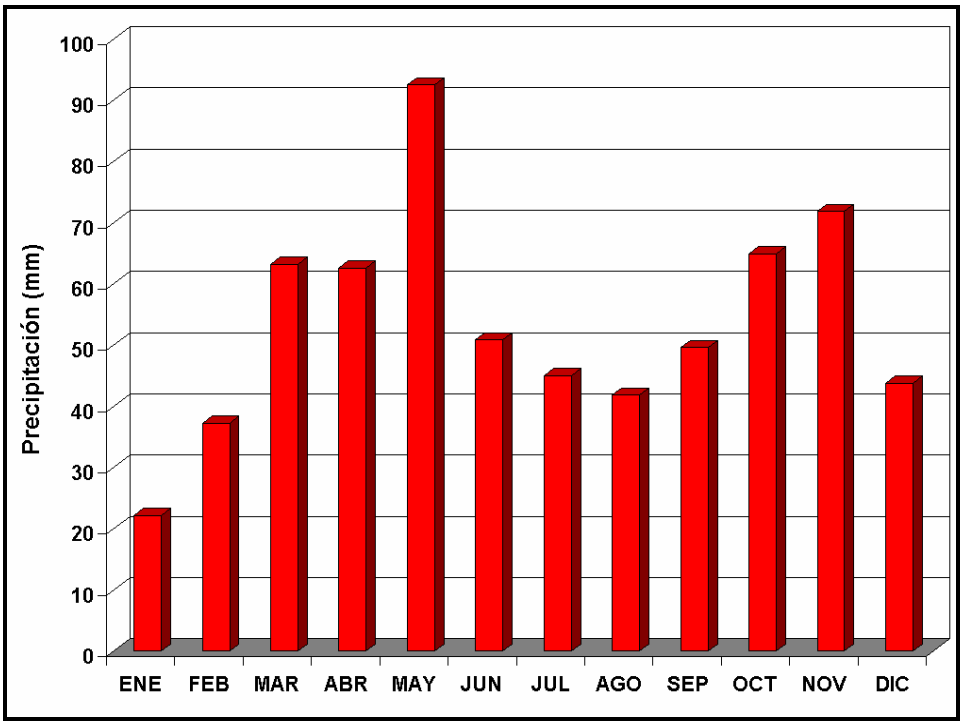
Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están asociados a los períodos lluviosos, ya que la precipitación es uno de los agentes detonantes principales de los deslizamientos. Por esto es necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial de la precipitación, para identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación se presenta el resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

Figura 9. Cuencas hidrográficas

7.2.1. Precipitación totales mensuales

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico en el barrio Arauquita II Sector, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la estación Serrezuela (2120202) operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.A.A.B – ESP, que es la más cercana a la zona de estudio y esta ubicada en la cuenca de la Quebrada San Cristóbal (de la cual hace parte la quebrada Arauquita).

La distribución temporal de la precipitación se presenta en forma bimodal o ecuatorial con dos períodos lluviosos entre los meses de marzo a mayo y octubre a enero y un período seco entre los meses de junio a septiembre, como se observa en la Gráfica 7.



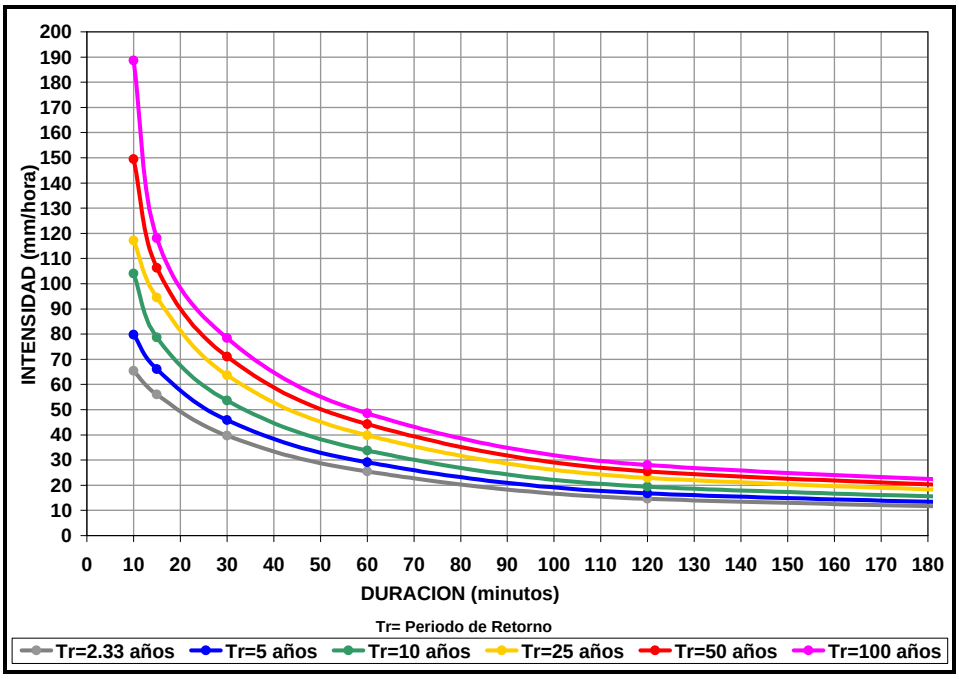
Gráfica 7. Lluvias medias mensuales (1990 - 2005) en la estación Serrezuela

La precipitación media multianual es de 920,8 mm (ver Figura 10) y el mes con mayor precipitación es noviembre con un promedio mensual multianual de 106,5 mm.

Figura 10. Distribución espacial de la precipitación media anual en Bogotá

7.2.2. Curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)

Para el análisis de los aguaceros de corta duración, que son los que generan los caudales máximos, se utilizó el informe "Estudio para el Análisis y Caracterización de tormentas en la Sabana de Bogotá", realizado por la firma consultora IRH para la E.A.A.B. - E.S.P. En este estudio se dividió a la ciudad de Bogotá en 7 zonas pluviográficas y, para cada zona se definió una curva IDF característica. El sector de análisis está ubicado en la Zona 1, cuya estación representativa de la ley de frecuencias es Serrezuela (2120202), operada por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB; la curva IDF característica para esta zona se presentan en la Gráfica 8, y los datos puntuales en la Tabla 23.



Gráfica 8. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para la zona de estudio

Tabla 23. Intensidad (mm/hora) para diferentes duraciones y períodos de retorno, para la Estación Serrezuela

Duración minutos	Período de retorno (años)					
	2.33	5	10	25	50	100
15	79.9	92.0	107.2	126.4	140.7	154.8
30	57.6	65.5	75.3	87.8	97.0	106.1
60	37.5	42.3	48.3	55.8	61.4	67.0
120	22.0	24.8	28.4	32.8	36.2	39.5
360	8.4	9.6	11.1	13.0	14.4	15.8

Con las curvas presentadas en la Gráfica 8, 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 y niveles máximos en la elaboración del mapa de amenaza por inundación.

7.2.3. Lluvia crítica[6]

Para determinar la relación precipitación crítica - duración, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá" (INGEOCIM - UPES, 1998). En este estudio se encontró que la ciudad de Bogotá se puede dividir a partir de la lluvia crítica y de la duración en dos zonas, con las siguientes ecuaciones:

Tabla 24. 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 + 0.3609 x Lluvia anual (mm)	$3.2829 * LLcrit^{0.4157}$

El sector de estudio corresponde a la zona de los Cerros Orientales; a partir de los valores de lluvia anual de la estación Serrezuela se obtuvo una precipitación crítica de 179,7 mm (que coincide con lo reportado en el estudio de Ingeocim-Upes, 1998, tal como se puede ver en la Figura 11, con una duración de 9 días y un período de retorno del orden de 14 años (ver Figura 12). De acuerdo con estos resultados, se puede concluir que la probabilidad de ocurrencia de la precipitación crítica es aproximadamente del 7%.

[6] 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.

Figura 11. Distribución espacial de la precipitación critica en Bogotá

Figura 12. Distribución espacial de periodos de retorno de la precipitación critica en Bogotá

7.3. Caudales máximos por escorrentía

7.3.1. Metodología

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.

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, que depende de las características fisiográficas del área de drenaje y la cobertura del suelo.

7.3.2. 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.

7.3.3. 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. Este valor es difícil de determinar directamente, pero se puede inferir satisfactoriamente considerando: el relieve, la permeabilidad, la vegetación y la capacidad de almacenaje en la zona de estudio. De acuerdo con las recomendaciones del MOPT[7], para este caso se obtiene un valor de 0,7, teniendo en cuenta las características morfométricas y de cobertura del suelo de la cuenca en estudio.

7.3.4. 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 alta, el tiempo de concentración se pudo evaluar gracias a la formula de Kirpich:

[7] Ministerio de Obras Públicas y Transporte – La Vialidad Ltda. (1988). ***Criterios y normas para el diseño geométrico de carreteras: El drenaje como factor determinante en obras viales.*** Reglamento técnico general de obras viales, Tomo III.

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

En donde:

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

Los tiempos de concentración menores de 10 minutos se aproximan a 10 minutos.

7.3.5. Intensidad

Para la aplicación del método racional la intensidad de diseño se deduce de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (ver Gráfica 8). 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 (ver Tabla 25).

Tabla 25. Estimación de Caudales Vs. Periodo de retorno Vs. Áreas de drenaje

			PERIODO DE RETORNO					
			2,33	5	10	25	50	100
			Intensidad (mm/hr)					
ÁREA (ha)	C	Tc (min)	65,4	79,8	104,0	117,1	149,5	188,6
			CAUDALES (m³/s)					
0,5	0,7	10	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,13
1,0	0,7	10	0,09	0,11	0,14	0,16	0,21	0,26
2,0	0,7	10	0,18	0,22	0,29	0,33	0,42	0,52
3,0	0,7	10	0,27	0,33	0,43	0,49	0,62	0,79
4,0	0,7	10	0,36	0,44	0,58	0,65	0,83	1,05

7.3.6. Diseño hidráulico de cunetas

Las 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 se calcularon para un período de retorno de 10 años (ver Tabla 25).

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.

En el **Anexo VI** se presentan las memorias de cálculo de las cunetas.

7.4. Amenaza por inundaciones

Para elaborar el mapa de amenaza por inundación se tomaron secciones transversales a lo largo de la quebrada Arauquita (ver Plano GE135-PL-10). A partir de estas secciones se delimitaron las áreas de aporte (subcuencas) y se determinaron los principales parámetros morfométricos con el fin de calcular los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, aplicando el modelo de lluvia - escorrentía (método racional); posteriormente se estimaron los niveles en cada sección teniendo en cuenta la fórmula de Manning para flujo uniforme. Los resultados se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26. Caudales y niveles en cada una de las secciones hidráulicas analizadas

SECCIÓN	AREA (Ha)	CAUDAL (m^3/s)	NIVEL (msnm)
1	11,00	3,312	2.794,28
2	10,90	3,282	2.795,63
3	10,73	3,231	2.800,00
4	10,45	3,147	2.803,50
5	10,34	3,114	2.807,81
6	9,82	2,957	2.817,56
7	9,19	2,767	2.835,26
8	8,61	2,593	2.846,06
9	8,25	2,484	2.853,30
10	7,78	2,343	2.862,44
11	7,30	2,198	2.872,11
12	6,61	1,990	2.883,47
13	5,65	1,701	2.897,88
14	5,14	1,548	2.913,58
15	4,54	1,367	2.925,00
16	3,94	1,186	2.932,86
17	3,25	0,979	2.946,61

El nivel máximo de inundación se calculó para un caudal con un período de retorno de 100 años; este nivel se determinó a partir de los parámetros hidráulicos de las secciones transversales. Con estos niveles máximos se delimitó la zona de inundación (Tr=100 años), el cual se presenta en el Plano GE135-PL-10 y las secciones hidráulicas se presentan en el Plano GE135-PL-11.

7.5. Socavación de la quebrada Arauquita

La quebrada Arauquita está confinada entre afloramientos rocosos, por lo tanto, la quebrada se puede considerar como estáticamente estable, en donde las fuerzas del flujo no son capaces de socavar el lecho.

7.6. Ronda de la quebrada Arauquita

La definición de la zona de ronda adoptada por el Plan de Ordenamiento Físico de Santafé de Bogotá D.C., (Acuerdo 6 de 1990) establece que: "Es la zona de reserva ecológica no edificable, de uso público, constituida por una faja paralela a lado y lado de la línea del borde del cauce permanente de los ríos, embalses, lagunas, quebradas y canales, hasta de 30 m de ancho, que contempla las áreas inundables para el paso de crecientes no ordinarias y las necesarias para la rectificación, amortiguación, protección y equilibrio ecológico". Los asentamientos en estas zonas atentan contra los bienes de uso público, y adicionalmente, pueden tornarse en zonas de riesgo por

inundaciones. Ya que, igualmente, muchas de las viviendas que están ocupando esta zona de ronda tienen problemas geotécnicos (asentadas sobre un relleno antrópico antitécnico), problemas con las aguas negras (no se pueden conectar a la red por estar por debajo de la cota) y basuras (arrojan las basuras a la quebrada produciendo un deterioro al ambiente), se recomienda dejar un espacio libre para protección ecológica de aproximadamente 15 m a lado y lado del eje de la quebrada, tal como lo define el estudio realizado por la EAAB (ver Figura 13). Es de anotar que la EAAB, además de tener definida la ronda de la quebrada, la ha demarcado en campo, colocando mojones de referencia (ver Foto 30).



Foto 30. Mojón localizado en el costado oriental de la zona de estudio; fue colocado por la EAAB para delimitar la zona de ronda.

Figura 13. Zona de manejo y protección ambiental

8. AMENAZA POR CAIDA DE ROCAS

8.1. Posibilidad cinemática de caída de bloques

Se analizaron cinco taludes característicos en roca, cuya ubicación se presenta en la Figura 14, cuyo azimut y buzamiento se relacionan en la Tabla 27.

Tabla 27. Azimut de buzamiento y buzamiento de los taludes en roca analizados

Talud	Azimut de buzamiento/buzamiento
CR-1	303/80
CR-2	214/50
CR-3	215/46
CR-4	207/65
CR-5	328/60

De acuerdo con los análisis de las discontinuidades, se establecieron además de la estratificación otras tres discontinuidades (Diaclasas 1 a 3), cuyo azimut y buzamiento se relacionaron en la Tabla 17.

Los análisis de posibilidad cinemática de movimientos presentados en el **Anexo IX**, arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 28. Posibilidad cinemática de movimiento

Talud	Tipo de movimiento cinemáticamente posible
1	Planar de la estratificación y volteo D1
2	Volteo de D2
3	Volteo de D2
4	Volteo de D2
5	Volteo de D1

Figura 14. Taludes analizados para caídas de rocas

8.2. Distancias de viaje y energía de impacto

Como se puede ver, todos los taludes presentan posibilidad cinemática de movimiento, pero tal como se como se describió en el numeral 4.2.3, los posibles bloques formados son muy pequeños (menores a 50 cm^3), exceptuando la posibilidad de falla planar en los taludes que cortan perpendicularmente la estratificación y que pueden abarcar miles de m^3; este análisis se presenta en el siguiente capítulo.

Para la caída de rocas, la amenaza está relacionada con la distancia de viaje de los bloques, dando como resultado la distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno (junto con su potencial de daño, expresado como la energía de impacto); para tal efecto se utilizó el Software Georock que para la simulación de caída de rocas utiliza los métodos denominados Lumped Mass y CRSP.

Para el modelo Lumped Mass las hipótesis de cálculo son: esquema plano, perfil del talud semejante a una fracción constituida por segmentos rectilíneos, bloque puntiforme y resistencia del aire. El Modelo CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) ha sido desarrollado por Pfeiffer y Bowen (1989) con el objetivo de modelar el movimiento de la caída de bloques de roca en forma de esfera, cilindro o disco, con sección circular, en el plano vertical del movimiento. Para describir el movimiento de los bloques, el modelo CRSP aplica la ecuación del movimiento parabólico de un cuerpo en caída libre y el principio de conservación de la energía total. El fenómeno del impacto se modela utilizando como sucesivos parámetros, con respecto al método Lumped mass, la rugosidad del talud y la dimensión de los bloques de roca. En particular el modelo CRSP asume que el ángulo formado entre la dirección del bloque y el perfil del talud cambia según una estadística que se debe definir para cada caso analizado. El modelo trata, por lo tanto, en modo estadístico también los resultados de las velocidades y las alturas de vuelco alcanzadas por el bloque de rocas, con respecto a la superficie del talud, durante la caída. El modelo considera por consiguiente las combinaciones de los movimientos en caída libre, de vuelco, de ruedo y de deslizamiento, que pueden variar según de las dimensiones de los bloques y de la rugosidad del talud. La confiabilidad del modelo ha sido verificada por medio de comparaciones entre los resultados numéricos y los obtenidos con las pruebas in situ.

Los algoritmos de cálculo requieren las siguientes variables de entrada:

- Perfil topográfico

- Caracterización de la superficie topográfica de cada sección: el software define dos tipos de coeficientes denominados de restitución y de rugosidad.

Coeficientes de restitución: Se conocen como coeficientes de restitución normal y tangencial, R_N y R_T, y representan el rozamiento que puede desarrollarse entre los bloques y la superficie. Lo más conveniente en el momento de elegirlos sería basarse en observaciones previas de caída de bloques y, habiendo registrado datos

de trayectoria, energía, velocidad y alcance, calibrar los análisis para que se ajusten a las observaciones.

La Firma Rocscience ha publicado (www.rocscience.com) una tabla para estimar los anteriores coeficientes, con base en observaciones y reportes de otros usuarios.

Se ha supuesto que R_N y R_T siguen una distribución normal. Sin embargo, es claro que tanto la media como la desviación estándar son difícilmente estimables en ambos casos. Como regla general, entre mejores propiedades de resistencia posea la roca, mayores son los valores de los coeficientes de restitución, y se recomiendan valores entre 0.0 y 1.0, tales que $R_T < R_N$.

Coeficiente de restitución normal, R_N: Representa una fuerza de rozamiento normal al bloque, fracción del peso, necesaria para evaluar la resistencia al corte con la superficie.

Coeficiente de restitución tangencial, R_T: Representa una fuerza de rozamiento cortante al bloque, función de la normal.

Coeficiente de rugosidad de la pendiente, S: El modelo de cálculo considera que la masa de cada bloque está concentrada en un círculo muy pequeño, y aplica ecuaciones de movimiento y energía a la "partícula" así definida. Así, los efectos correspondientes a forma y tamaño de los bloques se toman en cuenta a través de coeficientes o ajustes.

Toda sección de análisis se introduce en el software como una polilínea, la cual representa varios segmentos de recta concatenados. Sin embargo, en realidad, la superficie es rugosa y, como se aprecia en la figura siguiente, los únicos dos puntos de cada segmento que pueden considerarse de coordenadas conocidas son los de inicio y final.



La variable aleatoria que el programa utiliza para evaluar la rugosidad es el ángulo de la pendiente en cualquier punto sobre cada segmento. Se considera que dicho ángulo obedece a una distribución normal, cuya media corresponde al valor de la pendiente nominal de la recta (línea $\overline{AB}$ en la figura) y cuya desviación estándar es igual al coeficiente de rugosidad de la pendiente, *S*.

Según el Manual Avanzado del programa, los usuarios que ya lo han utilizado reportan valores del coeficiente *S* comúnmente en el intervalo de 0 a 3 y no mayores a 5.

Se entiende que *S* = 0 significa que se consideran para el análisis segmentos perfectamente rectilíneos, lo cual a su vez corresponde a la condición más probable, según la distribución adoptada. Cuando el valor *S* se hace cada vez mayor, las posibilidades de que el bloque que cae se desvíe de su trayectoria predispuesta por una superficie rectilínea son mayores también.

Pueden tenerse en cuenta los siguientes criterios para escoger el valor de la desviación *S*:

Considerar una distribución normal, de modo que:

- 68.27% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 1 desviación estándar
- 95.44% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 2 desviaciones estándar
- 99.74% de los valores están en el intervalo dado por la media más o menos 3 desviaciones estándar

Las dimensiones relativas entre bloque y materiales de la superficie permiten estimar la desviación estándar ya que para tamaños masivos, como en el caso de la zona de estudio, la diferencia de volumen hizo que *S* se redujera hasta valores entre 0.2 y 0.5.

- Caracterización cinemática de la caída de los bloques

  - Peso unitario de los bloques: se fijó en 2.2 T/m^3
  - Dimensiones de los bloques: como se anotó atrás, GeoRock efectúa lanzamientos para tres formas de bloque: disco (definido por diámetro y espesor), esfera (caracterizada por un diámetro) y cilindro (definido por diámetro y altura). De acuerdo con la inspección geológica, se consideró adecuado para el modelo utilizar bloques en forma de esfera con diámetros entre 0,2 y 1 m.
  - Velocidad inicial horizontal: 0.01 m/s, necesaria para vencer la fricción estática
  - Velocidad de frenado horizontal: 0.01 m/s
  - Velocidad inicial vertical: -0.01 m/s (hacia arriba), la cual también contribuye a vencer la fricción estática
  - Intervalo de abscisas sobre el cual se efectúan lanzamientos.
  - Número de lanzamientos a efectuar: gracias a que el software trabaja bajo un modelo de rebotes aleatorios, se hace necesario un número de lanzamientos lo suficientemente grande como para calcular frecuencias relativas de excedencia.

De los resultados que el programa entrega, se puede extraer, entre otra, la siguiente información:

- Alcance máximo horizontal (m) dentro del grupo de bloques lanzados
- Alcance promedio (m)
- Energía máxima de los bloques (kJ)

Los resultados obtenidos en el **Anexo IX**. En la Figura 15, se presentan los resultados de obtenidos de la sección CR-1.

9. AMENAZA POR DESLIZAMIENTO

9.1. 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.

Figura 15. Envolvente trayectoria y energía de impacto para la sección CR-1

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).

9.1.1. Secciones de análisis

Para los modelos bidimensionales de estabilidad, se seleccionaron las siete (7) secciones de análisis típicas presentadas en el Plano GE135-PL-09, donde se pueden distinguir seis (6) tipos de materiales, tal como se describe en el numeral 6.

9.1.2. Método de análisis

9.1.2.1. Deslizamientos en suelos

En los suelos, para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas establecidas (ver Secciones 1 a 5 del Plano GE135-PL-09) 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.

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

9.1.2.2. Deslizamientos planares en roca

En los suelos, para la determinación de la probabilidad de falla de las diferentes secciones geotécnicas establecidas (ver Secciones 6 a 7 del Plano GE135-PL-09), donde existe la posibilidad cinemática de deslizamientos planares de bloques de roca, especialmente deslizándose sobre las capas de limolitas y arcillolitas existentes, se realizó el análisis de estabilidad mediante el método del equilibrio límite, hallando la probabilidad de falla por medio del método PEM (método de Rosenblueth, 1975). El método PEM (Point Estimate Method), en forma generalizada, establece lo siguiente:

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:

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

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

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:

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

y la desviación de la variable *y* como:

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

definiendo,

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

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).

9.1.3. Deslizamientos puntuales en taludes de corte y relleno

En la zona, algunos habitantes del sector adecuan los sitios, realizando cortes (ver Foto 31) y/o rellenos (ver Foto 32) para la construcción de las viviendas, construyendo algunas estructuras que estructuralmente no son muy confiables.

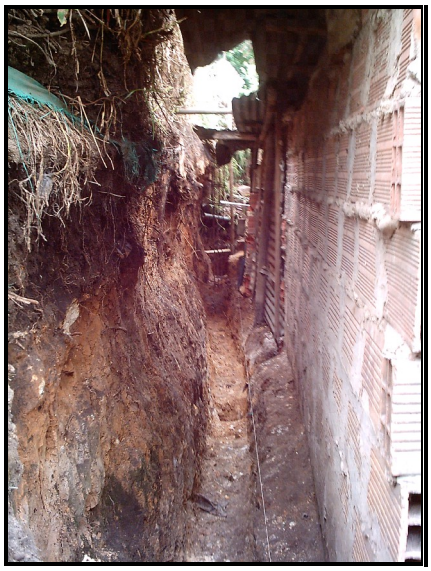


Foto 31. Corte para construcción de viviendas. Están construyendo muro en piedra pegado, con columnas.



Foto 32. Muro de gaviones, construido para la adecuación de la vivienda (en relleno).

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:

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

Donde,

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

9.2. 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 29.

Tabla 29. Parámetros de resistencia seleccionados

Material - Parámetro		Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo	ρ
Qo	ϕ' (º)	26	4	30	22	--
	c' (kPa)	0	--	--	--	
Qcv	ϕ' (º)	19	5	27	15	-0,5
	c' (kPa)	7	2	10	0	
Qra	ϕ' (º)	17	7	24	10	-0,5
	c' (kPa)	5	4	9	0	
Cs (remoldeado)	ϕ' (º)	21	8	29	13	-0,5
	c' (kPa)	10	10	20	0	
Cs (inalterado)	ϕ' (º)	38	3	42	32	-0,5
	c' (kPa)	120	13	141	98	
Ss [9]	ϕ' (º)	35	5	40	30	-0,5
	c' (kPa)	0	5	10	0	

Los pesos unitarios utilizados en los modelos de estabilidad se presentan en la Tabla 30.

[9] Para planos de discontinuidades.

Tabla 30. Pesos unitarios de los materiales utilizados en los modelos

Material	γ_d (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)
Qo	14	17
Qcv	15	20
Qra	16	19
Cs	21	23
Ss	23	25

9.3. Factores detonantes para el caso de deslizamientos en suelos

9.3.1. 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 7.2.3):

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

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

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

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 se presentan en el **Anexo IX**, cuyos resultados se resumen en la Tabla 31.

Tabla 31. Parámetros estadísticos para el nivel del agua en los diferentes materiales

Material	λ	Np
Qcv	21,99	0,0306
Qo	0,119	0,8526
Qra	--	0,0

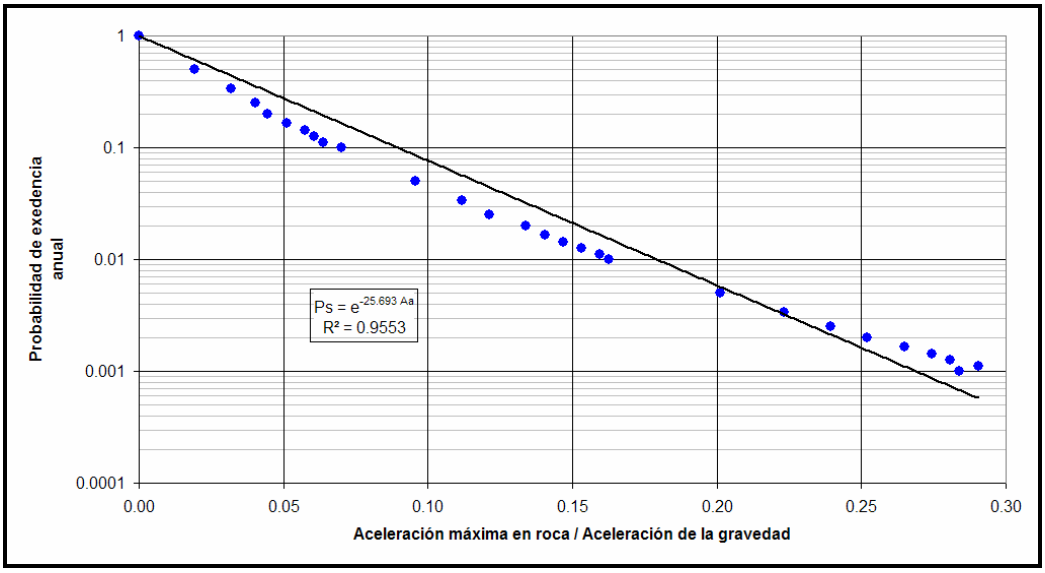
9.3.2. Sismo

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), cuyos datos se presentan en la Gráfica 9; ajustándolos los datos a una función de probabilidad exponencial se obtiene lo siguiente:

$$P\left(a_h \geq a_x\right) = \begin{cases} 1 & a_x < a_{\min} \\ e^{-\lambda_s \left(\frac{a_x - a_{\min}}{a_{\max} - a_x} \right)} & a_{\min} \leq a_x < a_{\max} \\ 0 & a_x \geq a_{\max} \end{cases}$$

Donde,

a_{max} : Aceleración máxima probable, para este caso 0,3 g.
a_{min} : Aceleración mínima probable, para este caso 0.
l_s : Parámetro de la distribución exponencial, para este caso igual a 1,54.



Gráfica 9. Probabilidad de excedencia del sismo en la zona ajustada a una distribución exponencial

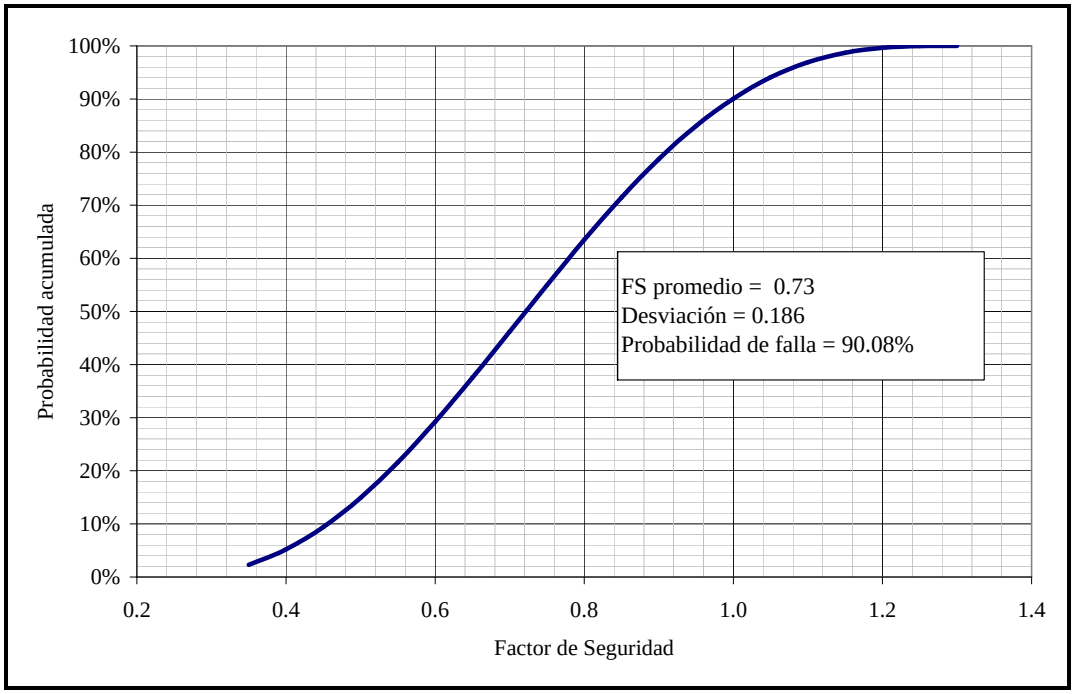
9.4. Resultados

9.4.1. Deslizamientos en suelos

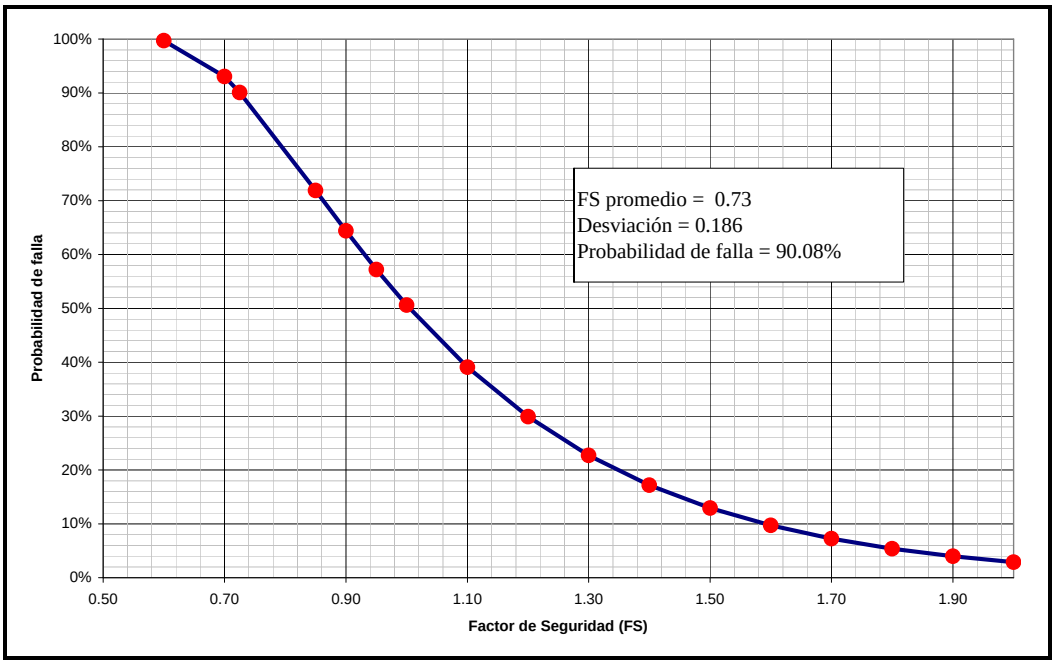
Los resultados de los análisis de estabilidad probabilísticos en suelos se presentan en el **Anexo X,** cuyo resumen se presenta a continuación.

9.4.1.1. Laderas en ceniza volcánica

Para este material se tomaron como sección típica la SG-2 del Plano GE135-PL-09, donde se presenta un depósito de cenizas volcánicas con un espesor del orden de 3,5 m, que suprayace sobre la roca. De acuerdo con los resultados presentados en el **Anexo X**, los factores de seguridad de la ladera varía entre 1,1 y 0,7, siendo este último el más crítico el meno y el cual tiene una probabilidad de falla del orden del 90% (ver Gráfica 10); la probabilidad de falla para los diferentes factores de seguridad se presentan en la Gráfica 11.



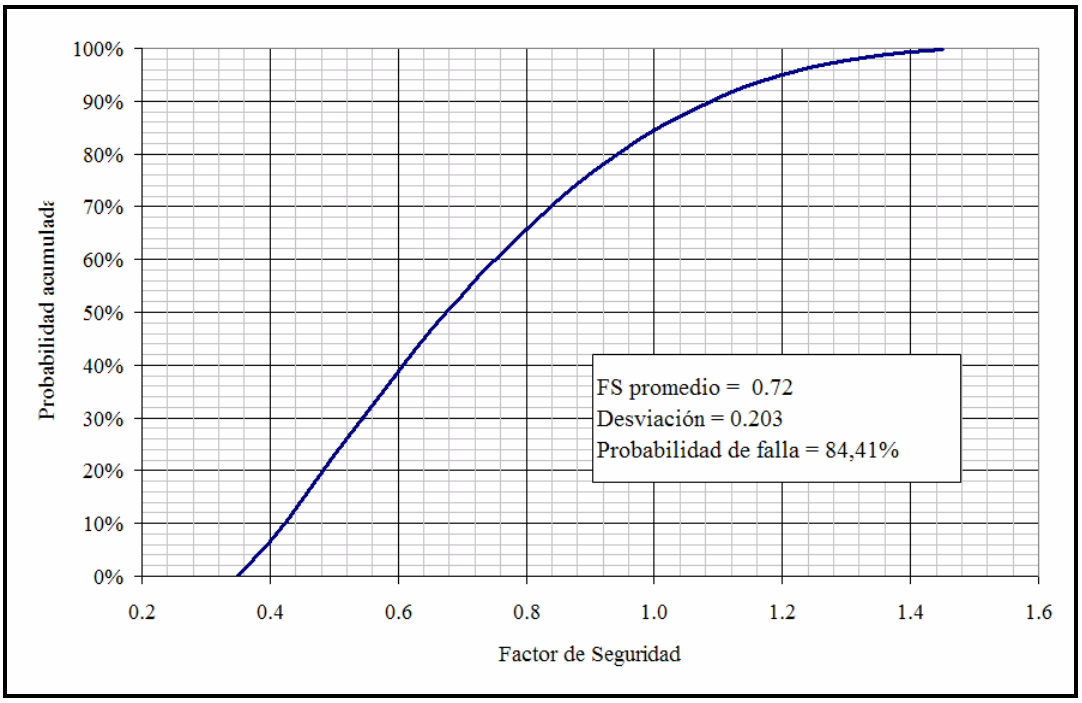
Gráfica 10. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qcv



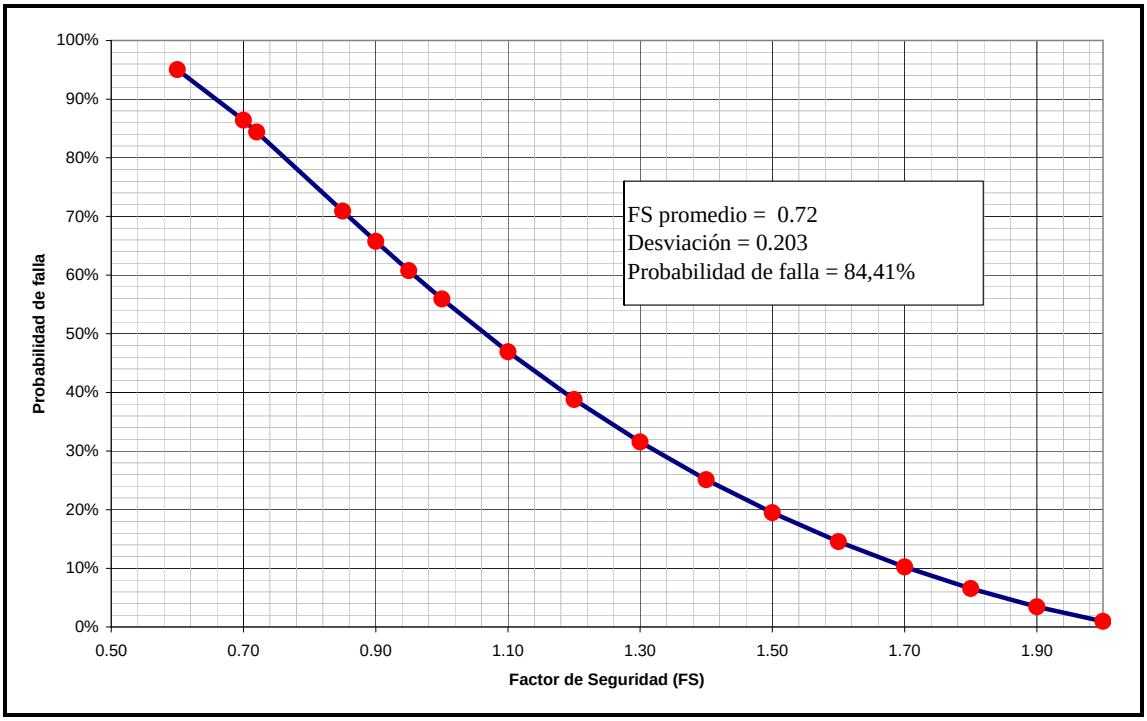
Gráfica 11. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qcv

9.4.2. Laderas en rellenos antrópicos

Para este material se tomaron como sección típica la SG-4 del Plano GE135-PL-09, donde se presenta depósito de rellenos y flujos con un espesor del orden de 2,5 m, que suprayace sobre la roca. De acuerdo con los resultados presentados en el **Anexo VIII**, los factores de seguridad de la ladera varía entre 1,0 y 0,7, siendo el más crítico este último y el cual tiene una probabilidad de falla del orden del 84% (ver Gráfica 12); la probabilidad de falla para los diferentes factores de seguridad se presentan en la Gráfica 12.



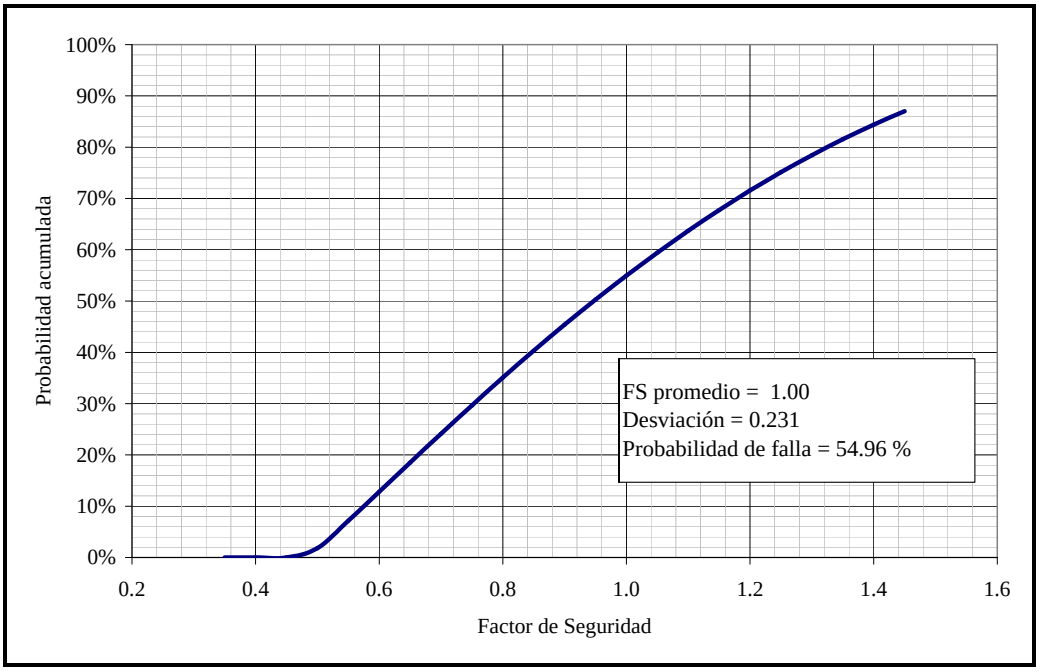
Gráfica 12. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qra



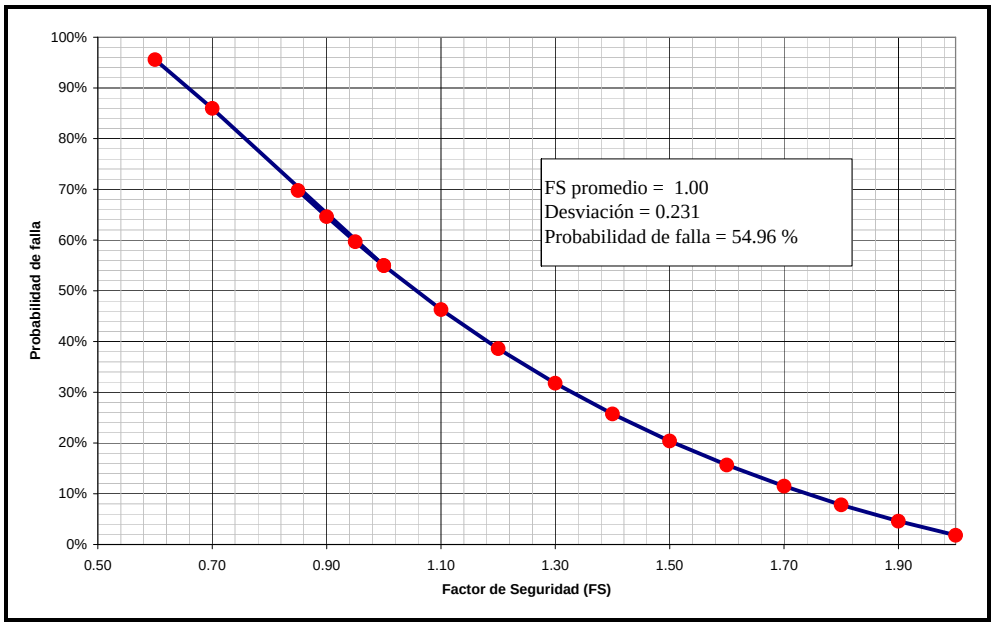
Gráfica 13. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qra

9.4.2.1. Laderas en suelos orgánicos

Para este material se tomaron como sección típicas las SG-1 del **Plano GE135-PL-09**, donde se presenta depósito de rellenos y flujos con un espesor del orden de 2,5 m, que suprayace sobre la roca. De acuerdo con los resultados presentados en el **Anexo VIII**, los factores de seguridad de la ladera varía entre 1,3 y 1,0, siendo este último el más crítico y el cual tiene una probabilidad de falla del orden del 55% (ver Gráfica 14); la probabilidad de falla para los diferentes factores de seguridad se presentan en la Gráfica 15.



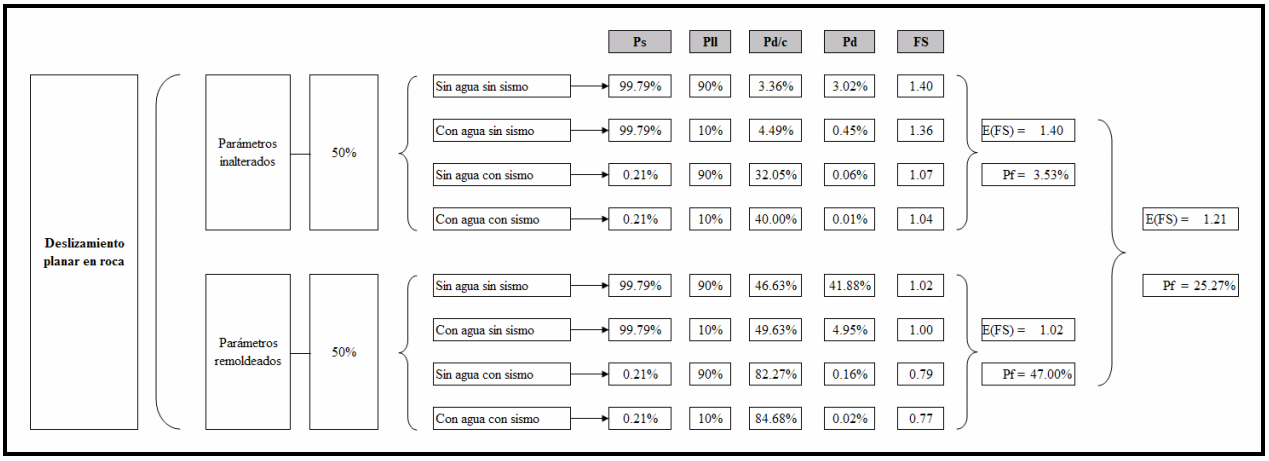
Gráfica 14. Distribución acumulativa de la función de probabilidad del factor de seguridad crítico, en el material Qo



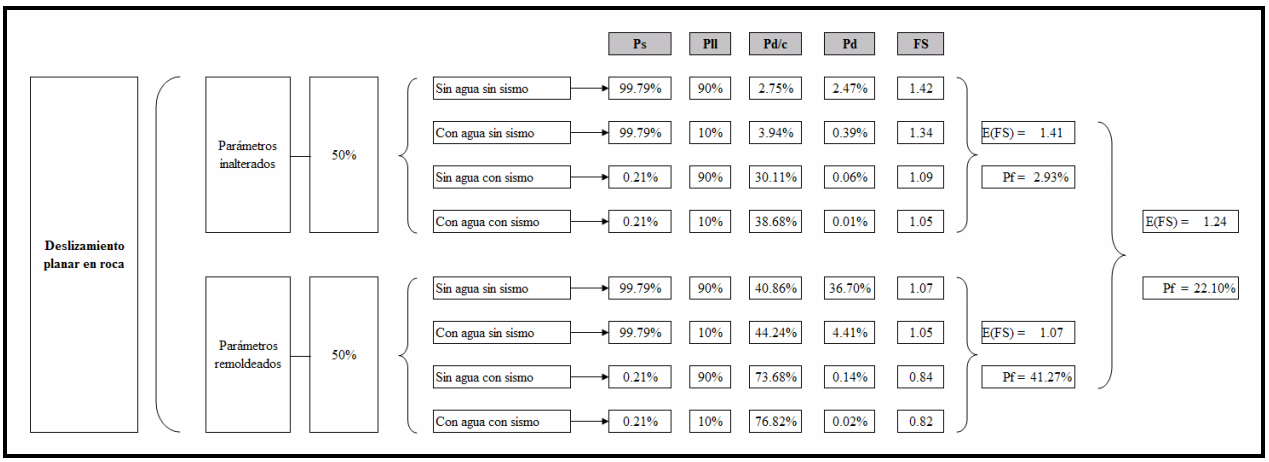
Gráfica 15. Probabilidad de falla para diferentes factores de seguridad en el material Qo

9.4.3. Deslizamientos planares en roca

Los análisis de estabilidad se realizaron para dos condiciones: parámetros inalterados y parámetros remoldeados. Para determinar los factores de seguridad esperados y la probabilidad de falla, se realizaron adicionalmente a los análisis de estabilidad probabilísticos por el método PEM, los árboles de eventos presentados en la Gráfica 16 y en la Gráfica 17.



Gráfica 16. Árbol de eventos para el deslizamiento planar en la sección 6



Gráfica 17. Árbol de eventos para el deslizamiento planar en la sección 7

9.5. 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 32. Se realizó el plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa, presentado en el Plano GE135-PL-12A.

Tabla 32. 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 la Tabla 33, resultados que fueron plasmados en el Plano GE135-PL-12B.

Tabla 33. 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

Con el cruce de los dos mapas, se obtuvo el mapa de amenaza general por fenómenos de remoción en masa, el cual se presenta en el Plano GE135-PL-12C, y cuyo resumen se presenta en Tabla 34.

Tabla 34. Zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa

Zona de Amenaza	Zona geotécnica	Descripción geotécnica	Factor de seguridad	Probabilidad de falla
A1 (Baja)	ZG-1	Ladera estructural en arenisca no intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Cinemáticamente se pueden presentar deslizamientos sobre los planos de estratificación, siempre y cuando se desconfine el talud, situación que no se presenta en la zona de estudio. Es relativamente estable. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Muy Rápido".	Mayor a 1,9	0% – 5%
A2 (Media)	ZG-2	Ladera estructural en arenisca intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Presenta condiciones similares a la ZG-1, pero existen cortes para la construcción de viviendas, que pueden generar pequeños deslizamientos puntuales. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Muy Rápido".	1,5 a 1,9	3% al 10%
A3 (Media)	ZG-3	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), con orientación paralela al buzamiento (más o menos este-oeste), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente puede presentar caída de bloques por volteo, pero que al estar recubiertos por vegetación se disminuye esta posibilidad. La energía de impacto de los bloques es menor a 1 kJ	1,5	Del orden del 5%
A4 (Media)	ZG-4	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente pueden presentar caída de bloques por volteo; adicionalmente, al haber cortes perpendiculares al buzamiento, y quedar expuesta una superficie potencial de deslizamiento (capas de arcillolitas y limolitas), se pueden presentar deslizamientos planares debido al remoldeo (por deformación) o ablandamiento (por acción del agua subsuperficial), de los materiales de dicha capa. La energía de impacto de los bloques es menor a 1 kJ.	1,3	Del orden del 10%
A5 (Alta)	ZG-5	Son taludes en ceniza volcánica, con pendientes entre 15° y 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada). Las cenizas volcánicas son limos arenosos algo arcillosos color habano, carmelito, amarillo y en ocasiones grises, de plasticidad alta a media, de consistencia blanda a medianamente firme, y humedad media a alta, que clasifican según el sistema USC como MH o ML. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	1,1 a 0,7	40% a 91%
A6	ZG-6	Taludes en rellenos antrópicos, con pendientes entre 15° y 30°, que presentan síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada). Adicionalmente, se pueden presentar flujos debido a que algunos de ellos están taponado la quebrada Arauquita. Los rellenos corresponden a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML-CL, CL o MH, ocasionalmente con basuras, detritos de demolición, o bloques y cantos de arenisca. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	0,7 – 1,0	45% - 85%
A7 (Alta)	ZG-7	Taludes en suelos orgánicos, con pendientes del orden de 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca). En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	1,0 – 1,3	30% - 50%

10.VULNERABILIDAD Y RIESGO

10.1. 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[10] y modificada por Soler et al[11]. 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).

10.1.1. Tipificación de las viviendas

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se obtendrá una tipificación de las viviendas teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura (ver Tabla 37).

Tabla 35. Criterios de resistencia de las estructuras según el tipo de solicitación[12]

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

[10] 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.
[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.
[12] Adaptado de Leone (1996)

Teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente, se decidió adoptar para tipificar las viviendas el criterio de Leone, el cual se resume en la Tabla 36.

Tabla 36. Clasificación de la tipología de vivienda

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

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

En el Plano GE135-PL-13 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).

10.1.2. 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 37. Clasificación de los daños según el DRM

Índice de daño	Tipo de daño	Porcentaje de daño
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0.0 - 0.1
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0.2 - 0.3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0.4 - 0.6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 - 0.8
V	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).

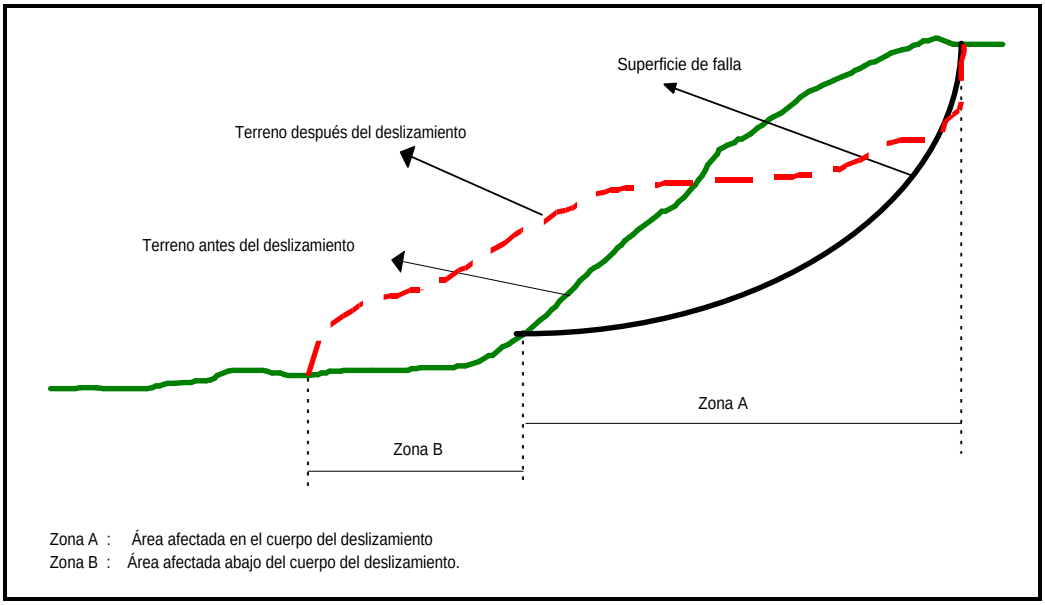
Para tener en cuenta el estado actual de las viviendas (de acuerdo con la calidad de la estructura), se determinó para cada una de las edificaciones del barrio el Índice de Daño Actual (IDa).

10.1.3. Solicitaciones

10.1.3.1. Tipos de movimientos y solicitaciones

El tipo de solicitaciones depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno[13], tal como se presenta a continuación.

a) Deslizamientos



Gráfica 18. Esquema de deslizamiento

Como se puede observar en la Gráfica 18, 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[14], presentada a continuación.

[13] 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.
[14] Cruden , D. y Varnes D.(1991). ***Landslides types and processes.*** Universidad de Alberta.

Tabla 38. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio

Descripción	Clase	Velocidad característica
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/s
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/s y 50 mm/s
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/s y 0,5 mm/s
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/s y 0,05 mm/s
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/s

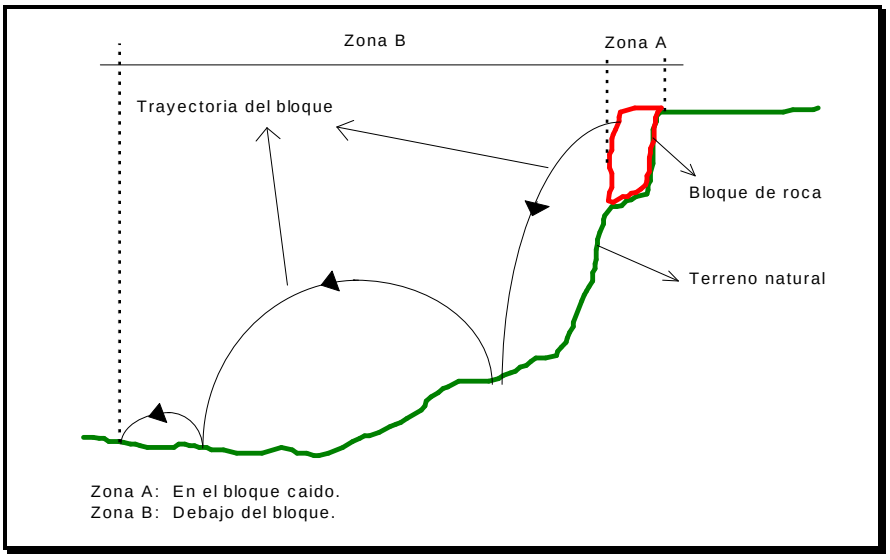
En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda, así:

Tabla 39. 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

Sin embargo, dada las características de los depósitos existentes, la distancia de viaje de los deslizamientos está limitada por la quebrada Arauquita (actualmente llegan todos los depósitos hasta allí), por lo que este tipo de solicitación no afectará las viviendas existentes.

c) Caída de rocas



Gráfica 19. Esquema de caída de rocas.

De igual forma que en el caso anterior, se distinguen dos (2) zonas con diferentes tipos de solicitaciones (ver Gráfica 19). En la Zona A (dentro del bloque caído) o Zona de Influencia Directa, las viviendas sufrirán daños asociados con desplazamientos horizontales instantáneos. En la Zona B (debajo del bloque) o Zona de Influencia Indirecta, los daños en las viviendas se pueden asociar al impacto producido por el bloque, que se puede calificar por medio de la energía cinética del bloque.

Las solicitaciones en la Zona B se le asocian las siguientes categorías de solicitación, dependiendo de la energía cinética del bloque:

Tabla 40. Solicitaciones características de la zona de influencia indirecta por caída de rocas[15].

Categoría	Solicitación	Rangos de la energía cinética (Ec)
Muy baja	EC5	Ec < 1 Kj
Baja	EC4	1 kJ < Ec < 10 Kj
Media	EC3	10 kJ < Ec < 100 Kj
Alta	EC2	100 kJ < Ec < 1000 Kj
Muy Alta	EC1	Ec > 1000 kJ

10.1.3.2. 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.

[15] Adaptada de Leone (1996).

Tabla 41. Matriz de daño utilizada en el estudio[16].

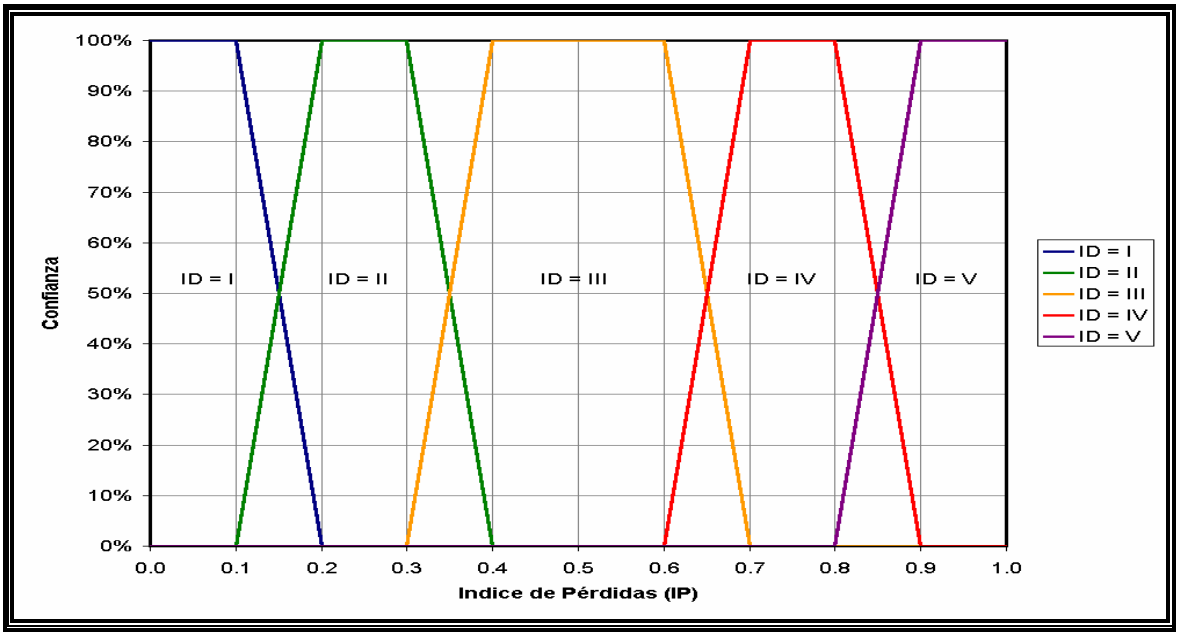
TIPO DE SOLICITACIÓN	CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DE VIVIENDA			
		B1	B2	B3	B4
IMPACTOS	EC1	V	V	V	IV
	EC2	V	V	IV	III
	EC3	V	IV	III	II
	EC4	IV	III	II	I
	EC5	III	II	II	I
DESPLAZAMIENTOS LATERALES	VM1	V	V	V	IV
	VM2	V	V	IV	IV
	VM3	V	IV	III	III
	VM4	IV	III	III	II
	VM5	III	II	I	I
EMPUJES LATERALES	PL1	V	IV	III	III
	PL2	V	IV	III	II
	PL3	IV	III	II	I

10.1.4. 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 Gráfica 20), adoptando la metodología utilizada para la evaluación de daños durante sismos[17]; de esta forma se determina el porcentaje de daño o índice de pérdidas (IPa, asociado al IDa; y el IPp, asociado al IDp.

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

[17] 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.



Gráfica 20. Valoración del ID utilizando conjuntos difusos

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 se está 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), se debe evaluar el índice de pérdidas; lo expuesto se puede expresar probabilísticamente como:

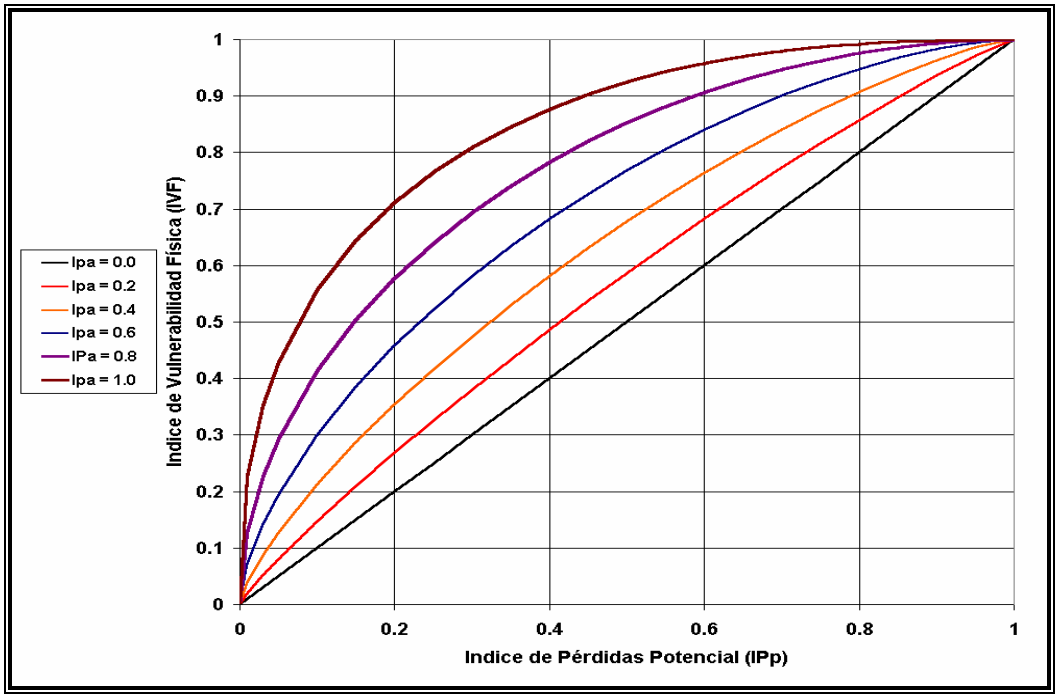
$$IVF = P(IPp / IPa)$$

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[18] para involucrar otras variables diferentes al tipo de solicitación y la tipología de vivienda. De esta forma:

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

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 (Gráfica 21) que relaciona el IPp y el IPa con el IVF para un α=0,6.

[18] 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.



Gráfica 21. Gráfica para determinar 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 42. Selección del valor de α

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.

10.1.5. Resultados obtenidos

Con base en los resultados de los análisis de vulnerabilidad presentados en el **Anexo XII**, se procedió a categorizar el valor del IVF de acuerdo con criterios establecidos en estudios previos realizados en Bogotá por F. Soler, A. J. González y otros, los cuales se presentan en la Tabla 43. Los resultados se plasman en el Plano GE135-PL-14.

Tabla 43. Criterios de categorización de la vulnerabilidad ante deslizamientos

Vulnerabilidad ante deslizamientos	Criterio	Descripción
ALTA	IVF promedio ≥ 0.65	La probabilidad de pérdidas materiales es mayor al 65% en caso de ocurrencia de un deslizamiento.
MEDIA	0.35 ≤ IVF promedio < 0.65	La probabilidad de pérdidas materiales está entre el 35% y el 65% en caso de ocurrencia de un deslizamiento.
BAJA	IVF promedio < 0.35	La probabilidad de pérdidas materiales es menor al 35% en caso de ocurrencia de un deslizamiento.

10.2. Riesgo

10.2.1. 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).

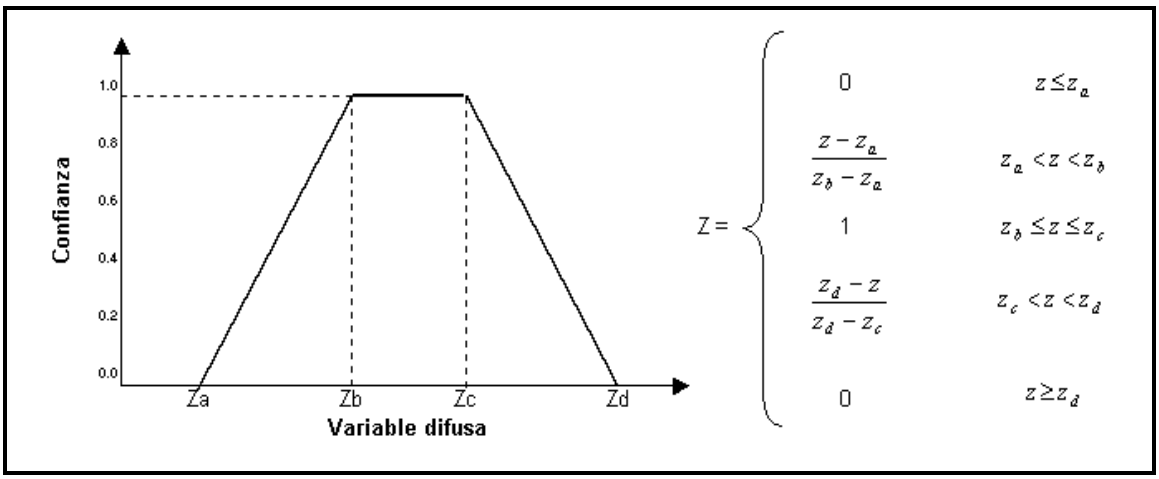
$P(e)$ Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; denominado también amenaza (H).

$\mathrm{P}_{(E,S,A)}$ 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 Gráfica 22.



Gráfica 22. 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:

10.2.1.1. 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

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

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,

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

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

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

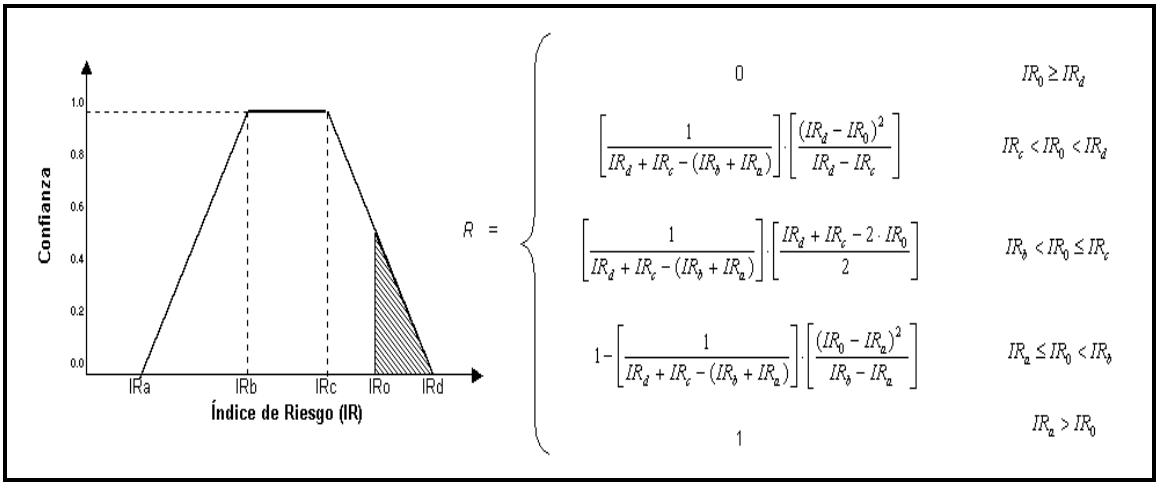
Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del IR se puede calcular la probabilidad de excedencia de cierto valor de referencia (que son las pérdidas admisibles por el decidor, es decir un riesgo aceptado, y denominado en este estudio IRo), ajustándolo a una función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc.).

10.2.1.2. 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 en la Gráfica 23.



Gráfica 23. Cálculo del riesgo por conjuntos difusos trapezoidales

10.2.2. 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 en la Tabla 44.

Tabla 44. Categorización del riesgo

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

Los cálculos para el cálculo del riesgo en cada una de las edificaciones del barrio Arauquita II sector, se presentan en el **Anexo XII**. En el Plano GE135-PL-15 se presenta la categorización del riesgo para cada uno de las edificaciones existentes en el área de estudio.

11. ANALISIS COSTO/BENEFICIO

11.1. Método de análisis

La metodología utilizada para el análisis de costo/beneficio es la de Costo por Vida Salvada (CVS)[19], 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[20].
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:

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

[19] Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996
[20] 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.

11.2. Análisis de alternativas

Para el sector del barrio Arauquita, y dado que la gran mayoría de las viviendas están en zona de ronda, únicamente se plantearon alternativas 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.

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 en piedra pegada y drenaje (ver Planos GE135-PL-16 y GE135-PL-17).
- Caminos peatonales en adoquín y drenaje (ver Planos GE135-PL-18 y GE135-PL-19).
- Revegetación de los taludes de la margen de la quebrada Arauquita (ver Plano GE135-PL-20 y Figura 16.

Ya que no se contempla la intervención de la calidad de las viviendas (vulnerabilidad), la categorización del riesgo por fenómenos de remoción en masa en la zona no cambia con las obras propuestas (ver Plano GE135-PL-21), aunque si hay una pequeña disminución en la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos.

Figura 16. Revegetalización

12. CONCLUSIONES

El área seleccionada es de forma irregular, de aproximadamente 4,9 Ha. Está limitada por el norte con una zona no urbanizada subparalela al cauce de la quebrada Arauquita (N60°W), por el oriente con una línea en sentido NS que es aproximadamente la continuación de la Carrera 1, por el sur con las calles 163A y 163B (vía pavimentada de acceso al barrio) y por el occidente con una línea que es la prolongación de la carrera 5 y constituye el límite entre los barrios Arauquita Primer Sector (parte baja) y Arauquita II Sector (parte alta).

El barrio Arauquita II Sector está situado en la Localidad de Usaquén, sobre una ladera estructural de los cerros nororientales de la ciudad, altura de la Calle 163B entre Carreras 5 y 1, constituyendo una franja angosta y alargada que remonta desde los 2.800 hasta los 2.900 metros de altitud, aproximadamente Foto 1; este asentamiento se ha formado como una extensión del barrio Arauquita I Sector.

Este barrio se desarrolló de forma irregular sobre terrenos de alta pendiente de los Cerros Nororientales de Bogotá, en condiciones poco tecnificadas, lo cual ha sido causa de eventos locales de inestabilidad y por tal motivo, la DPAE ha emitido en el sector varios diagnósticos por problemas de remoción en masa. Adicionalmente, el FOPAE ha adquirido algunos predios que están en el área de estudio para incluir a sus moradores dentro del Programa de Reasentamiento de Familias Localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable.

En el ámbito de geología regional, en el área donde se encuentra la zona de estudio se identificaron las siguientes unidades:

- Formación Arenisca de Labor (Kgal)
- Formación Arenisca Tierna (Kgat)
- Formación Sabana (Qs)
- Depósitos torrenciales (Qalt)
- Depósitos coluviales (Qcl)

Los trabajos de geología local se encaminaron a determinar las formaciones superficiales así como el levantamiento de las columnas estratigráficas con el fin de determinar los diferentes niveles (areniscas y lodolitas) de la formación Arenisca de Labor y las unidades o formaciones superficiales identificadas son las siguientes:

- Areniscas / Arcillolitas o lodolitas de espesor variable (Kgal)
- Cenizas volcánicas (Qcv)
- Limos orgánicos (Qo)
- Rellenos antrópicos (Qra)

El barrio Arauquita II Sector esta hacia el tope de una superficie estructural que buza al noroccidente, la cual hace parte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá; La superficie estructural es continua y se puede apreciar en algunos cortes para la construcción de viviendas, en los escarpes de las canteras localizada aguas debajo de la zona de estudio, así como en los taludes de la quebrada que drena la zona; su inclinación comprende valores entre 20º y 30º, y es notable el número de planos de estratificación, que los paquetes finos - laminares presentan.

De acuerdo con su origen se cartografiaron las unidades geomorfológicas que se presentan en la zona de estudio, correspondiendo a unidades de origen estructural - deposicional, formadas dentro del ámbito de plegamiento y levantamiento de la cadena montañosa que circunda la Sabana de Bogotá y de las cuales se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas

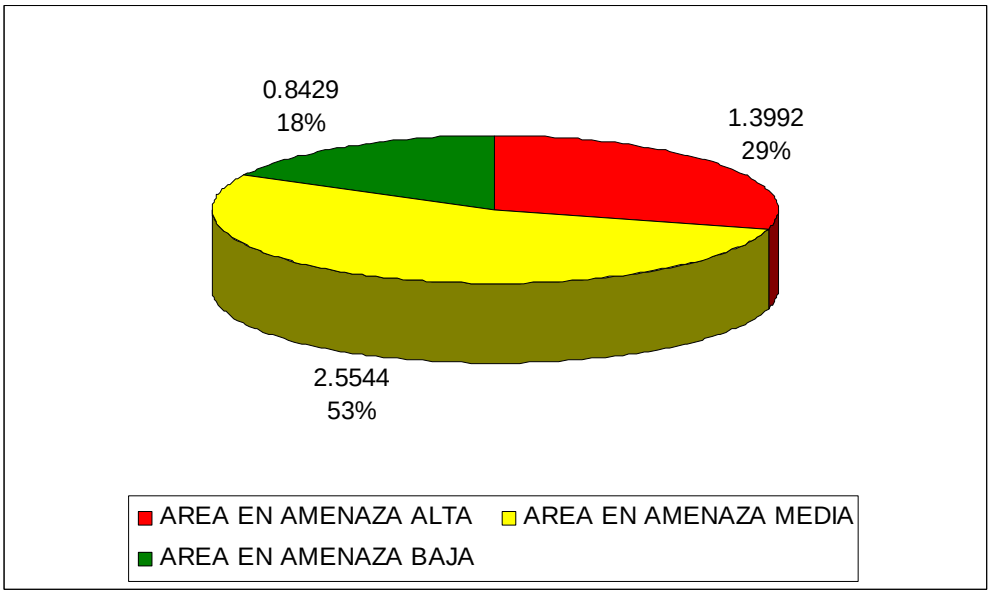
- Laderas estructurales en areniscas
- Laderas en suelo de origen natural
- Geoformas de origen antrópico

Con base en los trabajos realizados, se procedió a realizar la zonificación geotécnica del área de estudio y sobre cada una de ellas se seleccionaron las secciones de análisis típicas, describiendo las propiedades geotécnicas de los materiales que las conforman y con el cruce de los mapas geológicos, geomorfológicos, así como la información hidrológica se obtuvo el mapa de amenaza general por fenómenos de remoción en masa y cuyo resumen se presenta en la siguiente tabla y figura:

Tabla 45 Resumen de zonificación geotécnica

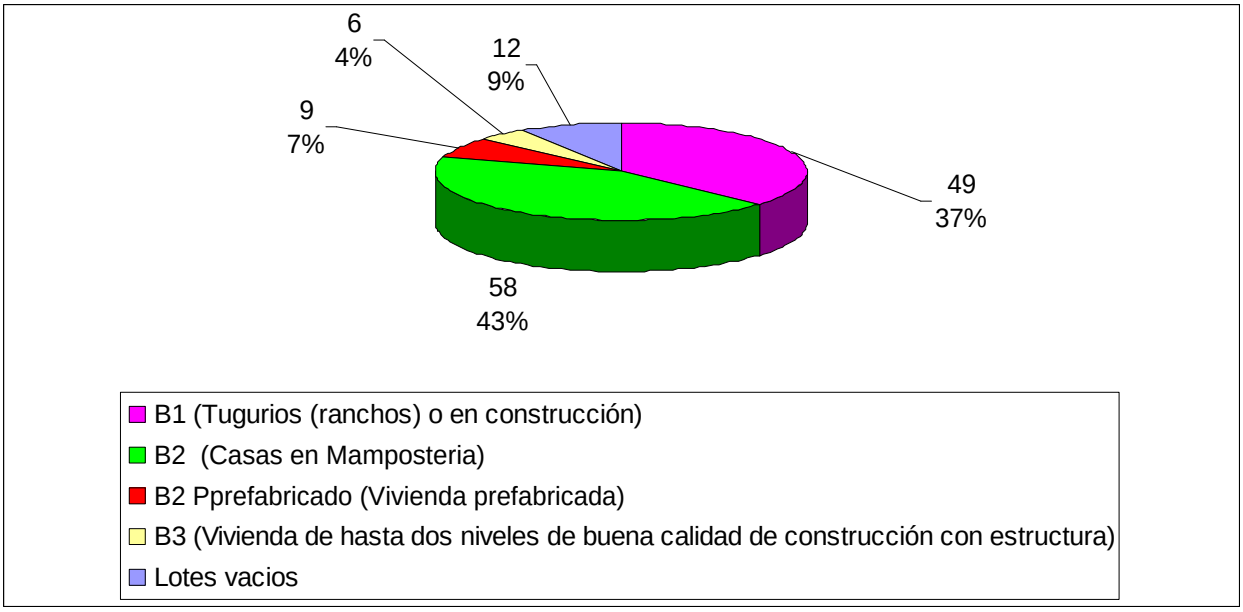
Zona de Amenaza	Zona geotécnica	Factor de seguridad	Probabilidad de falla
A1 (Baja)	ZG-1	Mayor a 1,9	0% – 5%
A2 (Media)	ZG-2	1,5 a 1,9	3% al 10%
A3 (Media)	ZG-3	1,5	Del orden del 5%
A4 (Media)	ZG-4	1,3	Del orden del 10%
A5 (Alta)	ZG-5	1,1 a 0,7	40% a 91%
A6	ZG-6	0,7 – 1,0	45% - 85%
A7 (Alta)	ZG-7	1,0 – 1,3	30% - 50%

Figura 17. Porcentajes de amenaza en área sin obras (área total 4.9)



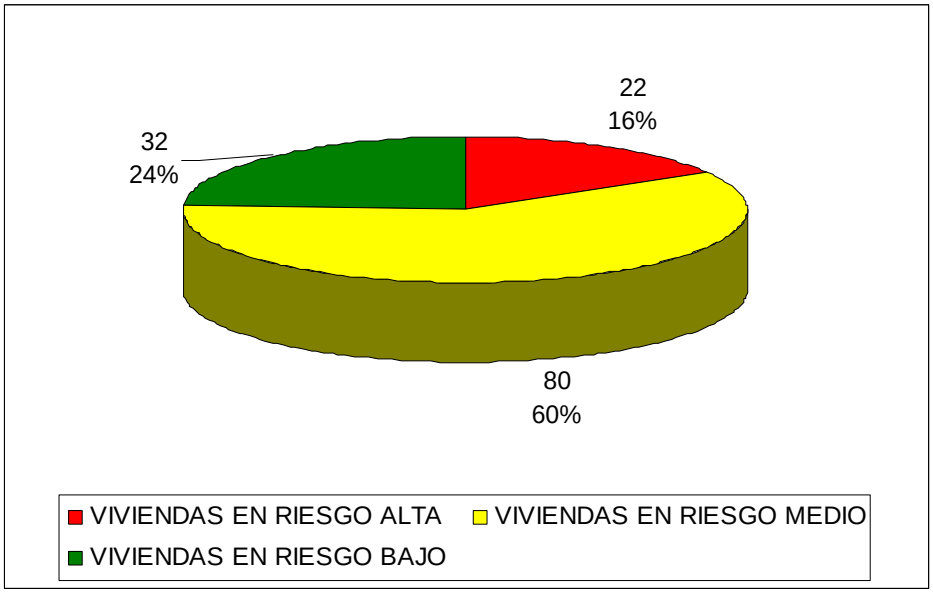
Las viviendas en el área de estudio están caracterizadas por deficiencias en los procesos constructivos (más del 80% tipo B1 y B2) y solo el 20% de las edificaciones evidencian procesos constructivos y estructuras aceptables, tal y como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 18. Tipología de viviendas en porcentaje (134 Predios)



Como conclusión de los trabajos realizados, se pudo establecer para cada uno de los lotes que conforman el barrio Arauquita II Sector, el grado de riesgo geotécnico, el peligro por inundación o si esta invadiendo la ronda de la quebrada esta distribuido como se indica en la siguiente figura:

Figura 19. Porcentajes de riesgo de las viviendas sin obras (134 predios)



En el **Anexo XV** se presenta una tabla con los lotes afectados por los diversos factores presentes en el barrio Arauquita, dando las recomendaciones del caso, que se resumen así y las cuales se explican ampliamente en el siguiente capitulo “recomendaciones”:

Tabla 46 Resumen tipos de intervención

Numero de Predios	Tipo de Intervención
5	Evacuación inmediata
32	Programa de prevención
22	Reubicación tipo I
58	Reubicación tipo II
17	Reubicación tipo III

13. RECOMENDACIONES

13.1. Soluciones posibles

Para mitigar o prevenir riesgos de origen natural (ya sea por fenómenos de remoción en masa o inundaciones) y ambientales (contaminación, ocupación de la zona de protección de la quebrada), se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

- Mejorar los caminos peatonales adecuando caminos peatonales.
- Mejorar la calidad de espacio público, conformación de zonas verdes.
- Despejar la ronda de la quebrada reubicando en otras áreas las viviendas comprometidas.
- Mejor manejo aguas negras y lluvias.
- Evitar más remoción de la cobertura vegetal, y si es posible, revegetalizar (empradización o arborización)

13.1.1. Recuperación de la quebrada Arauquita

La EAAB ha diseñado un programa para la recuperación de la quebrada Arauquita que se basa en la reforestación de la cuenca con especies nativas y creando, a la manera de un parque, senderos ecológicos para el tránsito peatonal que se extienden a las vías del barrio.

Cabe anotar que este importante proyecto se integra estrechamente con las soluciones que se deben implementar para la prevención de riesgos por fenómenos de remoción en masa e inundaciones, debido a su componente esencial de protección del medio ambiente. Las casas que se deben reubicar por esta circunstancia son, en su mayoría, las que actualmente ocupan y/o contaminan la ronda de la quebrada y las áreas anexas con aguas residuales y basuras.

El proyecto se integra dentro de un plan general de la ciudad (recuperación de cuencas de ríos y de zonas boscosas, y de paisajismo).

13.1.2. Vías peatonales

Para el mejoramiento de las vías peatonales, de muy frecuente utilización en el barrio Arauquita II Sector, se recomienda adecuar y pavimentar el sistema de gradas para el tránsito de personas. La construcción de los caminos peatonales (gradas) se lleva alcabo actualmente por la misma empresa que instala las redes de alcantarillado.

Se propone la construcción de cuatro vías peatonales (zonas peatonales) y para cada una se plantearon dos alternativas; en la primera se contempla la utilización de piedra pegada y para la segunda adoquín en concreto.

13.1.2.1. Zona Peatonal 1

Tienen una longitud total de 286 m, inicia en la parte occidental de la zona de estudio a una distancia aproximada de 50 m de la quebrada, en la abscisa 230 se encuentra con el final de la zona peatonal 2; una panorámica y un detalle del sector donde se proyecta la construcción de esta zona se presentan en la Foto 33 y en la Foto 34, respectivamente. Desde el inicio de esta zona hasta aproximadamente 155 m se plantea la construcción de una cuneta en concreto y de una trinchera drenante de 1 m de profundidad en el costado derecho. En el siguiente tramo se instalará solamente cuneta en concreto pues no es necesario realizar un drenaje subsuperficial.



Foto 33. Panorámica del sector donde se proyecta la Zona Peatonal 1.



Foto 34. Detalle del sector de la Zona Peatonal 1.

Tabla 47. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 1 (Alternativa 1)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	645	$ 2.170	$ 1.399.650
Excavación manual	M3	122	$ 16.330	$ 1.984.095
Relleno con material del sitio	M3	59	$ 6.920	$ 408.280
Suministro e instalación de piedra pegada	M2	645	$ 25.092	$ 16.184.340
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	188	$ 109.412	$ 20.569.362
Escaleras tipo I	M2	131	$ 30.035	$ 3.942.135
Escaleras tipo II	M2	218	$ 28.550	$ 6.223.900
Cuneta en concreto	ML	358	$ 52.540	$ 18.809.335
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	32	$ 116.770	$ 3.762.329
Tubería P.V.C. 6"	ML	112	$ 30.170	$ 3.379.040
Caja de inspección	UN	4	$ 253.962	$ 1.015.846
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 77.678.313**
AIU 29%				**$ 22.526.711**
IVA 16%				**$ 3.604.274**
TOTAL				**$ 103.809.297**

Tabla 48. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 1 (Alternativa 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	645	$ 2.170	$ 1.399.650
Excavación manual	M3	307	$ 16.330	$ 5.013.310
Sub-base B-400 (incluye compactación)	M3	129	$ 6.920	$ 891.850
Relleno con material del sitio	M3	14	$ 6.920	$ 96.880
Suministro e instalación de adoquín de concreto 100x200x60 Liviano e=0.03m Arena lavada de peña	M2	645	$ 31.142	$ 20.086.590
Bordillo A-80 (incluye instalación)	ML	646	$ 38.185	$ 24.667.381
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	188	$ 109.412	$ 20.569.362
Escaleras tipo I	M2	131	$ 30.035	$ 3.942.135
Escaleras tipo II	M2	218	$ 28.550	$ 6.223.900
Cuneta en concreto	ML	358	$ 52.540	$ 18.809.335
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	32	$ 116.770	$ 3.762.329
Tubería P.V.C. 6"	ML	112	$ 30.170	$ 3.379.040
Caja de inspección	UN	4	$ 253.962	$ 1.015.846
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 109.857.608**
AIU 29%				**$ 31.858.706**
IVA 16%				**$ 5.097.393**
TOTAL				**$ 146.813.708**

13.1.2.2. Zona Peatonal 2

Tiene una longitud de 78 m, inicia en la parte occidental de la zona de estudio a una distancia aproximada de 20 m de la quebrada y finaliza al conectar con la zona peatonal 1. Tiene una cuneta en concreto el la margen derecha.



Foto 35. Detalle del sector de la zona peatonal 2

Tabla 49. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 2 (Alternativa 1)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	118	$ 2.170	$ 256.060
Excavación manual	M3	17	$ 16.330	$ 277.610
Relleno con material del sitio	M3	5	$ 6.920	$ 34.600
Suministro e instalación de piedra pegada	M2	119	$ 25.092	$ 2.985.948
Escaleras tipo I	M2	99	$ 30.035	$ 2.958.479
Cuneta en concreto	ML	85	$ 52.540	$ 4.465.904
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	6	$ 116.770	$ 690.111
Caja de inspección	UN	1	$ 253.962	$ 253.962
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 11.922.673**
AIU 29%				**$ 3.457.575**
IVA 16%				**$ 553.212**
TOTAL				**$ 15.933.460**

Tabla 50. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 2 (Alternativa 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	118	$ 2.170	$ 256.060
Excavación manual	M3	87	$ 16.330	$ 1.420.710
Sub-base B-400 (incluye compactación)	M3	24	$ 6.920	$ 164.419
Relleno con material del sitio	M3	1	$ 6.920	$ 6.920
Suministro e instalación de adoquín de concreto 100x200x60 Liviano e=0.03m Arena lavada de peña	M2	119	$ 31.142	$ 3.705.898
Bordillo A-80 (incluye instalación)	ML	120	$ 38.185	$ 4.582.176
Escaleras tipo I	M2	99	$ 30.035	$ 2.958.479
Cuneta en concreto	ML	85	$ 52.540	$ 4.465.904
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	6	$ 116.770	$ 690.111
Caja de inspección	UN	1	$ 253.962	$ 253.962
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 18.504.638**
AIU 29%				**$ 5.366.345**
IVA 16%				**$ 858.615**
TOTAL				**$ 24.729.598**

13.1.2.3. Zona Peatonal 3

Tienen una longitud de 52 m (ver Foto 36), inicia cerca de donde inicia la zona peatonal 1 en la parte occidental de la zona de estudio. En el costado derecho se proyecta instalar una cuneta en concreto con trinchera drenante.

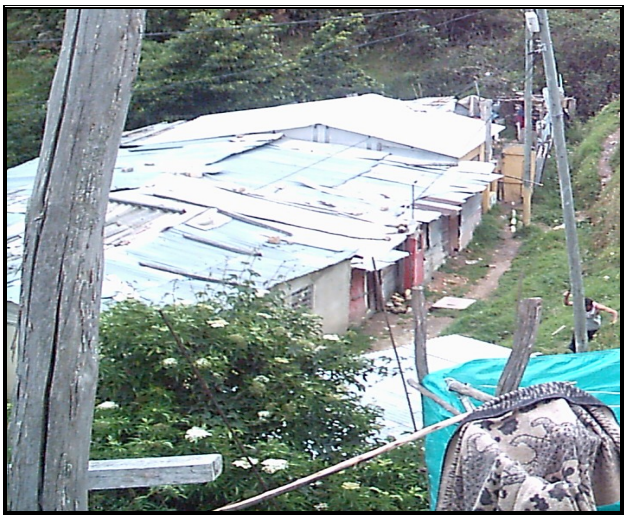


Foto 36. Detalle del sector de la zona peatonal 3

Tabla 51. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 3 (Alternativa 1)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	68	$ 2.170	$ 147.560
Excavación manual	M3	14	$ 16.330	$ 228.620
Relleno con material del sitio	M3	1	$ 6.920	$ 6.920
Suministro e instalación de piedra pegada	M2	69	$ 25.092	$ 1.731.348
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	57	$ 109.412	$ 6.260.526
Escaleras tipo II	M2	15	$ 28.550	$ 413.975
Cuneta en concreto	ML	57	$ 52.540	$ 2.994.782
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	3	$ 116.770	$ 399.353
Caja de inspección	UN	2	$ 253.962	$ 507.923
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 12.691.008**
AIU 29%				**$ 3.680.392**
IVA 16%				**$ 588.863**
TOTAL				**$ 16.960.263**

Tabla 52. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 3 (Alternativa 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	68	$ 2.170	$ 147.560
Excavación manual	M3	47	$ 16.330	$ 767.510
Sub-base B-400 (incluye compactación)	M3	5	$ 6.920	$ 37.368
Relleno con material del sitio	M3	0	$ 6.920	$ 0
Suministro e instalación de adoquín de concreto 100x200x60 Liviano e=0.03m Arena lavada de peña	M2	69	$ 31.142	$ 2.148.798
Bordillo A-80 (incluye instalación)	ML	70	$ 38.185	$ 2.672.936
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	57	$ 109.412	$ 6.260.526
Escaleras tipo II	M2	15	$ 28.550	$ 413.975
Cuneta en concreto	ML	57	$ 52.540	$ 2.994.782
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	3	$ 116.770	$ 399.353
Caja de inspección	UN	2	$ 253.962	$ 507.923
Descapote	M2	68	$ 2.170	$ 147.560
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 16.350.732**
AIU 29%				**$ 4.741.712**
IVA 16%				**$ 758.674**
TOTAL				**$ 21.851.118**

- Zona Peatonal 4

Tienen una longitud de 55 m, inicia en la parte oriental de la zona de estudio y finaliza cerca de la zona peatonal 1; en la Foto 37 se observa un detalle el sector donde se proyecta este camino peatonal. Se plantea la construcción de una cuneta en concreto y de una trinchera drenante de 1 m de profundidad en el costado derecho de esta zona.



Foto 37. Detalle del sector de la zona peatonal 3

Tabla 53. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 4 (Alternativa 1)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	98	$ 2.170	$ 212.660
Excavación manual	M3	147	$ 16.330	$ 2.400.510
Relleno con material del sitio	M3	16	$ 6.920	$ 110.720
Suministro e instalación de piedra pegada	M2	98	$ 25.092	$ 2.459.016
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	81	$ 109.412	$ 8.862.332
Escaleras tipo I	M2	82	$ 30.035	$ 2.462.896
Cuneta en concreto	ML	81	$ 52.540	$ 4.255.743
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	5	$ 116.770	$ 567.502
Caja de inspección	UN	1	$ 253.962	$ 253.962
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 21.585.341**
AIU 29%				**$ 6.259.749**
IVA 16%				**$ 1.001.560**
TOTAL				**$ 28.846.649**

Tabla 54. Presupuesto para la construcción de la Zona Peatonal 4 (Alternativa 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Descapote	M2	98	$ 2.170	$ 212.660
Sub-base B-400 (incluye compactación)	M3	20	$ 6.920	$ 136.186
Excavación manual	M3	281	$ 16.330	$ 4.588.730
Relleno con material del sitio	M3	16	$ 6.920	$ 110.720
Suministro e instalación de adoquín de concreto 100x200x60 Liviano e=0.03m Arena lavada de peña	M2	98	$ 31.142	$ 3.051.916
Bordillo A-80 (incluye instalación)	ML	99	$ 38.185	$ 3.780.295
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	81	$ 109.412	$ 8.862.332
Escaleras tipo I	M2	82	$ 30.035	$ 2.462.896
Cuneta en concreto	ML	81	$ 52.540	$ 4.255.743
Alistado en concreto de 1500 psi	M3	5	$ 116.770	$ 567.502
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 28.282.941**
AIU 29%				**$ 8.202.053**
IVA 16%				**$ 1.312.328**
TOTAL				**$ 37.797.323**

13.1.3. Zonas de drenaje

13.1.3.1. Obras de drenaje 1

Esta constituida por 73 m. de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 73 m. trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4"), 21 m de tubería P.V.C. **F** = 6 ". colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al sector sur occidental de la quebrada.



Foto 38. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 1

Tabla 55.Presupuesto para la construcción del Drenaje 1 (Alternativa 1 y 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	73	$ 109.412	$ 7.987.040
Tubería P.V.C. 6"	ML	21	$ 30.170	$ 633.570
Caja de inspección	UN	2	$ 253.962	$ 507.923
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	73	$ 16.019	$ 1.169.387
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 10.297.920**
AIU 29%				**$ 2.986.397**
IVA 16%				**$ 477.823**
TOTAL				**$ 13.762.140**

13.1.3.2. Zona de drenaje 2

Esta constituida por 118 m. de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 196 m. trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4"), 78 m de descole en bolsas de suelo cemento. Colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al sector sur occidental de la quebrada.



Foto 39. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 2

Tabla 56. Presupuesto para la construcción del Drenaje 2 (Alternativa 1 y 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	118	$ 109.412	$ 12.910.557
Descole en bolsas de suelo cemento	ML	78	$ 22.380	$ 1.745.640
Caja de inspección	UN	1	$ 253.962	$ 253.962
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	118	$ 16.019	$ 1.890.242
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 16.800.401**
AIU 29%				**$ 4.872.116**
IVA 16%				**$ 779.539**
TOTAL				**$ 22.452.055**

13.1.3.3. Zona de drenaje 3

Esta constituida por 115 m de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 115 m de trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4"), colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al sector sur oriental de la zona de estudio (ver Foto 40).

Tabla 57. Presupuesto para la construcción del Drenaje 3 (Alternativa 1 y 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	115	$ 109.412	$ 12.582.323
Caja de inspección	UN	1	$ 253.962	$ 253.962
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	115	$ 16.019	$ 1.842.185
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 14.678.469**
AIU 29%				**$ 4.256.756**
IVA 16%				**$ 681.081**
TOTAL				**$ 19.616.306**



Foto 40. Sector donde se proyecta la obras de drenaje 3

13.1.3.4. Zona de drenaje 4

Esta constituida por 81 m de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 81 m de trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4"), colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al sector sur oriental de la quebrada.



Foto 41. Vista hacia arriba de la zona donde se proyectan las obras de drenaje 4

Tabla 58. Presupuesto para la construcción del Drenaje 4 (Alternativa 1 y2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof 1.00)	ML	81	$ 109.412	$ 8.862.332
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	81	$ 16.019	$ 1.297.539
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 10.159.871**
AIU 29%				**$ 2.946.362**
IVA 16%				**$ 471.418**
TOTAL				**$ 13.577.651**

13.1.3.5. Zona de drenaje 5

Esta constituida por 372 m de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 372 m. trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4") y 23 m de descole en bolsas de suelo cemento, colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al sector sur oriental de la quebrada.



Foto 42. Vista general de la zona donde se proyecta la construcción de las obras de drenaje 5

Tabla 59. Presupuesto para la construcción del Drenaje 5 (Alternativa 1 y 2)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof. 1.0 m)	ML	372	$ 109.412	$ 40.701.078
Descole en bolsas de suelo cemento	ML	23	$ 22.380	$ 514.740
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	372	$ 16.019	$ 5.959.068
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 47.174.886**
AIU 29%				**$ 13.680.717**
IVA 16%				**$ 2.188.915**
TOTAL				**$ 63.044.518**

13.1.3.6. Zona de drenaje 6

Esta constituida por 81 m. de cunetas triangulares en bolsas de suelo cemento con 81 m. trincheras drenantes de profundidad 1,0 m (incluyen geodren planar A=1.05 Y Φ = 4") colocadas en forma de espina de pescado. Esta ubicado al nor oriental de la quebrada.



Foto 43. Vista de la zona donde se proyecta la construcción de las obras de drenaje 6

Tabla 60. Presupuesto para la construcción del Drenaje 6 (Alternativa 1)

ITEM	UND	CANT.	Valor unitario	Valor total
Trinchera drenante (prof. 1.0 m)	ML	144	$ 109.412	$ 15.755.256
Cuneta en bolsa de suelo cemento	ML	144	$ 16.019	$ 2.306.736
TOTAL COSTO DIRECTO				**$ 18.061.992**
AIU 29%				**$ 5.237.978**
IVA 16%				**$ 838.076**
TOTAL				**$ 24.138.046**

13.2. Acciones

En este punto se determina los proyectos o acciones. El orden a seguir sería el siguiente:

- Reubicación de viviendas (reasentamiento de familias).
- Reestructuración de los caminos peatonales y del espacio público.
- Recuperación geotécnica y ambiental de la zona de la quebrada Arauquita.

13.2.1. Reubicación de viviendas (reasentamiento de familias)

Se considera que la solución inmediata debe enfocarse principalmente a la reubicación de casas que se encuentran en zonas de riesgo por fenómenos de remoción en masa.

Para tal efecto se propone intervenir en dos fases o etapas de acuerdo a las prioridades detectadas y a los recursos financieros que se pueda disponer para la operación:

13.2.1.1. Primera fase

Inmediata e imprescindible. Se determina las familias que deben reubicarse (ver

Tabla 61); por estar localizadas en zonas de riesgo por fenómenos de remoción en masa y que a la vez recurren en otras afectaciones (inundaciones o zona de protección ambiental). Casi la totalidad de éstas casas están construidas de manera rudimentaria, sin estructuras de concreto, lo cual hace menos complicada la reubicación.

Tabla 61. Listado de predios a reubicar en la primera fase

ID	DIRECCION	PROPIETARIO
78	CLL 164 No 3D-21	MARINA GOMEZ
81	CLL 164 No 3D-15	ARTURO SANCHES CASTAÑEDA
91	CRA 3D No 163A-94	CARLOS FIGUEROA
92	LOTE VACIO	
125	CLL 163B No 3-22	ANA GODAY

13.2.1.2. Segunda fase

Se contempla un bosquejo para el reordenamiento urbanístico y manejo ambiental más radical del barrio, que podría implementarse como continuación de la primera fase. Aquí se tiene en cuenta el problema de riesgo y de recuperación ambiental y paisajística de los cerros orientales. La escala de apreciación se amplía al nivel de ciudad y, para su ejecución, necesitaría la participación de todas las entidades involucradas en la solución del problema.

En el Plano GE135-PL-22 se presentan los lotes recomendados para reubicar en cada una de las etapas, y las acciones que se deben tomar en otros. El listado respectivo se presenta en el **Anexo XV**.

13.2.1.3. Recomendaciones para la reubicación

Para la reubicación de viviendas se aconseja utilizar lotes que se encuentran desocupados o casas en venta actualmente en el barrio Arauquita I Sector o en barrios cercanos como el de Santa Cecilia Alto o en Cerro Norte o en el Torca. Consultadas algunas de las familias susceptibles a ser reubicadas manifestaron su disposición a aceptar esta posibilidad siempre y cuando se les presente alternativas aceptables.

También se señala el lote situado cerca al salón comunal, representa la mejor opción para construir viviendas de dos pisos en lotes de frente pequeño. Para la segunda fase se debería pensar en aumentar índices de ocupación con casas bifamiliares o bloques de apartamentos.

13.2.2. Reestructuración de los caminos peatonales y del espacio público

Tal como se puede observar en los Planos GE135-PL-16A a GE135-PL-16C, se plantea la recuperación del espacio público, estableciendo caminos peatonales, dando acceso a las viviendas actuales. Posteriormente, después de la reubicación, se recomienda armonizar estos caminos con la propuesta paisajística presentada por la EAAB.

13.2.3. Recuperación geotécnica y ambiental de la quebrada Arauquita

Contempla la recuperación morfométrica de la cuenca de la quebrada Arauquita, se cuenta con los estudios realizados por la EAAB.

14. BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Unión Temporal IGR – GIA Consultores Ltda. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA DE LOS BARRIOS CORDILLERA SUR, TIERRA LINDA Y LOS ALPES. Escala Variable.
- GUTIÉRREZ & COLEGIAL 1987. Trabajo de Grado Universidad Nacional de Colombia; INGEOMINAS (1997). Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Subproyecto No. 7. Estudios Geofísicos. Santa Fe de Bogotá D.C; INGEOCIM Ltda. – UPES – FOPAE (1998) – Escala 1:10.000
- INGEOMINAS 1997, Estudio Geológico para el estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, Escala 1:50.000.
- Geología de la Plancha 246 de Fusagasuga. INGEOMINAS escala 1:100.000
- INGEOCIM LTDA. – UPES – FOPAE. 1998, Escala 1:10.000.
- HELMENS KARIN & VAN DER HAMMEN. Plioceno y Cuaternario del Altiplano de Bogotá y alrededores. En Análisis Geográficos No. 24. IGAC. Subdirección de Geografía.
- Estudio de Zonificación de Amenaza por Remoción en Masa para los Asentamientos Brisas del Volador Parte Alta y Tabor – Alta Loma, de la Localidad de Ciudad Bolívar, en la Ciudad de Bogotá. GEOCING (2002).
- 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.

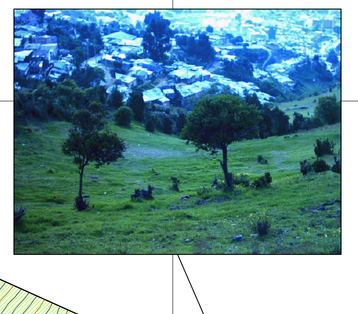
- Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la ciudad de Santafé de Bogotá, D.C, INGEOCIM LTDA-UPES-FOPAE, 1998.
- Zonificación de Amenaza por remoción en masa en los barrios Cordillera Sur, Tierra Linda y Los Alpes de la Localidad de Ciudad Bolívar, UT IGR – GIA, 2003.
- Zonificación por remoción en masa en los barrios Villas de Diamante de la Localidad de Ciudad Bolívar, 2003.
- Cardona-Arboleda, O, D, (1989). VULNERABILIDAD Y RIESGO POR DESASTRE – TÉRMINOS DE USO COMÚN EN MANEJO DE RIESGO. Primer taller de planificación en manejo de desastres. Oficina Nacional para la Atención de Desastres. Presidencia de la República de Colombia – Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte – La Vialidad Ltda. (1988). Criterios y normas para el diseño geométrico de carreteras: El drenaje como factor determinante en obras viales. Reglamento técnico general de obras viales, Tomo III.
- Leone, F. (1999) Concept de vulnerabilite appliquea L'evaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrein. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.
- Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.
- Adaptado de Leone (1996)
- 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.
- Cruden , D. y Varnes D.(1991). Landslides types and processes. Universidad de Alberta.
- Sánchez-Silva, M. Taylor, C.A. & Blockley, D.I. HAZARD MANAGEMENT OF PROJECTS IN A EARTHQUAKE. In: Applications of Statistics an Probability. Lemaire, Favre & Marbarki (eds). Balkema, Rotterdam. 1995.
- 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.
- Carvalho, C. GERENCIAMIENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ENCOSTAS URBANAS: UMA PROPOSTA BASEADA NA ANALISE DE DECISAO. Tesis de Doctorado. Universidad de Sao Paulo. 1996

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.



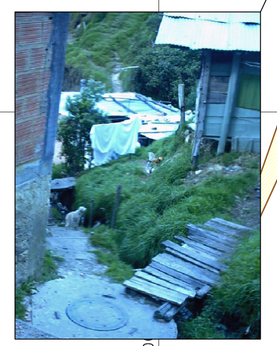











CONVENCIONES TEMATICAS

Zona de Amenaza	Zona Geotécnica	Descripción Geotécnica	Factor de seguridad	Probabilidad de falla
A1	ZG-1	Ladera estructural en arenisca no intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Cinemáticamente se pueden presentar deslizamientos sobre los planos de estratificación, siempre y cuando se descontine el talud, situación que no se presenta en la zona de estudio. Es relativamente estable.	Mayor a 1,9	0% - 5%
A2	ZG-2	Ladera estructural en arenisca intervenida, con una pendiente del orden de 30°. Presenta condiciones similares a la ZG-1, pero existen cortes para la construcción de viviendas, que pueden generar pequeños deslizamientos puntuales. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Muy Rápido".	1,5 a 1,9	3% al 10%
A3	ZG-3	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), con orientación paralela al buzamiento (más o menos este-oeste), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente puede presentar caída de bloques por volteo, pero que al estar recubiertos por vegetación se disminuye esta posibilidad. La energía de impacto de los bloques es menor a 1 kJ	1,5	Del oden del 5%
A4	ZG-4	Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), en roca (arenisca) fracturada, que cinemáticamente pueden presentar caída de bloques por volteo; adicionalmente, al haber cortes perpendiculares al buzamiento, y quedar expuesta una superficie potencial de deslizamiento (capas de arcillolitas y limolitas), se pueden presentar deslizamientos planares debido al remoldeo (por deformación) o ablandamiento (por acción del agua subsuperficial), de los materiales de dicha capa. La energía de impacto de los bloques es menor a 1 kJ.	1,3	Del orden del 10%
A5	ZG-5	Son taludes en ceniza volcánica, con pendientes entre 15° y 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada). Las cenizas volcánicas son limos arenosos algo arcillosos color habano, carmelito, amarillo y en ocasiones grises, de plasticidad alta a media, de consistencia blanda a medianamente firme, y humedad media a alta, que clasifican según el sistema USC como MH o ML. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	1,1 a 0,7	40% a 91%
A6	ZG-6	Taludes en rellenos antrópicos, con pendientes entre 15° y 30°, que presentan síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo traslacional (contacto suelo-roca) o rotacional (hacia las márgenes de la quebrada). Adicionalmente, se pueden presentar flujos debido a que algunos de ellos están taponado la quebrada Arauquita. Los rellenos corresponden a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML-CL, CL o MH, ocasionalmente con basuras, detritos de demolición, o bloques y cantos de arenisca. En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	0,7 - 1,0	45% – 85%
A7	ZG-7	Taludes en suelos orgánicos, con pendientes del orden se pueden presentar deslizamientos de 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras). Potencialmente tipo traslacional (contacto suelo-roca). En caso de presentarse la velocidad del movimiento puede catalogarse como "Rápido".	10 - 1,3	30% – 50%

CONVENCIONES TEMATICAS

AMENAZA ALTA

AMENAZA MEDIA

AMENAZA BAJA

CONVENCIONES

CURVA INTERMEDIA
CURVA INDICE 2500
CERCA
CONSTRUCCIÓN
CAMINO
ANDEN
VÍA DESTAPADA
BORDE DE VÍA
ESCALERA
MURO
PREDIO
CONTADOR ACUEDUCTO
POSTE DE TELÉFONO
POSTE DE ENERGÍA
POZO DE ALCANTARILLADO
ARBOL
VÁLVULA DE AGUA
SUMIDERO
REJILLA
MOJÓN CACL D-3
QUEBRADA
TUBERÍA
ZONA DE ESTUDIO

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
Secretaría GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 10 30 50
20 40
ESCALA: 1:500

DISEÑO: ING. FLAVIO SOLER S.	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA:	ENERO 2006
REVISO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA:	ENERO 2006

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-12A
AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

FUENTE:	
CONTRATISTA:	CONSORCIO GEOTEC
INTERVENTORIA:	MOYA GARCÍA LTDA

ESCALA: 1:500

0 10 20 40 50

DISEÑO:	ING. FLAVIO SOLER S.	DIBUJO:	YULI ANDREA CASALLAS
REVISO:	GEOL. RODOLFO FRANCO	FECHA:	ENERO 2006
APROBO:	ING. FLAVIO SOLER S.	FECHA:	ENERO 2006
V.o.B INTERVENTORIA:		FECHA:	ENERO 2006

GE135-PL-08
ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

ESTUDIOS DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
GOBIERNO
Secretaría
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

CONVENCIONES

- CURVA INTERMEDIA
- CURVA INDICE — 2500 —
- CERCA
- CONSTRUCCION
- CAMINO
- VIA DESTAPADA
- ANDEN
- BORDE DE VIA
- ESCALERA
- MURO
- PREDIO
- CONTADOR ACUEDUCTO
- POSTE DE TELEFONO
- POSTE DE ENERGIA
- POZO DE ALCANTARILLADO
- ARBOL
- VALVULA DE AGUA
- SUMIDERO
- REJILLA
- QUEBRADA
- TUBERIA
- ZONA DE ESTUDIO
- SECCION GEOTECNICA SECCION 9-9'
- APIQUES AP-3
- BARRENO BH-4
- TRINCHERAS T-6

CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

MOJON	NORTE	ESTE	COTA
INICIALES			
D-1	115.408.100	107.262.020	2.954,760
D-2	115.408.181	107.013.163	2.854,006
D-3	115.536.319	107.209.491	2.873,181
ADICIONALES			
CACL D-3	115.386.961	106.993.256	2.862,323
CACL D-2	115.327.767	107.033.950	2.885,257

CONVENCIONES TEMÁTICAS

ZG-1 Ladera estructural en arenisca intravenda, con una pendiente del orden de 30°. Presenta condiciones similares a la ZG-1, pero existen zonas donde la construcción de viviendas, que pueden generar pequeños deslizamientos puntuales.

ZG-2 Ladera estructural en arenisca intravenda, con una pendiente del orden de 30°, Presenta condiciones similares a la ZG-1, pero existen zonas donde la construcción de viviendas, que pueden generar pequeños deslizamientos puntuales.

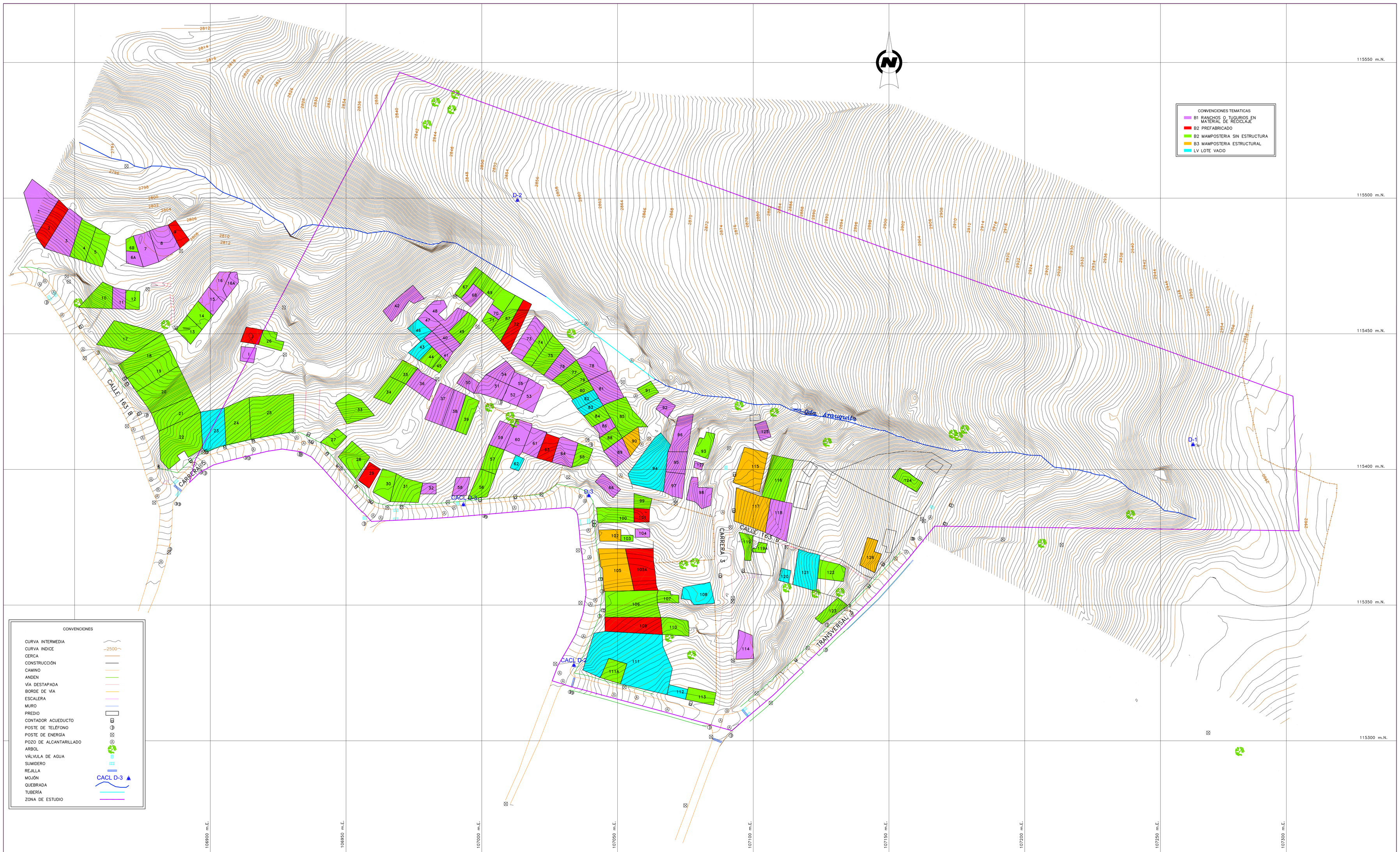
ZG-3 Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), con orientación paralela al buzamiento fracturado, que generalmente puede presentar rocalderios por vegetación a diámetro esta posibilidad.

ZG-4 Son taludes con pendientes mayores a 45° (escarpes), en roca (arenisca) fracturada, que generalmente presentan cuñas de bloques por volteo, pero que el factor determinante para la ocurrencia de estos movimientos es la presencia de discontinuidades (por ejemplo fracturas) con orientaciones desfavorables respecto a la dirección de la ladera.

ZG-5 Son taludes en cerca volcánica, con pendientes entre 15° y 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierra), Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo rotacional (conocido suelo–roca) o rotacional (todos los mapeados de la quebrada), Adicionalmente, se pueden presentar flujos debido a que algunos de ellos están taponando la quebrada Arauquita, los relictos correspondan a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML–CL, CL o MH, ocasionalmente con bosuras, detritos de demolición, o bloques y cantos de arenisca.

ZG-6 Taludes en relictos antrópicos, con pendientes entre 15° y 30°, que presentan síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierra), Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo rotacional (conocido suelo–roca) o rotacional (todos los mapeados de la quebrada), Adicionalmente, se pueden presentar flujos debido a que algunos de ellos están taponando la quebrada Arauquita, los relictos correspondan a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, que clasifican según el sistema USC como ML–CL, CL o MH, ocasionalmente con bosuras, detritos de demolición, o bloques y cantos de arenisca.

ZG-7 Taludes en una antigua, con pendientes del orden de 30°, que presenta síntomas de deformaciones (tipo flujo de tierras), Potencialmente se pueden presentar deslizamientos tipo rotacional (conocido suelo–roca) o rotacional



ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCION Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 10 30 50
20 40
ESCALA: 1:500

DISEÑO: ING. FLAVIO SOLER S.	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA: ENERO 2006
REVISO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA: ENERO 2006

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-13
TIPOLOGIA DE VIVIENDAS



CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

INICIALES			
MOJON	NORTE	ESTE	COTA
D-1	115.409,100	107.262,020	2.954,780
D-2	115.499,181	107.013,163	2.854,006
D-3	115.390,318	107.039,431	2.873,181
ADICIONALES			
CACL D-3	115.386,961	106.993,256	2.862,323
CACL D-2	115.327,767	107.033,950	2.885,227

CONVENCIONES

- CURVA INTERMEDIA
- CURVA INDICE 2500
- CERCA
- CONSTRUCCIÓN
- CAMINO
- ANDEN
- VÍA DESTAPADA
- BORDE DE VIA
- ESCALERA
- MURO
- PREDIO
- CONTADOR ACUEDUCTO
- POSTE DE TELÉFONO
- POSTE DE ENERGÍA
- POZO DE ALCANTARILLADO
- ARBOL
- VÁLVULA DE AGUA
- SUMIDERO
- REJILLA
- MOJÓN CACL D-3
- QUEBRADA
- TUBERÍA
- ZONA DE ESTUDIO
- SECCIONES HIDRÁULICAS SECCION SH1 1'
- PERFIL LONGITUDINAL DE LA QUEBRADA
- NIVEL DE INUNDACIÓN PARA PERIODO DE RETORNO = 100 AÑOS

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría de GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 10 30 50
20 40
ESCALA: 1:500

DISEÑO: ING. FLAVIO SOLER S.	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA:	ENERO 2006
REVISO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA:	ENERO 2006

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-10
RONDA HÍDRICA Y SECCIONES HIDRÁULICAS



CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

INICIALES			
MOJON	NORTE	ESTE	COTA
D-1	115.409,100	107.262,020	2.954,780
D-2	115.499,181	107.013,163	2.854,006
D-3	115.390,318	107.039,431	2.873,181
ADICIONALES			
CACL D-3	115.386,961	106.993,256	2.862,323
CACL D-2	115.327,767	107.033,950	2.885,227

CONVENCIONES

- CURVA INTERMEDIA
- CURVA INDICE
- CERCA
- CONSTRUCCIÓN
- CAMINO
- ANDEN
- VIA DESTAPADA
- BORDE DE VIA
- ESCALERA
- MURO
- PREDIO
- CONTADOR ACUEDUCTO
- POSTE DE TELEFONO
- POSTE DE ENERGÍA
- POZO DE ALCANTARILLADO
- ARBOL
- VALVULA DE AGUA
- SUMIDERO
- REJILLA
- MOJON
- QUEBRADA
- TUBERIA
- ZONA DE ESTUDIO

CONVENCIONES TEMATICAS

- RED DE ACUEDUCTO
- RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL
- RED ALCANTARILLADO SANITARIO
- RED TELEFONOS
- RED ELECTRICA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

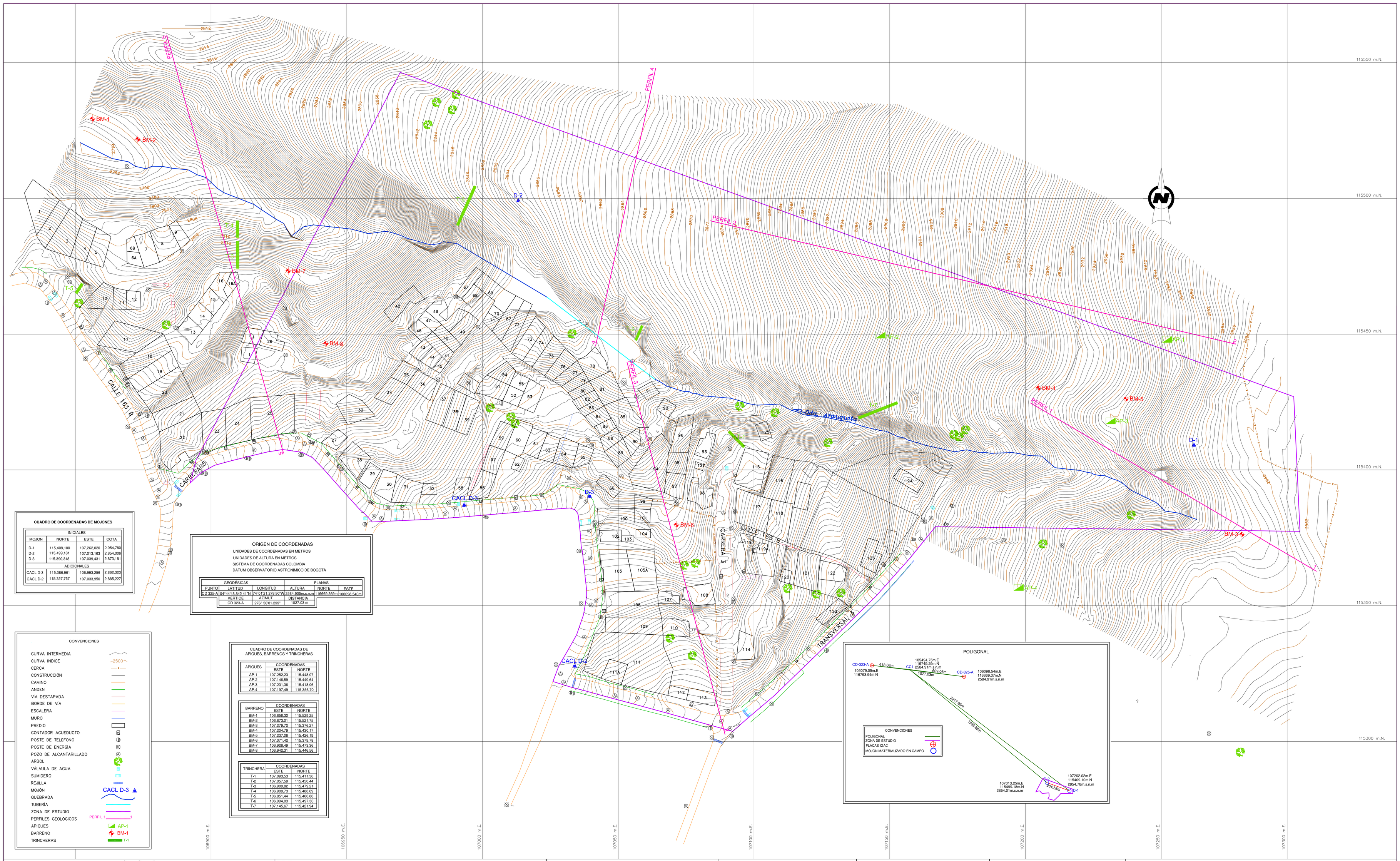
0 10 20 30 40 50

ESCALA: 1:500

ELABORO: ING. CARLOS CASTILLO L.	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA:	ENERO 2006
REVISO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA:	ENERO 2006
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA:	ENERO 2006

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-01B
REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS EXISTENTES



CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

MOJON	NORTE	ESTE	COTA
INICIALES			
D-1	115.409,100	107.262,020	2.954,780
D-2	115.499,181	107.013,163	2.854,006
D-3	115.390,318	107.039,431	2.873,181
ADICIONALES			
CACL D-3	115.386,961	106.993,256	2.862,323
CACL D-2	115.327,767	107.033,950	2.869,227

ORIGEN DE COORDENADAS

UNIDADES DE COORDENADAS EN METROS
UNIDADES DE ALTURA EN METROS
SISTEMA DE COORDENADAS COLOMBIA
DATUM OBSERVATORIO ASTRONIMICO DE BOGOTÁ

GEODÉSICAS			PLANAS	
PUNTO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	NORTE ESTE
CD 325-A	04°44'48.842" N	74°01'21.278 90"W	2584.905m.s.n.m	116669.369m 106098.540m
VERTICE	AZIMUT	DISTANCIA		
CD 323-A	276° 58'01.299"	1027.03 m		

CONVENCIONES

- CURVA INTERMEDIA
- CURVA INDICE (2500)
- CERCA
- CONSTRUCCIÓN
- CAMINO
- ANDEN
- VIA DESTAPADA
- BORDE DE VIA
- ESCALERA
- MURO
- PREDIO
- CONTADOR ACUEDUCTO
- POSTE DE TELÉFONO
- POSTE DE ENERGÍA
- POZO DE ALCANTARILLADO
- ARBOL
- VÁLVULA DE AGUA
- SUMIDERO
- REJILLA
- MOJÓN (CACL D-3)
- QUEBRADA
- TUBERÍA
- ZONA DE ESTUDIO
- PERFILES GEOLÓGICOS (PERFIL 1 — 1)
- APIQUES (AP-1)
- BARRENO (BM-1)
- TRINCHERAS (T-1)

CUADRO DE COORDENADAS DE APIQUES, BARRENOS Y TRINCHERAS

APIQUES	COORDENADAS ESTE	NORTE
AP-1	107.252,23	115.448,07
AP-2	107.146,59	115.449,64
AP-3	107.231,36	115.418,06
AP-4	107.197,49	115.356,70

BARRENO	COORDENADAS ESTE	NORTE
BM-1	106.856,32	115.529,25
BM-2	106.873,01	115.521,75
BM-3	107.279,72	115.376,27
BM-4	107.204,79	115.430,17
BM-5	107.237,06	115.426,19
BM-6	107.071,42	115.379,78
BM-7	106.928,49	115.473,36
BM-8	106.942,31	115.446,56

TRINCHERA	COORDENADAS ESTE	NORTE
T-1	107.093,53	115.411,36
T-2	107.057,59	115.450,44
T-3	106.909,82	115.479,21
T-4	106.909,73	115.488,69
T-5	106.851,44	115.466,86
T-6	106.994,03	115.497,30
T-7	107.145,67	115.421,94

POLIGONAL

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría GOBIERNO
DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 10 30 50
20 40
ESCALA: 1:500

ELABORO: ING. CARLOS CASTILLO L.	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA: ENERO 2006
REVISO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA: ENERO 2006

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA — SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-01A
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y EXPLORACION DEL SUBSUELO

ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.

GE135-PL-07
GEOMORFOLOGÍA

DISEÑO:	GEOL. MARIO MONROY	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA: ENERO 2006
REVISO:	GEOL. RODOLFO FRANCO		FECHA: ENERO 2006
APROBO:	ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006
V.o.B INTERVENTORIA:			FECHA: ENERO 2006

ESCALA: 1:500

0 10 20 40 50

FUENTE:	INTERVENTORIA:
CONSORCIO GEOTEC	MOYA GARCÍA LTDA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
SEGURIDAD CONVIVENCIA Y JUSTICIA
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

CONVENCIONES TEMÁTICAS

LEAn Ladera estructural en arenisca no intervenida: Ladera en roca (arenisca) cuya pendiente es del orden de 30°. No presenta mayor intervención geotécnica, ni presenta fenómenos de remoción en masa.

LEAi Ladera estructural en arenisca intervenida: Ladera en roca (arenisca) cuya pendiente es del orden de 30° y está controlada por la estratificación. Debido a la intervención antrópica, la geoforma ha sido modificada para la construcción de las viviendas; presenta problemas locales de estabilidad en los cortes ensoñorada por la urbanización. Presenta pequeños deslizamientos superficiales, de poca magnitud, que afectan el talud de las viviendas.

ERE Escarpe de roca relativamente estable: Escarpes en arenisca (pendiente mayores a 45°) formados por el modelamiento de la ladera original y que presentan una dirección predominantemente paralela al alineamiento de la ladera. Están recubiertos por vegetación generalmente, que varía a culebrales y los pequeños bloques formados por el fracturamiento del macizo rocoso.

ERI Escarpe de roca potencialmente inestable: Escarpes en arenisca (pendiente mayores a 45°) formados por corte de origen antrópico excepcionalmente que al estar recubiertos, pueden potencialmente generar caídas de pequeños bloques (menores a 0,5 m) formados por discontinuidades y estratificación preexistes; debido a la presencia de pequeños cortes de discontinuidades y generalmente en la base de las laderas, y a la disposición estructural, es probable la ocurrencia de deslizamientos pronos, debido al remoción de clastos capas. En esta unidad, también se identifica un pequeño relleno del escarpe izquierdo de la quebrada Arauquita, donde, por el aporte de aguas servidas y la falta de cobertura vegetal se presentan caídas de pequeños bloques de arenisca.

LCV Ladera de cenizo volcánico: Ladera constituida por la deposición de cenizas volcánicas sobre la ladera estructural, presentan pendientes entre 15 y 30°, En la margen derecha de la quebrada está ubicado y presenta reptaciones y flujo; en la margen derecha, rodea una pequeña copa de suelo ladera estructural y ha sido fuertemente intervenida, por la realización de cortes para la construcción de las viviendas.

DFV Depósito de flujo de detritos: Ladera constituida por la deposición sobre la estructural, que presentan algunos signos de reptación y con pendientes inferiores a 45°.

LCDm Laderas con depósitos: Ladera constituida por material de relleno depositado en dos depresiones generadas por la explotación de arcillas y limos, mezclados con bosques, desechos de construcción, mostrando cierta consistencia por arcillas y limos, mezclados y que presentan movimientos tipo flujo de tierras, ocasionalmente, algunos bloques de arenisca, presenta pendientes del orden de 25°.

DFV Depósito de talud de valle: Rellenos de origen antrópico, localizados sobre la quebrada Arauquita, generalmente saturados, constituidos por limos y arcillas.

CONVENCIONES TEMÁTICAS
PROCESOS

Caída de Rocas
Flujo de Tierras
Reptación
Excavación Para Extracción de Arena

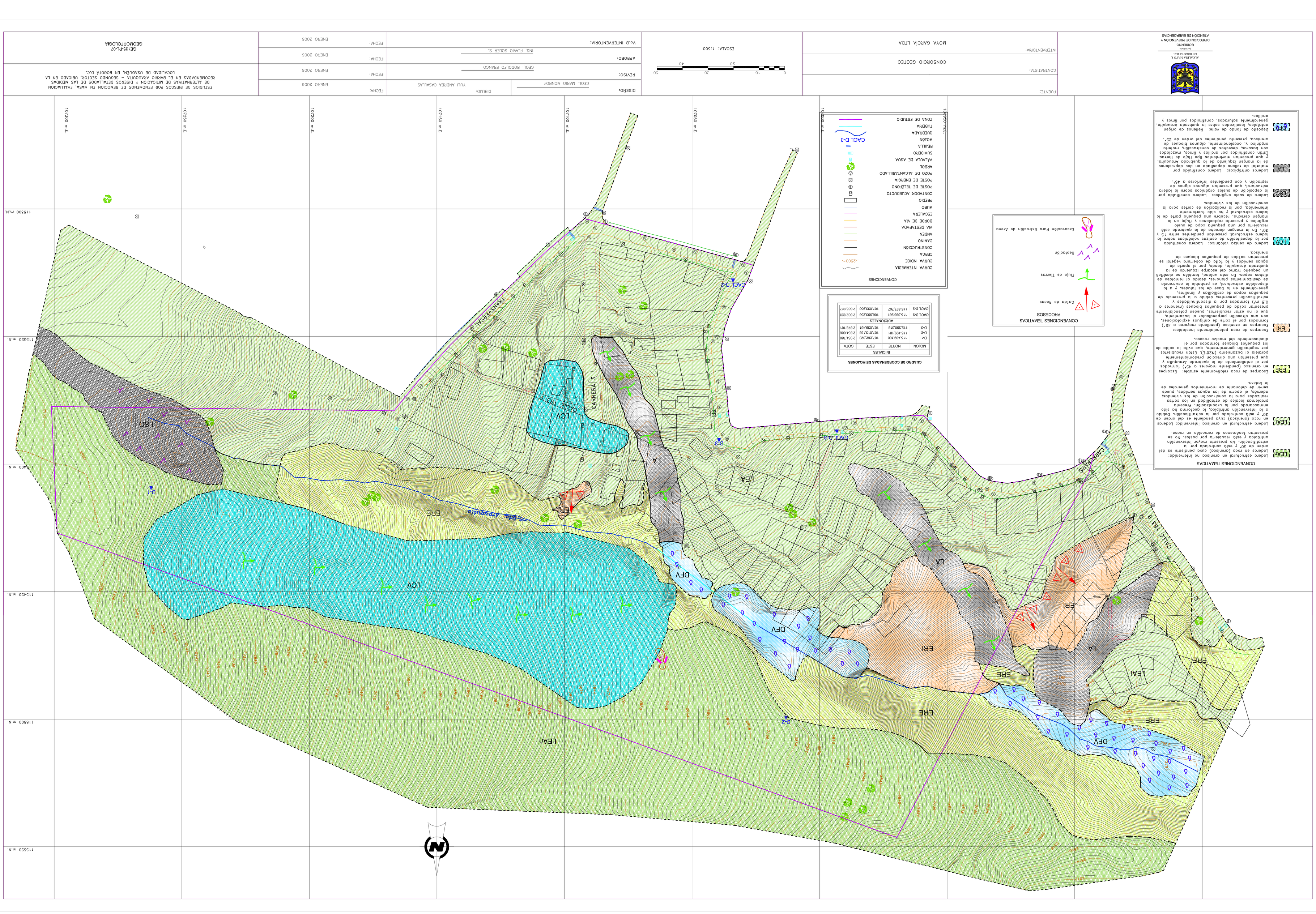
CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

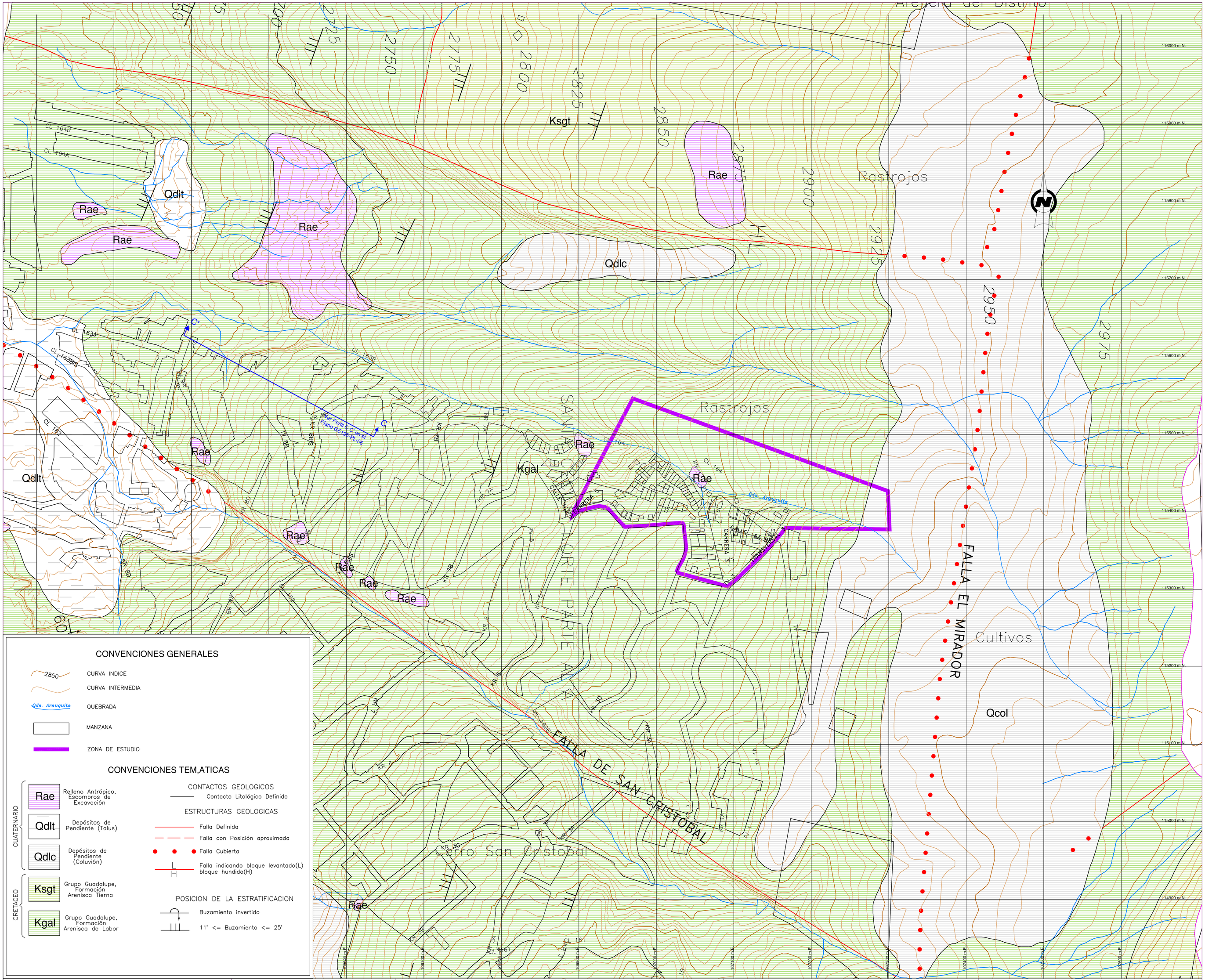
INICIALES			
MOJON	NORTE	ESTE	COTA
D-1	115.405.100	107.282.820	2.954.780
D-2	115.499.181	107.013.163	2.954.006
D-3	115.390.318	107.239.431	2.873.181
ADICIONALES			
CAOL D-3	115.386.981	106.990.256	2.862.223
CAOL D-2	115.327.787	107.033.950	2.888.227

CONVENCIONES

CURVA INTERMEDIA
CURVA INDICE
CERCA
CONSTRUCCION
ANDEN
VIA DESTAPADA
BORDE DE VIA
ESCALERA
MURO
PREDIO
CONTADOR ACUEDUCTO
POSTE DE TELEFONO
POSTE DE ENERGIA
POZO DE ALCANTARILLADO
ARBOL
VALVULA DE AGUA
SUMIDERO
REJILLA
MOJON
CUEBRADA
TUBERIA
ZONA DE ESTUDIO

CAOL D-3





CONVENCIONES GENERALES

- 2850 — CURVA INDICE
- CURVA INTERMEDIA
- Qda. Arauquita — QUEBRADA
- MANZANA
- ZONA DE ESTUDIO

CONVENCIONES TEM,ATICAS

CUATERNARIO	Rae	Relleno Antrópico, Escombros de Excavación
	Qdlt	Depósitos de Pendiente (Talus)
	Qdlc	Depósitos de Pendiente (Coluvión)
CRETACEO	Ksgt	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Tierna
	Kgal	Grupo Guadalupe, Formación Arenisca de Labor

CONTACTOS GEOLOGICOS

- Contacto Litológico Definido

ESTRUCTURAS GEOLOGICAS

- Falla Definida
- Falla con Posición aproximada
- Falla Cubierta
- L / H — Falla indicando bloque levantado(L) bloque hundido(H)

POSICION DE LA ESTRATIFICACION

- Buzamiento invertido
- 11° <= Buzamiento <= 25°

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaria GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE: Tomado del estudio de "Zonificación de Riesgos por Inestabilidad del terreno para Diferentes Localidad de Santa Fe de Bogotá", Contrato 1314-107-97. INGEOCIM LTDA. 1998.

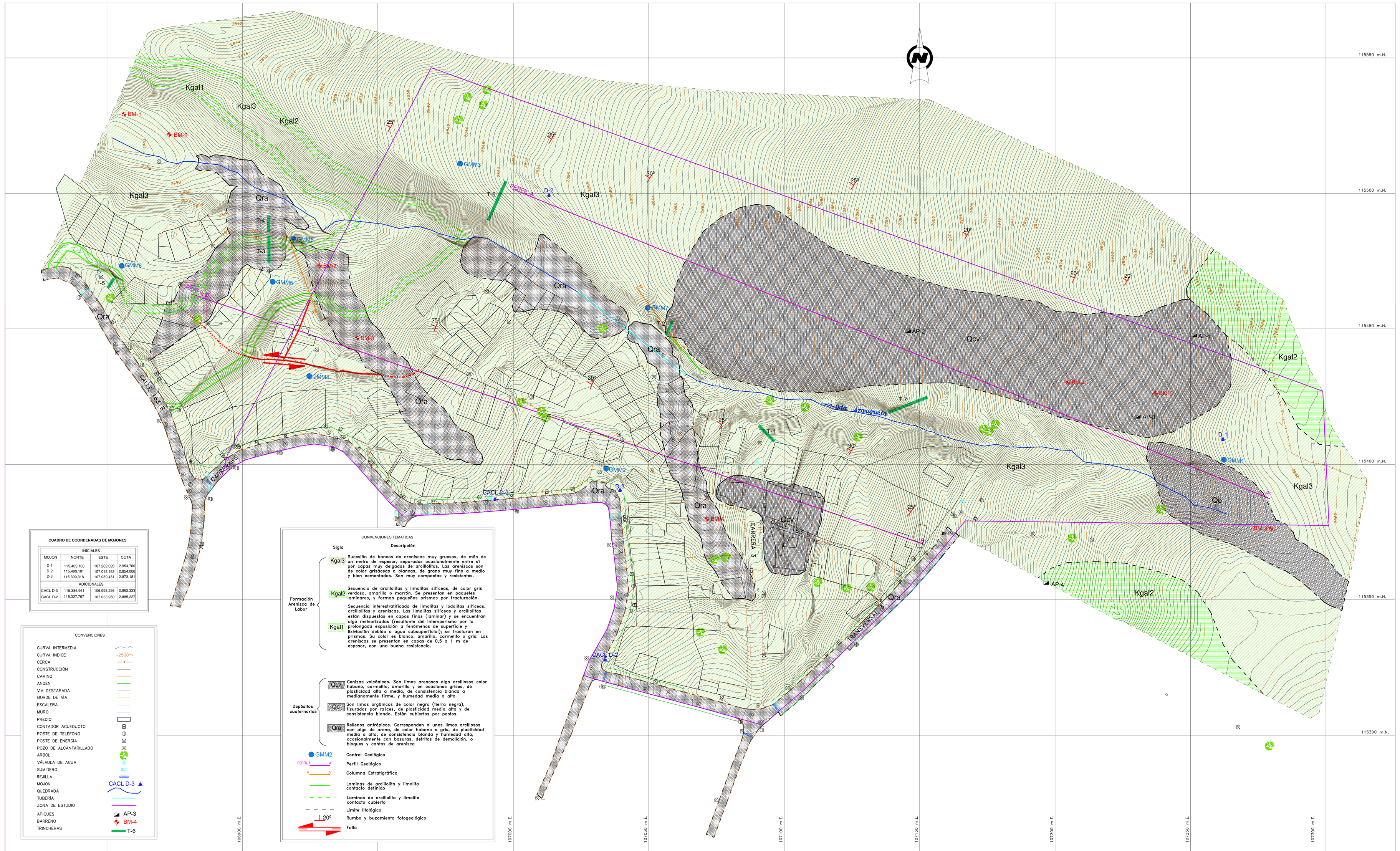
CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 50 100 150 200

ESCALA: 1:2000

DISEÑO: GEOL. MARIO MONROY	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA: ENERO 2006	ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUÉN, EN BOGOTÁ D.C.
REVISO: GEOL. RODOLFO FRANCO		FECHA: ENERO 2006	
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006	GE135-PL-02 GEOLOGIA REGIONAL
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA: ENERO 2006	



CUADRO DE COORDENADAS DE MOJONES

INICIALES			
MOJON	NORTE	ESTE	COTA
D-1	115.409,100	107.262,020	2.954,780
D-2	115.499,181	107.013,163	2.854,006
D-3	115.390,318	107.039,431	2.873,181
ADICIONALES			
CACL D-3	115.386,961	106.993,256	2.862,323
CACL D-2	115.327,767	107.033,950	2.885,227

CONVENCIONES

- CURVA INTERMEDIA
- CURVA INDICE
- CERCA
- CONSTRUCCIÓN
- CAMINO
- ANDEN
- VÍA DESTAPADA
- BORDE DE VÍA
- ESCALERA
- MURO
- PREDIO
- CONTADOR ACUEDUCTO
- POSTE DE TELÉFONO
- POSTE DE ENERGÍA
- POZO DE ALCANTARILLADO
- ARBOL
- VÁLVULA DE AGUA
- SUMIDERO
- REJILLA
- MOJÓN — CACL D-3
- QUEBRADA
- TUBERÍA
- ZONA DE ESTUDIO
- APIQUES — AP-3
- BARRENO — BM-4
- TRINCHERAS — T-6

CONVENCIONES TEMATICAS

Sigla	Descripción
Formación Arenisca de Labor — Kgal3	Sucesión de bancos de areniscas muy gruesos, de más de un metro de espesor, separados ocasionalmente entre sí por capas muy delgadas de arcillolitas. Las areniscas son de color grisáceas o blancas, de grano muy fino a medio y bien cementadas. Son muy compactas y resistentes.
Formación Arenisca de Labor — Kgal2	Secuencia de arcillolitas y limolitas silíceas, de color gris verdoso, amarillo o marrón. Se presentan en paquetes laminares, y forman pequeños prismas por fracturación.
Formación Arenisca de Labor — Kgal1	Secuencia interestratificada de limolitas y lodolitas silíceas, arcillolitas y areniscas. Las limolitas silíceas y arcillolitas están dispuestas en capas finas (laminar) y se encuentran algo meteorizadas (resultante del intemperismo por la prolongada exposición a fenómenos de superficie y lixiviación debido a agua subsuperficial); se fracturan en prismas. Su color es blanco, amarillo, carmelito o gris. Las areniscas se presentan en capas de 0,5 a 1 m de espesor, con una buena resistencia.
Depósitos cuaternarios — Qcv	Cenizas volcánicas. Son limos arenosos algo arcillosos color habano, carmelito, amarillo y en ocasiones grises, de plasticidad alta a media, de consistencia blanda a medianamente firme, y humedad media a alta
Depósitos cuaternarios — Qo	Son limos orgánicos de color negro (tierra negra), fisurados por raíces, de plasticidad media alta y de consistencia blanda. Están cubiertos por pastos.
Depósitos cuaternarios — Qra	Rellenos antrópicos. Corresponden a unos limos arcillosos con algo de arena, de color habano o gris, de plasticidad media a alta, de consistencia blanda y humedad alta, ocasionalmente con basuras, detritos de demolición, o bloques y cantos de arenisca
GMM2	Control Geológico
PERFIL A — A'	Perfil Geológico
A — A'	Columna Estratigráfica
	Laminas de arcillolita y limolita contacto definido
	Laminas de arcillolita y limolita contacto cubierto
	Limite litológico
20°	Rumbo y buzamiento fotogeológico
	Falla

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría GOBIERNO
DIRECCIÓN DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FUENTE:

CONTRATISTA: CONSORCIO GEOTEC

INTERVENTORIA: MOYA Y GARCÍA LTDA

0 10 30 50
20 40
ESCALA: 1:500

DISEÑO: GEOL. MARIO MONROY	DIBUJO: YULI ANDREA CASALLAS	FECHA: ENERO 2006	ESTUDIOS DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE LAS MEDIDAS RECOMENDADAS EN EL BARRIO ARAUQUITA – SEGUNDO SECTOR, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE USAQUEN, EN BOGOTÁ D.C.
REVISO: GEOL.RODOLFO FRANCO		FECHA: ENERO 2006	
APROBO: ING. FLAVIO SOLER S.		FECHA: ENERO 2006	GE135-PL-03 GEOLOGIA LOCAL
Vo.B INTERVENTORIA:		FECHA: ENERO 2006	